

## **Caracterización hidrogeológica del Valle del Cauto, Cuba**

Yumisleidys Sánchez-Sánchez  
Constantino de Miguel-Fernández  
Sylvain Rochenel

### **Resumen**

La investigación tuvo el propósito de caracterizar, 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 (profundidad de yacencia, hidroisohipsas, trasmisividad y caudal específico) a escala 1:250 000, los que fueron interpretados conjuntamente con otros mapas geológicos e hidrogeológicos de la provincia, a fin de caracterizar hidrogeológicamente el valle. Se encontró que la complejidad geológica de la zona ocasiona diversidad en las propiedades de trasmisividad y permeabilidad del acuífero e irregularidad en las profundidades de yacencia. El flujo de aguas subterráneas del valle tiene dirección predominante noreste-suroeste, diferenciándose las zonas de alimentación y de descargas. Los tramos más перспекivos para la explotación de aguas subterráneas en el Valle del Cauto son: los arroyos Mir y Pedernales, así como La Barrigona y Coto, estos últimos de menor extensión.

### **Palabras clave**

aguas subterráneas; dirección del flujo; permeabilidad.

## **Hydrogeological characterization of the Cauto Valley, Cuba**

### **Abstract**

The objective of this investigation is to describe the groundwater of the Cauto Valley from the hydrological and hydrochemical points of view. Based on drill hole database containing information on 225 drilled wells from 1963 through 2006, it was possible to obtain a catalogue of digital maps (aquifer depth, hydroisohypsas, transmissibility and specific volume) at 1: 250 000 scale. This, together with other geological and hydrogeological maps of the province, was interpreted to describe the Valley area. It was observed that transmissibility and permeability of the aquifer and the irregularities of the aquifer depth owe their diversity to the geological complexity of the area. Groundwater flows mainly in the northeast to southwest direction with differences between the feed and discharge areas. The zones that are most likely to have groundwater for utilization are as follows: Los Arroyos Mir & Pedernales, as well as La Barrigona & Coto; the latter pair being smaller.

### **Keywords**

groundwater; flow direction; permeability.

Las aguas subterráneas se utilizan como fuente de abasto a objetivos económicos y sociales, por lo que requieren de un exhaustivo estudio hidrogeológico. Especial atención se concede a las nueve cuencas hidrográficas de mayor interés en nuestro país, dentro de las que se encuentra la cuenca del Cauto (954 018 km<sup>2</sup>). Este estudio particulariza en el área de la cuenca del Cauto, conocida como Valle del Cauto, debido al insuficiente conocimiento de sus características hidrogeológicas. La cuenca cubre un área de 2 188 km<sup>2</sup> en el oriente cubano (Figura 1) y se ubica en la provincia de Holguín. La caracterización hidrogeológica del Valle del Cauto se realiza con fines de regionalización hidrogeológica de la provincia.

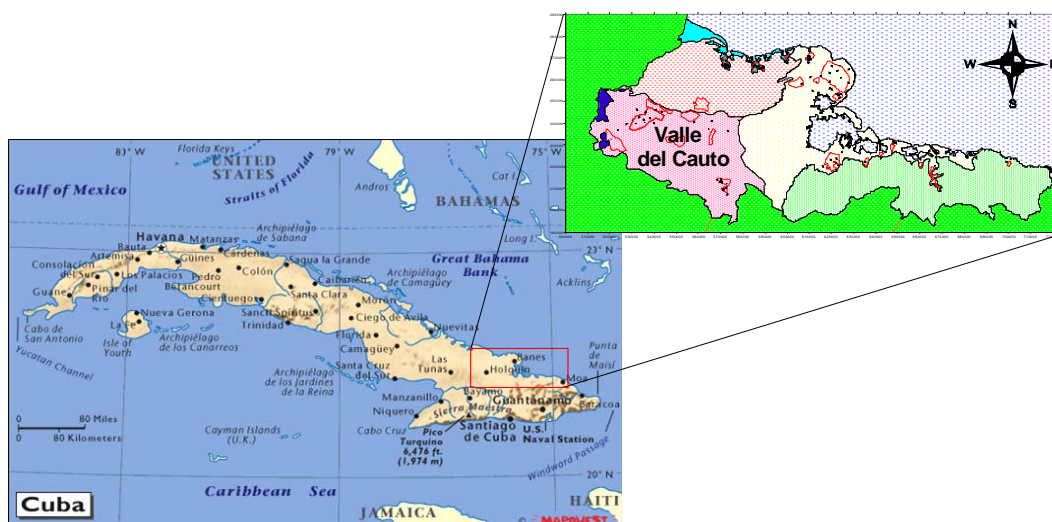


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

Las investigaciones hidrogeológicas adquirieron mayor auge mundialmente a partir del siglo pasado. De los diferentes continentes se reportan caracterizaciones, evaluaciones, modelaciones y argumentaciones teórico-científicas (Douglas & Pla 1992; Cabrera & Cervera 1996; Gray 2004; Bañuelos & Lin 2006; Jiménez *et al.* 2006; Liñán *et al.* 2006; Herrera-Carvajal *et al.* 2007) que abordan la influencia de las particularidades hidrogeológicas de las áreas objeto de estudio de acuerdo con la escala y finalidad del mismo, así como las complejidades hidroquímicas e hidrogeoquímicas que caracterizan los sistemas y complejos acuíferos.

En Cuba también despuntan en los últimos 30 años importantes investigaciones hidrogeológicas que reflejan un amplio estudio de las cuencas hidrográficas de mayor interés (Álvarez & Díaz 2000) y de las implicaciones medioambientales en disímiles aristas, incluyendo la

salinización de aguas y suelos, estudios de contaminación, desertificación y regionalización hidrogeológica (Borroto *et al.* 1997; de Miguel & Vázquez-Taset 2005; Hernández *et al.* 2000; Pérez 2003; Rodríguez *et al.* 2004; Chaterlán *et al.* 2005; González 2005; Otero *et al.* 2007; Herrera 2009 y Ricardo *et al.* 2010).

