

V. Ferrera, J.R Fagundo, P. González, I. Morrell, A. Pulido-Boch, M.López-Chicano y F. López-Vera. “Caracterización Hidrogeoquímica de los acuíferos kársticos de la Cuenca y Zapata, Matanzas, Cuba”. Voluntad Hidráulica, (91): 21-27, C. Habana, 1999. ISSN 0505-9461.

## **CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE LOS ACUÍFEROS KÁRSTICOS DE LA CUENCA ZAPATA, MATANZAS, CUBA.**

V. Ferrera <sup>(1)</sup>  
J.R. Fagundo <sup>(2)</sup>  
P. González <sup>(2)</sup>

I. Morell <sup>(3)</sup>

A. Pulido-Bosch <sup>(4)</sup>  
M. López-Chicano <sup>(4)</sup>

F. López-Vera <sup>(5)</sup>

<sup>1</sup>- Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos

<sup>2</sup>Centro Nacional de Investigaciones Científicas, La Habana

<sup>3</sup> Universidad Jaume I, Castellón

<sup>4</sup> Universidad de Granada

<sup>5</sup> Universidad Autónoma de Madrid

## RESUMEN

Las aguas de la Cuenca Zapata, situada al sur de la provincia de Matanzas (Cuba) son caracterizadas desde el punto de vista hidrogeoquímico. La red de muestreo comprende 42 puntos distribuidos en tres perfiles N-S, representativos de aguas de diferente naturaleza (manantiales, surgencias costeras, pozos de abasto, pozos de investigación, corrientes superficiales, lagunas, canales, casimbas).

Los resultados hidroquímicos hasta el presente, permiten establecer algunas regularidades relacionadas con el control de los procesos hidrogeoquímicos. La zona de alimentación del acuífero sometida a una fuerte explotación para el abasto de un plan citrícola no muestra un proceso progresivo de intrusión marina, salvo en un pozo cercano a la ciénaga. El sector occidental presenta elevadas concentraciones de  $Mg^{2+}$  y  $Sr^{2+}$ , que pueden responder a un fuerte control litológico y a procesos de precipitación de calcita y dolomita. En el área de la propia ciénaga se observan bajos contenidos de  $HCO_3^-$  y  $SO_4^{2-}$ , alta relación  $rMg^{2+}/rCa^{2+}$  y baja saturación a la calcita y la dolomita, lo cual está relacionado la presencia de abundante materia orgánica en la ciénaga. En la franja costera se produce una fuerte salinización por mezcla con agua de mar. Los resultados del muestreo isotópico corroboran la presencia del proceso de mezcla y de control litológico encontrados mediante el análisis de isocontenidos y relaciones iónicas.

## INTRODUCCION

Las aguas subterráneas de la Ciénaga de Zapata han sido utilizadas para satisfacer la demanda de diversos planes de desarrollo social y económico, como son el plan citrícola Victoria de Girón, el plan arrocero de Amarillas, la actividad forestal, la pesca y el turismo. Esto ha ocasionado que, debido al alto nivel de extracciones de agua, haya aparecido un incremento en el contenido salino de las mismas.

El proceso de salinización en las zonas costeras es originado, en la mayoría de los casos, por el fenómeno de la intrusión marina. A este fenómeno se asocian diferentes procesos hidrogeoquímicos como son los de precipitación-disolución de minerales, intercambio iónico y procesos de oxidación-reducción. Todos estos procesos modifican la composición química original de estas aguas y en consecuencia dan lugar a cambios en la calidad de éstas para determinados usos, así como a cambios morfológicos en el medio litológico por el cual drenan.

El estudio de la hidroquímica y los procesos hidrogeoquímicos de la Cuenca de Zapata, ha sido abordado por diferentes autores (González Báez y Feitoó, 1988; Fagundo et al., 1988, 1993; Rodríguez et al., 1992; Ferrera et al., 1996; Morell et al., 1997).

Según los resultados obtenidos por González Báez y Feitoó (1988) a partir del estudio de datos hidroquímicos e isótopos ambientales, se concluye que estas aguas deben el incremento de su mineralización en mayor medida al bombeo de aguas salinas de origen marino, pudiendo ser esta una mezcla de aguas de edad reciente y antigua descartándose otros orígenes. Fagundo et al. (1993) hacen un estudio hidrogeoquímico en el que resaltan el proceso de intrusión marina que afecta al área de Bolondrón (Plan Citrícola Victoria de Girón) y la consiguiente evolución desde aguas dulces bicarbonatadas cálcicas en las zonas de alimentación, hasta aguas salinas cloruradas sódicas en las zonas cercanas al mar. En 1991, los institutos de Geografía y de Geodesia y Cartografía de la Academia de Ciencias de Cuba elaboraron el Mapa Hidrológico de la Ciénaga de Zapata (Rodríguez et al., 1993) como aporte al Estudio Geográfico Integral para la proyección del desarrollo socioeconómico de la Ciénaga de Zapata. En dicho mapa se representan los puntos de muestreo más significativos y los análisis químicos correspondientes, realizados entre 1976 y 1991. Ferrera et al. (1996) y Morell et al. (1997) han identificado los diferentes procesos hidrogeoquímicos que intervienen en la composición química de las aguas de esta región.

