

CARACTERIZACIÓN HIDRODINÁMICA E HIDROQUÍMICA DE LA CUENCA DEL ARROYO CLAROMECÓ, PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

Marcelo Varni (*); Pablo Weinzettel (**); Eduardo Usunoff(**)

(*)Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Bs.As. (UNCPBA)

(**) Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. de Bs As (CIC)-UNCPBA

Instituto de Hidrología de Llanuras, CC 44, Rep. de Italia 780, 7300 Azul, Argentina,
ihlla@faa.unicen.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo muestra los resultados obtenidos de la recopilación de la información antecedente y de los relevamientos realizados en la cuenca del arroyo Claromecó, así como del posterior análisis conjunto de dichos datos. Con el objeto de caracterizar el flujo subterráneo se realizó un censo de perforaciones existentes en el área de estudio. En total se censaron 178 perforaciones de las que se seleccionaron 108 para la realización de análisis químicos. La configuración regional del flujo es en sentido norte-sur, con algunas particularidades producidas por la topografía y la presencia de cursos de agua. Se observa una configuración de líneas de flujo divergentes en las cabeceras de la zona de estudio con gradientes suaves del orden de $1,5 \times 10^{-3}$. Aguas abajo de que los Tres Arroyos converjan en el arroyo Claromecó las equipotenciales se configuran de forma cuasi paralela a la costa marítima. Las determinaciones químicas incluyen el dosaje de las concentraciones de Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, HCO_3^- , F^- , NO_3^- , As, Conductividad Eléctrica, Residuo Seco, pH y temperatura. El crecimiento de la salinidad se da en el sentido del flujo, aunque con la aparición de importantes contrastes en puntos singulares, lo cual es posible que se produzca por la existencia de un área local de descarga de aguas subterráneas o por una circunstancia de contaminación local. En segundo lugar, la salinidad en la dirección del flujo crece notoriamente al sur de la confluencia de los Tres Arroyos, alcanzándose los mayores valores en un cerca de la costa.

Palabras clave: aguas subterráneas, hidrodinámica, hidroquímica, salinidad.

ABSTRACT

This work shows the obtained results of the compilation of antecedent information, of the studies made in the Claromecó river basin, like of the later joint analysis of these data. With the intention of characterizing the groundwater flow a census of existing perforations was made. A total of 178 perforations were registered and 108 were selected for the accomplishment of chemical analyses. The regional groundwater flow configuration is in north-south sense, with some particularities produced by the topography and the presence of water courses. A configuration of divergent flow lines in the heads of the zone of study with smooth gradients of the order of 1.5×10^{-3} is observed. Downwater from the Tres Arroyos convergence in the Claromecó stream, the groundwater equipotential configuration is parallel to the marine coast. The chemical determinations include the Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, HCO_3^- , F^- , NO_3^- , As, Dry Matter, Electrical Conductivity, pH and temperature. In the first place, a correlation between the Dry Matter and the Electrical Conductivity was made, obtaining a linear equation with a $r^2=0,98$. The growth of the salinity occurs in the sense of the groundwater flow, although with the appearance of important singularities in some points, which is possible that it takes place by the existence of a local area of groundwater discharge or by a local contamination problem. Secondly, the salinity gradients in the groundwater flow direction grows to the south of the confluence of Three Streams, being reached the greater salinity values in an area near to the coast.

Key words: groundwater, hydrodynamic, hydrochemistry, salinity.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos de la recopilación de la información antecedente, de los relevamientos realizados en la cuenca del arroyo Claromecó, y del posterior análisis conjunto de dichos datos. Tales relevamientos han consistido en la realización de un censo de pozos para la obtención de la red del flujo subterráneo y para conocer la hidroquímica del agua subterránea. La investigación de la hidrogeología se realizó en base a un importante número de sondeos eléctricos verticales que sumado a la información antecedente de pozos profundos realizados en el área suministraron importante información de la geología del subsuelo y de la profundidad del basamento hidrogeológico.

