

## CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE LAS AGUAS DEL PAN DE GUAJAIBON Y OTRAS ÁREAS CÁRSICAS CERCANAS EN LA SIERRA DEL ROSARIO

J.R. Fagundo<sup>1</sup>, J.E. Rodríguez<sup>2</sup>, J.M. Pajón<sup>3</sup>, E. Franco<sup>2</sup>, G. Benítez<sup>1</sup>,  
A.C. Rodríguez<sup>1</sup>, J. Guéron<sup>1</sup>, I. Abelló<sup>1</sup>

1 Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Cuba

2 Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de Cuba

3 Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba

### RESUMEN

En la región del Pan de Guajaibón, seleccionada como polígono experimental para el estudio de la dinámica del curso en condiciones tropicales, afloran diferentes secuencias estratigráficas (rocas efusivo-sedimentarias, ultrabasitas y calizas de diferente formación geológica) y las aguas presentan diferentes condiciones de escurrimiento superficial y subterráneo.

Durante el período 1984-1989 se muestrearon, en forma sistemática varios sitios representativos de los distintos tipos de aguas y además, de manera no sistemática, se tomaron muestras en otros sitios de esta región y del área aledaña en la sierra del Rosario.

En este trabajo se discute el modo de evolución de la composición química y las relaciones empíricas que se establecen entre la concentración iónica y la conductividad eléctrica. Se encontró que mediante un número pequeño de ecuaciones de dependencia matemática entre la concentración iónica y la conductividad eléctrica (agrupadas en base a la similitud de sus pendientes y su composición química relativa), se puede predecir la composición iónica mediante mediciones en el campo con conductímetros portátiles.

Estos grupos se corresponden con los determinados por el método de análisis de "cluster". Las ecuaciones de mejor ajuste fueron en todos los casos de tipo lineal, demostrándose que en esta región la litología constituye el factor dominante en el modo de adquisición de la composición química de las aguas, excepto en las de origen profundo, donde este tipo de escurrimiento controla la composición.

### INTRODUCCIÓN

Relaciones empíricas entre la conductividad eléctrica y una serie de parámetros químico-físicos característicos de las aguas naturales han sido reportados en la literatura: mineralización (Bakalowicz, 1974), total de sólidos solubles (Keith Told, 1957), salinidad (Gutiérrez et al., 1974), dureza (Brag, 1977), raíz cuadrada de la fuerza iónica (Shuster y White, 1965); así como la concentración de los principales iones (Drake y Ford, 1974). El empleo de las ecuaciones de regresión correspondientes ha facilitado los cálculos de muchos de estos indicadores y han sido utilizadas incluso, para la caracterización de acuíferos (Fagundo, 1985).

Con respecto a la concentración iónica, sólo se han encontrado correlaciones significativas con los iones más abundantes, lo que ha limitado aparentemente el uso de ecuaciones de regresión en el control de la calidad de las aguas en forma extensiva.

En un trabajo anterior (Alvarez et al., 1990) se presentó un sistema automatizado para el monitoreo de las aguas (SAMA), el cual permite de manera rápida y eficaz, determinar y almacenar juegos de ecuaciones matemáticas (modelos empíricos) concentración iónica-conductividad eléctrica, que son características para un sitio o área donde la mayor parte de los factores que controlan el modo de adquisición química de las aguas se hacen constantes.

Aplicando este sistema a los análisis químicos efectuados a distintos intervalos de tiempo en un experimento de laboratorio sobre la disolución de rocas carbonatadas (Fagundo, 1989), se encontró que la magnitud de las pendientes de las líneas rectas correspondientes al ajuste de datos de contenido iónico-conductividad eléctrica dependía de la composición mineralógica de dichas rocas.

En el presente trabajo se exponen los resultados de la determinación de la composición química mediante modelación matemática, de las aguas de la cuenca del río San Marcos, Sierra del Rosario, Pinar del Río, donde desde 1984 se vienen realizando estudios sistemáticos entre especialistas cubanos y polacos, para determinar la intensidad de denudación química y el proceso de evolución del carso en condiciones de clima tropical (Pulina et al., 1984), con el objetivo de comparar los resultados con los de otras regiones cársicas ubicadas en otras latitudes.

Además de presentar esta cuenca, calizas de diferentes edades geológicas, están representadas otras litologías, todo lo cual le confiere a esta región características excepcionales para los estudios relacionados con la determinación de la composición química de las aguas que se mueven por los distintos medios geológicos mediante modelación matemática. También se estudian aguas de la Sierra del Rosario procedentes del drenaje profundo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el período 1984-1987 se realizó un muestreo sistemático en cuatro sitios de la cuenca: Sumidero Mamey, Resurgencia Canilla, Surgencia Ancón y Manantial Mil Cumbres, representativos respectivamente de las corrientes superficiales que se mueven por los efusivo-sedimentarios; resurgencia cársica en las calizas de la Formación Guajaibón, alimentada por aportes alóctonos y autóctonos; emergencia cársica en las calizas de la Formación Chiquita alimentada por aportes autóctonos solamente y manantial cársico en calizas de la Formación Artemisa.