El presente estudio se ha realizado en el marco del Proyecto de Colaboración Iberoamericana “Estudio hidrogeoquímico y de impacto ambiental en el acuífero costero de la Ciénaga de Zapata (Matanzas, Cuba)”, entre el Centro Nacional de Investigaciones Científicas, perteneciente al Ministerio de Educación Superior, el Instituto de Geografía Tropical del Ministerio de Ciencias Tecnología y Medio Ambiente y las universidades españolas Jaume I de Castellón y de Granada.

Los objetivos de este trabajo son: profundizar en el conocimiento del comportamiento físico-químico de las aguas de esta región y definir los diferentes procesos que intervienen en la adquisición y la posterior evolución de la composición química de estas aguas.

### **Aspectos geográficos, geológicos e hidrogeológicos**

El área de estudio se localiza en el extremo sur de la provincia de Matanzas, Cuba, en el entorno de la Península de Zapata y Bahía Cochinos, comprendida entre las coordenadas geográficas 80° 45' - 82° 10' de longitud oeste y 22° - 22° 45' de latitud norte. Este sector se caracteriza por poseer un relieve cársico marcadamente aplanado (alturas máximas de 40 m sobre el nivel del mar), parcialmente cubierto por la mayor superficie de pantanos y marismas de todo el país, unos 2600 km<sup>2</sup> de extensión, que recibe el nombre de Ciénaga de Zapata.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la Ciénaga de Zapata constituye la zona de emisión de la denominada Cuenca Sur de Matanzas. La red de drenaje superficial de la Cuenca de Zapata está controlada, en general, por las múltiples interrelaciones existentes entre aguas superficiales y aguas subterráneas (pérdidas y ganancias) características de las áreas cársicas, así como por el papel de colector y almacén superficial que juegan las áreas pantanosas de la Ciénaga. Los procesos antrópicos de canalización, regulación y drenaje de áreas encharcadas, han modificado substancialmente la forma y el funcionamiento de la red de drenaje original. La precipitación media anual del área es de unos 1500 mm, de los cuales, un 85 % caen en el período húmedo (Mayo a Octubre). El clima es marítimo tropical, con temperaturas medias anuales de 25 °C.

El área de estudio está constituida principalmente por materiales carbonatados y carbonatado-terrágenos correspondientes a distintas secuencias transgresivas carbonatadas y carbonatado-terrágenas de edades comprendidas entre el Oligoceno y el Pleistoceno. Un detallado estudio de estas secuencias aparecen reportados por diferentes autores (Stwalewski e Iturralde, 1970; Rodríguez et al., 1992; Morell et al., 1997).

Los materiales del Paleógeno y las formaciones de edad Oligoceno-Mioceno, que apenas afloran en superficie dentro del área estudiada, presentan un comportamiento acuícludo o acuitardo. Lo mismo se puede decir para los materiales terrígenos y/o carbonosos que ocupan la Ciénaga de Zapata y las áreas palustres de la Península de Zapata, así como para las formaciones del Pleistoceno, aunque en este último caso alternan niveles acuíferos de escaso espesor (arenas y gravas) con otros de baja permeabilidad (limos y arcillas). Los niveles acuíferos más importantes del sector se corresponden con las formaciones carbonatadas del Mioceno.

En el Estudio Geográfico Integral para la Proyección y desarrollo socioeconómico de la Ciénaga de Zapata (Rodríguez et al., 1992), se realiza la regionalización hidrológica de la Cuenca de Zapata, establecida a partir de su disposición estructuro-litológica, geomorfológica e hidrodinámica, definiéndose cuatro franjas sublatitudinales:

A: Zona de alimentación de la Llanura Kárstica Meridional y de Colón. Ocupa todo el tercio superior de la cuenca y está constituido fundamentalmente por calizas biógenas, detríticas y dolomitizadas del Mioceno Inferior y Medio (Formación Güines).

B: Zona cenagosa de pantanos sobre turbas de las depresiones tectónicas inferiores del norte de la Ciénaga de Zapata.

C: Zona no cenagosa correspondiente a los afloramientos de calizas organodetríticas, organógenas y calcarenitas del Plioceno-Pleistoceno (Formaciones Vedado y Jaimanitas, respectivamente).

D: Zona cenagosa de pantanos costeros del sur de la Ciénaga de Zapata sobre sedimentos limosos y arenarcillosos, con marcada influencia marina.

## MATERIALES Y METODOS

Para el desarrollo de este trabajo se ha utilizado la información obtenida en una campaña de muestreo realizada en el mes de abril de 1995, en el marco de la colaboración científica desarrollada entre el CNIC, el Instituto de Geografía Tropical del CITMA y las universidades de Castellón y Granada.

