

# Procesos de salinización en el acuífero costero de cuenca guane

## Salinization Processes in the Coastal Aquifer of Guane Watershed

Rebeca Hernández Díaz<sup>1</sup>  
Patricia González Hernández<sup>2</sup>  
Arsenio González Martínez<sup>3</sup>  
Emilio Romero Macías<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Profesora instructora. Especialista en Hidrogeología. Universidad de Pinar del Río.

<sup>2</sup>Centro Nacional de investigaciones Científicas. La Habana Cuba.

<sup>3</sup>Universiadd de Huelva, España.

**RESUMEN:** Dentro de los recursos naturales el más importante, y contradictoriamente el más escaso, es el agua por ser fuente de vida en el planeta. Su preservación y conservación es de gran importancia para la humanidad. La intrusión marina se intensifica ya sea de forma natural, según el régimen de lluvia y las condiciones de recarga del acuífero o por la acción del propio hombre, por lo que se provoca la pérdida de la calidad de las aguas naturales. Resulta de gran interés el estudio de este fenómeno con vistas a su mejor comprensión y al mejoramiento y control de la calidad de las aguas afectadas.

En el extremo occidental de la isla de Cuba se encuentra la denominada Cuenca Guane, de unos 1 253 km<sup>2</sup> de superficie, que desde el punto de vista hidrogeológico presenta cierto grado de salinización, mostrando un comportamiento variable de la zona de mezcla, lo cual es necesario estudiar para poder influir en la misma de una forma racional.

En este trabajo se presentan algunos de los resultados encontrados durante el monitoreo de las afectaciones de la calidad de sus aguas. Se reportan datos novedosos como es el potencial redox y la concentración de oxígeno disuelto en dos de los pozos de mayor interés por su comportamiento hidrogeoquímico.

**Palabras claves:** Mezcla, recarga, salinización, evapotranspiración.

**ABSTRACT:** Among the most important natural resources, and contradictory the less abundant, the water occupies the first place for being it a source of life. Its conservation and preservation is of a great importance for humanity. The phenomenon of sea water encroachment, common in karstic aquifers, intensifies naturally or artificially according to the precipitation regime, an unbalanced relationship between precipitation and recharge or because the human activity causing the loss of the natural water quality. It is of a great interest the study of this process with the purpose of its better understanding. Guane Watershed is located in the Western part of Cuba and occupies an area of 1 253 km<sup>2</sup>. It has a certain degree of salinization from the hydrogeological point of view with a variable behaviour in the mix zone. New reported data about redox potential and dissolved oxygen is also presented in this paper.

**Key words:** Mixture, Recharge, Salinization, Evapotranspiration.

### INTRODUCCIÓN

En la zona no saturada del acuífero se desarrollan, fundamentalmente, procesos de evaporación y evapotranspiración, captura electrónica selectiva de los iones por la vegetación, disolución de carbonatos en condiciones abiertas o mixtas respecto al CO<sub>2</sub>, adsorción e intercambio iónico, nitrificación y oxidación de sulfuros, el hierro y otros componentes metálicos del suelo. En la zona saturada del acuífero se originan, principalmente, procesos de disolución de calcita y dolomita en condiciones de mezcla de aguas, dolomitización a expensas del Mg<sup>2+</sup> procedente del mar y procesos de reducción anaerobia de sulfatos. Estos procesos son estudiados a partir de las diferencias iónicas entre la composición real y la teórica para una mezcla conservativa, así como a partir de las correspondientes relaciones entre los diferentes iones y el contenido de cloruros.

En el caso de las aguas subterráneas, los fundamentos de la Geoquímica son utilizados además, para obtener información con relación al tiempo de residencia del agua en el acuífero, las características de sus flujos, su estructura interna y su grado de contaminación.

En las zonas cársicas costeras los procesos geoquímicos que tienen lugar son muy complejos debido a que se produce mezcla entre el agua dulce procedente del acuífero y el agua de mar, que van acompañados

de procesos modificadores de la composición química que debía esperarse por simple mezcla (Ferrera *et al.*, 1997). En general, mediante mezcla de aguas de diferente naturaleza hidrogeológica, se producen reacciones químicas que pueden dar lugar a la disolución o precipitación de minerales. Estos procesos se producen porque, por lo general, dichas aguas presentan diferencias en sus presiones de CO<sub>2</sub>, los potenciales de oxidación-reducción, el pH, etc., y como resultado de ello se obtiene un agua de calidad diferente a la que se debía esperar de la simple unión de los componentes de la mezcla por separado.

