

V. Ferrera, J.R. Fagundo, P. González, G. Benítez. "Comportamiento del contenido iónico de las aguas subterráneas afectadas por la salinización. Caso de estudio: Cuenca de Zapata, Provincia de Matanzas" (IMP-05). En: Memorias del III Taller de la Cátedra de Medio Ambiente. La Habana 1997. 6 pp., 1997.

COMPORTAMIENTO DEL CONTENIDO IONICO EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS AFECTADAS POR LA SALINIZACION. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DE ZAPATA, PROVINCIA DE MATANZAS.

Vivian Ferrera León⁽¹⁾, Ignacio Morell Evangelista⁽²⁾, Juan Reynerio Fagundo Castillo⁽¹⁾, Patricia González Hernández⁽¹⁾, Griselda Benítez Pacheco⁽¹⁾.

⁽¹⁾Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Calle 25 esq. 158, Playa, C. Habana, Cuba.

⁽²⁾Universidad Jaume I, Castellón, España.

RESUMEN

Se realiza un análisis de las relaciones entre el contenido de HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y el contenido de Cl^- en las aguas de la Cuenca de Zapata. Con el fin de identificar los diferentes procesos hidrogeoquímicos asociados al proceso de mezcla agua dulce-agua de mar, los valores de dichas relaciones son comparados a la vez con los valores teóricos obtenidos de la mezcla simple de un agua dulce, correspondiente a la zona de alimentación del acuífero, y el agua de mar.

Los procesos que se reconocen en la Cuenca de Zapata son la disolución-precipitación de carbonatos y la reducción de sulfatos, los cuales son identificados, fundamentalmente, en los puntos más cercanos a la costa, en los puntos donde se muestreó a diferentes profundidades y en las zonas asociadas a los depósitos de turbas.

INTRODUCCION

Las aguas subterráneas de la Ciénaga de Zapata han sido utilizadas para satisfacer la demanda de diversos planes de interés socioeconómico, entre los cuales se pueden citar el Plan cítrico Victoria de Girón, el Plan arrocero de Amarillas y actividades llevadas a cabo en la región como son la pesca y el turismo. Uno de los problemas fundamentales que presentan las aguas de esta zona es la presencia de un elevado contenido de sales en algunas fuentes. El proceso de salinización en las zonas costeras es provocado, en la mayoría de los casos, por el fenómeno de la intrusión marina, es decir, la penetración subterránea del mar a través de la línea costera. A este fenómeno se asocian diferentes procesos hidrogeoquímicos relacionados particularmente a estas zonas de mezcla, como son los de precipitación-disolución de minerales, intercambio iónico y 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 también cambios morfológicos en el medio litológico por el cual drenan. Estos procesos han sido estudiados por diferentes autores (Hanshaw y Back, 1979; Appelo y Geirnaert, 1983; Herman et al., 1986). La salinización de las aguas también produce cambios en la salinidad de los suelos con la consecuente transformación de la vegetación en las áreas afectadas y la modificación de los ecosistemas.

Por la importancia que tiene la preservación de la calidad de estas aguas desde el punto de vista socioeconómico y ambiental, se ha hecho necesario determinar cuales son los procesos hidrogeoquímicos que han intervenido en la adquisición y modificación de su composición química.

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; Rodríguez et al., 1992; Fagundo et al., 1993; Ferrera et al., 1996; Morell et al., 1997).

Fagundo et al. (1993) hacen un primer estudio 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 de facies bicarbonatadas cálcicas en las zonas de alimentación, hasta aguas salinas de facies cloruradas sódicas en las zonas cercanas al mar.

Morell et al. (1997) han realizado estudios hidrogeoquímicos en esta región sobre la base de cálculos de la composición química en la mezcla conservativa de un agua dulce y el agua de mar para diferentes porcentajes de agua de mar y han determinado cuales son los diferentes procesos modificadores de la composición química de estas aguas.

MATERIALES Y METODOS

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 7 de los puntos se tomaron muestras a diferentes profundidades y se ha tomado una muestra de agua de mar.

El perfil de Playa Girón incluye 11 puntos, distribuidos desde Manguito hasta Playa Girón. El perfil Playa Larga está formado por 15 puntos, distribuidos desde las inmediaciones de la población de Jovellanos hasta Caletón. El perfil de Santo Tomás está formado por 16 puntos ubicados desde el río Gonzálo hasta Maneadero.

Se realizaron determinaciones “in situ” de pH, temperatura, conductividad eléctrica y alcalinidad. Los métodos analíticos utilizados han sido los recomendados por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWA, WPCF, 1989).