La red de observación que se ha diseñado consta de 42 puntos de muestreo (manantiales, surgencias costeras, pozos de abasto, pozos de investigación, corrientes superficiales, lagunas, canales, casimbas), distribuidos en tres perfiles de dirección N-S, denominados Playa Girón (PG), Playa Larga (PL) y Santo Tomás (ST). En 16 pozos de investigación se hicieron registros verticales de conductividad eléctrica y temperatura con el equipo portátil de fabricación alemana, conductímetro/termómetro con sonda marca WTW con procesador LF 191 y en 7 de los puntos se tomaron muestras a diferentes profundidades con la ayuda de un hidrocaptor. Las muestras fueron tomadas con la ayuda un hidrocaptor o directamente de la fuente en los casos que era posible y fueron envasadas en frascos de polietileno de 1000 mL.

Se realizaron determinaciones "in situ" de pH, temperatura, conductividad eléctrica, alcalinidad y se tomaron muestras de aguas para su análisis en el laboratorio. En todos los casos, las muestras se tomaron por duplicado para la determinación de iones mayoritarios y minoritarios en una de las muestras y realizar determinaciones isotópicas en la otra. Se conservaron las muestras en refrigeración (4°C) hasta su traslado al laboratorio. Los métodos analíticos utilizados han sido los recomendados por el Standard Methods (APHA, AWA, WPCF, 1995).

El contenido relativo de  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  se ha sido determinado en la Universidad Autónoma de Madrid mediante un Espectrometro de Plasma acoplado inductivamente a Espectrómetro de Masas (ICP-MS).

Los datos hidroquímicos fueron procesados mediante el programa SAPHIQ (Alvarez y Fagundo, 1991) para obtener los cálculos numéricos necesarios (concentraciones iónicas en mg/L y % meq/L, índices de saturación con respecto a la calcita, dolomita y yeso). En la realización de los mapas de isolíneas se ha utilizado el método de extrapolación del programa SURFER Versión 5.0 (Golden Software, 1994). Los diagramas de dispersión y los utilizados en la zonación hidroquímica vertical se realizan mediante el programa Microsoft Excel Versión 5.0a (Microsoft Corporation, 1993).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Según el método de clasificación hidroquímica de Schoukarev las aguas estudiadas se dividen en cuatro grupos. Al primer grupo corresponden las aguas del tipo bicarbonatadas cálcicas, al segundo grupo, las aguas bicarbonatadas cálcico magnésicas, en el tercer grupo están ubicadas las aguas mixtas con mezclas de diferentes facies y en el cuarto grupo se encuentran las aguas del tipo cloruradas sódicas. Existe una correspondencia entre la ubicación de estos tipos de aguas y la regionalización hidrológica, destacándose que en el perfil PG, las aguas del Grupo 1 y Grupo 2 se localizan en la zona de alimentación (Zona A). En el caso de los perfiles PL y ST, estos dos grupos se encuentran en la parte norte de la zona A, mientras que en la parte sur comienzan a aparecer aguas del Grupo 3. A medida que los puntos se acercan a la costa se manifiestan las aguas del Grupo 3 y Grupo 4, ubicadas en la zonas B y C. Es de destacar que en los puntos ST4, ST5 y ST9 se observa la variación desde aguas pertenecientes al Grupo 3 hasta aguas pertenecientes al Grupo 4 a medida que aumenta la profundidad.

En la figura 1, las isolíneas de conductividad eléctrica muestran una distribución coherente con un proceso de mezcla agua dulce-agua de mar. Se puede apreciar la tendencia general al incremento de la conductividad eléctrica a medida que los puntos se acercan a la costa. Se observa una zona de valores mínimos (entre los 500 y 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) que abarca la mayor parte de los puntos del perfil PG y la parte norte de los perfiles PL y ST. En el perfil PG se mantienen los valores anteriores hasta el punto PG7. A partir de este punto, en el recorrido hacia la costa, se incrementa la conductividad eléctrica alcanzándose valores de hasta 2 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (PG10). En el perfil PL se observa el incremento de la conductividad eléctrica a medida que los puntos se acercan a la costa. La

conductividad eléctrica en el perfil ST tiene un comportamiento similar al antes descrito, presentando valores altos en el punto ST4 con 2320  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en el punto ST7 con 2150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El contenido de cloruros se comporta de manera similar al de la conductividad eléctrica.

Es de destacar que en los registros verticales realizados en los pozos ST4, ST5, ST8 y ST9, la conductividad experimentó un gran incremento con la profundidad, acercándose incluso a los valores de conductividad del agua de mar.