### **1.1. Contexto geológico e hidrogeológico del Valle del Cauto**

El Valle del Cauto (Figura 2) está constituido por las formaciones geológicas Hatico ( $P_1$ ), con bloques de serpentinitas, calizas e intercalaciones de tobas; Vigía ( $P_{1-2}$ ) de areniscas, tobas y margas; Río Jaquëyes ( $N_2-N_5$ ) formada de lutitas, limolitas, arenas y gravas polimícticas arcillosas o carbonatadas, margas fosilíferas alternando con calizas biodetríticas o biohémicas, calcarenitas y arcillas; Charco Redondo ( $P_2$ ) con calizas; Pedernales ( $P_3$ ), compuesta por conglomerados; Camazán ( $P_3-N_1^1$ ) que contiene calizas, calizas arcillosas, arcillas y margas; Camazán-facies arcillosas ( $N_1^2$ ) de calizas arcillosas y margas; Cauto ( $Q_{2-3}$  m-al) de arcillas, arcillas arenosas, arenas arcillosas, arenas y gujarros con intercalaciones de limo, gravas y gravas gujarrosas.

Las aguas subterráneas en esta cuenca son de grietas, cavernas y poros, predominando las freáticas, aunque en áreas considerables existen aguas artesianas, principalmente en áreas de desarrollo de las formaciones Camazán y Cauto, donde las rocas acuíferas se acuñan bajo estratos arcillosos o de margas y en la parte superior del corte existen estratos con potencias considerables de arcillas y rocas de matriz arcillosa.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se utilizaron en este estudio, como material de partida, los mapas derivados de las investigaciones precedentes (de Miguel 1996), así como los resultados de análisis químicos y parámetros hidrogeológicos de diez tablas de quimismo, según hojas cartográficas que pertenecen al área.

Las acciones realizadas en la investigación se enmarcaron bajo la consideración de tres etapas en la metodología que tradicionalmente se emplea en este tipo de estudios. De esta manera, se recopiló y analizó la información hidrogeológica existente, que posteriormente fue procesada, creándose una base de datos que facilitó la generación de distintos mapas hidrogeológicos (profundidad de yacencia de aguas subterráneas, hidroisohipsas, trasmisividad y caudal específico) que finalmente fueron interpretados. Para la obtención de esos mapas se

complementaron las herramientas que brindan el software Didger.exe (versión 3) y el programa Surfer (versiones 8.01 y 9.0), procesándose datos de un gran número de pozos (163 a 225) representados a escala 1: 250 000.

Con el propósito de revelar nuevas informaciones hidrogeológicas del Valle del Cauto se efectuó la interpretación conjunta de los mapas resultantes con el Mapa Geológico Digital de la provincia de Holguín, a escala 1: 100 000 (ACC 2002; Figura 2), el Mapa Geológico de Cuba a escala 1:250 000 (Albear *et al.* 1988) y el Léxico Estratigráfico (IGP 1994).

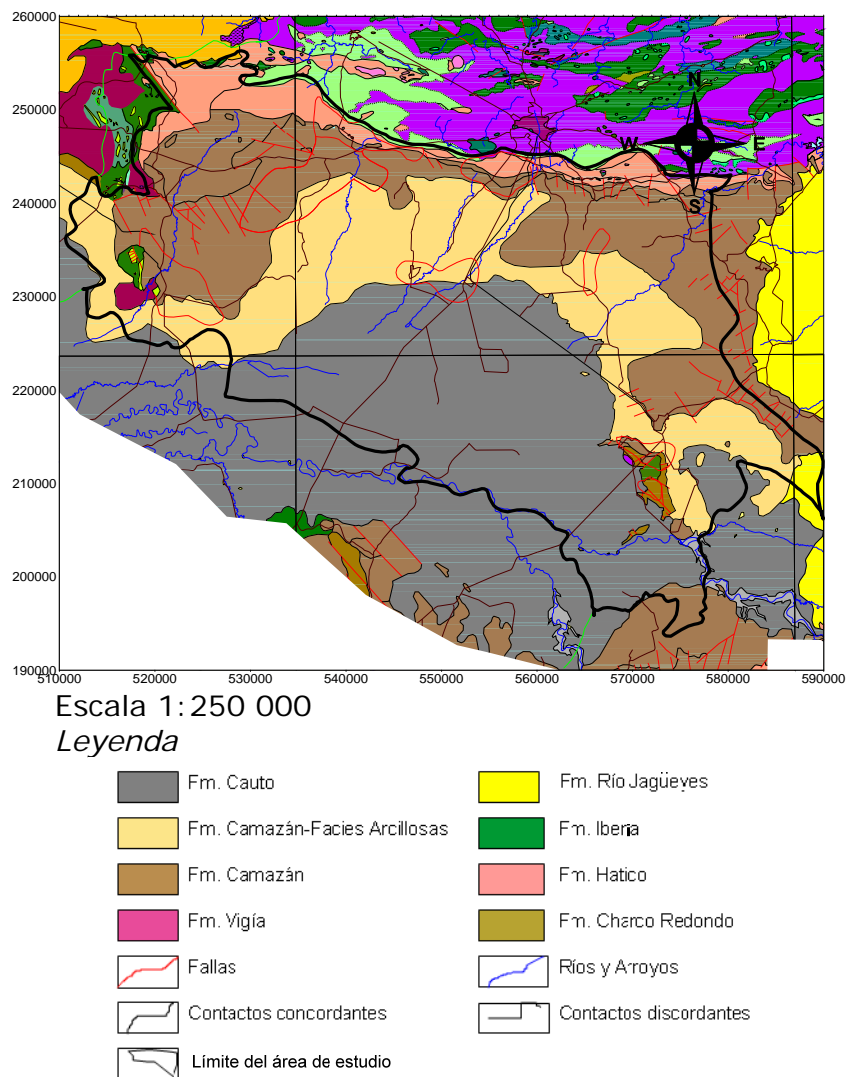


Figura 2. Mapa geológico esquemático del Valle del Cauto (ACC 2002).

El mapa de regionalización hidrogeológica de la provincia se reinterpretó con el objetivo de establecer los principales yacimientos de aguas subterráneas que se encuentran en el área de estudio, caracterizando el comportamiento de los parámetros que representan la hidrogeología del sector.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. Mapa de profundidad de yacencia de las aguas subterráneas**

El empleo de este mapa reviste gran importancia, desde el punto de vista hidrogeológico, ya que el mismo condiciona la mayor o menor posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas e indica los métodos más adecuados que deben emplearse, tanto para la investigación de estas como para su utilización, basándose en el comportamiento de otros parámetros como la mineralización, el índice de salinidad marina y el quimismo, en dependencia del propósito de la investigación.