En el laboratorio se hicieron las determinaciones de los iones cloruro mediante el método analítico volumétrico, de iones sulfatos mediante el método turbidimétrico, de los iones calcio, magnesio, sodio por Espectrometría de Absorción Atómica y potasio por Fotometría de Llama.

En la interpretación de los resultados se utiliza el método de gráficos de dispersión para la representación de la variación de la concentración de cada ion con relación a la concentración del ion cloruro y a la vez se representan los diagramas de dilución o de mezcla teórica, lo que ha permitido comparar las aguas estudiadas con respecto a la recta teórica de mezcla entre un agua dulce y el agua de mar. Los diagramas de dispersión se realizan mediante el programa EXCEL 5.0.

El ion cloruro debido a gran estabilidad en las aguas (no está sujeto a procesos de disolución-precipitación, procesos de oxidación-reducción o intercambio iónico) ha sido tomado como ion conservativo, permitiendo su uso en la determinación de la proporción de mezcla y en el establecimiento de la mezcla teórica (Back et al., 1979; Giménez, 1994,) la cual indica la concentración de cada ion en dependencia de la proporción en que estén presentes los miembros extremos en la mezcla.

En el cálculo para la confección de la recta de mezcla teórica se utilizaron los datos de composición química del agua del acueducto de Jovellanos, el cual esta ubicado en la zona de alimentación del acuífero de Zapata, y del agua del mar Caribe (Tabla nº 1)

Las concentraciones teóricas de los iones mayoritarios se calculan mediante la ecuación:

$$[\text{ion}]_{\text{teórica}} = A [\text{Cl}^-]_{\text{Real}} + B$$

$$A = ([\text{ion}]_{\text{am}} - [\text{ion}]_{\text{ad}}) / ([\text{Cl}^-]_{\text{am}} - [\text{Cl}^-]_{\text{ad}}) \text{ y } B = [\text{ion}]_{\text{am}} - A[\text{Cl}^-]_{\text{am}}$$

donde:

A es la pendiente de la recta de mezcla agua dulce-agua de mar.

B es la ordenada en el origen de esta función.

[]_{am} concentración en el agua de mar

[]_{ad} concentración en el agua dulce

| Ion | Conc. agua dulce (meq/L) | Conc. agua de mar (meq/L) | Ecuación de la recta |
|-------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|
| Cl ⁻ | 0,62 | 491,04 | |
| HCO ₃ ⁻ | 5,66 | 3,18 | Y= - 0,0050X+ 5,6626 |
| SO ₄ ²⁻ | 0,26 | 60,3 | Y= 0,1218X+ 0,2213 |
| Ca ²⁺ | 4,99 | 27,96 | Y= 0,0468X+ 4,9612 |
| Mg ²⁺ | 0,95 | 124,89 | Y= 0,2527X+ 0,8042 |
| Na ⁺ | 0,82 | 417,37 | Y= 0,8494X+ 0,2954 |
| K ⁺ | 0,02 | 9,67 | Y= 0,0196X+ 0,0456 |

Tabla n° 1. Resultados del cálculo de las ecuaciones de la recta teórica de mezcla para cada ion a partir del agua procedente del acueducto de Jovellanos y el agua del mar Caribe. Y= Conc. iónica, X= Conc. cloruro

RESULTADOS Y DISCUSION

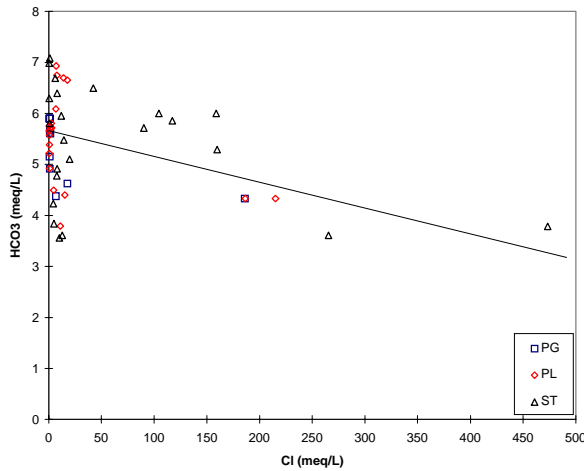
Este estudio está basado en el análisis de las relaciones entre el contenido de HCO₃⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ y el contenido de Cl⁻, comparadas a la vez con los valores teóricos obtenidos de la mezcla simple de un agua dulce y el agua de mar. Esta metodología es muy útil en la identificación de los diferentes procesos colaterales al proceso de mezcla. La representación gráfica de la variación de los valores reales con respecto a los valores obtenidos en la mezcla teórica, nos muestra el incremento o disminución del contenido iónico que no está relacionado con el aporte de la mezcla simple.