Ubicación

Se decidió definir una zona de estudio constituida por la cuenca superior de los Tres Arroyos al norte y, hacia el sur, el área comprendida entre el río Quequén Salado al oeste y el arroyo Cristiano Muerto al este (Figura 1). Este área excede la cuenca del arroyo Claromecó y no incluye totalmente la cuenca del río Quequén Salado. El Océano Atlántico constituye el límite sur del área de estudio.

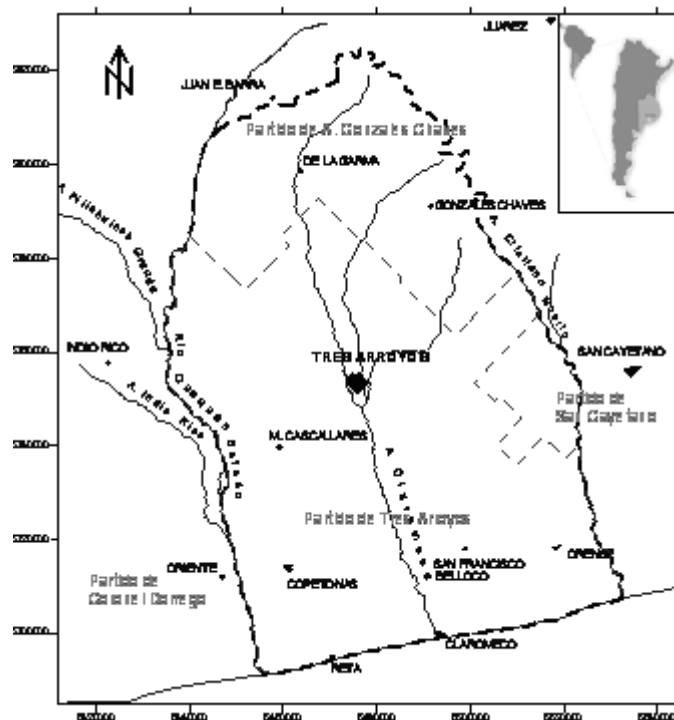


Figura 1. Delimitación del área de estudio.

Geología

La zona de estudio corresponde a un sector ubicado entre las áreas pedemontanas de Ventania y el piedemonte sudoccidental de Tandilia. Allí se presenta la llamada cuenca interserrana o cuenca de Claromecó. Los trabajos geofísicos (gravimétricos) de Kostadinoff y Font (1982) fueron los que permitieron postular la existencia de una fosa de varios kilómetros de espesor. La misma presenta un mínimo gravimétrico en el curso del arroyo Claromecó con una forma oval en sentido NO-SE (Cingolani, 2005).

En la cuenca interserrana se presentan algunos afloramientos de rocas

paleozoicas, inclusive en el área abarcada por este estudio. Los afloramientos conocidos han sido enumerados en el trabajo de Llambías y Prozzi (1975). Por otra parte, algunos pozos han alcanzado al basamento hidrogeológico a distintas profundidades. En la localidad de Gil ubicada a unos 30 km al oeste de la localidad de Oriente, se presenta a 480 metros de profundidad, en Dorrego se encontraría por debajo de los 529 m. Según García (1969) en Necochea se presenta a 300 m de profundidad.

Para el presente estudio interesa la disposición de las formaciones con posibilidades acuíferas, en este sentido se asume como basamento hidrogeológico a las formaciones paleozoicas de la cuenca de Claromecó, asumiendo que dichas formaciones carecen de porosidad primaria, y por lo tanto no transmiten ni almacenan agua salvo que adquieran porosidad secundaria. Por encima de él se ubican las formaciones que a continuación se detallan.

