



Editada por el Centro de Información y Gestión Tecnológica. CIGET Pinar del Río
Vol. 18, No.2 abril-junio, 2016

ARTÍCULO ORIGINAL

Comportamiento del acuífero costero Guanahacabibes, Pinar del Río

Behavior of the Guanahacabibes costal aquifer, Pinar del Río

Waldemar Hidalgo Aldana¹, Rebeca Hernández Díaz², Fluvio Célico³

¹Ingeniero Geólogo, profesor Asistente de la Universidad de Pinar del Río. Departamento de Geología. Martí #270 CP 20100, Cuba Teléf.: 48728617. Correo electrónico: waldemar@upr.edu.cu

²Doctor en Ciencias Técnicas, profesor Titular de la Universidad de Pinar del Río. Departamento de Geología. Martí #270 CP 20100, Cuba Teléf.: 48728617. Correo electrónico: rebeca@upr.edu.cu

³Doctor en Ciencias Hidrogeológicas, profesor Titular del Departamento de Ciencias y Tecnología Ambiental Universidad de Molise, Italia. Correo electrónico: fulvio.celico@unipr.it

RESUMEN

La investigación evaluó el comportamiento hidrodinámico, hidrogeoquímico y biomolecular del acuífero costero Guanahacabibes a partir de la medición de los niveles piezométricos, composición química y microbiana de las facies hidroquímicas. Los métodos empleados incluyeron la modificación de la red de monitoreo, corrección de las cotas absolutas en los puntos de observación utilizando una nivelación técnica con doble puesta del GPS modelo LEICA-SR20. Las mediciones piezométricas se realizaron en 22 pozos con frecuencia mensual con una sonda eléctrica de precisión $\pm 0,5$ cm, se determinó las concentraciones de aniones y cationes, alcalinidad total, CO₂, potencial Redox, conductividad eléctrica, temperatura, pH, dureza y sólidos totales disueltos. Para el estudio biomolecular se utilizó las membranas filtrantes. Con la técnica de alineación principal y el análisis combinatorio booleano, se determinaron las principales paleodirecciones de flujo. Desde el punto de vista hidrogeológico el acuífero está parcialmente salinizado, presentando un comportamiento

105 *Avances ISSN 1562-3297 Vol. 18 No.2, abr.- jun., 2016 p. 105-116*

variable de la zona de mezcla. La calidad de las aguas estuvo determinada por los procesos de mezcla agua dulce _agua de mar que modifican la composición química mediante diversos procesos geoquímicos, entre ellos los de reducción anaeróbica de sulfato de intercambio iónico, los cuales están sujetos a los regímenes de lluvias, de alimentación del acuífero y de mareas. Se encontró grandes diferencias entre las comunidades bacterianas de las muestras de agua de mar, agua superficial y agua subterránea tanto en la dirección horizontal como en la vertical, asociado a la variación significativa de las facies hidroquímicas correspondientes.

Palabras clave: Acuífero costero, Nivel piezométrico; Hidrogeoquímica; Comunidad microbiana.

ABSTRACT

The investigation assessed the hydrodynamic, hydrogeochemical and biomolecular behavior of the Guanahacabibes costal aquifer starting from the measurement of the piezometric levels, chemical and microbial composition of the hydrochemical facie. The methods used included the modification of the monitoring main, correction of the absolute height in the observation points applying a technical leveling with a double use of the LEICA-SR20 GPS. Piezometric measuring were done in 22 wells once a month with an electric sounding line with $\pm 0,5$ cm accuracy, it was determined the concentration of anions and cations as well as the total alkalinity, CO₂, potential redox, electric conductivity, temperature, pH, hardness and total solids dissolved. Filtering membranes were used for the biomolecular study. The principal paleodirections of flow were determined by the principal alignment technique and combinatorial Boolean analysis. The costal aquifer of the peninsula, in terms of hydrogeology possesses a partial grade of salinization, presenting a variable behavior of the transitional zone. The water quality is determined by the processes of mixture freshwater _ sea water, modifiers of the chemical composition through various geochemical processes, such as reduction anaerobic and ionic interchange, which are subject to the regimens of rains, recharge of the aquifer and of tides. Also it is found that there are great differences among the bacterial communities in seawater, superficial water and subterranean water samples in the horizontal as well as in the vertical direction, associated with the significant variation of their hydrochemistry.

Key words: Costal aquifer, Freshwater head; Hydrogeochemical; Microbial community.

INTRODUCCIÓN

La Península de Guanahacabibes, ha sido desde el punto de vista geológico e hidrogeológico el territorio menos estudiado en la provincia de Pinar del Río. El primer trabajo que contempló la península en este sentido fue "División Hidrogeológica de la Región Guane-Mantua" realizado por Olkowski et al. (1967), en él se consideró a Guanahacabibes como una zona hidrogeológica y se menciona someramente sus condiciones geólogo-hidrogeológicas (Díaz, 2001).

En Abril de 1970 fue llevada a cabo una expedición geólogo-hidrogeológica compuesta por un grupo de investigadores encabezados por León, Álvarez y el hidrogeólogo Búlgaro Tzankov, los resultados de ésta se encuentran recogidos fundamentalmente en dos informes (Septiembre y Diciembre del propio año) confeccionados por Tzankov, en los cuales se brindan apreciaciones preliminares de las condiciones geólogo-hidrogeológicas y señalan como recomendación, proceder a investigaciones detalladas (Díaz, 2001). Posteriormente, en 1980 Vengrazhanovich ejecutó algunos trabajos hidrogeológicos que abarcaron toda la Península de Guanahacabibes con el fin de conocer las posibilidades de obtención de agua potable (Camacho, 2002).

Las primeras investigaciones hidrodinámicas del acuífero Guane se remontan a los años 1985 como resultado del convenio de trabajo establecido por el gobierno de Cuba y la otrora Unión Soviética, la contraparte cubana estuvo representada por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y la Empresa Geólogo-Minera de Occidente, estos estudios de carácter regional establecieron los principales parámetros hidrogeológicos e hidrodinámicos del acuífero que fue declarado como interés nacional por la reserva calculada de 30 000 000 hm³, una calidad tolerable y un residuo seco de 0,25-0,7 g/L (Hernández, 2001).

Es reconocido por todos, que los mayores impactos se refieren a la sobreexplotación del acuífero y a la contaminación del mismo. Como ejemplo citamos el informe de Takov (1985), que señala como zona crítica de explotación toda la franja costera y el trabajo de Hernández y Echevarria (1996), referente a la salinización por intrusión del acuífero y a la evolución natural y explotación del mismo por el incremento de la actividad agrícola en la región.

Ghyben (1889) y Herzberg (1901) fueron los primeros que establecieron una fórmula para estimar la profundidad de la interfase salina. Para ello consideraban al agua dulce y salada como dos fluidos de diferente densidad separados por una interfase neta. Para su cálculo se consideran las siguientes simplificaciones: Existencia de un equilibrio hidrostático entre los fluidos, la superficie de separación entre el agua dulce-salada es plana, no existen gradientes verticales de carga y por último no existen pérdidas de carga del agua de mar en su avance tierra adentro.

Las variaciones críticas del flujo ponen de manifiesto el desacuerdo existente entre las leyes de flujo clásicas y la naturaleza de un medio tan original como el cársico (Mangin, 1975). Para él cálculo de estos parámetros se partió en primer lugar de un estudio del papel de la

litología y de la evolución geomorfológica en el control de la carsificación subterránea; además, se consideraron los mecanismos de flujo y, por consiguiente, la teoría de infiltración.

De acuerdo con lo expresado por Guerra (1986), López y Chicano (1992), estas técnicas tienen una amplia gama de posibilidades a la hora de definir direcciones preferenciales de flujo, para lo cual se elaboró una matriz booleana en la que se tuvo en cuenta la edad y las formaciones geológicas (Hernández y Guerra, 1997, Hernández y Quintín, 1998).

En toda la península de Guanahacabibes, el agua dulce se encuentra en forma de lentes de geometría variable en tiempo y espacio, en dependencia de las propiedades hidráulicas del acuífero, flotando sobre el agua de mar, la cual se localiza a una profundidad relativamente baja. Aunque existe bastante homogeneidad en la hidrogeología de la península de Guanahacabibes, algunos autores la dividieron en dos zonas: La Zona Oeste, que abarca desde el Cabo San Antonio hasta El Vallecito y la Zona Este, que comprende la parte más oriental del área de estudio, la misma se enmarca desde El Vallecito hasta Cortés (Hernández, 2001).

Blanco y Pereira (2011) plantean que la oscilación hiperanual del nivel piezométrico no es significativa entre el período húmedo y la época de sequía, este varía entre 0.3m - 0.7 m, respectivamente. La profundidad máxima de afloramiento del agua puede ser de hasta 9m en la Zona Este (Hernández, 2001). La conductividad hidráulica es muy variable, pudiéndose alcanzar valores mayores de 400 m/d, lo cual está en correspondencia con el alto grado de carsificación y heterogeneidad que tiene la roca acuífera.

El desconocimiento actual de las condiciones hidrodinámicas, hidrogeoquímicas y biomoleculares del acuífero costero Guanahacabibes dificulta la gestión del agua. La solución de esta problemática es de vital importancia para el futuro desarrollo integral de la Península, pues el incremento de las capacidades en las instalaciones turísticas del territorio depende en gran medida de la existencia de agua potable para el abastecimiento de estos recursos. El presente trabajo tiene como primordial propósito evaluar el comportamiento hidrodinámico, hidrogeoquímico y biomolecular del acuífero costero Guanahacabibes a partir de la medición de los niveles piezométricos, composición química y microbiana de las facies hidroquímicas para gestión de agua potable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Modificación de la red de monitoreo.

La red de monitoreo inicial estuvo integrada por 28 puntos de observaciones, de los cuales 23 corresponden a pozos que han sido perforados por el INRH con fines de investigación hidrogeológica, en las siguientes ubicaciones: dos cercanos a zonas marinas (Mar Bahía Cortés y Mar Bahía Guadiana), uno próximo a la Laguna El Pesquero, uno en las inmediaciones del Río Cuyaguaje y uno en la estación pluviométrica de la Bajada. Se modificó la red de control de niveles a partir de los siguientes criterios:

1. La inclusión del mayor número de puntos de la red del INRH, puesto que los mismos disponen de series largas de observaciones (mayor de 15 años).
2. La cantidad de puntos y su distribución debían ser tales que permitiesen obtener información no sólo del sector más transmisivo del acuífero y con mayores problemas (la zona central y sur del área de estudio, Las Martinas - Manuel Lazo - Sandino) sino también del resto, incluyendo las áreas de cabecera de la unidad en el área de Sandino, donde los signos de salinización eran también evidentes.

Trabajos topográficos.

Los trabajos topográficos ejecutados consistieron en modificar la cota topográfica de los pozos de monitoreo y la ubicación espacial del mismo en el terreno. Utilizando un GPS modelo LEICA-SR20, que posee una precisión nominal igual a $10 \text{ mm} \pm 2 \text{ p.p.m.}$, se pudo realizar la ubicación espacial (coordenadas X y Y) de los puntos de monitoreo, y se determinó la cota topográfica utilizando una nivelación técnica con doble puesta de instrumento, con una precisión de $0,50\text{vn}$ ($n = \text{distancia de la nivelación}$), partiendo de cotas conocidas de las redes geodésicas nacionales del Sistema de Alturas Siboney.

Metodología de trabajo para el estudio hidrodinámico, hidrogeoquímico y biomolecular.

Las mediciones de los niveles piezométricos se realizaron en 22 pozos mediante un monitoreo mensual durante nueve meses (agosto 2011- abril 2012). Partiendo de estas premisas se realizaron con sonda eléctrica equipada con 100 m de cable anti-alargamiento con una precisión de $\pm 0,5 \text{ cm}$.

Realización de controles.

Los controles se realizaron mediante un monitoreo mensual durante los meses junio 2011 y agosto 2011 en 18 puntos de observaciones. Para ello se tuvo en cuenta la naturaleza de la red en la determinación de diferentes parámetros físico-químicos:

1. En la red de calidad se contó con las concentraciones de aniones y cationes principales, los análisis isotópicos (Carbono 14, Deuterio y Tritio), alcalinidad total, CO_2 , potencial redox, así como de conductividad eléctrica, temperatura, pH, dureza, TDS.
2. En la red de intrusión marina se dispuso de datos de la concentración en Cl^- y de conductividad eléctrica, y las medidas de esta última citada se realizaron en dos maneras:
 - a) Medidas instantáneas en diferentes profundidades. Perfiles verticales de conductividad eléctrica (CE). Los datos de CE, temperatura y presión de agua se registraron mediante la denominada «sonda DL/N70» en cinco pozos (Pozo -03, Pozo- 18, Pozo Pacheco, Pozo -33 y Pozo 34), variando la profundidad.
 - b) Medidas continuas en una profundidad fija.

Las medidas continuas en una profundidad fija se llevan a cabo mediante la «sonda DL/N70» instalada a una profundidad de 39 m aproximadamente en el pozo 18 y cada una hora, durante nueve meses (agosto 2011 _ abril 2012) se registraron automáticamente los datos de CE, temperatura y presión de agua en dicha profundidad. Con el apoyo del software "DL/N70" se convirtieron los datos a formato digital.

La temperatura, conductividad eléctrica (CE), pH y Eh se midieron *in situ*, corroborándose en el laboratorio. Los componentes mayoritarios, se realizaron en los laboratorios de análisis químicos de la Universidad de Molise, Italia y en el laboratorio del INRH de Pinar del Río, con el objetivo de tener mayor confiabilidad en los resultados y para validarlas. Los análisis hidrogeoquímicos de las aguas de lluvia, se realizaron en el laboratorio del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Pinar del Río, procurando siempre que la realización de los mismos fuese lo más rápida posible (a lo sumo dos días de desfase) y manteniendo las muestras en cámara frigorífica a 4 °C, tras haber añadido "*in situ*" los conservantes adecuados a cada caso particular. Las concentraciones de los iones mayoritarios están expresadas en mg/L. Para los análisis bacteriológicos se tomaron muestras de aguas en 37 puntos de observaciones, en botellas estériles de 1,000 ml y transportadas en condiciones de refrigeración al laboratorio. Los procesos de filtración se realizaron dentro de las 2 horas posteriores a la toma por los métodos clásicos de filtración de agua con membranas estériles filtrantes (GN-6 Metricel, tamaño de poro de 0.45 μ m), y se hizo el diagrama de clúster de los perfiles de DGGE con el apoyo del software FPQuest.

Método de toma de muestras.

Las muestras en pozos se tomaron con un batómetro, tras la toma de cada muestra, los envases fueron correctamente lavados con ácido nítrico diluido al 30% y enjuagados 3-4 veces con agua destilada. Los envases fueron nuevos (no reutilizar nunca botellas), de polipropileno y de cierre hermético, a ser posible con doble tapón (interno y externo). Antes de recoger las muestras se lavaron las botellas 2-3 veces con el agua de la captación. Los envases se llenaron hasta el borde, previa adición de los conservadores necesarios, procurando no dejar una cámara de aire entre el agua y el tapón de cierre. Las muestras destinadas al análisis de cationes fueron filtradas *in situ* con una membrana filtrante de tamaño de poro de 0,45 μ m, para prevenir la adsorción o desorción y acidificadas con ácido nítrico hasta un pH inferior a 2.

Elaboración y procesamiento de los datos.

Antes de la interpretación de los resultados, los datos fueron elaborados y tratados principalmente en soporte informático para archivo y salida gráfica y/o numérica, tales como: Saphiq de Álvarez y Fagundo (1991), Surfer (versión 9), Rockwork (versión 15), Grapher (versión 4), Excel, entre otros. También se elaboraron gráficos y mapas de isolíneas que agilizaron el trabajo y permitieron seguir la evolución temporal y espacial de

las principales características hidrogeoquímicas, sus tendencias de variación, su influencia en la mayor o menor salinidad de determinados sectores, entre otros aspectos de gran interés para la interpretación del fenómeno de salinización.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de la dirección preferencial del flujo predominante de las aguas subterráneas del acuífero.

Del análisis que se realizó a la matriz booleana entre formaciones geológicas y fenómenos tectónicos, se obtuvo que durante los movimientos neotectónicos las fallas presentan igual peso que los movimientos oscilatorios, dando esto un índice de que la actividad tectónica se mantiene activa desde el Jurásico y, por tanto, las morfoestructuras se originaron sobre la falla geológica activa, lo que mostró la correspondencia entre el relieve y las estructuras geológicas.

Con la técnica de alineación principal y el análisis combinatorio booleano se determinaron las paleodirecciones de flujo. Como resultado de la aplicación de este método a los datos morfoestructurales de la región estudiada se obtuvo un índice de similitud igual al 90%, y, además, permitió concluir que las direcciones principales de flujo son 190° (Noreste-Suroeste), de 210° a 260° (Noreste-Suroeste) y 130° (Noroeste-Sureste) (*figura 1*). El flujo de circulación de las aguas subterráneas corre por estructuras geológicas bien definidas. Estos resultados muestran además, que las líneas de flujos están orientadas por las direcciones de las estructuras tectónicas lineales, en este caso las fallas, mientras el relieve representa un papel decisivo en la orientación del flujo. Los resultados obtenidos concuerdan plenamente con los alcanzados (Hernández, 2001).

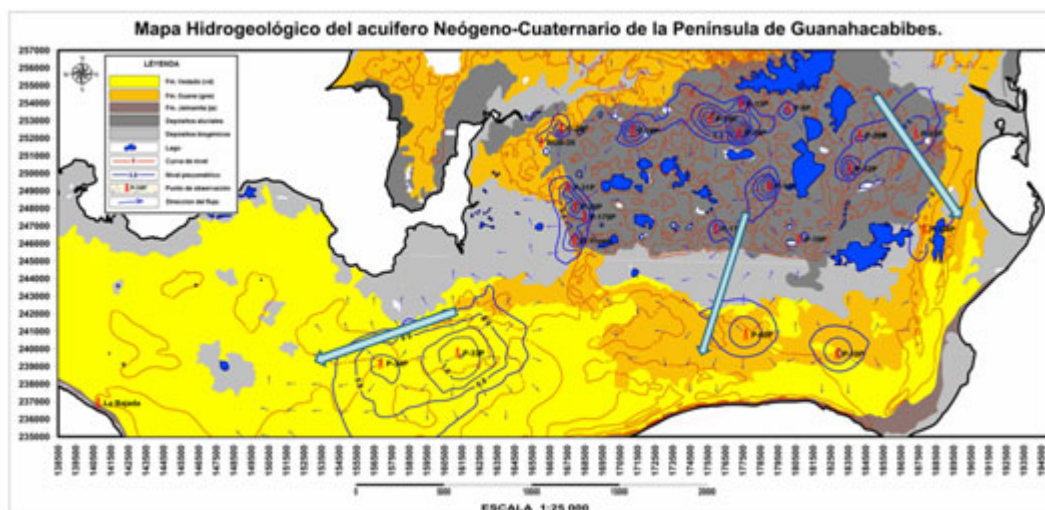


Figura 1. Mapa hidrogeológico del acuífero costero Guanahacabibes.

Evaluación del comportamiento hidrodinámico de la intrusión marina en el acuífero.

El mapa hidrogeológico del acuífero Neógeno-Cuaternario de la península de Guanahacabibes se ha diferenciado en función de su gradiente piezométrico, conjuntamente con la geometría y la distribución espacial de la conductividad hidráulica y de las propiedades condicionan el flujo del agua. La zona Norte, se considera un borde impermeable, mientras que la zona Sur un borde permeable conectado a nivel constante, en la parte central de la zona de estudio existe un gran complejo de lagunas considerado como una línea de potencial hidráulico constante.

Las líneas equipotenciales sugieren un aumento del gradiente piezométrico en zona de contacto entre Guane y Vedado donde se observa un espaciamiento de las líneas equipotenciales (*figura 1*). Los valores de niveles piezométricos, son interesantes, porque hay muchas fluctuaciones relacionadas con la lluvia y posiblemente con las mareas. No siempre hay relación entre las fluctuaciones piezométricas y los periodos lluviosos observados en los colectores. Estas zonas están ocupadas por regadíos que utilizan el agua subterránea, y se ejerce una fuerte explotación de las aguas del acuífero. Se observó claramente la formación de conos de bombeo, debido a las fuertes extracciones en la zona Sur y central del acuífero. Es de destacar que las líneas piezométricas forman un domo de recarga, que significan una entrada de agua en el acuífero. En la *figura 1* se observa además claramente la divisoria de agua, esto representa la zona en que las líneas piezométricas divergen, este resultado es comparable al que obtuvo (Arachchi, 2012). Ahora las pequeñas oscilaciones de los niveles en el acuífero pueden estar dados a efecto de la marea o sencillamente a la evapotranspiración por plantas freatofitas que pueden tomar el agua de la zona saturada.

Determinación de la calidad de las aguas subterráneas del acuífero afectadas por la intrusión marina.

Los procesos hidrogeoquímicos ocurridos en el acuífero de la península de Guanahacabibes determinaron la calidad de las aguas en esta región. En el acuífero las aguas fluyen por conductos y cavernas los cuales han incrementado sus dimensiones a lo largo del tiempo como resultado de procesos de disolución química, ya que los carbonatos son solubles en presencia de un determinado contenido de CO₂.

Como puede apreciarse en la *figura 2* la zona de mezcla se encuentra entre los 15-26 m de profundidad, en ella se produjo un descenso de la temperatura y se incrementó bruscamente la conductividad eléctrica a partir de los 26 metros, superior a 5000 iS/cm hasta los 31 m que marca el inicio del agua de mar. Los diagramas de Stiff definen con claridad el tipo y calidad de agua en la columna del pozo. El acuífero es más vulnerable a la contaminación, especialmente cuando las cavernas adquieren relativamente grandes dimensiones. Estas observaciones coinciden con las observadas por Blanco y Pereira (2011). La acción autodepuradora del mismo es menor, debido a que el contacto de las rocas con el flujo subterráneo se hace a través de las paredes rocosas de las cavidades.

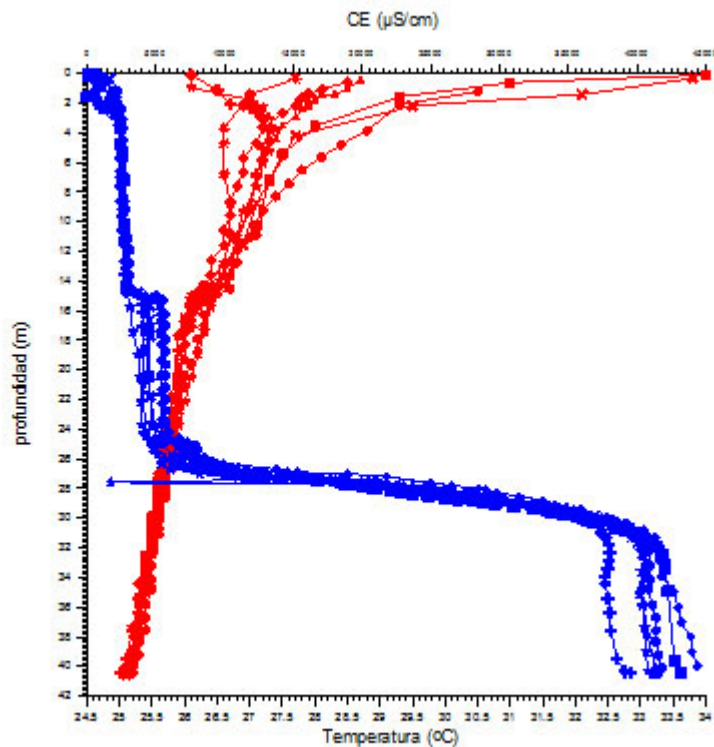


Figura 2. Calidad de las aguas subterráneas del acuífero afectadas por la intrusión marina.

En la zona de mezcla, agua dulce - agua de mar se ponen en contacto con dos fases físico-químicas muy diferentes, en cuanto a su composición química, mineralización, densidad, pH, temperatura y contenido de gases disueltos. En dependencia del grado de mezcla, la litología del acuífero y otras condiciones específicas, se producirán interacciones más o menos intensas y complejas, las cuales producen cambios en la permeabilidad de las rocas, así como en la geomorfología de la región. Como resultado de la mezcla de agua procedente del medio subterráneo y del mar, en ocasiones se origina un agua de tipo agresiva que es capaz de disolver los carbonatos, ampliando los conductos cárnicos, Fagundo (1996) explica este fenómeno en los acuíferos cárnicos de occidente, un hecho muy frecuente en nuestra área de investigación. En general, en el acuífero cárnico costero se pudieron distinguir tres zonas geoquímicas con las características siguientes:

1. Zona marina: en que prevalecen las aguas del tipo $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$, las cuales se encuentran sobresaturadas en relación con la calcita.
2. Zona de mezcla o dispersión: donde las aguas son de los tipos $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$, $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$ o de facies intermedias, y las cuales se suelen encontrar insaturadas respecto a la calcita
3. Zona de agua dulce: en que prevalecen las aguas del tipo $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ en equilibrio con la calcita

Distribución de la comunidad microbiana con las facies hidrogeoquímicas de aguas del acuífero.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de clúster de la comunidad microbiana, se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Se encontraron grandes diferencias entre las comunidades bacterianas de las muestras de agua de mar, agua superficial y agua subterránea en el área de estudio.
2. También se pudieron encontrar algunas diferencias importantes entre las muestras del mismo tipo de agua (Pozo 33), lo cual sugiere la existencia de diferentes factores, sitios o zonas específicas que influyen en las comunidades bacterianas. Por ejemplo, todos los pozos de los grupos clúster superiores, están localizados en la parte N del área de estudio, donde el nivel piezométrico es más alto.
3. En el caso del pozo 18, se detectó una comunidad con pequeñas diferencias a lo largo del perfil investigado. Se observó 3 subgrupos dependiendo de la profundidad del muestreo, sugiriendo una influencia progresiva de mezcla entre agua dulce y agua de mar sobre la composición de la comunidad microbiana.