Además de los muestreos sistemáticos, se realizaron otros en períodos seco y húmedo respectivamente, en otros sitios representativos de los restantes medios geológicos e hidrogeológicos: arroyos superficiales que se mueven por el medio vulcanógeno-sedimentario (excluyendo al arroyo Mamey), arroyos superficiales de la zona de las ultrabasitas, aguas tomadas en la zona de alimentación y en las cuevas del macizo del Pan de Guajaibón, en arroyos, manantiales y resurgencias asociadas a este macizo, otros manantiales asociados a las calizas de la formación Artemisa y en el propio río San Marcos.

La temperatura, el pH, la conductividad eléctrica y los análisis químicos fueron realizados en condiciones de campo mediante las técnicas de Markowicz y Pulina (1979). El régimen de precipitaciones, nivel de los ríos, así como sus gastos fueron controlados mediante las estaciones hidroclimáticas instaladas en esta región en el marco del programa de investigación al que hemos hecho referencia.

Con la información hidroquímica del período 1984-1987, se confeccionaron ficheros de datos, con los cuales se determinaron, mediante el sistema SAMA (Alvarez et al., 1990), los modelos de dependencia matemática entre la concentración iónica y la conductividad eléctrica.

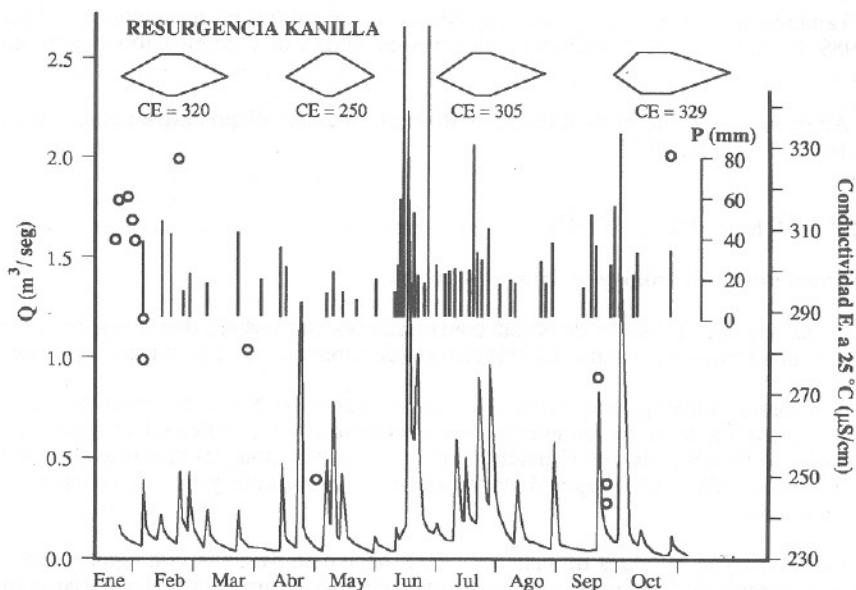


Figura 1. Variación de los caudales, la conductividad (como expresión de mineralización) y la composición química (diagramas de Stiff), de las aguas de la resurgencia Canilla. Período Enero-Octubre 1984.

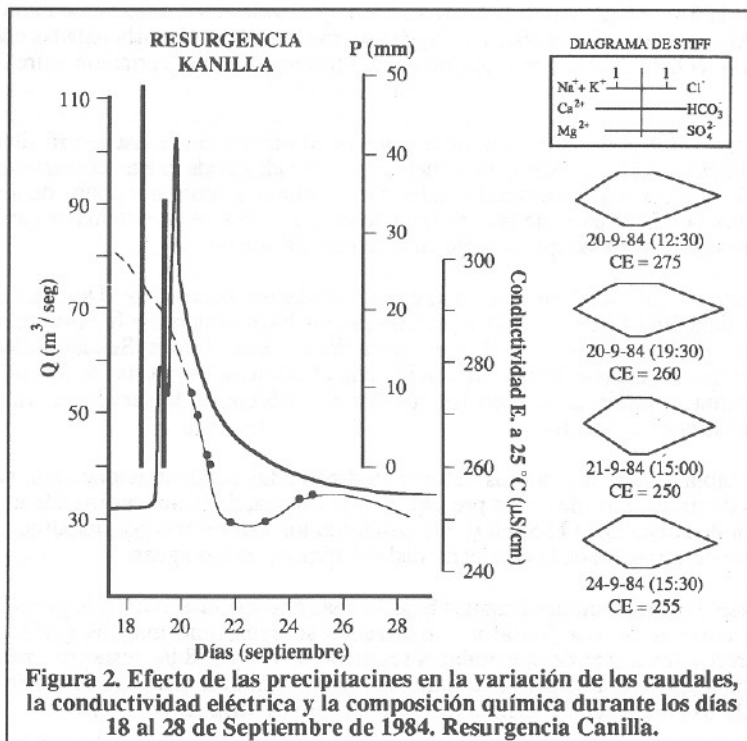


Figura 2. Efecto de las precipitaciones en la variación de los caudales, la conductividad eléctrica y la composición química durante los días 18 al 28 de Septiembre de 1984. Resurgencia Canilla.