Formación Olivos: se corresponde con los depósitos conocidos como El Rojo (Groeber, 1945). Son sedimentos de tipo continental y están caracterizados por la presencia de arenas gruesas, alternando con fangolitas y arcillas arenosas pardo rojizas con nódulos de yeso, anhidrita e intercalaciones de cenizas volcánicas. Se dispone en discordancia angular sobre el basamento hidrogeológico, siendo también su techo una superficie de erosión. Según Hernández et al. (1975) esta formación corresponde a la sección hidrogeológica Hipoparaniana. Para el ambiente costero de la provincia de Buenos Aires se han observado reducidos espesores.

Formación Paraná: corresponde a un evento transgresivo que afectó a la mayor parte del territorio argentino ocurrido en el Mioceno superior. La ingesión marina depositó los sedimentos denominados Paraniense (Frenguelli, 1950), El Verde (Groeber, 1945). Constituye una sucesión de arcillas, arenas arcillosas y arenas verdes y verde azuladas, con niveles calcáreos y fósiles marinos. Siguiendo a Hernández et al. (1975) esta formación se corresponde con la Sección Paraniense.

Sobreyacen a la Formación Paraná los sedimentos araucanos, pampeanos y postpampeanos incluidos en la denominada Sección Epiparaniana de Hernández et al. (1975). Estos sedimentos son de gran interés hidrogeológico ya que contienen los acuíferos que abastecen a las localidades de la región y a los establecimientos agropecuarios de la zona. Básicamente los acuíferos explotados se presentan en las unidades llamadas Sedimentos Pampeanos (Fidalgo et al., 1975), de edad Plio-pleistocena, y el Postpampeano correspondiente al Holoceno.

Los Sedimentos Pampeanos están constituidos por una fracción limo más abundante que las fracciones arcilla y arena. En general presentan aspecto masivo, aunque localmente pueden mostrar una grosera estratificación. Comúnmente se los denomina loess o limos loessoides. Su coloración es en general castaño con distintas tonalidades que van del amarillento a rojizo oscuro (Fidalgo et al., 1975). El pampeano constituye un acuífero de tipo multiunitario con alternancia de sedimentos que son acuíferos y otros que se comportan como acuitardos. En general la calidad del agua desmejora en profundidad en lo que respecta al contenido de sales totales.

Por su parte los sedimentos correspondientes al Postpampeano se disponen discordantemente sobre los Sedimentos Pampeanos (Fidalgo et al., 1991), pueden diferenciarse sedimentos arenolimosos de origen eólico y otras litologías variadas de tipo fluvial o lacustre. Los sedimentos eólicos se caracterizan por constituir médanos compuestos por arenas sueltas bien seleccionadas.

2. METODOLOGÍA

Con el objeto de caracterizar el flujo subterráneo se realizó un censo de perforaciones existentes. Además, se tomaron muestras del agua de cursos de agua y de lagunas. En total se censaron 178 perforaciones, y de ellos se seleccionaron 108 para la realización de análisis químicos.

Las determinaciones químicas se corresponden con lo designado convencionalmente como análisis completo, es decir el dosaje de las concentraciones de calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Sodio (Na^+), Potasio (K^+), Cloruro (Cl^-), Sulfato ($\text{SO}_4^{=}$), Bicarbonato (HCO_3^-), Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), pH y temperatura. Accesoriamente, se determinaron las concentraciones de Flúor (F^-), Nitrato (NO_3^-) y Arsénico total (As).

Mediante la realización de sondeos eléctricos verticales (SEV) se logró caracterizar el subsuelo del área de estudio, tanto litológicamente como en cuanto a la presencia de diferentes calidades de agua (Weinzettel y Varni, 2007). Para el relevamiento se ubicaron 60 puntos en un mapa base con una separación entre sí de aproximadamente 10 km. Posteriormente se llegó hasta cada uno de los lugares y se realizó el posicionamiento exacto mediante GPS y la respectiva medición mediante la inyección de corriente al suelo. Los valores de resistividad aparente se obtuvieron mediante la aplicación de la metodología tetraelectrónica de Schlumberger. La curva de campo fue interpretada en gabinete mediante los códigos Zohdy (1975) e IPI2Win (2001).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La configuración regional del flujo es en sentido norte-sur, con algunas particularidades producidas por la topografía y la presencia de cursos de agua (Figura 2). Si se intenta caracterizar zonas de comportamiento particular, puede mencionarse que se observa una configuración de líneas de flujo divergentes en las cabeceras de la zona de estudio con gradientes suaves del orden de $1,5 \times 10^{-3}$.