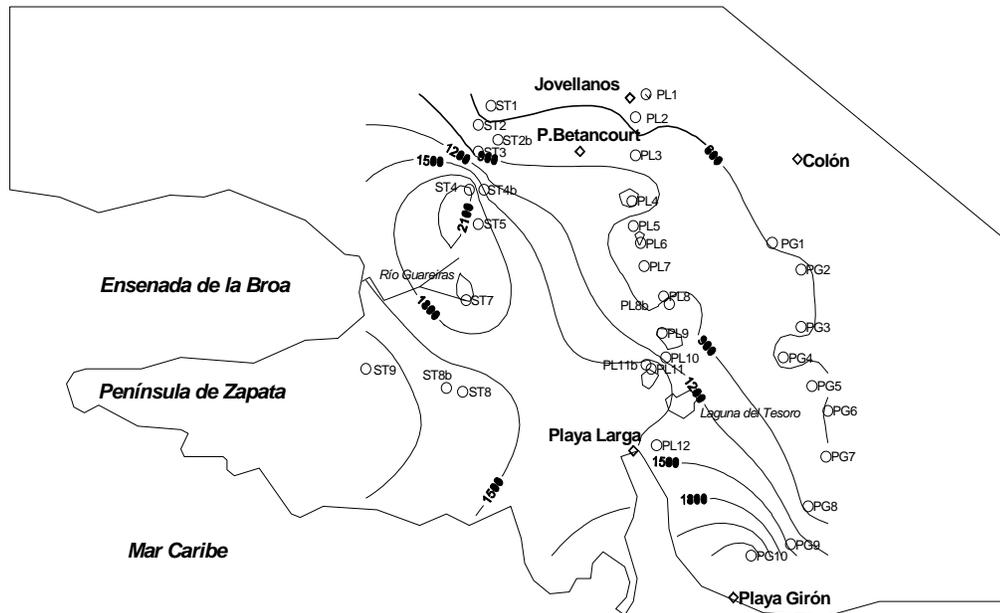


Fig. 1. Mapa de isóneas de conductividad eléctrica en la Ciénaga de Zapata

En el mapa de distribución de las isóneas de la relación  $r\text{Cl}^-/r\text{HCO}_3^-$  (Fig. 2) se observa el incremento de esta relación desde las zonas de alimentación de la Llanura Kárstica Meridional de Matanzas y la parte noreste donde está situado el perfil PG hasta las zonas costeras. Se aprecian dos puntos interiores con valores altos. Son estos los puntos ST7, PL10, PL11 y PL11b donde han aparecido indicios de precipitación de  $\text{CaCO}_3$ .

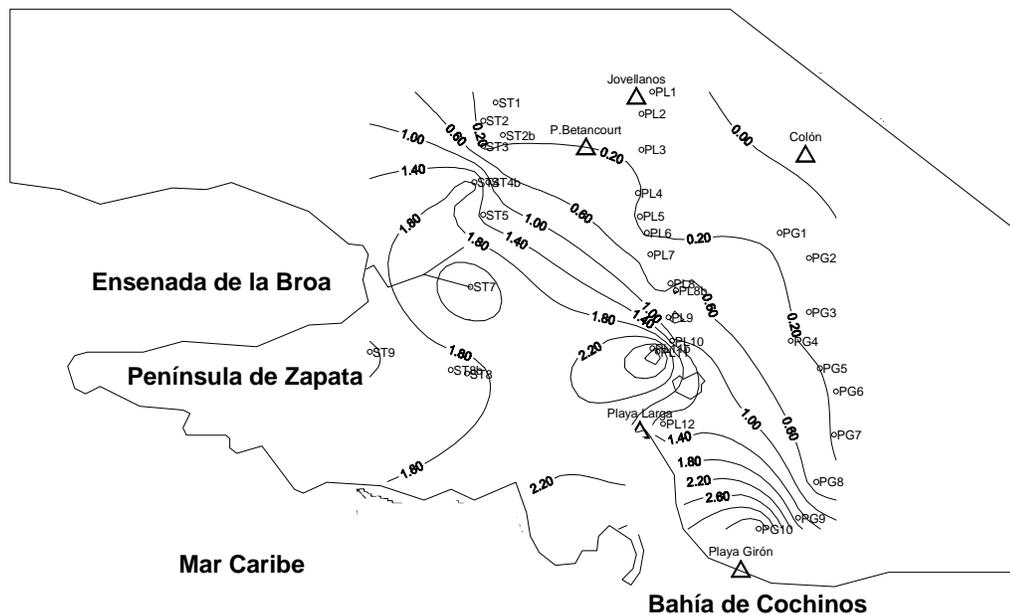


Fig. 2. Mapa de isóneas de la relación  $r\text{Cl}^-/r\text{HCO}_3^-$

Analizando el comportamiento de la relación  $rMg^{2+}/rCa^{2+}$  en las aguas existe evidencia de una posible intrusión del agua de mar en el acuífero. El comportamiento de esta relación (Fig. 3) coincide con el de la relación  $rCl/rHCO_3^-$  con lo cual se corrobora la presencia del fenómeno de intrusión marina. En el perfil PG se precian valores  $< 1$ , excepto en los dos puntos más cercanos a la costa. En el perfil PL y ST los valores de esta relación van incrementándose en la franja costera. Los máximos de esta relación ubicados en los pozos Piscifactoría y Turbera se deben a la disminución del contenido de Ca en estas aguas lo cual origina un aumento desmedido de esta relación (hasta 7,3).