También se crearon ficheros de comprobación con valores correspondientes al período 1988-1989. En la tabla 1 se describen los ficheros de datos y de comprobación creados en este trabajo.

Además, se empleó el módulo de análisis de "cluster" disponible en el sistema CSS, versión B640 (StatSoff, 1987).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización hidrológica e hidroquímica.

La cuenca del río San Marcos está constituida por una red de drenaje superficial y otra de tipo subterránea. El sistema hidrológico puede subdividirse de la manera siguiente:

El sistema hidrológico Canilla, que ocupa la porción Norte del macizo del Pan de Guajaibón, su cuenca de captación integra varias corrientes superficiales estacionales de breve recorrido epígeo que penetran en el macizo por un sistema de ponores ubicados en la porción noroccidental. De ellos, el arroyo Mamey es el más importante y se origina en el medio efusivo-sedimentario.

Estos arroyos, después de penetrar en el macizo se mezclan con aguas autóctonas, organizan su circulación a nivel de los ríos superficiales y resurgen al exterior, en la misma porción noroccidental, en la denominada Resurgencia Canilla. A este sistema están asociadas las cuevas Mamey y Canilla.

En la zona de los efusivo-sedimentarios, las aguas son durante todo el año del tipo bicarbonatadas cálcico sódicas. Las conductividades eléctricas, en el período estudiado, variaron entre 125 y 565  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En el arroyo Mamey el valor medio de esta magnitud fue de 439  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Al alcanzar el área cársica las aguas se transforman en bicarbonatadas cálcicas. La conductividad eléctrica media obtenida fue de 293  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con una variación entre 210 y 360  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

El sistema hidrológico Ancón, cuya zona de alimentación se encuentra situada en la porción central del macizo, constituye una depresión elevada donde existe, con gran desarrollo, una serie de formas cársicas de absorción tales como dolinas y simas por donde de una manera rápida se infiltra la mayor parte de las precipitaciones y a través de un sistema de cavidades, se organiza el drenaje subterráneo que emerge en la Surgencia Ancón.

El drenaje superficial en esta zona es prácticamente inexistente. Después de salir al exterior el río tiene un breve recorrido superficial, se vuelve a sumergir y finalmente resurge en la denominada Resurgencia Ancón II, muy cerca del río San Marcos. Sus aguas todo el año son del tipo bicarbonatadas cálcicas. La conductividad eléctrica media fue de 394  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la zona de alimentación, 280  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en las cuevas, 332  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la surgencia Ancón y 375  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la resurgencia Ancón II.

En la tabla 2 se presentan los valores medios de las concentraciones relativas (en % meq/l) de los distintos tipos de aguas presentes en la cuenca, de la mineralización en términos de total de sólidos disueltos (TSS, en mg/l), así como los valores medios, máximos, mínimos y el coeficiente de variación de la conductividad eléctrica de dichas aguas.

En base a las mediciones limnigráficas hechas durante el año hidrológico 1984-1985, así como su correlación con los aforos realizados se determinó que los gastos máximos correspondieron a los meses de noviembre y septiembre: 471 y 528 l/s respectivamente para el sistema Ancón y 254 y 211 l/s para el Canilla. Los valores mínimos se registraron en el mes de marzo: 72 y 22 l/s para Ancón y Canilla respectivamente (Rodríguez et al, 1989).

En la figura 1 se muestra la relación entre las precipitaciones, los caudales, la conductividad eléctrica del agua y su composición química, expresada mediante diagramas de Stiff (1951) durante ese año en la Resurgencia Canilla.

Una característica de estos arroyos, es la rapidez con que responden ante el estímulo de las precipitaciones una vez llenos los depósitos subterráneos que lo componen. En esos casos se produce una rápida crecida, a la cual sigue una descarga también rápida, una vez que cesen las lluvias.

En la figura 2 se presenta el efecto de las precipitaciones en la variación de los caudales, la conductividad eléctrica y la composición química de las aguas (mediante diagramas de Stiff) de la Resurgencia Canilla en el período comprendido entre el 18 y el 28 de septiembre de 1984.

Tal como se aprecia en las figuras 1 y 2, como resultado de las precipitaciones tanto anuales como temporales, cambia la composición cuantitativa de las aguas de esta resurgencia. Sin embargo, desde el punto de vista cualitativo éstas se mantienen en todo momento como bicarbonatadas cálcicas.

La fluctuación estacional de la mineralización de las aguas de la cuenca del río San Marcos estudiadas sistemáticamente, es por lo general grande como puede apreciarse en la figura 3 y se desprende del valor del coeficiente de variación de la conductividad eléctrica (tabla 2).

Esta fluctuación es mayor, como es lógico, en las aguas de tipo superficial que en las subterráneas. El relativamente alto valor del coeficiente de variación de la conductividad eléctrica en las aguas subterráneas indica el alto grado de cavernosidad de este medio, especialmente en los sistemas Canilla y Ancón.