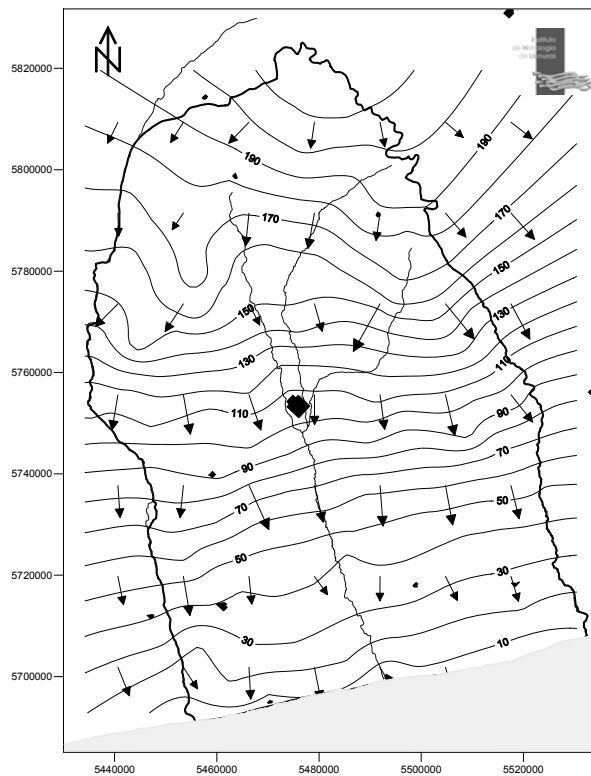


Figura 2. Curvas isopiezas y dirección del flujo del agua subterránea.

Esta configuración es típica de una zona de recarga de aguas subterráneas. Un poco más hacia el sur se generan dos divisorias de aguas, una en el interfluvio entre el río Quequén Salado y el Segundo y Tercer brazos de los Tres Arroyos, y otra entre estos dos últimos y el arroyo Cristiano Muerto. El Primer brazo de los Tres Arroyos queda en una zona de configuración de flujo divergente por lo que, aunque puede existir una convergencia en zonas cercanas al arroyo, parece ser el brazo con menor aporte de caudal base. Ya en la zona donde los Tres Arroyos tienden a converger y hasta algo más al sur de su convergencia se da una zona de gradientes superiores a los de cabeceras ($2,0 \times 10^{-3}$). Aguas abajo de la convergencia en el arroyo Claromecó las equipotenciales se configuran de forma cuasi paralela a la costa marítima. Por debajo de la equipotencial de 50 msnm los gradientes descienden notoriamente ($1,25 \times 10^{-3}$). Para interpolar las equipotenciales sólo se han tenido en cuenta niveles en los pozos censados y no en los cursos de agua y es por ello notable cómo se configura un flujo convergente muy importante hacia el Segundo y Tercer brazos de los Tres Arroyos en la zona media del área de estudio y, más hacia el sur, se configuran claros aportes hacia el río Quequén Salado y al arroyo Claromecó. Por otra parte, el flujo subterráneo parece ser relativamente indiferente al arroyo Cristiano Muerto.

Según las mediciones efectuadas y la elaboración de la red de flujo regional de la Figura 2 podría esperarse alguna relación entre el quimismo de las aguas subterráneas y la posición de las muestras en el dominio del sistema de flujo subterráneo. Por lo general, las aguas subterráneas de circulación regional aumentan su contenido en sales disueltas en la dirección del flujo. Los iones preponderantes varían en la dirección del flujo, principalmente por su cercanía al punto de saturación. El modelo más sencillo de evolución normal señala la siguiente secuencia de importancia relativa de los aniones desde el sector de recarga al de descarga de las aguas subterráneas (Custodio y Llamas, 1983) del bicarbonato al cloruro pasando por el sulfato. Esta evolución química simplificada, sin embargo, puede ser sustancialmente alterada en aquellos ambientes hidrogeológicos en los que: la recarga no está claramente localizada y puede tener lugar virtualmente en todo el dominio (es el caso de acuíferos freáticos con niveles de agua cercanos a la superficie y sin impedimentos mayores para la infiltración de aguas desde la superficie), la presencia de un medio reductor en sectores parciales del acuífero, el contenido de sedimentos carbonáticos es variable, se registra la presencia de sedimentos de grano fino (arcillas, arcillas limosas) que promueven el intercambio iónico, y las acciones antrópicas alteran el equilibrio natural entre las especies disueltas en el agua subterránea y las características mineralógicas de los sedimentos por las que circulan. De los cinco fenómenos modificadores mencionados, es posible postular que en el partido de Tres Arroyos están presentes la mayoría, con excepción del segundo. En efecto, en medios reductores la acción bacteriana produce una rápida desaparición del ión SO_4^- y un incremento importante en las concentraciones del ión HCO_3^- . Paralelamente, el proceso genera iones H^+ (es decir, el pH disminuye), que promueven la disolución de carbonatos (incremento de las concentraciones de Ca^{++} y Mg^{++}). Si se observa la distribución areal del SO_4^- parece poco probable que el medio sea reductor. De hecho, y aunque no se han hecho mediciones del contenido de oxígeno disuelto, la experiencia en otros acuíferos provinciales indica que se trataría de aguas oxidantes. Es factible que exista disolución de sedimentos carbonáticos, de acuerdo con las distribuciones areales de Ca^{++} , Mg^{++} y HCO_3^- .

De todas maneras, está claro que hay un incremento progresivo de la salinidad en la dirección del flujo. Tal característica se manifiesta a través de los valores medidos de Conductividad Eléctrica (CE) (Figura 3) e, individualmente, por las concentraciones de los iones sodio, cloruro y, en menor medida, calcio y magnesio. La CE registra un crecimiento gradual de norte ($1.000 \mu\text{S}/\text{cm}$) a sur ($2.000 \mu\text{S}/\text{cm}$) aunque es notable la influencia de valores claramente localizados. Debe hacerse notar que los valores máximos no se hallan inmediatamente antes de la costa, existiendo un descenso de la conductividad en una franja costera de unos pocos kilómetros. Esto se debe a que los pozos muestreados en esta zona son someros y, por lo tanto captan agua de médanos, con agua menos salina que la

correspondiente al flujo regional debido a que constituyen una zona de recarga localizada.

Con respecto a especies iónicas que puedan representar una limitante para el uso del agua para consumo humano, hay sectores de la cuenca donde se han medido concentraciones de fluoruro por encima del límite permisible. Lo propio sucede con el nitrato y el arsénico, aunque no ha podido definirse un patrón espacial distintivo. La hipótesis es que se trataría de fenómenos muy localizados y que se desencadenan por acción antrópica o por presencia de minerales reactivos no determinados en los sedimentos acuíferos. En La Figura 4 se muestra la distribución del ion nitrato, donde se aprecia, además de altos valores puntuales, que en prácticamente toda el área de estudio se superan los 40 mg/l.

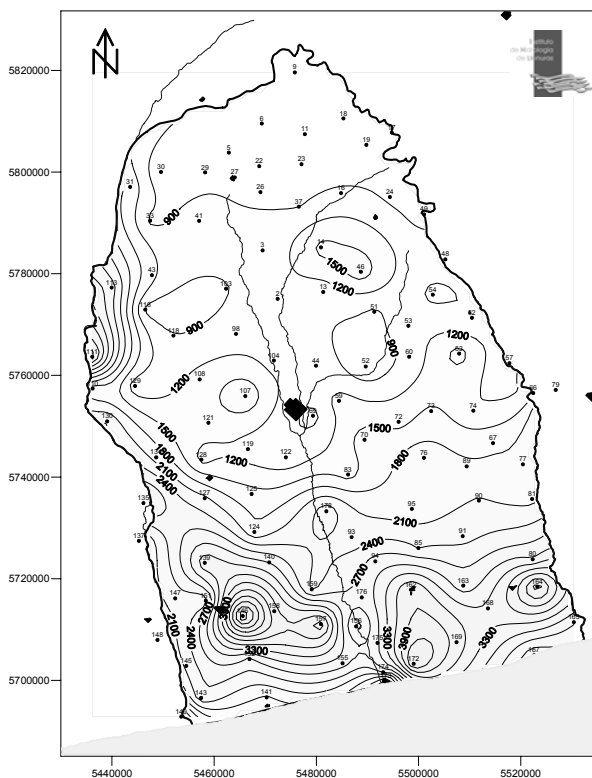


Figura 3. Curvas de isoconductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

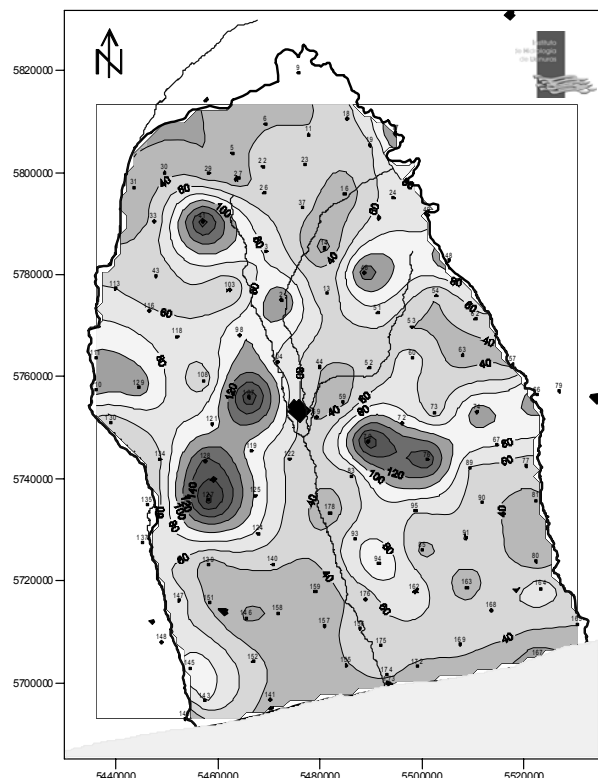


Figura 4. Distribución del ion nitrato (mg/l).

El estudio geoelectrico permitió ubicar en profundidad al basamento y al terciario marino. El basamento se profundiza desde la zona NE, con profundidades menores a los 100 m (donde existen algunos afloramientos), hacia el sur, donde en la proximidades del Océano Atlántico se alcanzan los 900 m de profundidad. En cuanto al terciario marino, no se encuentra en todo el sector NE y aparece en las mitades oeste y sur de la cuenca. Las profundidades máximas de su techo fluctúan entre 160 y 240 m. No se incluyen figuras con las curvas de isopropundidad por razones de espacio.

El análisis de toda la información colectada permitió realizar algunos avances hacia la construcción de un modelo conceptual de funcionamiento del sistema hidrológico subterráneo. Geológicamente se pueden diferenciar tres sectores en el subsuelo, como son la cubierta sedimentaria del Pampeano, los sedimentos del Terciario (El Verde y El Rojo) y por último la roca correspondiente al basamento hidrogeológico de las formaciones del Paleozoico Superior del Sistema de Ventana. Esta secuencia no se encuentra presente en toda la cuenca ya que un poco más al norte de la latitud de Tres Arroyos la presencia del Terciario es mínima o nula, apoyándose los Sedimentos Pampeanos directamente sobre el

basamento constituido por la roca paleozoica. En algunas zonas del noroeste del área estudiada el espesor de estos sedimentos pampeanos es muy exiguo e incluso se presentan afloramientos del basamento en superficie.