Se establecieron cuatro rangos de profundidad de yacencia para las aguas subterráneas del Valle del Cauto (Figura 3), donde los menores valores se encuentran por debajo de los 5 m, coincidiendo con zonas de bajo relieve, intervalos de 5-10 m, 10-20 m y finalmente, las zonas más elevadas con aguas subterráneas que superan los 20 m de profundidad de yacencia.

El análisis conjunto de los mapas de profundidad de yacencia de las aguas subterráneas, el mapa esquemático geológico y el de zonación hidrogeológica de la provincia de Holguín (Figuras 2, 3 y 7) permitió definir que al centro-noroeste se concentran las aguas subterráneas que yacen más cerca de la superficie y, por tanto, son más susceptibles a la contaminación (si son freáticas); estas aguas se asocian a las formaciones Cauto, Camazán –facies arcillosa y carbonatada- y, en menor medida, a las formaciones Hatico y Vigía, y se encuentran en depósitos aluviales, arcillas carbonatadas, margas, calizas cavernosas, olistostromas de sedimentos caóticos tectono-sedimentarios con olistolitos, serpentinitas y areniscas, en los tramos Cabezuela, Arroyo Blanco y Cacocum, respectivamente. También se distribuyen puntualmente al sureste del sector, cercano al yacimiento Coto.

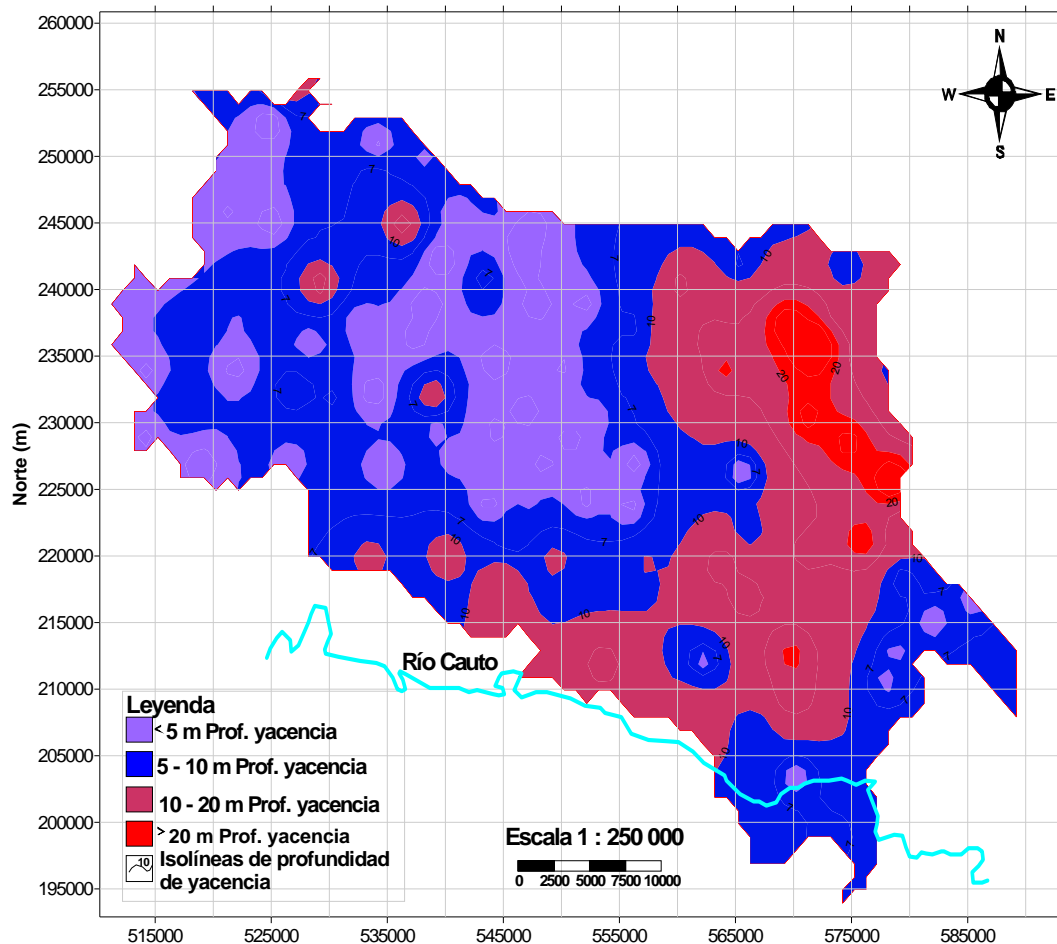


Figura 3. Mapa de profundidad de yacencia de las aguas subterráneas, sector Valle del Cauto.

Profundidades intermedias (5-10 m) se distribuyen irregularmente por toda el área, bordeando las de menor profundidad al noreste, noroeste, centro y sureste, asociadas principalmente a formaciones geológicas sedimentarias del desarrollo neoplatafórmico y depósitos cuaternarios.

Mayores profundidades de yacencia predominan al noreste y sureste del Valle, vinculadas al tramo La Felicia en las formaciones Cauto y Camazán –facies arcillosa y carbonatada-, y en una pequeña franja de la Fm. Hatico. Sin embargo, al noreste pueden yacer, incluso a más de 30 m de profundidad, como el ejemplo del yacimiento La Barrigona y, más escasamente, al sureste.

Las profundidades de yacencia de las aguas subterráneas tienen una relación directa con la potencia acuífera, donde las aguas que yacen en zonas cercanas a la superficie se corresponden con escasas potencias acuíferas, y viceversa; resultando las mayores potencias hacia el noreste y sureste, fundamentalmente. Se demuestra la variabilidad que manifiesta este parámetro, de acuerdo con el comportamiento del relieve del terreno.