El sistema hidrológico Cajalbana está constituido por arroyos superficiales que vierten sus aguas al río San Marcos. Se alimentan directamente de las precipitaciones y de algunos manantiales que emergen en el propio curso. Sus aguas son del tipo bicarbonatadas magnesianas con una conductividad eléctrica media, en el período estudiado, de 353  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la cual fluctuó entre 320 y 365  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

El sistema hidrológico asociado a la Formación Artemisa, está constituido por una serie de arroyos que se originan en manantiales que brotan en el contacto de las calizas con las secuencias impermeables de tipo terrígenas.

Sus aguas son del tipo bicarbonatadas cálcicas, pero poseen un contenido ligeramente mayor de ion  $\text{SO}_4^{2-}$  y más elevado contenido de  $\text{CO}_2$  que el resto de las aguas cársicas. En el manantial Mil Cubres, representativo de este medio la conductividad eléctrica media fue de 430  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , variando entre 403 y 460  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Las aguas del río San Marcos, que resultan de la mezcla son del tipo bicarbonatadas cálcicas, aunque reflejan un contenido ligeramente más elevado de  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  que las propias del sistema cársico. La conductividad eléctrica media obtenida fue de 367  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con variación entre 310 y 445  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Finalmente, se incluyen en este trabajo las aguas del manantial San Diego de los Baños, del tipo sulfatadas cálcicas, con elevadas temperaturas, mineralización y conductividad eléctrica, las cuales proceden del drenaje profundo y se utilizan para el tratamiento balneológico.

## Relaciones empíricas concentración iónica-conductividad eléctrica

En la tabla 3 se presentan las pendientes de las ecuaciones de regresión resultantes del ajuste de la información hidroquímica, correspondiente a los ficheros de datos confeccionados con la información original (período 1984-1987). Obsérvese que existe una estrecha relación entre la magnitud de estas pendientes y la composición química en % de meq/l de estas aguas (ver tabla 2), lo cual indica que en esta región la litología es el factor dominante en el modo de adquisición de la composición química de las aguas.

Los índices de similitud entre la composición química real y la determinada por modelación matemática, que aparecen en la misma tabla 3, en la mayoría de los casos es superior al 85 %. Esto quiere decir, que los juegos de ecuaciones de regresión determinados mediante el sistema SAMA, son satisfactorios para controlar la composición química y la mineralización de estas aguas, para lo cual solo basta medir la conductividad eléctrica de las mismas. Tomando en consideración las magnitudes de las pendientes, se pueden destacar seis juegos de ecuaciones que poseen pendientes semejantes entre sí.

Al procesar por el programa Modelo Polinómico del sistema SAMA, los datos hidroquímicos de todas las aguas muestreadas en el período 1984-1987 con todos los ficheros de modelos, se encuentra que los mayores valores de los índices de similitud medio se obtienen cuando los modelos corresponden a los ficheros de datos con los cuales fueron obtenidos esos modelos (IS medio superior a un 84 %). Además se obtuvieron valores de IS relativamente altos al procesar los datos con modelos determinados con ficheros de datos correspondientes a medios geológicos similares.

Por tanto, a partir de los resultados presentados en las tablas 2 y 3; así como de la matriz de IS a la cual se hizo referencia en el párrafo anterior, se pueden seleccionar cuatro modelos o patrones hidrogeoquímicos, mediante los cuales se pueden caracterizar todas las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca, y además determinar la composición química en lo sucesivo, empleando dichos modelos o patrones, así como mediciones de conductividad eléctrica.

Con el objetivo de comprobar la validez de los patrones seleccionados agrupando los datos originales (1984-1987) correspondientes a cada unidad geológico-hidrogeológica, se procedió a correlacionar con estos modelos, los datos hidroquímicos correspondientes a un período de tiempo ulterior (1988-1989). En la tabla 4 puede apreciarse que los valores de IS medios, entre los valores reales y los obtenidos por estos modelos es superior al 87 %.

En la tabla 5 se muestran las concentraciones iónicas medias en % de meq/l, de la mineralización (en mg/l), así como los valores mínimos, medios, máximos y de los coeficientes de variación de la conductividad eléctrica de las aguas correspondientes a las nuevas unidades agrupadas bajo el criterio de la semejanza recíproca de la composición química relativa y de las pendientes de sus ecuaciones de regresión.

Las magnitudes de estas pendientes aparecen en la tabla 6. Los principales patrones hidrogeoquímicos de estas aguas, incluyendo las del manantial San Diego se muestran en la figura 4 mediante diagramas de Stiff (la concentración iónica se toma dividiendo por 10 la composición química expresada en % meq/l).

En la tabla 7 se presentan los valores de los IS medios obtenidos al procesar los ficheros de comprobación (período 1988-1989) con los modelos determinados por el procedimiento de agrupación señalado anteriormente. En todos los casos este valor es superior al 87 %, demostrándose que estos nuevos modelos también son válidos para la caracterización y control de la composición química de las aguas de la cuenca, sobre la base de mediciones de conductividad eléctrica.