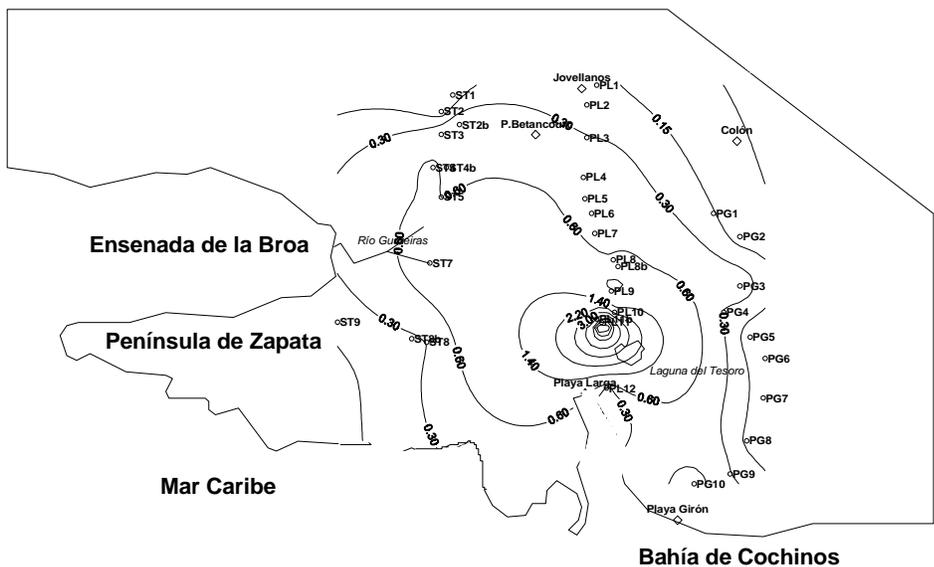


Fig. 3. Mapa de isolíneas de la relación  $rMg^{2+}/rCa^{2+}$

En el mapa de distribución de la relación  $rSO_4^{2-}/rCl$  (Fig. 4) se aprecia que en la zona de alimentación del acuífero existen valores correspondientes a las aguas dulces. En los pozos de la franja costera, así como los puntos muestreados a diferentes profundidades esta relación toma valores cercanos a los del agua de mar.

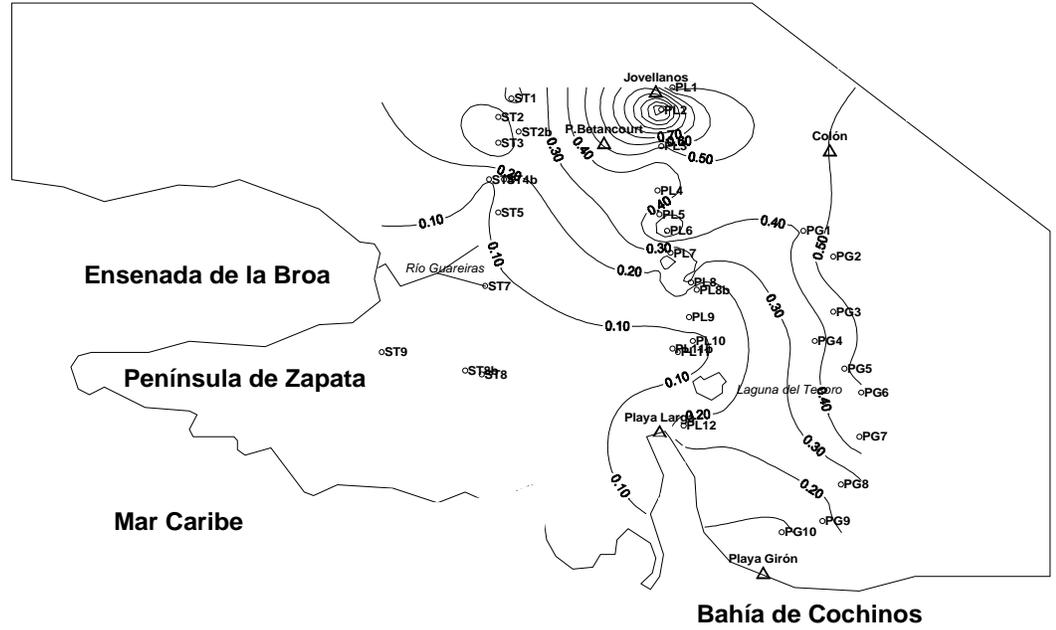


Fig. 4. Mapa de isolíneas de la relación  $rSO_4^{2-}/rCl$

En cuanto a los índices de saturación, todas las aguas están sobresaturadas con respecto a la calcita, salvo las correspondientes a la Ciénaga (Piscifactoría y Turbera), en donde están en equilibrio o ligeramente insaturadas. Respecto a la dolomita, las aguas del sector de Bolondrón están sobresaturadas, así como las aguas de la franja costera, más salinas. En el perfil PG, por el contrario las aguas están claramente insaturadas.