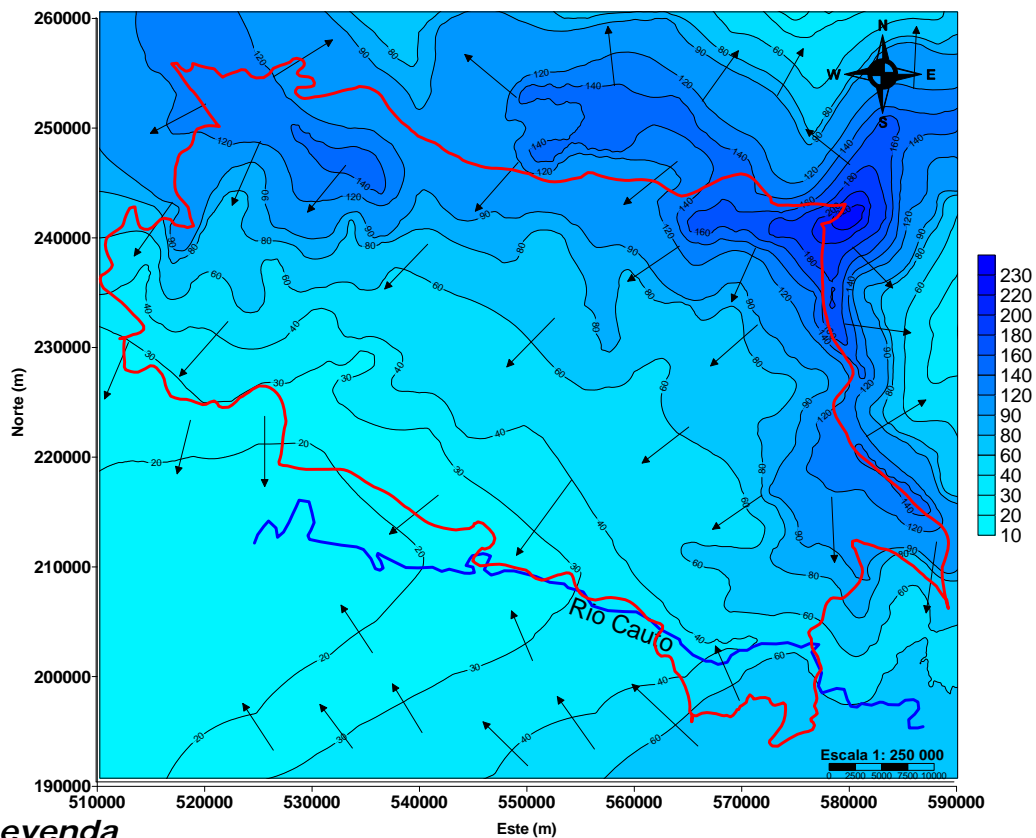
De manera general, estas aguas se corresponden con acuíferos freáticos, por lo que en aquellos donde existen aguas con presión, los niveles en los pozos generalmente se encuentran a profundidades menores de un metro, y en muchos casos, los pozos vierten sus aguas a la superficie del terreno, lo que significa que las presiones llegan a ser considerables (zonas Levinston, Cristino, Maceo y Mir), ejemplo de ello es el pozo 108 ubicado al noroeste, el cual demuestra la presencia de aguas artesianas, aunque las mismas no se han estudiado (Figura 3).

### **3.2. Mapa de hidroisohipsas**

Este mapa refleja la disposición del nivel de las aguas subterráneas del sector Valle del Cauto. Las cotas alcanzan al noreste los 200 m de yacencia, coincidiendo con la zona de alimentación del valle. El comportamiento de las hidroisohipsas corroboran la marcada influencia del relieve, los ríos y afluentes y depresiones del terreno existentes en la zona, mostrando una disminución hacia el sureste y suroeste que resulta la zona de descarga con dirección al río Cauto.

La zona de alimentación puede estar favorecida por las aguas superficiales de diferente origen, por regadío, infiltración ya sea de precipitaciones o desde una presa o canal (presa Güirabo, al noroeste), o por variación del piso impermeable. Sin embargo, la zona de descarga que visiblemente coincide con la llanura del Cauto, muestra hidroisohipsas más espaciadas y cotas inferiores (<80 m) con descarga hacia el cauce del río Cauto, resultando el dren principal del territorio. Precisamente en esta área existe uniformidad en la distribución y espaciamiento de las hidroisohipsas, y coincide con la formación litológica más joven de sedimentos marino-aluviales del Cuaternario (la Fm. Cauto).





### Leyenda




-  Dirección del flujo
-  Isolíneas con cotas del nivel del agua.
-  Área de estudio

Figura 4. Mapa de hidroisohipsas del Valle del Cauto.

El flujo subterráneo preferentemente se ubica con dirección noreste-suroeste, a medida que disminuye su pendiente en dirección al río principal del territorio. Los mayores niveles de yacencia de estas aguas se corresponden con las pequeñas y medianas elevaciones que bordean el norte del sector, donde existen las mayores pendientes de dichas aguas.

En el sector estudiado, la mayoría de los afluentes se distribuyen hacia el norte, irregularmente alineados; el comportamiento de las isohipsas muestran la relación existente entre las aguas subterráneas y las superficiales. De manera general, predominan las aguas freáticas debido a la presencia de litologías que albergan condiciones para

formar acuíferos freáticos, aunque en este territorio es típica la formación de complejos acuíferos.

Los principales acuíferos resultan de formaciones carbonatadas y sedimentos friables (Fm. Camazán -facie carbonatada y Cauto), existiendo cinco principales (de Miguel & Vázquez-Taset 2005). Esta es la razón por la que, de acuerdo con la disposición de los ríos secundarios, y a su vez de las curvas de nivel que caracterizan la yacencia de las aguas subterráneas, en ocasiones un acuífero puede alimentar a un río o alimentarse del mismo, e incluso puede ser un acuífero freático en el que ocurran ambos procesos. Esto demuestra la complejidad hidrogeológica que caracteriza al sector en estudio.

### **3.3. Mapa de trasmisividad**

Partiendo del concepto de que cuando una roca es acuífera, por sus condiciones de gradiente hidráulico y disposición del flujo del agua subterránea en una unidad de tiempo, permite que el agua circule a través de la misma, es decir, que pueda ser trasmisible, se concluye que el sector Valle del Cauto por su variabilidad litológica se corresponde con una trasmisividad diversa (Figura 5). Se revelan valores que fluctúan desde resultados inferiores a los 100 m<sup>2</sup>/día hasta alcanzar cifras que superan los 1 000 m<sup>2</sup>/día, manifestándose dichas variaciones, incluso dentro de una misma formación geológica. De esta forma, se observa un predominio en el territorio de trasmisividades con valores intermedios. De manera aislada se comportan las litologías con trasmisividades bajas, y más delimitadas aquellas que alcanzan valores que exceden los 1 000 m<sup>2</sup>/día.