Se estudia el intervalo de 0 a 500 meq/L de Cl⁻ y se identifican los valores correspondientes a cada perfil.

La relación entre el contenido de HCO₃⁻ y Cl⁻ (Fig.1) nos muestra la tendencia de los valores a disminuir con el incremento de Cl⁻, apreciándose además, fluctuaciones con respecto a la línea teórica de mezcla. Estas variaciones van a estar determinadas por la presencia de los procesos de disolución-precipitación de los minerales carbonatados. Estos procesos son muy frecuentes en las zonas de mezcla agua dulce-agua de mar

Los valores de las relaciones en el perfil PG están distribuidos en su mayoría por debajo de los 50 meq/L de Cl⁻, excepto el valor en el punto correspondiente a Playa Girón (186 meq/L). En la mayor parte de los puntos de este perfil los valores de HCO₃⁻ se localizan por debajo de la línea teórica de mezcla.

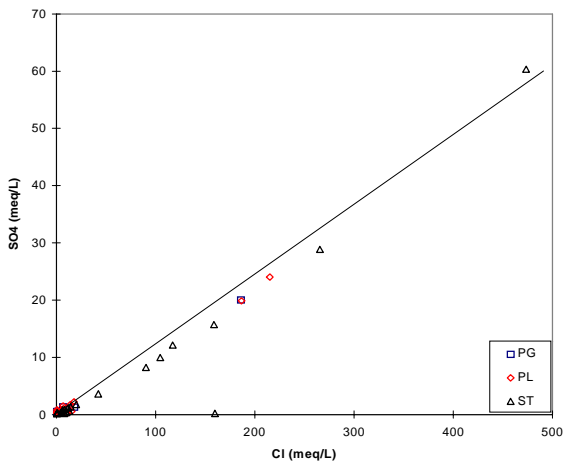
Fig. 1 .Variación del HCO_3^- con relación al Cl^-



con respecto al que debería tener la mezcla simple del agua dulce y el agua de mar. Estas variaciones son originadas por la disolución que experimentan los minerales carbonatados allí presentes al interactuar con estas aguas.

En la figura 2 se muestra la relación entre el contenido de SO_4^{2-} y Cl^- . Se aprecia que con respecto a la línea teórica de mezcla agua dulce-agua de mar dicha relación se mantiene por debajo de esta, lo que puede significar una disminución del contenido de SO_4^{2-} , provocada, posiblemente, por el proceso de reducción de sulfatos frecuente en zonas con altos contenidos de sulfato en presencia de materia orgánica Este comportamiento se manifiesta en los tres perfiles.

Fig. 2. Variación del SO_4^{2-} con relación al Cl^-



de turba allí existentes

En el perfil ST los valores en todos los puntos se localizan por debajo de la línea. Los valores más alejados son los correspondientes al pozo Batey Viejo (159,8 meq/L de Cl^-).

La relación del contenido de Ca^{2+} y Cl^- se aprecia en la figura 3. En la mayoría de los casos donde los contenidos de Cl^- son mayores de 50 meq/L, los valores se encuentran por encima de la línea teórica de mezcla. Esto puede estar relacionado con la disolución de los minerales carbonatados calcita o aragonito presentes en el medio litológico.

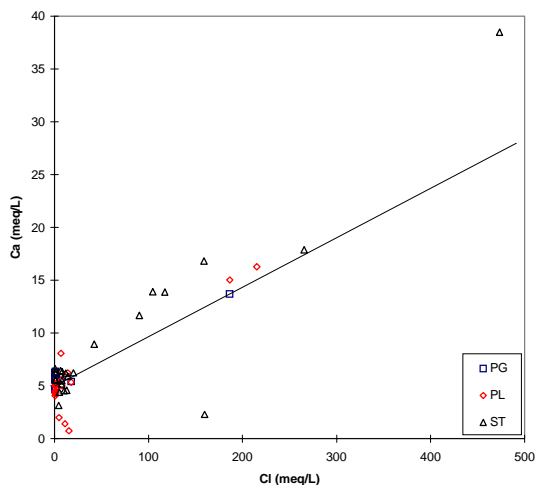
En el perfil PL sólo dos de los puntos, correspondientes a las surgencias costeras de Playa Máquina y Caletón se localizan por encima de los 50 meq/L de Cl^- . Los restantes puntos se encuentran en el intervalo por debajo de este valor, apreciándose que los puntos correspondientes a la Piscifactoría, Turbera1 a 4m y Turbera3 a 5m se encuentran por debajo de la línea teórica de mezcla. Este fenómeno puede indicar la existencia de precipitación de carbonatos en esta fuentes.