### Comportamiento del contenido de $^2\text{H}$ y $^{18}\text{O}$ .

Se realiza el estudio isotópico a partir de los contenidos de Oxígeno 18 ( $^{18}\text{O}$ ) y Deuterio ( $^2\text{H}$ ) en 28 de los puntos muestreados en la Ciénaga de Zapata. En la confección de la Línea de Aguas Meteoricas se ha utilizado la ecuación obtenida por Molerio (1992) a partir de datos de diferentes estaciones hidrometeorológicas en Cuba:  $\delta ^2\text{H} = 6,73 \delta ^{18}\text{O} + 7,296$ . La variación de los contenidos de  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  en las aguas de la Ciénaga de Zapata se muestra en la figura 5.

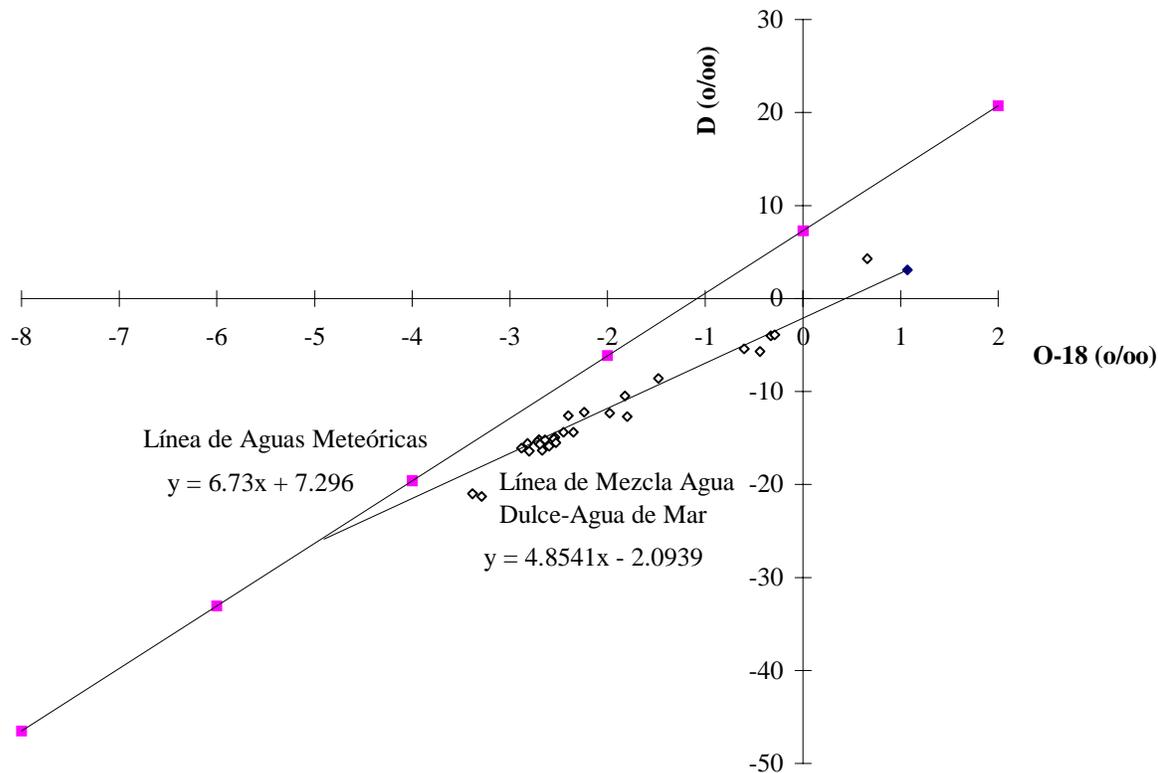


Fig. 5. Variación de los contenidos de  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  en las aguas de la Ciénaga de Zapata

Se puede observar que el agua del mar Caribe está ligeramente enriquecida en estos isótopos ( $\delta ^2\text{H}= 3.1$  y  $\delta ^{18}\text{O}= 1,07$ ). Esto se debe a que las aguas del mar Caribe al tener un contacto limitado con el océano se comporta como un agua superficial del océano sujeta a los procesos de evaporación (Arellano et al., 1994). Se aprecia que todas las muestras se encuentran por debajo de la Línea de Aguas Meteoricas y la mayoría de ellas están ubicadas alrededor de la línea que representa la mezcla con agua de mar. Este hecho corrobora que la causa de la salinización en estas aguas es la mezcla con agua de mar.