Las características hidráulicas de estos tres sectores contrastan entre sí relacionadas con las litologías presentes en cada unidad. Es así que los sedimentos pampeanos muestran una interesante conductividad hidráulica según se desprende del rendimiento de los pozos perforados en esta unidad. Los sedimentos areno limosos del pampeano son capaces de transmitir agua en prácticamente toda el área relevada. En algunos sectores como en la zona de la ciudad de Tres Arroyos el pampeano presenta una mayor proporción de sedimentos arcillosos a partir de los 40 metros de profundidad, según se ha observado en las muestras litológicas y en perfilajes de pozos. Los sedimentos del Terciario o el Verde Marino presentan litologías de arcillas y algunas intercalaciones de sedimentos limosos que hacen que su comportamiento sea considerado como un acuitardo debido a su baja transmisividad. Los sedimentos continentales correspondientes al Mioceno Rojo se incluyen con los del Terciario marino ya que los pozos perforados en áreas cercanas a la zona de estudio demuestran la mayor potencia de los primeros respecto a los continentales. Además, si bien estos últimos son algo más arenosos no se han obtenido caudales aceptables en los bombeos realizados en los viejos pozos que lo ensayaron. Por último se presenta roca posiblemente de la Formación Tunas del Sistema de Ventana con litologías de arcilitas muy compactas por las que difícilmente pueda circular el agua, salvo por fracturas o diaclasas. Por esto se considera a estos sedimentos como impermeables y, por lo tanto, constituyen el basamento hidrogeológico del sistema.

Una consideración aparte es la referida a la calidad química del agua que se presenta en los sedimentos descriptos. En el caso de los Sedimentos Pampeanos se puede encontrar agua de aceptable calidad en cuanto al contenido de sales en los primeros 40 a 70 metros de profundidad desmejorando luego en profundidad. Esto se refleja en el sector norte de la cuenca, mientras que en la porción sur los sedimentos pampeanos presentan altas salinidades a profundidades someras. Altas salinidades desde el inicio mismo del acuífero se presentan en el área cercana al valle del río Quequén Salado desde su nacimiento como curso permanente. Algunas litologías del cuaternario vinculadas a ambientes evaporíticos podrían ser las causantes de conferirle al agua esas características aunque esto debería ser estudiado con mayor detalle en próximos estudios.

El flujo subterráneo es marcadamente norte - sur y muestra el enriquecimiento en sales del agua en su tránsito por el acuífero. La presencia de iones Flúor y Arsénico en el agua y su distribución en el área no pueden explicarse de una forma lógica por lo que una investigación de mayor detalle tal vez podría arrojar luz sobre esta problemática.

En cuanto a las extracciones de agua subterránea por bombeos, esta no es gravitante respecto de la recarga que se produce en el acuífero. El consumo mayor se produce en la ciudad de Tres Arroyos y en pozos de riego, siendo en ambos casos la época estival la que marca un consumo mucho más importante con respecto al resto del año. Los consumos de las demás localidades son prácticamente despreciables frente al volumen de agua de la recarga anual. El mayor volumen de agua del acuífero es perdido a través de los ríos que por su carácter de efluentes drenan una parte del agua del acuífero conduciéndola al mar. Los valores de este drenaje tampoco afectan de sobremanera al acuífero ante las recargas ocurridas anualmente.

4. CONCLUSIONES

El estudio geoelectrico permitió ubicar en profundidad al basamento y al terciario marino. El basamento se profundiza desde la zona NE en donde aflora en varios lugares hacia el sur, donde en la proximidades del Océano Atlántico se alcanzan los 900 m de

profundidad. En cuanto al terciario marino, no se encuentra en todo el sector NE y aparece en las mitades oeste y sur de la cuenca. Las profundidades máximas de su techo fluctúan entre 160 y 240 m.