Las litologías con menores trasmisividades (<100 m<sup>2</sup>/día) se concentran de forma dispersa y puntual hacia el norte (noreste y noroeste) preferentemente en las inmediaciones de la zona de descarga. Las mismas están asociadas a litologías poco permeables con contenidos de materiales arcillosos o arenosos, rocas compactas o con escaso agrietamiento, como las serpentinitas, las gabrodiabasas, e incluso de calizas compactas y arcillas. Se corresponden principalmente con las formaciones geológicas Camazán (facies arcillosa y carbonatada), Cauto e Iberia y, minoritariamente, con la Fm. Vigía (Figura 2).

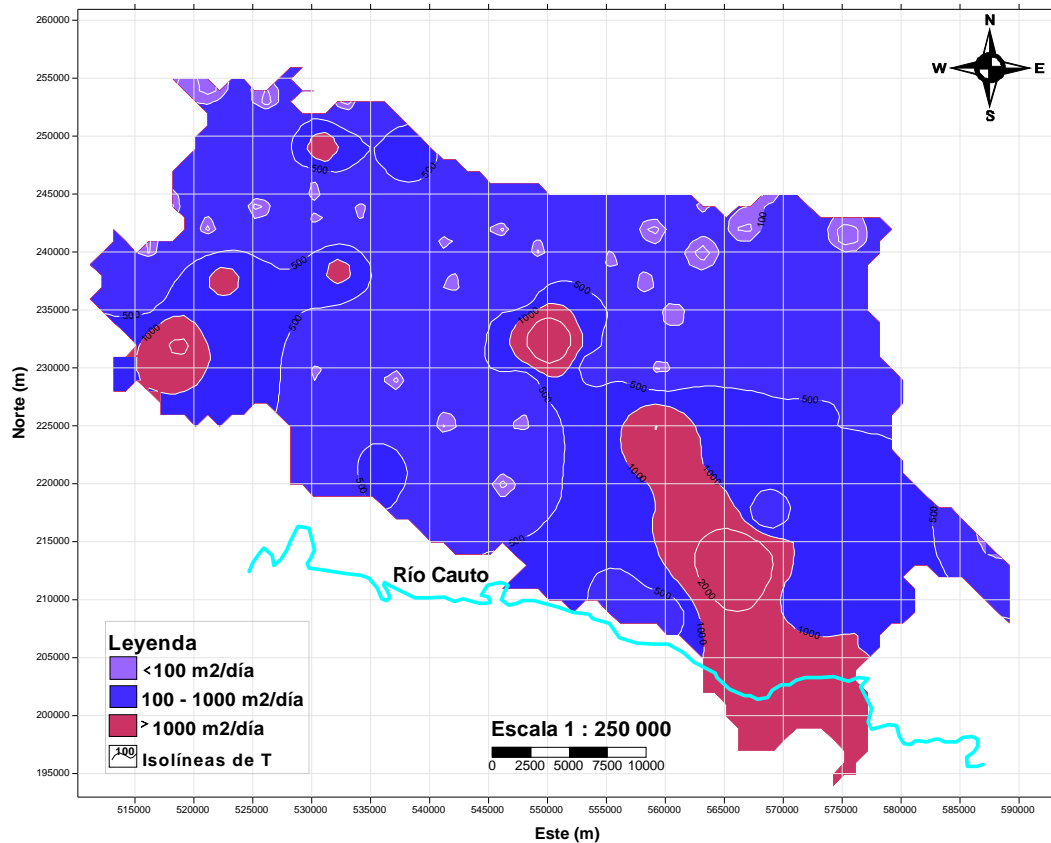


Figura 5. Mapa de transmisividad del Valle del Cauto.

Las mayores transmisividades se concentran al sureste del sector y, en menor medida, al noroeste y centro del Valle. Se observa una correspondencia con los depósitos marino-aluviales existentes en la Fm. Cauto que permiten la elevada circulación de aguas subterráneas, lo que refleja la alta variedad litológica de esa formación al presentar diferentes permeabilidades.

Cuando se distribuyen en la Fm. Camazán, tanto en su facies arcillosa como carbonatada, se denota que, en presencia de la primera facies, se relacionan estructuras disyuntivas que favorecen el tránsito de las aguas en el material impermeable arcilloso, que no favorece la circulación lateral de las mismas. Sin embargo, en la facies carbonatada de esta formación se vincula a calizas cavernosas y calizas regidas por sistemas de fallas o que están altamente agrietadas por procesos de intemperismo que favorecen la elevada permeabilidad de estas litologías.

### 3.4. Mapa de caudal específico

El caudal específico reporta información asociada al nivel de acuosidad que presentan las formaciones geológicas, estrechamente relacionado, a su vez, con la permeabilidad y trasmisividad que posean estas rocas. Así se consideraron tres intervalos principales para definir las acuosidades, desde muy baja ( $<1$  l/s.m), valores intermedios que oscilan de 1-10 l/s.m, y por último, las áreas que registran los mayores valores de dicho parámetro, asociadas a zonas de alto agrietamiento, fallas y carso.

Se disponen las rocas con más baja acuosidad con una pequeña distribución puntual, que se extiende a lo largo de toda el área, en menor medida, vinculadas a la secuencia olistostrómica de la Fm. Hatico hacia el noroeste (Figura 2), y a la Fm. Camazán –facies carbonatada cuando presenta compuestos arcillosos aislados al noroeste y sureste.

Los depósitos aluviales más jóvenes del sector (Fm. Cauto) son los que concentran las mayores litologías que contienen bajas permeabilidades y escasas trasmisividades. Se considera estén vinculados con los depósitos areno-arcillosos de dicha formación, que actúan como formaciones litológicas muy impermeables que no superan los 0,1 l/s.m.

Sin embargo, al comparar con el mapa de trasmisividad, existen áreas con altos caudales que reportan trasmisividades puntuales, y que todos los casos concuerdan al encontrarse a poca profundidad, con un elevado potencial ante la contaminación (Figuras 2, 3, 5 y 6).