En la zona de alimentación del acuífero los contenidos de  $^{18}\text{O}$  oscilan entre -2,7 y -2,24 y de  $^2\text{H}$ , entre -15,4 y -12,2. Los pozos de esta zona del perfil PG están ligeramente enriquecidos en estos isótopos en comparación con los otros pozos. En las surgencias costeras el  $^{18}\text{O}$  está comprendido entre -0,44 y -0,33 y de  $^2\text{H}$ , entre -5,7 y -4. En los pozos muestreados a diferentes profundidades se aprecia el incremento de estos contenidos con la profundidad hasta alcanzar valores del agua de mar, ejemplo de esto es el punto ST4 (La Guásima) donde a los 75 m el  $^2\text{H}= 4,3$  y  $^{18}\text{O}= 0,66$ .

En la figura 6 se observan las variaciones del  $^{18}\text{O}$  con respecto a la salinidad (en términos de conductividad eléctrica). Los puntos del perfil PG (1,3,7 y 10) están alejados de la línea que representa la mezcla con agua de mar siendo el punto PG 10, el que denota un mayor enriquecimiento en  $^{18}\text{O}$  (-0,6) en comparación con otros puntos de similares valores de conductividad eléctrica. Según la ubicación de estos puntos en el diagrama se puede identificar la presencia de un proceso no inherente a la mezcla con agua de mar sino relacionado con los procesos de evaporación en las aguas los cuales tienden a enriquecer ambos isótopos pesados en el agua pero no en la relativa proporción indicada por la relación en la mezcla con agua de mar. Es de destacar que en estos puntos del perfil PG, las conductividades están comprendidas entre los 591 y 622  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y no existe evidencia de salinización por mezcla. Los puntos pertenecientes a los perfiles PL y ST se ubican alrededor de la línea de mezcla con agua de mar.

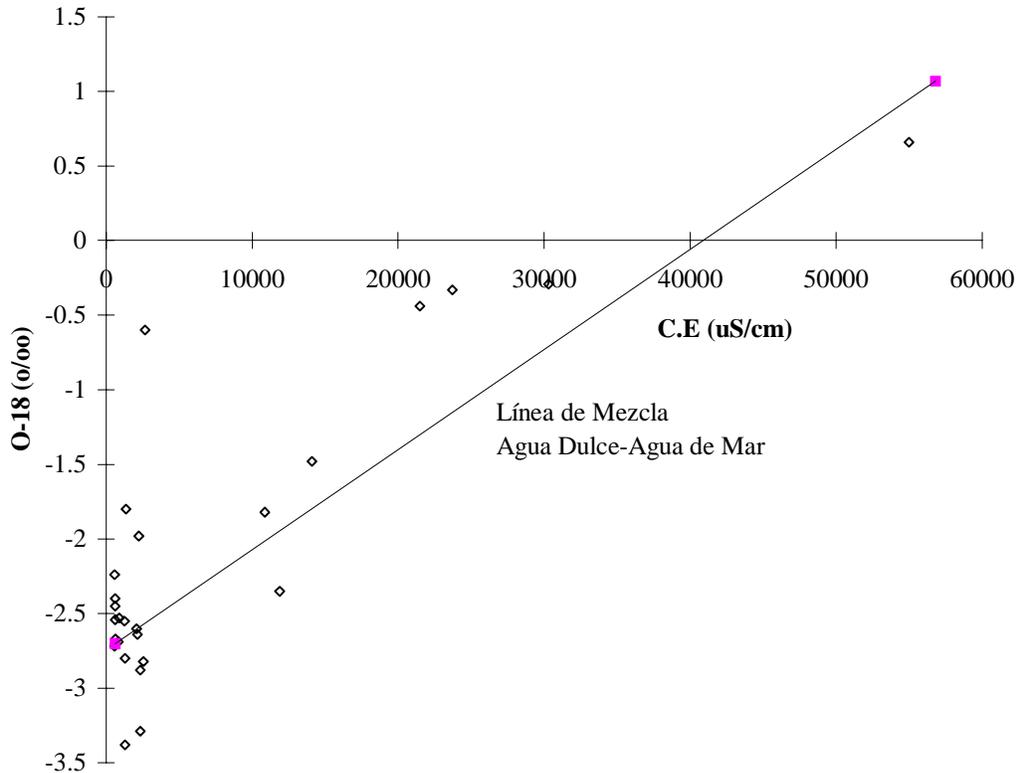


Fig. 6. Variaciones del contenido de  $^{18}\text{O}$  con la conductividad eléctrica

### CONCLUSIONES

En la zona de estudio fueron encontrados cuatro grupos de aguas: las aguas bicarbonatadas cálcicas ( $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ ); las aguas bicarbonatadas cálcico magnésicas ( $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ ); las aguas mixtas con mezclas de diferentes facies ( $\text{HCO}_3\text{-Cl-Ca-Na}$ ;  $\text{Cl-HCO}_3\text{-Ca-Na}$ ;  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Ca-Mg}$ ;  $\text{Cl-HCO}_3\text{-Mg-Ca}$ ) y las aguas cloruradas sódicas ( $\text{Cl-Na}$ ). Existe una estrecha interrelación entre la ubicación de estos tipos de aguas y la regionalización hidrológica de la Ciénaga de Zapata.