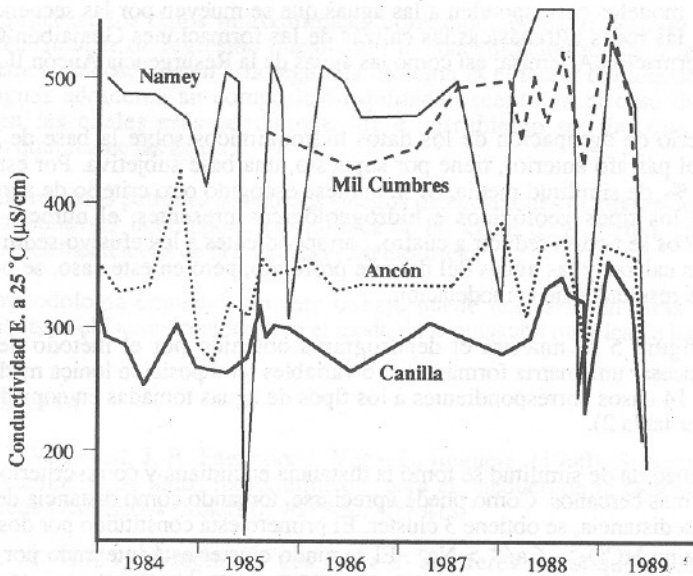


Figura 3. Variación de la conductividad eléctrica de las aguas muestreadas simultáneamente en diferentes sumideros y surgencias durante el periodo 1984-89.

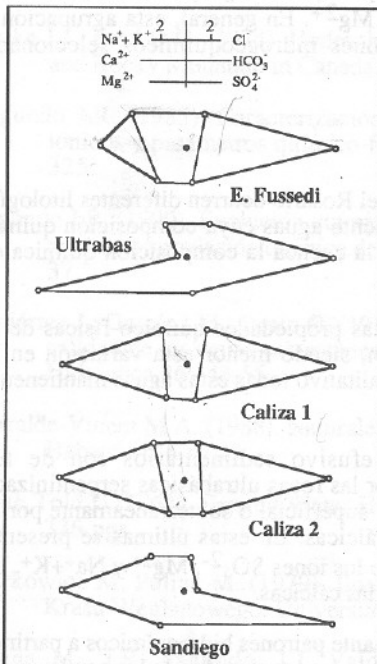


Figura 4. Patrones hidrogeoquímicos de la cuenca del río San Marcos y de las aguas de origen profundo de la Sierra del Rosario

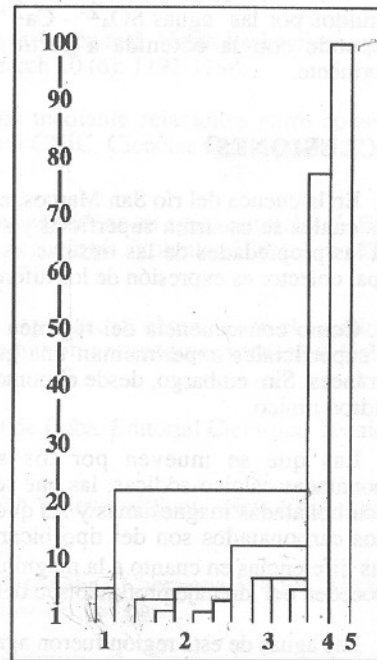


Figura 5. Resultado del análisis de "cluster" de las composiciones medias (% meq/l) de las aguas de la cuenca del río San Marcos y las de origen profundo de la Sierra del Rosario

Dichos modelos corresponden a las aguas que se mueven por las secuencias efusivo-sedimentarias, las rocas ultrabásicas, las calizas de las formaciones Guajaibón-Chiquita, las calizas de la Formación Artemisa; así como las aguas de la Resurgencia Ancón II y del río San Marcos.

El criterio de agrupación de los datos hidroquímicos sobre la base de los aspectos discutidos en el párrafo anterior, tiene por supuesto, una base subjetiva. Por este método se obtiene un 87 % de similitud media. Si se hubiese escogido otro criterio de agrupación, por ejemplo el de los tipos geológicos e hidrogeológicos presentes, el número de patrones hidrogeoquímicos se podría reducir a cuatro, correspondientes a los efusivo-sedimentarios, las ultrabásitas, las calizas y las aguas del drenaje profundo, pero en este caso, se perdería en la precisión de los resultados de la modelación.

En la figura 5 se muestra el dendrograma obtenido por el método de análisis de "cluster", al procesar una matriz formada por 6 variables (composición iónica media expresada en % meq/l) y 14 casos correspondientes a los tipos de aguas tomadas en consideración para este estudio (ver tabla 2).

Como medida de similitud se tomó la distancia euclidiana y como criterio de unión el de los vecinos más cercanos. Como puede apreciarse, tomando como distancia de corte un 10 % de la máxima distancia, se obtiene 3 cluster. El primero está constituido por dos casos cuyas aguas son del tipo  $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$ . El segundo cluster está integrado por 6 casos y el tercero por 4 casos, cuyas aguas son del tipo  $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ . En el segundo se agrupan fundamentalmente las aguas asociadas a las formaciones geológicas Guajaibón y Chiquita, mientras que en el tercero se agrupan principalmente las aguas asociadas a la Formación Artemisa y al propio río San Marcos. Además, quedan sin agrupar otros dos casos, constituidos por las aguas  $\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$  y  $\text{HCO}_3^- - \text{Mg}^{2+}$ . En general, esta agrupación se corresponde con la obtenida a partir de los patrones hidrogeoquímicos seleccionados anteriormente.