Se revelan preponderantemente valores de acuosidades intermedias en todo el valle, propios de las formaciones geológicas que predominan en dicho sector (Fm. Camazán –facies arcillosa y carbonatada y los depósitos jóvenes de la Fm. Cauto). Su permeabilidad y caudal específico se representan con valores un poco más elevados, causados por el agrietamiento y fallamiento que caracteriza al área, sumándole la formación de estructuras conductoras del recurso subterráneo, es decir, canales de poca magnitud provocados por la disolución de rocas carbonatadas que favorecen, en cierta medida, la circulación de dichas aguas y los cauces de los afluentes existentes dentro del sector. Estos no deben presentar grandes dimensiones ya que sus caudales no exceden los 10 l/s.m.

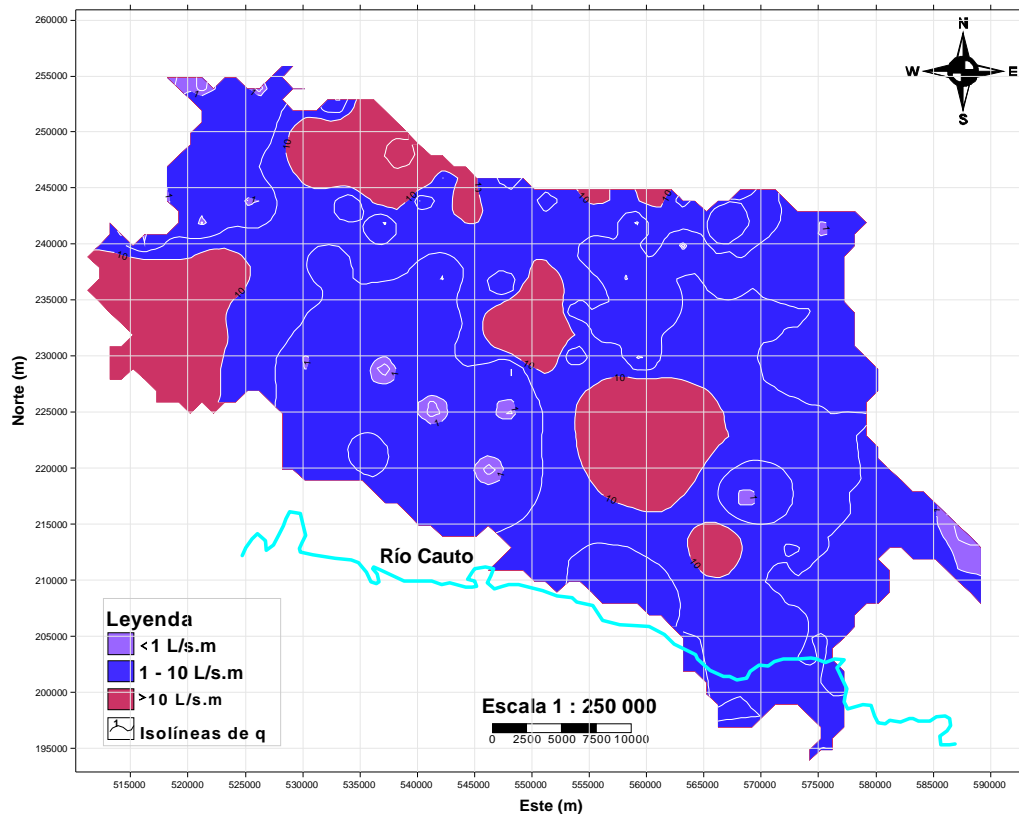


Figura 6. Mapa de caudal específico del Valle del Cauto.

Son notorias las concentraciones alineadas de litologías que demuestran la presencia de gran acuosidad, sin embargo, el Mapa Esquemático Geológico no refleja la relación de estructuras disyuntivas que visualicen dicho alineamiento. De esta manera, se considera como causa principal de la elevación de los valores de acuosidad a las litologías gravosas y arenas gruesas al sureste del sector que forman parte de la Fm. Cauto, en la cual existe cierta relación con fallas que están favoreciendo la circulación de aguas subterráneas a través de ellas y que están siendo almacenadas y transmitidas a través de estas litologías.

Lo mismo ocurre con las elevadas permeabilidades representadas por la facies arcillosa de la Fm. Camazán, en la cual se corrobora la existencia de fallas que favorecen que las rocas arcillosas, generalmente impermeables, se presenten con un grado de acuosidad elevado y dirección hacia el norte. Las otras altas permeabilidades enmarcadas al noreste y noroeste del sector se relacionan, preferentemente, con las formaciones Hatico y Camazán –facies carbonatada-, no solo con las litologías con alto grado de fracturación o desplazamiento por fallas, sino también a la formación de carso en las rocas de la facies carbonatada y

cauces de ríos. La variación en el parámetro acuosidad en la formación Cauto también está relacionada con los diferentes depósitos aluviales de la misma y su variabilidad en planta y perfil.

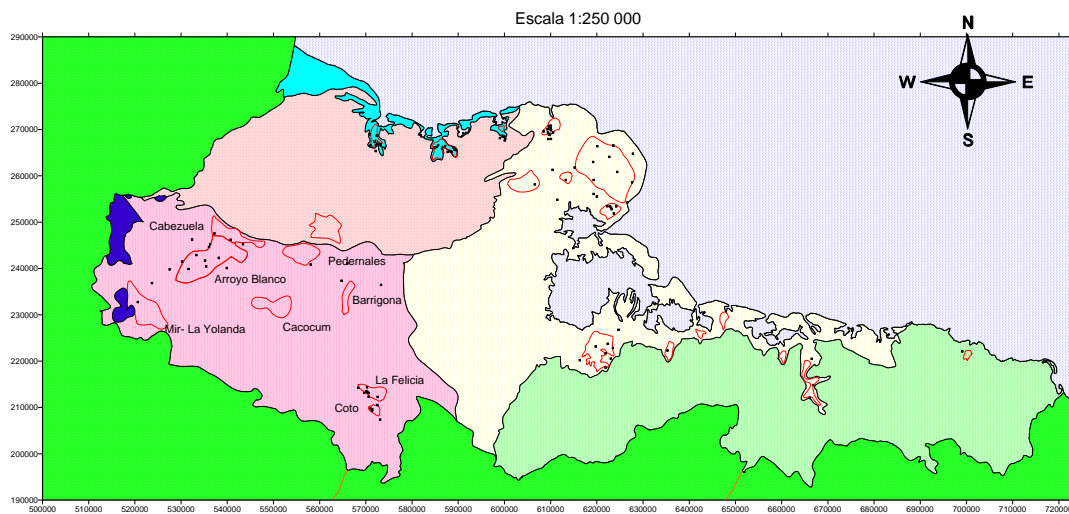
### **3.5. Mapa de regionalización hidrogeológica de la provincia de Holguín**

El mapa de regionalización hidrogeológica de las aguas subterráneas de la provincia de Holguín (Figura 7) muestra los principales yacimientos de agua en el área de estudio (cuenca artesiana Caribe Oriental), y resalta aquellos tramos más perspectivas para la explotación de aguas subterráneas en el Valle del Cauto, así como los límites y reservas de explotación de los mismos con mineralización inferior a los 2 gr/l.