Los perfiles Playa Larga y Santo Tomás presentan rasgos de salinización, lo cual va a incrementarse a medida que los puntos se acercan a las zonas costeras. Sobre la base de los resultados obtenidos a partir del estudio hidroquímico de estas aguas y corroborado por el análisis de los contenidos de  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$ , la causa principal de este incremento en la mineralización es la mezcla de las aguas del acuífero con el agua del mar Caribe.

Los procesos hidrogeoquímicos que intervienen en la adquisición y posterior evolución de la composición química de estas aguas son: los procesos de precipitación-disolución de calcita y/o dolomita (Perfil Santo Tomás) relacionados tanto con los procesos de mezcla agua dulce-agua de mar como con un fuerte control litológico; la reducción de sulfatos, relacionada con la abundancia de materia orgánica (área de la Ciénaga occidental, al norte de la Bahía de Cochinos).

## BIBLIOGRAFIA

- APHA, AWA, WPCF (1995). Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewater. 16<sup>th</sup>. Ed. USA.
- Alvarez, E. y Fagundo, J.R. (1991). SAPHIQ un sistema para el procesamiento de datos hidroquímicos. Revista C.N.I.C. Ciencias Químicas, 22, 1: 59 - 64.
- Arellano, D.M., Molerio, L., Santos, A. (1994). Dinámica del flujo regional en el manejo metamórfico de la Isla de la Juventud, Cuba. IAEA-TEDOC 835, Viena: 175 - 194.
- Fagundo, J.R.; Morera, W. y Benítez, G (1988). Modelos matemáticos para el control de la composición química de las aguas del Plan Citrícola Victoria de Girón, Bolondrón, Matanzas, mediante mediciones de conductividad eléctrica. Informe Científico técnico INRH, C. Habana, 62 p.
- Fagundo, J.R.; Rodríguez, J.E.; Benítez, G.; Morera, W.; Fernández, C. y Vega, J. (1993). Caracterización hidroquímica y control de la calidad de las aguas del curso de la Cuenca de Zapata. En: Llanos, H.J.; Antigüedad, I.; Morell, I. and Eraso, A. (eds). I Taller Internacional sobre Cuencas Experimentales en el Karst. Matanzas, Cuba: 73 - 81.
- Ferrera, V., Morell, I., Fagundo, J.R., Pulido-Bosch, A., López-Chicano, M., Rodríguez, J., Giménez, E. (1996). Caracterización hidroquímica general de La Ciénaga de Zapata, Matanzas, Cuba. En: Contribuciones a la Hidrogeología y Medio ambiente en Cuba. Eds. J.R. Fagundo, D. Pérez Franco, J.M. García, A. Alvarez Nodarse, I. Morell: 237 - 254.
- Golden Software, Inc. (1994). Surfer for Windows. Version 5.0, USA.
- González Báez, A y Feitoó, R. (1988). Estudio mediante isótopos ambientales y datos hidroquímicos de los cambios cualitativos y origen de las aguas subterráneas de la parte central de la cuenca sur de Matanzas. Voluntad Hidráulica, 80: 57 - 66.
- Microsoft Corporation (1993). Microsoft Excel. Version 5.0a. USA.
- Molerio, L.F. (1992). Composición Química e Isotópica de las Aguas de LLuvia de Cuba. II Cong. Espel. Latinoamérica y el Caribe, Viñales, Pinar del Río, Cuba: 20 - 21.
- Morell, I.; Giménez, E.; Fagundo, J.R; Pulido-Bosch, A.; López-Chicano, M.; Calvache, M.L. and Rodríguez, J.E. (1997). Hydrochemistry and Karstification in the Cienaga de Zapata aquifer (Matanzas, Cuba). In: Karst Waters & Environmental Impacts, Günay & Johnson (eds), Balkema, Rotterdam: 191 - 198.
- Rodríguez, J.E.; Llanes, J.F.; Chong Li, A.; Cuellar, A. y Fagundo, J.R. Estudio Geográfico Integral para la proyección del desarrollo socioeconómico de la Ciénaga de Zapata (1992). Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba, 225 p.
- Rodriguez, J.E, Cuellar, A, Llanes, J.F., Chong Li, A., Fagundo, J.R. (1993). Mapa hidrogeologico de la Ciénaga de Zapata escala 1:100000. Ed. ACC e ICGP.
- Skwalestki, E.N. and Iturralde-Vinent, M.A. (1970). Investigaciones ingeniero-geológicas con fines hidroeconómicos en Cuba. GHN-DAP, La Habana.