La configuración regional del flujo es en sentido norte-sur, con algunas particularidades producidas por la topografía y la presencia de cursos de agua. En las cabeceras de la zona de estudio se observa una configuración de líneas de flujo divergentes con gradientes del orden de $1,5 \times 10^{-3}$. En la mitad sur del área estudiada las equipotenciales se configuran de forma cuasi paralela a la costa marítima. Por debajo de la equipotencial de 50 msnm los gradientes alcanzan valores de $1,25 \times 10^{-3}$.

Hay un incremento progresivo de la salinidad en la dirección del flujo. Tal característica se manifiesta a través de los valores medidos de Conductividad Eléctrica (CE) y por las concentraciones de los iones sodio, cloruro y, en menor medida, calcio y magnesio. La CE registra un crecimiento gradual de norte ($1.000 \mu\text{S}/\text{cm}$) a sur ($2.000 \mu\text{S}/\text{cm}$) aunque es notable la influencia de valores claramente localizados. Sobre la costa existe un cordón medanoso que contiene aguas de baja salinidad dada su alta capacidad de recarga.

Finalmente, el análisis de toda la información obtenida hay permitido sentar las bases de un modelo conceptual del sistema hidrogeológico.

REFERENCIAS

- Cingolani, C.A.** 2005. Unidades morfoestructurales (y estructuras menores) de la provincia de Buenos Aires. Relatorio de XVI Congreso Geológico Argentino (De Barrio, R.E., Etcheverry, R.O., Caballé, M.F. y Llambías, E. ed.), La Plata, 21-30.
- Custodio, E. y Llamas, R.** 1983. Hidrología Subterránea. 2da. Edición Corregida, Tomo 1, Ediciones Omega, Barcelona, 1157 p.
- Fidalgo, F., Pascual, R. y De Francesco, F.** 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense (Argentina). Relatorio del VI Congreso Geológico Argentino, 103-138.
- Fidalgo, F., Riggi, J. C., Gentile, R., Correa, H. y Porro, N.** 1991. Los "Sedimentos Postpampeanos" continentales en el ámbito del sur bonaerense. Revista de la Asociación Geológica Argentina, XLVI(3-4):239-256.
- Frenguelli, J.** 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la provincia de Buenos Aires. LEMIT, serie II, 33 p.
- García, J.** 1969. El agua subterránea en la cuenca del Quequén. Relatorio de la reunión sobre la geología del agua subterránea de la provincia de Buenos Aires. Comisión de Investigaciones Científicas, La Plata, 91-97.
- Groeber, P.** 1945. Las aguas surgentes y semisurgentes del Norte de la provincia de Buenos Aires. Revista La Ingeniería XLIX(6):371-387.
- Hernández, M., Fili, M., Auge, M. y Ceci, J.** 1975. Geohidrología de los acuíferos profundos de la Provincia de Buenos Aires. V Congreso Geológico Argentino, Actas, Tomo II, 479-500.
- IPI2Win.** 2001. Moscow State University, Geological Faculty, Dept. of Geophysics. Geoscan-M Ltd. IPI2Win v 2.1. User's guide. 25 p.
- Kostadinoff, J. y Font de Affolter, G.** 1982. Cuenca interserrana bonaerense, Argentina. V Congreso Latinoamericano de Geología, Actas IV, 105-121.
- Llambías, E. y Prozzi, C.** 1975. Ventania. En Relatorio Geología de la provincia de Buenos Aires, VI Congreso Geológico Argentino, 79-101.
- Weinzettel, P. y Varni, M.** 2007. Aporte al conocimiento del subsuelo de la cuenca del arroyo Claromecó, provincia de Buenos Aires
- Zohdy, A.** 1974. A computer program for the automatic interpretation of Schlumberger sounding curves over horizontally stratified media. Geological Survey, Springfield, USA.