La cuenca Guane de unos 1 253 km<sup>2</sup> de superficie, ubicada en el extremo occidental de la isla de Cuba, se encuentra afectada por el fenómeno de intrusión marina, lo cual trae consigo la mezcla de agua dulce con agua de mar y por ende los fenómenos modificadores asociados a ella, como son la precipitación y disolución de carbonatos, el intercambio iónico y la reducción de sulfatos. Todo lo anteriormente expuesto tiene gran influencia en la calidad de las aguas subterráneas, de aquí que el objetivo de este trabajo sea un estudio preliminar de los fenómenos hidrogeoquímicos que se están dando en este acuífero como consecuencia de la mezcla agua dulce-agua de mar, los cuales tendrán gran influencia en la calidad de esta agua y en la hidrodinámica del acuífero.

### UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

El macizo hidrogeológico Guane se encuentra ubicado geográficamente en la península de Guanahacabibes, zona más occidental de la Isla, en las siguientes coordenadas Lambert 150000, 200000; 230000, 270000. La geología de esta región está dada por una zona emergida (área de desarrollo de las forma-

ciones jurásicas) y una plataforma carbonatada (área de la cuenca Guane) y con una zona arrecifal mar afuera (península actual de Guanahacabibes).

La superficie del terreno en la zona es eminentemente llana, ligeramente diseccionado. En el área están presentes varios tipos característicos de relieve, tanto emergidos como sumergidos de edad Pleistoceno. Asociados a esta llanura se encuentran depósitos aluviales marinos de la formación Guane.

En el extremo occidental de la provincia de Pinar del Río existen varias estructuras geológicas de diferentes edades, a las que se relacionan distintas unidades litoestratigráficas. Así se tiene que de los sedimentos que integran la denominada Sierra de los Órganos, aparecen las formaciones San Cayetano, Jagua y Guasasa, de las que afloran solo la primera y la tercera y que representan a las rocas más antiguas de Cuba, datadas paleontológicamente.

De forma transgresiva a estos depósitos descansa la formación Guane de edad Pleistoceno Cuaternario y la formación Paso Real, que constituye parte de la plataforma carbonatada miocénica más extendida en el país y que posee una gran importancia por constituir sus rocas uno de los reservorios más importantes de la provincia, no tiene relaciones estratigráficas conocidas en afloramiento con las rocas más antiguas y como se presume con la fuente principal de recarga.

Los sedimentos más jóvenes, que aparecen en la región y que representan el desarrollo geológico reciente, coinciden con la formación de arrecifes como son las formaciones Vedado y Jaimanitas, (Léxico estratigráfico, 1992).

### MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología y técnicas específicas más significativas empleadas en la realización del estudio se relacionan en la Tabla 1.

**TABLA1. Técnicas específicas más significativas empleadas en el estudio.**

Método Empleado	Variable Controlada	Técnica Empleada	Periodicidad de los Medidos
Hidrodinámica	Nivel Piezométrico	Sonda Eléctrica	Semestral
Hidroquímico	Cloruro	Análisis Químico	Trimestral
	Otros iones y Parámetros	Análisis Químico	Trimestral
	Conductividad	Registros Físico-Químicos	Trimestral
		Registro Vertical	Trimestral

En el área de estudio se estableció una red de observaciones sistemáticas para el monitoreo de los niveles potenciométricos y la calidad de las aguas. Fue seleccionado un perfil de pozos orientados en dirección N-S. Las muestras fueron tomadas trimestralmente a partir del mes de julio de 1997 en un total de cuatro campañas, a diferentes niveles de profundidad, representativos de las zonas de agua dulce y de mezcla con el agua de mar.

Se determinaron en el campo el nivel del agua subterránea, la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica (CE), el oxígeno disuelto ( $O_2$ ), el potencial redox (Eh), el contenido de  $CO_2$  y la alcalinidad total. Los restantes macroconstituyentes se determinaron en el laboratorio antes de las 24 horas según las técnicas analíticas.