El sector posee ocho tramos o yacimientos que indican la existencia de litologías muy permeables y trasmisibles que propician el tránsito de aguas subterráneas a través de las mismas. De esta manera, encontramos los yacimientos Cabezuela (12 km<sup>2</sup>), Los Arroyos (61 km<sup>2</sup>), Mir (20 km<sup>2</sup>), Pedernales (22 km<sup>2</sup>), Cristino (12 km<sup>2</sup>), La Barrigona (5 km<sup>2</sup>), La Felicia (10 km<sup>2</sup>) y Coto (2 km<sup>2</sup>). De estos el tramo Los Arroyos es el más grande dentro de esta región y, en menor medida, los tramos Mir y Pedernales. Se consideran con menor extensión aquellos que ocupan los yacimientos La Barrigona y Coto (Tabla 1).

Los yacimientos declarados coinciden con las zonas donde se reportan litologías de mayor permeabilidad, acuosidad y trasmisividad, que se encuentran generalmente cercanos a la superficie considerando el costo de explotación, ya que no exceden los 10 m de profundidad de yacencia de las aguas subterráneas y, a su vez, se encuentran favorecidos por la alimentación de estos acuíferos por medio de ríos, trasmisividad de acuíferos cercanos o precipitaciones atmosféricas, ya que la dirección del flujo subterráneo resulta fundamentalmente hacia el noreste-suroeste (Figuras 2 a la 7). De tal forma, las aguas de mejor calidad provienen fundamentalmente de formaciones geológicas localizadas a mayores cotas sobre el nivel del mar, área característica de litologías que naturalmente influyen negativamente en la composición química de las aguas subterráneas si estas han de ser utilizadas con fines potables o para la irrigación de cultivos.

Por ello se requiere de un estudio minucioso, no solo de las características hidrogeológicas de las aguas subterráneas del valle, sino también de las hidroquímicas, considerando los factores que elevan el grado de salinidad de suelos y aguas.



**LEYENDA**

- Macizo hidrogeológico Tunas - Camagüey.
- Cuenca Cauto
- Macizo hidrogeológico Holguín
- Cuenca artesiana Nipe
- Macizo hidrogeológico Cauto - Baracoa
- Cuenca artesiana Tunas norte
- Límite interprovincial
- Pozos de Sondeo
- Divisoria de las aguas
- Límite de tramos o yacimientos de las aguas subterráneas con mineralización menor de 2 g/l

Figura 7. Mapa de zonación hidrogeológica de la provincia de Holguín (Blanco & Lloréns 2004) Mapa original (de Miguel 1996).

Tabla 1. Regionalización hidrogeológica de la cuenca artesiana Caribe Oriental en la provincia de Holguín

Estructura hidrogeológica	Tramos o yacimientos	Área (km <sup>2</sup> )
<b>Cuenca artesiana Caribe Oriental</b>	Cabezuela	12
	Los Arroyos	61
	Mir	20
	Pedernales	22
	Cristino	12
	La Barrigona	5
	La Felicia	10
	Coto	2
	<b>Área complementaria</b>	<b>815</b>
<b>Subtotal</b>	<b>959</b>	

#### 4. CONCLUSIONES

1. La profundidad de yacencia de las aguas subterráneas del Valle del Cauto se distribuye irregularmente, según la litología y el relieve de la región; alcanza valores menores de 5 m en las zonas altas hasta superar los 20 m de profundidad.
2. La dirección principal del flujo de las aguas subterráneas es hacia el noreste-suroeste, repitiendo generalmente la dirección de pendiente del relieve del terreno, depresiones del terreno y ríos secundarios existentes en el sector.
3. La trasmisividad y el caudal específico son muy variables, con manifestaciones preferentemente de valores intermedios en todo el territorio. Existe coincidencia de las litologías más permeables por su acuosidad con aquellas que son más trasmisibles, asociadas a fallas, agrietamiento, formación de cavernas en litologías carbonatadas y sedimentos arenosos gruesos y gravosos de la Fm. Cauto. Las litologías de baja permeabilidad se distribuyen de manera puntual en todo el valle.
4. La acuosidad de los acuíferos es muy variable, hasta en una misma formación, desarrollándose zonas de valores elevados (>10 l/s.m) y áreas donde las rocas son muy poco permeables (<1 l/s.m).
5. Los tramos más perspectivas para la explotación de aguas subterráneas en el valle son: Los Arroyos (más extenso), Mir y Pedernales, resultando de menor extensión La Barrigona y Coto.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Los resultados de la presente investigación fueron posibles gracias a la contribución de entidades del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Holguín, quienes facilitaron la documentación existente acerca de la temática del área de estudio.

#### 6. REFERENCIAS

- Acc 2002: Mapa Geológico Digital de la provincia de Holguín. Escala 1: 100 000. Academia de Ciencias de Cuba. Ciudad de La Habana
- ALBEAR, J.; I. BOYANOV; K. BREZSNYANSZKY; R. CABRERA; V. CHEJOVICH; B. ECHEVARRÍA; R. FLORES; F. FORMELL; G. FRANCO; I. HAYDUTOV; M. ITURRALDE-VINENT; I. KANTCHEV; I. KARTASHOV; V. KOSTADINOV; G. MILLÁN; R. MYCZYNSKI; E. NAGY; J. ORO; L. PEÑALVER; K. PIOTROWSKA; A. PSZCZOLKOWSKI; J. RADOCZJ; RUDNICKI; M. L. SOMIN. 1988: mapa geológico de cuba. escala 1:250 000. acc.ÁLVAREZ, A. & DÍAZ, E. 2000: Caracterización de los suelos de la cuenca hidrográfica del río Cauto. *Granma Ciencia* 4(2) mayo-agosto [en línea]. Consulta: 21 oct 2011. Disponible en: <http://gciencia.idict.cu/index.php/granmacien/article/download/2/16>