En el perfil ST la mayoría de los puntos presentan valores por encima de la línea teórica de mezcla, es decir que se aprecia un incremento de este ion

En el perfil PG los valores más alejados de la línea teórica de mezcla son los correspondientes a los dos pozos del perfil más cercanos a la costa: El Peaje (17,8 meq/L de Cl^-) y Playa Girón (186 meq/L de Cl^-), cuyos valores se encuentran por debajo de la línea teórica de mezcla.

Los valores más alejados de la línea teórica de mezcla en el perfil PL son los correspondientes a los puntos Turbera1 a 4m (11 meq/L de Cl^-), Turbera 3 a 5m (15,32 meq/L de Cl^-), Playa Máquina (215 meq/L de Cl^-) y Caletón (186,5 meq/L de Cl^-). Todos estos valores se encuentran por debajo de la línea teórica de mezcla. Es evidente que los puntos pertenecientes a las turberas presentan reducción de sulfatos debido a los depósitos

Fig. 3. Variación del Ca^{2+} con relación al Cl^-



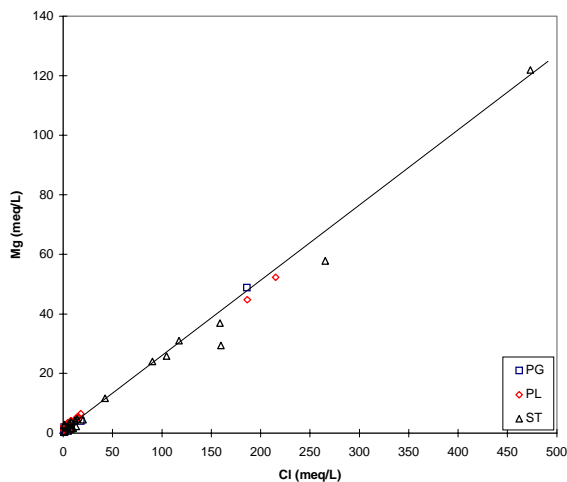
En los puntos del perfil PG existen variaciones muy pequeñas con respecto a la línea de mezcla. En el punto correspondiente a la surgencia costera Playa Girón los valores se ajustan muy bien a los valores teóricos. Estas observaciones nos indican que en este perfil no hay evidencia de procesos de precipitación o disolución de carbonatos.

En los puntos del perfil PL correspondientes a Piscifactoría (4,8 meq/L de Cl^-), Turberal a 4m y Turbera3 a 5m se observan valores muy por debajo de línea teórica de mezcla, lo cual puede estar originado por la precipitación de calcita. Sin embargo los puntos correspondientes a Soplillar (6,8 meq/L de Cl^-), Playa Máquina y Caletón manifiestan un incremento del contenido de Ca^{2+} con respecto al contenido teórico en

la mezcla.

En el perfil ST para concentraciones de Cl^- superiores a 50 meq/L la mayoría de los puntos presentan valores por encima de la línea teórica de mezcla, excepto el punto correspondiente a Batey Viejo cuyos valores se encuentran situados muy por debajo de la línea de mezcla indicando la posible precipitación de carbonatos en este pozo.

Fig. 4. Variación del Mg^{2+} con relación al Cl^-

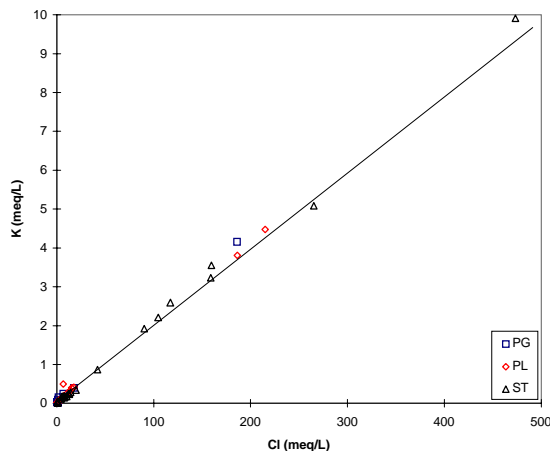
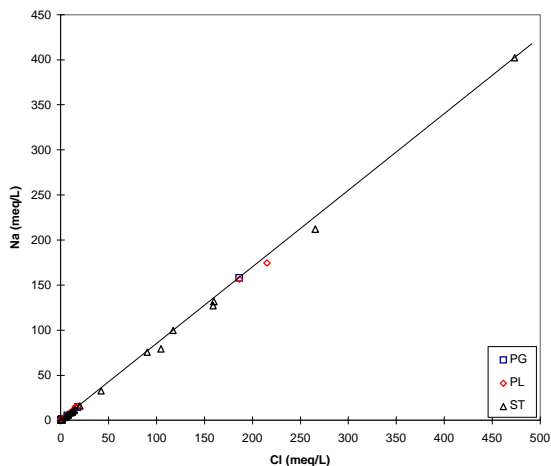