En el tratamiento de los datos se utilizaron diferentes programas de computación tales como Excel, Statistica para Windows, Hidrowin.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante un año hidrológico se hicieron tomas de muestras y mediciones in situ en la red de pozos establecida para el monitoreo de la zona de estudio. Con una periodicidad de tres meses se llevaron a cabo cuatro campañas de campo en las que, como se ha dicho en el apartado anterior, se hicieron mediciones in situ de los parámetros físicos-químicos más importante y el resto de los análisis se hicieron en el laboratorio.

En las campañas planificadas también se realizaron, en cada uno de los pozos de la red, registros verticales de conductividad eléctrica y temperatura para la determinación directa de la zona de mezcla agua dulce-agua de mar.

La Figura 1 (a) y (b): muestran los registros verticales de conductividad eléctrica y temperatura para los Pozos 18 y 33 en la primera campaña, en la que se puede observar para el Pozo 33, la existencia de una capa de agua dulce hasta una profundidad de 5 m. En los metros siguientes de profundidad, hasta los 24 m, la conductividad eléctrica se mantiene constante en un valor aproximado de  $2000 \mu S/cm$  y a partir de esta profundidad la misma comienza aumentar rápidamente hasta valores de agua de mar, mostrándose de esta forma la dispersión de la mezcla agua dulce-agua de mar, o lo que es lo mismo la zona de mezcla. En cuanto al registro vertical de la temperatura se observa que disminuye de forma gradual con la profundidad sin grandes saltos ni fluctuaciones.

Algo muy similar se obtiene en el caso del Pozo 18 con la diferencia de que en él ya no existe la capa de agua dulce. Desde los primeros metros de profundidad se encuentra una capa de agua salobre con conductividad de  $3140 \mu S/cm$ . En este caso las conductividades se incrementan en la profundidad con cambios bruscos en escasos metros que van desde los  $10\ 000$  hasta los  $37\ 000 \mu S/cm$ . Para la temperatura ocurre lo mismo que en el Pozo 33.

Sin embargo, cuando se estudia la variación temporal de la conductividad eléctrica en el Pozo 33 a los 30 m de profundidad, se observa que la salinidad experimenta aumentos considerables a lo largo de la columna de agua. Esto puede ser causado no solo por el ascenso vertical de la salinidad, sino también por la existencia de flujos laterales debido al cavernamiento existente en todo el sector, lo cual trae consigo una comunicación directa con el agua de mar y con capas de aguas más salinas intercaladas entre los sedimentos de la cuenca

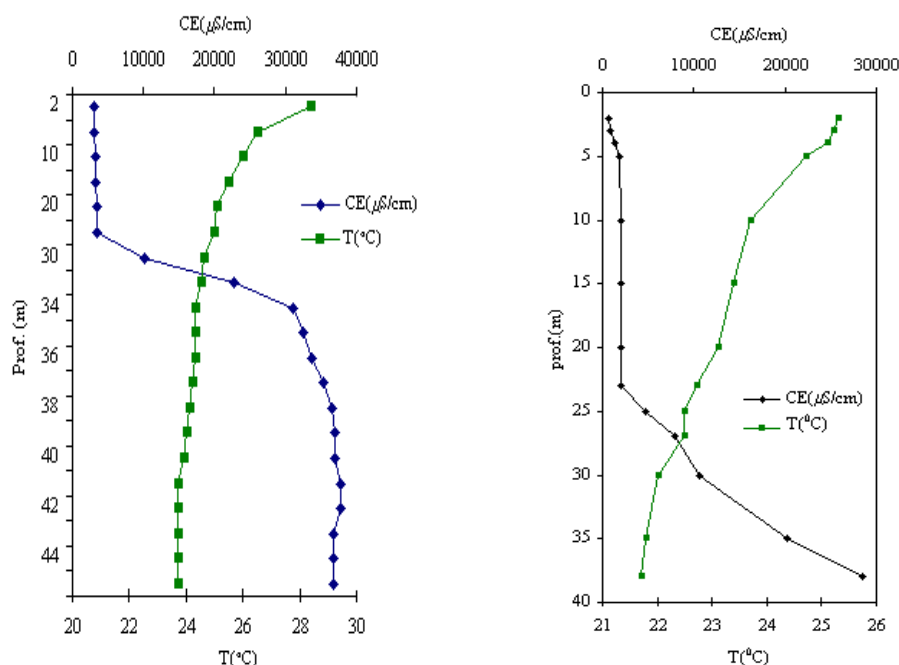


FIGURA 1. Registros verticales de conductividad eléctrica y temperatura para los pozos 18 (a) y 33 (b) en la primera campaña

Para este pozo el estudio arrojó que la composición de sus aguas es altamente salina, y forma parte de una zona afectada por la intrusión marina, la cual cubre una amplia zona del sector de estudio posiblemente correspondiente a aguas marinas antiguas atrapadas en los sedimentos y que se van enriqueciendo en sales aunque muy lentamente.

Los registros verticales de la conductividad eléctrica permitieron la selección de los diferentes puntos donde se realizó un muestreo en profundidad para la determinación de los principales parámetros físico-químicos.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de las mediciones hechas en el campo de los parámetros físico-químicos más importantes de dos de los pozos más significativos de toda la red, Pozo 18 y Pozo 33.

en la posición de un agua con respecto al equilibrio de saturación y afecta más o menos rápidamente, la permeabilidad del material acuífero y por tanto modifica su hidrodinámica, factor muy importante a tener en cuenta para un buen manejo de los recursos hídricos costeros.

Resultados de las mediciones en el campo de los parámetros físico-químicos más importantes de los Pozos 18 y 33.

La variación de estos parámetros físicos-químicos con la profundidad se puede observar en la Figura 2 a y b.

En ambos pozos se puede observar que existen grandes variaciones del pH, del Eh y de las concentraciones de O<sub>2</sub> y de CO<sub>2</sub> en solución, con la profundidad. En el caso del pH y de la concentración de CO<sub>2</sub> en solución, se tiene que siempre que la concentración de este último aumenta el pH disminuye o se

**TABLA 2. Resultados de las mediciones en el campo de los parámetros físico-químicos más importantes de los Pozos 18 y 33.**

Pozo	Fecha	Prof (m)	pH	O <sub>2</sub> (mg/l)	CO <sub>2</sub> (mg/l)	Eh (mV)
18	14/10/97	10	8.03	3.3	2.2	-90
18	14/10/97	20	7.39	3.2	6.6	-127
18	14/10/97	30	7.25	2.8	15.84	-166
18	14/10/97	32	7.17	3.3	28.6	-230
18	14/10/97	40	7.27	2.2	23.76	-245
33	14/10/97	2	7.3	3.5	23.32	-80
33	14/10/97	20	7.28	2.5	18.04	-70
33	14/10/97	27	6.9	2.3	21.12	-118
33	14/10/97	30	6.73	1.6	66	-133
33	14/10/97	38	7.05	3.1	70.4	-139
33	14/10/97	45	7.02	1.4	36.08	-161

Como se puede observar, en las aguas de estos pozos se muestran potenciales negativos en todas las profundidades en las que se tomaron muestras. Esto pone de manifiesto la ocurrencia de uno de los procesos modificadores que acompaña a la intrusión marina, que es la reducción de sulfato. Este hecho es muy interesante puesto que en la literatura (Norbert, 1988) se reporta que potenciales negativos menores de -100 son difíciles de encontrar en la naturaleza. Sin embargo en estos pozos se encontraron potenciales de reducción del orden de -200 mV.

Lo anterior alerta en cuanto al desarrollo de un estudio profundo de este fenómeno por cuanto influye

mantiene constante debido al efecto tampón de los carbonatos y viceversa. Para el Eh y el O<sub>2</sub> se debe esperar que mientras más negativo es el primero más escaso debe estar el segundo; sin embargo, esto no ocurre así en algunos de los pozos estudiados. En la Figura 2 se puede ver como en ambos pozos ocurre, para algunas profundidades, que el Eh disminuye considerablemente haciéndose más negativo mientras el O<sub>2</sub> disuelto aumenta tomando, incluso, valores superiores a los que los preceden. Lo anterior puede estar dado por la presencia de flujos de aguas procedentes de otras profundidades con diferentes contenidos de O<sub>2</sub> disuelto.

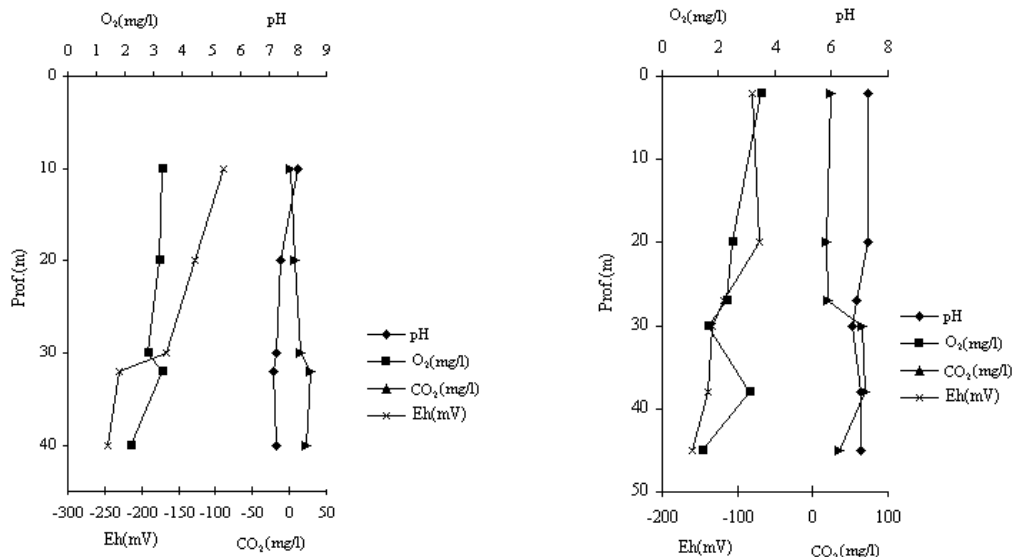


FIGURA 2. Comportamiento de los parámetros físico-químicos más importantes determinados en el campo con la profundidad para los pozos 18 (a) y 33 (b), en la segunda campaña de campo.

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos hasta el presente indican que en la región estudiada (cuenca Guane en la provincia de Pinar del Río), ocurren complejos procesos de mezcla de aguas, los cuales producen notables modificaciones en la composición química de las aguas y pueden ser evaluados cuantitativamente a partir de las relaciones iónicas con el Cl<sup>-</sup> debido a su carácter conservativo en la mezcla agua dulce-agua de mar.
2. De estos procesos los más significativos son la reducción anaerobia de los sulfatos en la zona de mezcla, los cuales tienden a producir a su vez, incrementos en los contenidos de bicarbonato y calcio a expensas del material carbonatado del acuífero.
3. Estos cambios pueden ser incrementados debido a la actividad del hombre y como resultado de todo ello, puede incrementarse la porosidad secundaria del acuífero por cavernamiento, así como un mayor deterioro de la calidad del agua.
4. Mediante los registros verticales de conductividad y temperatura se han puesto de manifiesto las zonas de conductividades altas y variables, así como zonas de conductividades elevadas pero constantes

BIBLIOGRAFÍA

APPELO, C.A.J. y D., POSTMA: *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. Balkema, Rotterdam, 1993, 536 pp.

CUSTODIO.E. y M.R. LLAMAS: *Hidrología subterránea*, tomo I, Omega, 1996, 221-229 pp.

FAGUNDO, J.R.: *Procesos geoquímicos y calidad de las aguas*, en *Contribuciones a la hidrogeología y medio ambiente en Cuba*, Universidad de Castellón, 1996, pp.177-198.

FERRERA, V.; J.R. FAGUNDO; P. GONZÁLEZ y G. BENÍTEZ: "Comportamiento del contenido iónico de las aguas subterráneas afectadas por la salinización. Caso de estudio: cuenca de Zapata, provincia de Matanzas", en *Memorias III Taller de la Cátedra de Medio Ambiente*, CIEN, La Habana, IMP-05, 1997, 6 pp.

GIMÉNEZ, E.: "Caracterización hidrogeoquímica de los procesos de salinización en el acuífero detrítico costero de la Plana de Castellón (España)", Tesis Doctoral, 1994, 469 pp.

GONZÁLEZ, A.: "Problemas de salinización en el acuífero litoral del occidente de Huelva", en *Ser. Public. Univ de Huelva*, España, 1997.

ROMERO, E.: "Caracterización de las salinidades en el Preparque Norte del Parque Nacional de Doñana", Tesis Doctoral, 1998, 205pp.

NORBET, S.: *Introducción a la hidrogeoquímica*, Editora Universaria Duspa, 1988, 189 pp.