- BAÑUELOS, G. S. & LIN, Z. Q. 2006: Reuse of agricultural drainage water in central California: phytosustainability in soil with levels of salinity and toxic trace elements. *Geological Society, London, Special Publications*. 266: 79-88.
- BORROTO, M.; BORGES, O.; GELL, P.; SAIZ, J. & MÉNDEZ, A. 1997: Plantas tolerantes a la salinidad en Cuba. *Agrotecnia de Cuba* [en línea] 27(1). Consulta: 18 jul 2011. Disponible en: [http://mst.idict.cu/90/1/Plantas\\_tolerantes\\_a\\_la\\_salinidad\\_en\\_Cuba.pdf](http://mst.idict.cu/90/1/Plantas_tolerantes_a_la_salinidad_en_Cuba.pdf)
- BLANCO, J. L & LLORÉNS, C. 2004: Investigaciones ingeniero geológicas e hidrogeológicas de la Base Minera Punta Gorda. INRH, Holguín.
- CABRERA, R. & CERVERA, G. 1996: Recuperación agrícola de suelos degradados por salinización secundaria. *Caña de Azúcar* [en línea] 14(2): 71-79. Consulta: 13 jun 2011. Disponible en: [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_ci/canadeazucar/cana1402/texto/recuperacion.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/canadeazucar/cana1402/texto/recuperacion.htm)
- CHATERLÁN, Y.; RODRÍGUEZ, R.; ZAMORA, E. & FAJARDO, W. 2005: Propuesta de metodología para el estudio de la desertificación en el Valle del Cauto. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* [en línea] 14(1): 43-46. Consulta: 7 jun 2011. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/932/93214110.pdf>
- IGP 1994: Léxico estratigráfico digital. Instituto de Geología y Paleontología, Ciudad de La Habana.
- DE MIGUEL, C. 1986: Formación y evaluación de reservas de explotación de aguas subterráneas en formaciones Mioceno– Cuaternarias de la cuenca del Cauto, República de Cuba. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de San Petersburgo. Rusia. 182 p.
- DE MIGUEL, C. & VÁZQUEZ-TASET, Y. 2005: Regionalización hidrogeológica de la provincia de Holguín, República de Cuba. *Minería y Geología* 21(3).
- GRAY, D. A. 2004: Groundwater studies in the Institute of Geological Sciences between 1965 and 1977. *Geological Society, London, Special Publications* [en línea] 225: 295-318.
- GONZÁLEZ, L. M. 2005: Algunas reflexiones para el manejo sostenible de los suelos afectados por salinidad. *Agricultura Orgánica de Cuba (Granma)* [en línea] 1: 5-7. Consulta: 29 jun 2011.
- HERNÁNDEZ, R.; GONZÁLEZ, P.; GONZÁLEZ, A. & ROMERO, E. 2000: Procesos de salinización en el acuífero costero de cuenca Guane. *Minería y Geología* 17(1): 75-79.
- HERRERA, J.; PUJOL, R.; ALARCÓN, R. & ESPINOSA, E. 2009: Calidad de las aguas de drenaje procedentes de campos arroceros sobre suelos salinos en la cuenca del Cauto. *Ciencias Técnicas y Agropecuarias* [en línea] 18 (3).

- HERRERA-CARVAJAL, S.; VILLALBA-ATONDO, A. I. & MOLINAR-TABARES M. E. 2007: Modelación hidrogeológica y evaluación de la sustentabilidad del acuífero transfronterizo del río San Pedro en Sonora, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 3(1): 21-30.
- JIMENEZ, G.; BAEZ, M. & SANCHEZ, M. 2006: Mineralización del agua subterránea en la ciudad de Puebla. En: XI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. Expo Guadalajara, México, 24-26 mayo.
- LIÑAN, C.; ANDREO, B. & CARRASCO, F. 2006: Características hidrogeológicas del sistema acuífero Prieta – Bonela – Alcaparain (Unidad Hidrogeológica Junquera – Nieves, provincia de Málaga, Andalucía). *Geogaceta* 39.
- MATA, D. R. & PLA, I. 1992: Caracterización de los problemas de salinidad de suelos y aguas en cuatro zonas de la cuenca del lago de Maracaibo. *Agronomía Tropical* [en línea] 42(1-2): 85-96. Consulta: 1 jul 2011. Disponible en: [http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_ci/Agronomia%20Tropical/atindex.htm](http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/atindex.htm)
- OTERO, L.; FRANCISCO, A.; GÁLVEZ, V.; MORALES, R.; SÁNCHEZ, I.; LABAUT, M.; VENTO, M.; CINTRA, M. & RIVERO, L. 2007: Caracterización y evaluación de la salinidad. Consulta: 14 jun 2011. Disponible en: <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5420/salinidad.pdf>
- PÉREZ, J. C. 2003: Contribución al manejo de los suelos salinos del sector norte de la provincia de Las Tunas, a través de la caracterización de los factores que inciden en estos procesos. Tesis de Maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. 97 p.
- RICARDO, S.; RAMÍREZ, R.; NÚÑEZ, R. & LÓPEZ, V. 2010: Evaluación de la salinidad potencial de aguas para riego en la cuenca del Cauto. *Ciencias Holguín* [en línea] 16(2) abril-junio. ISSN 1027-2127. Consulta: 16 jun 2011. Disponible en: <http://cienciahlg.idict.cu/index.php/cienciasholguin/article/view/540/573>
- RODRÍGUEZ, R.; BEJERANO, C.; RIVERÓN, B. & CARMENATE, J. A. 2004: Composición química de las precipitaciones, deposición de sales y evaluación de la recarga en la región oriental de Cuba. *Boletín Geológico y Minero* (número especial) 115: 341-356.

Metalúrgico de Moa. Holguín. Cuba.

**Constantino de Miguel Fernández** [cdemiguel@ismm.edu.cu](mailto:cdemiguel@ismm.edu.cu)  
Doctor en Ciencias Geológicas. Profesor Auxiliar Consultante.  
Departamento de Geología. Instituto Superior Minero  
Metalúrgico de Moa, Cuba.

**Sylvain Rochenel** [srochenel2001@yahoo.fr](mailto:srochenel2001@yahoo.fr)  
Ingeniero geólogo. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba