Algunos aspectos de la hidroquímica del sistema acuífero Botucatú (Cuenca del Paraná, Estado de São Paulo, Brasil)

Some considerations about the hydrochemistry of Botucatú Aquifer System (Paraná Basin, São Paulo State, Brasil)

H.C. Campos (*) y J.C. Cerón (**)

(*) Universidad do Vale do Rio dos Sinos. Pós-Graduaçao em Geologia. Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. Caixa Postal 275.93022-000. São Leopoldo. RS, Brasil. Fax: 051-5908177. Email: heraldo@dgeo.unisinos.tche.br
(**) Departamento de Geología. Universidad de Huelva. 21819. Palos de la Frontera. Huelva. G.I. Recursos Hídricos y Geología Ambiental. Email: ceron@uhu.es

ABSTRACT

The principal hydrochemical features of the Botucatú aquifer system in São Paulo State - SE Brasil - was studied from 61 groundwater chemical analysis. Westward, in the Botucatú aquifer system the progressive confining condition, with depth of the top of aquifer layer, increases the groundwater temperature slowly. Moreover, the residence time increases the water salt content towards the natural flow direction (E-W). As results the recent calcium and magnesium bicarbonate groundwater change first to sodium bicarbonate and them to sodium chloride-sulfate.

Key words: *detrital aquifer, hydrogeochemistry, Botucatú, Brasil.*

Geogaceta 23 (1998), 23-25
ISSN: 0213683X

Introducción. Encuadre hidrogeológico

El conocimiento hidrogeoquímico del sistema acuífero Botucatú, se realiza actualmente dentro del marco del Proyecto "Hydrogeological Mapping Proyect of the Botucatú Aquifer System, Hydrogeological Province of Paraná, Brazil, Scale 1:1.000.000" (Campos, 1996). Este acuífero, con una superficie aproximada de 1.194.000 km^2, se extiende por la Cuenca del Paraná, en el sureste de Brasil (839.000 km^2), y por el Este de la Cuenca Chaco-Paraná, en territorio de Paraguay, Argentina y Uruguay (355.000 km^2). En este artículo se exponen las principales características fisicoquímicas de este sistema acuífero correspondiente al extremo nordeste de la Cuenca del Paraná, en el Estado de São Paulo (Brasil). Este área tiene una superficie aproximada de 150.000 km^2 y está situada entre los paralelos 20° y 23°30' de Latitud sur y los meridianos 47° y 52°30' de longitud Oeste, que representa el 60% del Estado de São Paulo (Fig. 1). En esta zona, el acuífero constituye la principal fuente de suministro de agua potable para abastecimiento urbano e industrial. Entre los objetivos de este proyecto, se pretenden determinar las características termales de las aguas del acuífero para ser utilizadas en los sistemas de calefacción.

De acuerdo con Silva (1983), el clima del área es de tipo tropical, con una estación seca y húmeda bien definida en el interior, resultado de la influencia de las tormentas tropicales y polares. Desde el punto de vista geológico, el área estudiada se encuentra en la Plataforma Sudamericana, la cual es una cuenca de origen tectónico que puede llegar a superar los 5.000 m de espesor de sedimentos en el extremo Oeste del Estado de São Paulo. Esta plataforma se individualizó en el Paleozoico superior, como resultado de la erosión de las estructuras originadas al final del denominado Ciclo Brasiliano (Almeida y Melo, 1981). Al final del Jurásico se originó una gran actividad tectónica extensiva con dos direcciones predominantes, NNE y NW, y que produjo la formación de numerosas fallas y pliegues. El área estudiada está comprendida entre los anticlinales "Alto Paranaiba" y "Ponta Grossa", al NE y SW respectivamente. Paralelamente, tuvo lugar el desarrollo de procesos magmáticos de tipo alcalino, originándose diques y sills de gran potencia (Almeida, 1983). Las rocas que afloran de muro a techo corresponden a limos, limos con arenas, arcillas e intercalaciones de niveles calizos (de edad Triásico); areniscas de origen eólico y fluvial de la Formación Botucatú (de edad Triásico-Jurásico y con una potencia media de 300 m, la cual disminuye hacia el noroeste). Discordante sobre las anteriores se encuentran rocas ígneas

Fig. 1.- Situación geográfica del área de estudio.

Fig. 1.- Location map of the study area.

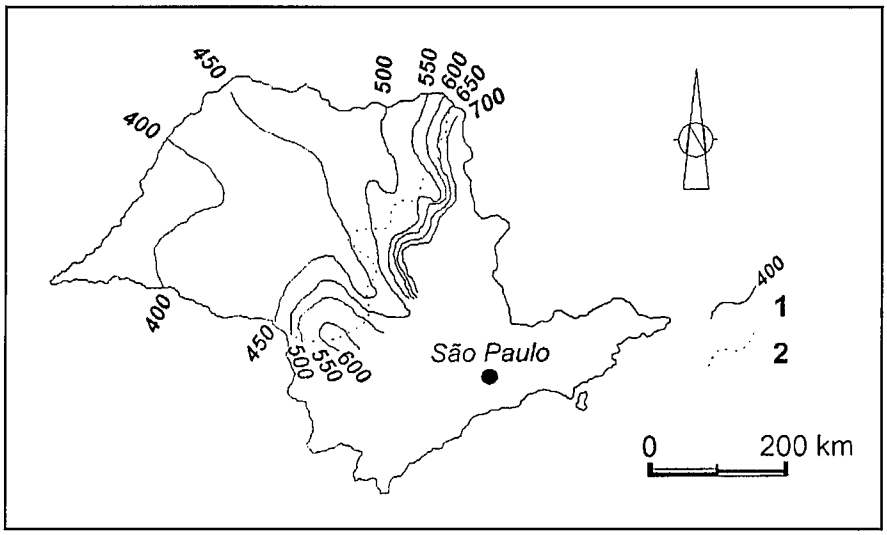

Fig. 2.- Superficie piezométrica del sistema acuífero Botucatú. 1: curva isopieza; 2: límite del sector confinado (modificado de Campos, 1993).

Fig. 2.- Groundwater table of Botucatú aquifer system. 1: piezometric level curve; 2: limit of confined area (modified of Campos, 1993).

basálticas (de edad Jurásico) y, sobre éstas, arenas con intercalaciones de arcillas (de edad Cretácico).

En relación con las características hidrogeológicas, las areniscas de la Formación Botucatú constituyen el acuífero del mismo nombre; se encuentra confinado en el 90% de su superficie, mientras que en el 10% restante (en el sector sureste) tiene características de acuífero libre y constituye su principal área de recarga. Los materiales de la base del acuífero tendrían un comportamiento de acuícludo-acuitardo en las zonas donde pueda existir un predominio de la fracción arenosa. El techo del acuífero, formado por los basaltos, posee una cierta fracturación que, dependiendo de su desarrollo, le confiere un comportamiento acuícludo-acuitardo. Con respecto a su geometría, presenta una inclinación SE-NW, con cota del techo comprendida entre 600 m (SE) y -1500 m (NW) y un gradiente medio de 6 m/km (Silva, 1983); la potencia media del acuífero es de aproximadamente 300 m, con los valores más bajos en el borde sureste (poco más de 100 m) y los más elevados hacia la parte central y el borde noroeste (superiores a 400 m). En la parte noroeste, el acuífero tiene condiciones artesianas en los valles situados por debajo de la cota 450 m. El mapa de isopiezas (Fig. 2) permite ver que la cota del agua varía entre 700 y 400 m; en la parte libre, el gradiente medio es de 2 m/km, mientras que en el sector confinado es de 0,5 m/km. La dirección de flujo predominante es hacia el Oeste, existiendo en algunos sectores pequeñas desviaciones debido a un aumento de las extracciones de agua. La explotación del acuífero se realiza mediante el bombeo de aproximadamente 1.000 sondeos, situados la mayoría cerca de las áreas donde la potencia de los basaltos es menor y con caudales medios comprendidos entre 3 y 28 l/s; sin embargo, pueden encontrarse algunas decenas de sondeos con profundidades próximas a los 1.000 m y caudales comprendidos entre 80 y 170 l/s. La permeabilidad se encuentra entre 0,5 y 4,6 m/d en la parte confinada, mientras que varía entre 0,2 y 4,0 m/d en el sector libre.

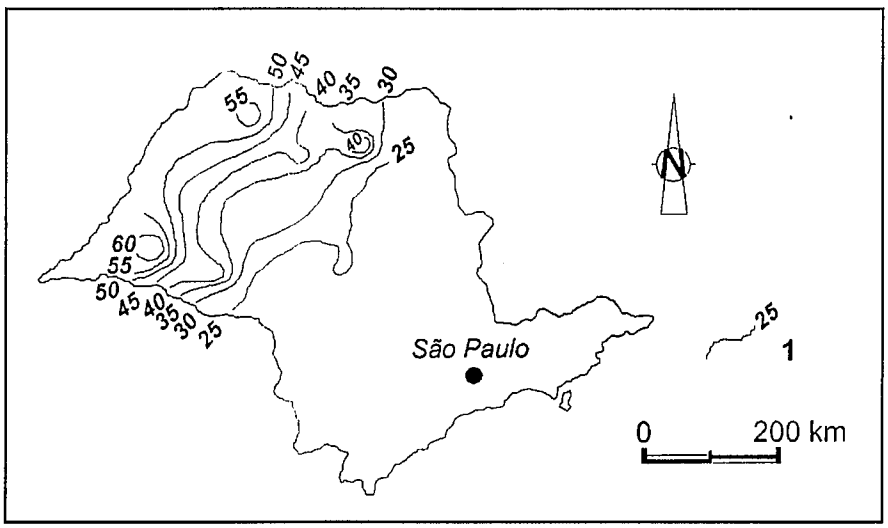

Fig. 3.- Variación espacial de la temperatura en las aguas del acuífero Botucatú. 1: curva de igual temperatura (C⁰).

Fig. 3.-. Espatial variation of the temperature in the waters of Botucatú aquifer. 1: curve of same temperature (C⁰).

Características fisicoquímicas de las aguas

Para el estudio de las características fisicoquímicas de las aguas del sistema acuífero de Botucatú se tomaron 61 muestras - 15 en la parte libre y 46 en la confinada - en las cuales se determinaron 18 variables. Así, en el campo se obtuvieron la temperatura, el pH y la conductividad, mientras que en el laboratorio se determinaron cloruros, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, calcio, magnesio, sodio, potasio, nitratos, boro, sílice, hierro total, flúor, residuo seco y dureza; debido a la limitación en la extensión del trabajo y a que éstas son tratadas en otro artículo, actualmente en elaboración, sólo se comentarán los principales aspectos relacionados con algunas de ellas. En relación con el área de comportamiento libre, las aguas presentan temperaturas comprendidas entre 22 y 27°C, pH entre 5,4 y 9,2 y salinidad inferior a 50 mg/l; la facies predominante es la bicarbonatada cálcica, seguida de la bicarbonatada cálcico-magnésica. Con respecto a la zona de características confinadas, la temperatura varía entre 22 y 58,7°C, el pH entre 6,3 y 9,8, y la salinidad entre 50 y 500 mg/l; las facies predominantes, en aproximadamente el 80% de las muestras, son la bicarbonatada cálcica y la bicarbonatada sódica; a éstas le sigue la sulfatada-clorurada sódica. En la figura 3 se puede ver la distribución espacial de la temperatura en las aguas del acuífero. En general, se observa un aumento de la temperatura en sentido SE-NW, coincidiendo con la

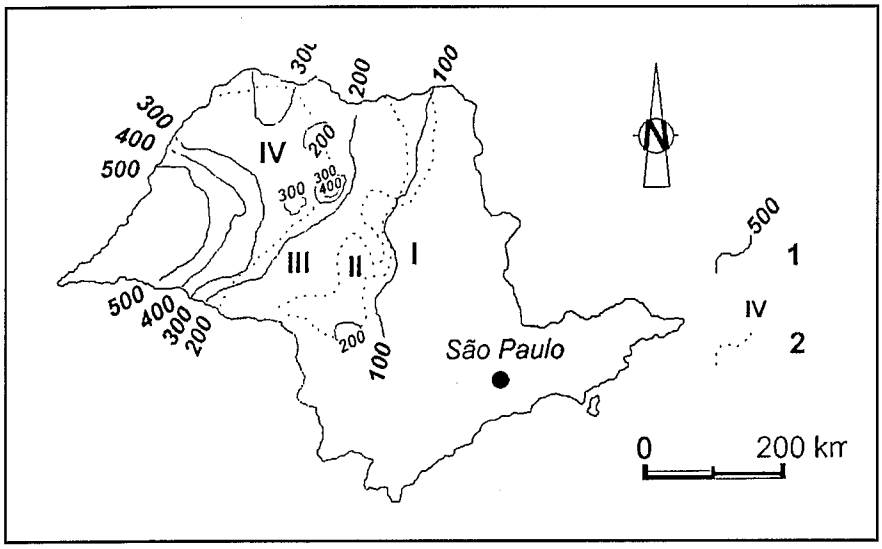

Fig. 4.- Variación espacial de la salinidad y de las facies hidroquímicas en las aguas del acuífero Botucatú. 1: curva de igual salinidad (mg/l); 2: límite de facies hidroquímica.

Fig. 4.- Spatial variation of the salinity and the hydrochemical types in the waters of Botucatú aquifer. 1: limit of hydrochemical types; 2: curve of same salinity (mg/l).

dirección del flujo, encontrándose los valores más elevados cerca del extremo Oeste (superior a 60°C), aunque también pueden haber temperaturas relativamente altas en el borde Norte y en el extremo noroeste (superiores a 45 y 50°C respectivamente).

En la figura 4 se muestra la distribución espacial de la salinidad (residuo seco) y de las facies hidroquímicas de las aguas analizadas. Las zonas próximas al área de recarga presentan las salinidades más bajas (inferiores a 200 mg/l), mientras que las más altas (mayores de 500 mg/l) se encuentran, en general, hacia el extremo Oeste, coincidiendo con la dirección del flujo (E-W); además, se encuentra un máximo superior a 400 mg/l en la parte central del acuífero. También, en esta misma figura se puede ver que las facies hidroquímicas varían en el sentido del flujo; así, se distinguen la bicarbonatada magnésica y cálcico-magnésica, hacia el Este y en la parte libre del acuífero (I), la bicarbonatada cálcica y cálcico-magnésica (II), la bicarbonatada sódica (III) y, finalmente, la sulfatada-clorurada sódica (IV).

Con respecto a los iones, principalmente cloruro, sulfato y sodio, su concentración aumenta hacia el Oeste, coincidiendo con la dirección del flujo, y de la misma forma en que lo hacen la salinidad y la temperatura. El mayor tiempo de contacto entre el agua y la roca, unido al aumento de su temperatura en el sentido del flujo, hacia zonas más profundas, serían los principales factores que favorecerían el aumento de la concentración de estos iones; eventualmente, también podría existir un aporte de éstos iones por flujos de agua desde las rocas situadas en la parte superior e inferior del acuífero, dado su eventual comportamiento acuitardo y la posible existencia de fracturas, lo que está siendo actualmente objeto de un estudio más profundo.

Conclusiones

El análisis de las muestras tomadas en el acuífero Botucatú ha permitido, como primera aproximación, poner de manifiesto una variación entre las características fisicoquímicas de las aguas de las zonas con comportamiento acuífero libre y confinado. Se observa un incremento de la temperatura del agua en el sentido EW - y que coincide con el del flujo - a medida que circula hacia partes más profundas del acuífero. Del mismo modo, la salinidad de las aguas sigue un comportamiento similar al de la temperatura aumentando en el sentido del flujo, principalmente debido al mayor tiempo de contacto entre el agua y la roca del acuífero. Las facies hidroquímicas evolucionan, en el sentido del flujo, de bicarbonatada cálcica y magnésica (y que corresponderían a la facies del agua en la zona de recarga) a bicarbonatada sódica, para luego pasar a sulfatada-clorurada sódica.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento al "Departamento de Águas e Energia Eléctrica" (DAEE) del Estado de São Paulo, por permitir la consulta de sus datos hidroquímicos.

Referencias

Almeida, F.F.M. y Melo, M.S. (1981): *Mapa geológico del Estado de São Paulo.*

Almeida, F.F.M. (1983): *Rev. Bras. Geoc.*, 13 (3): 97-102.

Campos, H.C.N.S. (1993): *Tesis Doct.* (inédita). Universidad de São Paulo, 177 p.

Campos, H.C.N.S. (1996): *Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea.* Méjico, 59-74.

Silva, R.B.G. (1983): *Tesis Doct.* (inédita). Universidad de São Paulo, 133 p.

Aclaración.- (de Enrique Díaz Martínez): Creo comveniente aclarar, ya que no habéis incluido una figura de situación general de la cuenca en que se depositó la formación Botucatú, que esta cuenca es más conocida como cuenca de Paraná o cuenca Chaco-paranense. Creo que el término de cuenca sudamericana es excesivamente ambiguo, y los que menciono son más utilizados para el área de estudio, que correspondería a su flanco nordeste. Además, los depósitos se inician en el Ordovícico y no en el Paleozoico superior, aunque su registro es límitado por los procesos de erosión del Devónico superior y Carbonífero. Tambien creo que deberías tener en cuenta los trabajos que ya existen sobre estratigrafía y sedimentología de la Fm. Botucatú, que pueden aportar datos importantes para las interpretaciones hidrogeológicas y de la hidroquímica que estáis obteniendo.