CONCLUSIONES

- Se determinó la dirección preferencial del flujo predominante de las aguas subterráneas, que responde a: 190° (NE-SW), de 210° a 260° (NE-SW) y 130° (NW-SE), esto permitió determinar la vía fundamental de salinización del acuífero.
- Las fluctuaciones en los valores de niveles piezométricos están relacionadas con la lluvia y posiblemente con las mareas o sencillamente la evapotranspiración por plantas freatófitas al acuífero.
- La mayor parte del agua está ubicada en la zona de dispersión o de mezcla del acuífero cársico, por tanto la calidad de las aguas está determinada por los procesos de mezcla agua dulce _ agua de mar modificadores de la composición química mediante diversos procesos geoquímicos, entre ellos los de reducción anaeróbica de sulfato y del intercambio iónico.
- Se encontró grandes diferencias entre las comunidades bacterianas de las muestras de agua de mar, agua superficial y agua subterránea tanto en la dirección horizontal como en la vertical, debido a la variación significativa de la hidrogeoquímica en las aguas subterráneas en el área de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, F. (1991). *Léxico Estratigráfico de Cuba*. Biblioteca del Instituto Nacional de Geología y Paleontología. La Habana, Cuba.
- Arachchi, H.E. (2012). *Estudio multidisciplinario de la intrusión marina en el acuífero costero de la Península Guanacahabibes, Pinar de Río, Cuba*. Universidad de Pinar del Río Geología, Pinar del Río.
- Back, W., Hanshaw, B.B. (1980). Chemical Hydrology. *Advances in Hydroscience*, 2, 49-109.

- Blanco, M., Pereira, W.L. (2011). *Comportamiento Hidrodinámico e Hidrogeoquímico de la intrusión marina en el acuífero costero de la Península de Guanahacabibes*. (Trabajo de diploma presentado en opción al título de Ingeniero Geólogo) Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río, Cuba, 100p.
- Camacho, R. González, W. (2002). *Investigaciones para el abasto de agua Las Tumbas y a un albergue en Los Cayuelos*. (Informe inédito), Pinar del Río: INRH.
- Díaz, D., González, P., González, W. (2001). *Investigación hidrogeológica para la ampliación del C.I.B. María La Gorda*. (Informe inédito). Pinar del Río: INRH.
- Fagundo, J.R. (1996). *Procesos hidrogeoquímicos y calidad de las aguas. Contribución a la Hidrología y Medio Ambiente en Cuba*.
- Fagundo, J.R., González, P., Ferrera, V., Bénitez, G., Furet, R. (1996). *Intensificación de la corrosión química por la actividad humana en los acuíferos cársicos del occidente de Cuba. Contribución a la Hidrología y Medio Ambiente en Cuba*.
- Fagundo, J.R., González, P., Benítez, G., Jiménez, S., Ferrera, V., González, A., Romero, E., Orihuela, D., Ramírez, J., Suárez, M. (1999). *Metodología para la caracterización geoquímica de los acuíferos cársicos costeros. II. Identificación de los procesos de mezcla y modificación de las facies hidroquímicas*. V Taller Contribución a la Educación y la protección Ambiental. pp. 182-191
- Hernández, D.R. (2001). *Caracterización de la salinización del acuífero Neógeno-Cuaternario de Guane*. (Tesis Doctoral). Universidad de Pinar del Río, Hermanos Saíz Montes de Oca.
- Guerra, O. (1986). *Algoritmo booleano de interpretación de matrices*. Conferencia Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
- Hernández, R., Guerra, O. (1997). *Clasificación morfoestructural de Guanahacabibes*. (Inédito).
- Hernández, R., Quintín, J. (1998) *Estudio de la variabilidades del fenómeno de intrusión salina en el acuífero de Guane*.
- López, Chicano, M. (1992). *Análisis morfoestructural para acuíferos cársicos*. (Tesis Doctoral). Universidad de Granada.
- Mangin, A. (1975). Contribution á l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Thèse Doctorat és Sciences Naturelles. Dijon. *Annales Spéléologie*, 29(3), 283-332
- Morell, I. (1985). Caracterización hidroquímica de la intrusión Marinas en la plana de Castellon. (Castellón). *Hidrogeología*, (12), 121-132.
- Vengrazhanovich, R. (1980). *Informe Hidrogeológico de la Península de Guanahacabibes*. (Inédito). Pinar del Río: Archivo EIPH

Recibido: febrero 2016

Aceptado: junio 2016

Ing. Waldemar Hidalgo Aldana. Profesor Asistente de la Universidad de Pinar del Río. Departamento de Geología. Martí #270 CP 20100, Cuba Telef.: 48728617. Correo electrónico: waldemar@upr.edu.cu