## CONCLUSIONES

En la cuenca del río San Marcos, en la Sierra del Rosario ocurren diferentes litologías, por las cuales se escurren superficial y subterráneamente aguas cuya composición química refleja las propiedades de las mismas. A lo largo de la cuenca la composición química del principal colector es expresión de los diferentes aportes.

Como consecuencia del régimen de lluvias, las propiedades químico-físicas de las aguas superficiales experimentan una gran variación, siendo menor esta variación en las subterráneas. Sin embargo, desde el punto de vista cualitativo todas estas aguas mantienen su tipo hidroquímico.

Las que se mueven por los sedimentos efusivo sedimentarios son de tipo bicarbonatadas cálcico-sódicas; las que se mueven por las rocas ultrabásicas serpentinizadas son bicarbonatadas magnesianas y las que se escurren superficial o subterráneamente por los macizos carbonatados son del tipo bicarbonatadas cálcicas. En estas últimas se presentan algunas diferencias en cuanto a la magnitud relativa de los iones  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ . Las que proceden del drenaje profundo son del tipo sulfatadas cálcicas.

Las aguas de esta región fueron agrupadas mediante patrones hidroquímicos a partir de la composición química relativa expresada en % meq/l (o las magnitudes de las pendientes de que relacionan la composición química con la conductividad eléctrica) y mediante el método de análisis de cluster, no encontrándose diferencias apreciables entre ambos métodos de agrupación.



Al procesar los datos hidroquímicos correspondientes al período 1984-1987, se obtuvieron ecuaciones de regresión lineal entre la concentración iónica y la conductividad eléctrica, demostrándose que en esta región la litología es el factor dominante en el modo en que estas aguas adquieren su composición química excepto en el caso de las de origen profundo, en las cuales esas condiciones de escurrimiento son las que determinan la composición química de las aguas.

Mediante estos patrones o modelos (juegos de ecuaciones de regresión), se comprobó que se puede controlar la composición química de las aguas de la región, en lo sucesivo, a través de simples mediciones de la conductividad eléctrica.

La metodología empleada en este trabajo puede utilizarse en otras áreas donde la litología constituya el factor dominante en el modo de adquisición química de las aguas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez E., I. Vinardell, J. R. Fagundo, J. Vega, E. Reguera, (1990). Sistema automatizado de tratamiento de datos hidroquímicos para el chequeo de la calidad de las aguas. *Estudios Geológicos* (Madrid), 46 (5-6): 409-414.
- Bakalowicz M. (1974). *Geochimie des eaux d' aquiferes Karstiques I- Relation entre mineralization et conductivite*. *Ann Speleol.* 21 (2): 157-173.
- Brag L.G. (1977). Rapid aggressiveness assessment using conductimetry. *Proceeding of the 7th International Speleological Congress Shiffied, England 1977*.
- Drake J.J., Ford D.C. (1974). Hydrochemistry of Athabasca and North Ssakatchewan River and Rocky Mountain in Canada. *Water Research* 10 (6): 1192-1198.
- Fagundo J.R. (1985). Caracterización de acuíferos mediante relaciones entre contenidos iónicos y parámetros químico-físicos. *Revista CNIC. Ciencias Químicas* 16 (2): 321-325.
- Fagundo J.R. (1990). Evolución química y relaciones empíricas en aguas naturales. I. Estudio mediante simulación química del efecto de la litología. *Voluntad Hidráulica* (83): 28-37.
- Gutiérrez J., García J.M., Beato O. (1974). Algunas experiencias obtenidas en el estudio de la calidad de las aguas subterráneas empleando hidromuestreadores verticales. *Voluntad Hidráulica* 26: 43-55.
- Iturralde-Vinent M.A. (1988). *Naturaleza Geológica de Cuba*. Editorial Científico Técnica. C. Habana, 146 pgs.
- Keith Told D.(1957). *Ground Water Hydrology*. John Wiley and Sons. New York, London, 336 pgs.
- Markowicz M, Pulina M. (1979). *Ilosciowa polmikroanaliza Chemizna Wod w Abszarach Krasu Weglanowego*. *Universitet Slaski, Katowice*, 167 pgs.
- Pulina M., J.R. Fagundo, J.J. Valdés, J.E. Rodríguez, A. Kozik J. Leszkewicz, P. Glowacki, J.M. Pajón, A.V. Cruz, A. García, (1984). The dynamic of the contemporary Karstic processes in tropical area of Cuba. Preliminary report of the field investigations performed by the expedition Guajaibon'84 in the winter season 1984. *Univ. Slaski, Sosnowiec*, 40 pags.

Rodríguez J.E., J.R. Fagundo, F. Cutie, C.M. Cruz, F. Franco, (1989). Hidrología Cársica del macizo del Pan de Guajaibón, Sierra del Rosario. Año hidrológico Noviembre 1984-Octubre 1985. Editorial Academia. La Habana. 33 pags.

Shuster C., D.C. White, (1965). Seasonal fluctuation in chemistry of limestone springs: a possible mean for the characterizing carbonate aquifers. Journ. Hydrol. 14: 93-158.

StatSoft (1987). Complete Statistical System (CSS), versión B640.

Stiff H.A. (1951). The interpretation of chemical water analysis by mean of pattern. Journ. Petroleum Technology.3 (10): 15-17.

**Tabla 1. Ficheros creados para el procesamiento de datos hidroquímicos del polígono experimental Pan de Guajaibón**

Nombre Fichero	Tipo Fichero	Nun. Datos	Punto Muestreo	Frecuencia Muestreo	Periodo Observ.	Naturaleza Geológica
Mamey	Datos	24	Sumidero	Sistemático	1984-87	Efusivo-sedimentario
Smamey	Comprobación	4	Sumidero	Sistemático	1988-89	Efusivo-sedimentario
Efusivos	Datos	6	Arroyos	No Sistemático	1985-87	Efusivo-sedimentario
Cajalbán	Datos	6	Arroyos	No Sistemático	1986-88	Rocas ultrabásica
Serpenti	Comprobación	7	Arroyos	No Sistemático	1988-89	Rocas ultrabásica
Alimenta	Datos	18	Manantiales	No Sistemático	1984-87	Calizas FG
Cuevagua	Datos	29	Aguas-cueva	No Sistemático	1984-85	Calizas FG
Rcueva	Datos	9	Ríos-cueva	No Sistemático	1985-85	Calizas FG
Canilla	Datos	28	Resurgencia	Sistemático	1984-87	Calizas FG
Rcanilla	Comprobación	9	Resurgencia	Sistemático	1988-89	Calizas FG
Ancón	Datos	23	Surgencia	Sistemático	1984-87	Calizas F Ch
Sancón	Comprobación	13	Surgencia	Sistemático	1988-89	Calizas F Ch
Ancón II	Datos	8	Surgencia	No Sistemático	1985-87	Calizas F Ch
Fernando	Datos	9	Manantiales	No Sistemático	1985-87	Calizas F Ch
Fernan	Comprobación	6	Manantiales	No Sistemático	1988-89	Calizas F Ch
Milcumbr	Datos	14	Manantiales	Sistemático	1985-87	Calizas FA
Cumbres	Comprobación	3	Manantiales	Sistemático	1988-89	Calizas FA
Manguaja	Datos	9	Manantiales	No Sistemático	1986-87	Calizas FA
Sanmarco	Datos	8	Río	No Sistemático	1986-87	Mezcla
Rsanmarc	Comprobación	3	Río	No Sistemático	1988-89	Mezcla
Sandiego	Datos	12	Manantiales	No Sistemático	1988-89	Drenaje profundo
Efussedi	Datos y Comprob.	34	Todos los datos	Sistm. y no sistm.	1984-89	Efusivo-sedimentario
Ultrabas	Datos y Comprob.	13	Todos los datos	No Sistemático	1985-89	Rocas ultrabásica
Caliza1	Datos y Comprob.	140	Todos los datos	Sistm. y no sistm.	1984-85	Calizas FG y F Ch
Ancondos	Datos y Comprob.	11	Todos los datos	Sistm. y no sistm.	1985-89	Calizas F Ch
Caliza2	Datos y Comprob.	26	Todos los datos	Sistm. y no sistm.	1985-89	Calizas FA
Riosanma	Datos y Comprob.	11	Todos los datos	No Sistemático	1986-89	Mezcla

Tabla 2

Fichero	HCO3	Cl	SO4	Ca	Mg	Na+K	TSS	Mín.	Med.	Máx.	C.V.
Mamey	85,9	11,2	2,9	50,3	16,6	33,1	401	125	439	565	26,8
Efusivo	85,4	9,1	5,5	51,7	16,3	32,0	304	170	363	600	49,9
Cajalbán	86,0	9,2	4,8	2,6	83,8	14,6	324	320	374	400	7,9
Alimenta	89,0	9,3	1,7	74,0	11,1	14,9	360	320	395	530	21,9
Cuevagua	81,6	14,9	3,5	75,3	10,5	14,2	240	185	276	375	18,4
Rcuevagu	82,4	12,2	5,4	75,0	8,4	16,6	326	340	372	486	13,2
Canilla	83,5	11,6	4,9	69,9	11,9	18,2	265	210	293	360	11,6
Ancón	83,6	10,3	6,1	74,0	10,4	15,6	301	260	332	400	12,0
Fernando	85,5	8,5	6,0	75,8	12,4	11,8	378	365	435	520	12,7
AncónII	77,7	8,7	13,6	68,4	12,2	19,4	354	370	417	480	8,3
Milcumbr	77,9	8,2	13,9	75,9	7,5	16,6	434	430	483	560	7,9
Manguaja	84,0	6,7	9,3	71,2	9,2	19,6	529	472	581	735	14,1
Sanmarco	81,1	8,9	10,0	66,6	15,7	17,7	371	380	411	445	6,5
Sandiego	8,8	3,1	88,1	70,1	13,0	16,9	2772	4549	4549	4733	2,1