En la figura 4 se muestra la relación entre el contenido de Mg^{2+} y Cl^- . Los valores en esta relación se ajustan bastante a la línea teórica de mezcla, lo cual significa que en estas aguas el contenido de Mg^{2+} está determinado fundamentalmente por el aportado por el agua de mar a la mezcla. En escasos puntos se ha notado una disminución del contenido de Mg^{2+} que puede estar asociado a la precipitación del mineral carbonatado dolomita. Este es el caso de puntos muestreados a determinadas profundidades. En algunos casos se han detectado, a bajas mineralizaciones, valores por encima de la línea teórica de mezcla que indican un contenido de Mg^{2+} relacionado con el aporte del medio litológico.

Las relaciones entre los contenidos de Na^+ y K^+ y el contenido de Cl^- están representadas en las figura 5 y 6. En ambos casos los valores se ajustan a la línea teórica de mezcla lo que demuestra que el contenido de estos iones se corresponde con el aporte del agua de mar y no existe indicio de que estén presentes los procesos de intercambio iónico que afectan a estos iones.

Fig.5. Variación del Na^+ con relación al Cl^-

Fig.6. Variación del K^+ con relación al Cl^-



CONCLUSIONES

En la determinación de las características de un agua que se supone, constituye una mezcla de dos aguas químicamente diferentes, resulta de mucha utilidad el cálculo de las concentraciones iónicas teóricas de la mezcla a partir de la utilización de un ion que se mantiene estable durante todo su recorrido por el acuífero y que no esté sujeto a procesos de disolución-precipitación, oxidación-reducción o intercambio iónico, como es el caso del ion cloruro. A partir de las concentraciones calculadas y observadas es posible determinar cuales son los procesos hidrogeoquímicos que están influyendo sobre la composición química de estas aguas.

En la Cuenca de Zapata han sido reconocidos los procesos de disolución-precipitación de carbonatos y reducción de sulfatos. La disolución y/o precipitación de carbonatos está presente en los perfiles Playa Larga y Santo Tomás, fundamentalmente, en los puntos más cercanos a la costa, en los puntos donde se tomaron muestras a diferentes profundidades y en las zonas asociadas a los depósitos de turbas. La reducción de sulfato ha estado relacionada con los puntos correspondientes a los manantiales costeros donde el contenido de sulfato es alto y a las zonas con depósitos de turba.

Sería de interés profundizar en este estudio para determinar con exactitud la presencia de los procesos de intercambio iónico en esta zona. Además se podrían introducir cálculos de mezclas entre otros tipos de aguas de la región con el fin de definir la influencia del medio litológico.

BIBLIOGRAFIA

- APHA, AWA, WPCF (1989). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- Appelo, C.A.J. and Geirnaert, W. (1983). Processes accompanying the intrusion of salt water. In: *Geologia Applicata e Idrogeologia*. Bari, vol. XVIII, Parte II: 29 - 40.
- Back, W., Hanshaw, B.B, Pyle, T. E., Plummer, L. N. and Weidie, A. E (1979). Geochemical Significance of Groundwater Discharge and Carbonate Solution to the Formation of Caleta Xel Ha, Quintana Roo, Mexico. *Water Resources Research*, v. 15, 6: 1521 - 1535.
- 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. y 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.
- Giménez, E. (1994). Caracterización Hidrogeoquímica de los procesos de salinización en el acuífero detrítico costero de la plana de Castellón (España). Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 469 p.
- 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.
- Hanshaw, B.B.; Back, W. (1979). Major geochemical processes in the evolution of carbonate-aquifer systems. *Journal of Hydrology*, 43: 287-312.
- Herman, J.S.; Back, W.; Pomar, L. (1986). Speleogenesis in the groundwater mixing zone: The coastal carbonate aquifer of Mallorca and Menorca, Spain. *Comunicaciones del 9^o Congreso Internacional de Espeleología*, Barcelona, España, V.1: 13-15.
- 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 Ciénaga 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 pp.