Tabla 5

Fichero	HCO3	Cl	SO4	Ca	Mg	Na+K	TSS	Mín.	Med.	Máx.	C.V.
EfussedI	85,7	10,9	3,4	50,9	16,5	32,6	388	125	429	600	30,8
Ultrabas	86,9	10,4	2,8	2,8	85,0	12,2	308	236	354	454	17,2
Caliza1	84,6	11,1	4,3	73,4	11,3	15,3	302	185	339	572	21,4
AncónII	80,7	9,0	10,3	70,3	11,2	18,5	345	325	401	480	10,2
Caliza2	80,6	7,6	11,8	73,6	8,5	17,9	469	425	509	735	13,0
Riosanma	79,6	9,5	10,9	66,4	15,4	18,2	363	350	398	445	7,3

Tabla 3

Fichero	N	IS	HCO3	Cl	SO4	Ca	Mg	Na+K
Mamey	24	0,90	10,13	1,32	0,35	5,94	1,95	3,91
Efusivo	6	0,87	9,34	1,00	0,61	5,69	1,78	3,51
Cajalbán	6	0,94	10,35	1,10	0,58	0,31	9,97	1,75
Alimenta	18	0,91	10,38	1,08	0,20	8,62	1,29	1,74
Cuevagua	21	0,89	9,29	1,69	0,39	8,56	1,20	1,61
Rcuevagu	9	0,88	9,34	1,38	0,61	8,51	0,94	1,89
Canilla	28	0,92	10,00	1,37	0,57	8,21	1,40	2,13
Ancón	23	0,92	9,78	1,20	0,72	8,65	1,21	1,83
Fernando	9	0,90	9,58	0,95	0,67	8,50	1,38	1,32
AncónII	7	0,88	8,60	0,96	0,50	7,56	1,35	2,16
Milcumbr	14	0,91	9,06	0,95	1,62	8,82	0,87	1,93
Manguaja	9	0,89	9,80	0,78	1,09	8,31	1,07	2,23
Sanmarco	6	0,88	9,57	1,05	1,18	7,84	1,85	2,10
Sandiego	12	0,98	0,78	2,28	7,87	6,25	1,16	1,52

Tabla 6

Fichero	N	IS	HCO3	Cl	SO4	Ca	Mg	Na+K
EfussedI	34	0,89	10,01	1,28	0,39	5,95	1,93	3,80
Ultrabas	13	0,93	10,53	1,25	0,33	0,34	10,30	1,48
Caliza1	140	0,99	9,76	1,28	0,50	6,47	1,31	1,77
AncónII	10	0,88	8,99	1,00	1,35	7,83	1,24	2,07
Caliza2	27	0,89	9,57	0,91	1,41	8,75	1,01	2,13
Riosanma	10	0,91	9,50	1,12	1,31	7,92	1,85	2,17
Sandiego	12	0,98	0,78	2,28	7,87	6,25	1,16	1,52

Tabla 4

F. datos	N	F. modelo	IS
Smamey	4	MMamey	0,90
Serpenti	7	MCajalba	0,91
Rcanilla	11	Mcanilla	0,91
Sancón	15	MAncón	0,90
Fernando	6	MFernand	0,90
AncónII	3	MAncónII	0,85
Cumbres	4	MCumbre	0,89
Riosanma	4	MSanmarc	0,92

Tabla 7

F. datos	N	F. modelo	IS
Smamey	4	AEfussed	0,90
Serpenti	7	AUltraba	0,92
Rcanilla	11	ACaliza1	0,89
Sancón	15	ACaliza1	0,90
Fernan	6	ACaliza1	0,90
AncónII	3	ACaliza2	0,88
Cumbres	4	ACaliza2	0,90
Riosanma	4	ACaliza2	0,93

Tabla 2. Valores medios de la concentración iónica, del total de sólidos solubles y valores mínimos, medios y máximos; así como del coeficiente de variación de la conductividad eléctrica de las aguas del Pan de Guajalbón y áreas aledañas en la Sierra del Rosario

Tabla 3. Valores de los índices de similitud medios (IS) entre los datos hidroquímicos originales (1984-1987) y los determinados por modelación utilizando los respectivos ficheros de modelos; así como de las pendientes (Bci) de las ecuaciones de regresión lineal para cada ión

Tabla 4. Valores de los índices de similitud entre los datos reales y los determinados por modelación al correlacionar por SAMA los datos hidroquímicos correspondientes al período 1988-1989 con los ficheros de los modelos creados con los datos del período 1984-1987

Tabla 5. Valores medios de la concentración iónica, del total de sólidos solubles y valores mínimos, medios y máximos; así como del coeficiente de variación de la conductividad eléctrica de las aguas del Pan de Guajalbón y áreas aledañas en la Sierra del Rosario

Tabla 6. Valores de los índices de similitud medios (IS) entre los datos hidroquímicos agrupados (1984-1989) y los determinados por modelación utilizando los respectivos ficheros de modelos; así como los valores de las pendientes (Bci) de las ecuaciones de regresión lineal de cada ión

Tabla 7. Valores de los índices de similitud entre los datos reales y los determinados por modelación al correlacionar por SAMA los datos hidroquímicos correspondientes al período 1988-1989 con los ficheros de los modelos obtenidos según los patrones hidrogeocímicos de la cuenca creados con los datos del período 1984-1989