

DISEÑO DE POZOS DE MUESTREO EN UN SECTOR DE LA CUENCA BAJA DEL ARROYO DEL AZUL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Pablo Weinzettel* **, Marcelo Varni*, María E. Zabala** y Sebastián Dietrich* ***,

* Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires (UNCPBA)

** Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CIC)

*** Becario del CONICET

Instituto de Hidrología de Llanuras (UNCPBA – CIC – Mun. de Azul)

Rep. de Italia 780 – 7300 – Azul

paw@faa.unicen.edu.ar

Resumen

La cuenca del arroyo Azul, ubicada en el centro de la provincia de Buenos Aires, presenta en su sector de cuenca baja un espesor sedimentario de más de 800 metros, según los relevamientos realizados con sondeos eléctricos verticales. En dicha zona se encuentran distintos acuíferos, por lo cual interesó investigar el tipo de agua de cada uno de ellos así como las litologías presentes.

El objetivo de este trabajo es mostrar los diseños de los pozos realizados para el muestreo de agua subterránea, las unidades hidrogeológicas presentes y la calidad del agua obtenida de los mismos.

Las perforaciones tienen una profundidad de 6, 30, 100 y 186 metros y están separadas 10 metros una de otra aproximadamente. En cada una de ellas se realizó el muestreo litológico y se diseñaron los entubamientos apropiados para captar agua de cada acuífero. Se atravesaron las unidades hidrogeológicas típicas de esta zona. La Formación Paraná se encontró a una profundidad de 148 metros, presentando litologías de arcillas verdes con intercalaciones arenosas y presencia de fósiles marinos. Por encima de este se halló una arena muy fina de tipo continental posiblemente correspondiente a las Arenas Puelches, con un techo a 93 metros de profundidad. El muestreo del agua permitió observar una inversión en la salinidad, ya que el acuífero ubicado a 146 metros muestra conductividades eléctricas inferiores a la de los acuíferos suprayacentes lo cual está perfectamente relacionado con los registros del perfilaje eléctrico,

Palabras claves: Pozos de muestreo, hidrogeología, hidroquímica

Abstract

Azul River basin, located in Buenos Aires province center, possess in its low basin portion, more than 800 m of sedimentary thickness, according to deep vertical electrical soundings carried out in this zone. Several aquifers are known to exist there, so that, water type and lithology of each one is interesting to be studied. This work is intended to show well designs for boreholes drilled in that zone for water sampling, hydrogeologic units crossed during drilling and water quality. The boreholes depths are 5, 30, 100 and 186 meters and are roughly 10 m apart. During each drilling, cutting sampling was collected and proper tubing was designed after that. The hydrogeologic units were those typically found in this area. Paraná Formation lay 148 m below the surface, composed with green clay with sandy interbeds, where marine fossils were present. Above this one, continental very fine sands was detected, likely belonging to Arenas Puelches, which extends up to 93 m below the surface. Water sampling let see a salinity inversion, with lower electrical conductivities in deeper aquifer compared with the shallowest ones. This inversion is perfectly related with electrical logging.

Keywords: sampling boreholes, hydrogeology, hydrochemistry

INTRODUCCIÓN

Para la investigación hidrogeológica se pueden utilizar diferentes métodos geofísicos siendo los más comunes la geoelectrónica, la sísmica, los métodos electromagnéticos, entre otros. No obstante y en definitiva, el resultado final se conoce a través de la perforación de un pozo que confirme la interpretación realizada en la exploración. En la cuenca del arroyo del Azul se llevaron a cabo una serie de pozos de exploración para conocer las características de los acuíferos presentes en la zona norte de la cuenca. Los resultados obtenidos mediante sondeos geoelectrónicos permitieron saber que el basamento hidrogeológico se encuentra en esta zona a una profundidad de unos 800 m.

La información antecedente proviene de pozos realizados en la ciudad de Las Flores, cercana a esta región de la cuenca. Los mismos alcanzaron la Formación Paraná, y antes de entrar en la misma, atravesaron a las Arenas Puelches. Esto último motivó la realización de dos pozos exploratorios de 100 y 186 m de profundidad para tipificar los sedimentos y, luego de un conveniente entubado y aislación, poder extraer agua de los niveles de interés para analizar su calidad. La información se complementó con el análisis del agua de otros dos pozos someros adyacentes, de 5 y 30 m de profundidad. Cabe aclarar que la zona en la que se perforó presenta las características de llanura con mínimos desniveles y con esporádicos anegamientos. Los acuíferos superficiales contienen agua de regular calidad, la cual se va degradando por mayor contenido en sales al aumentar la profundidad.

UBICACIÓN

El área de estudio se encuentra localizada en la zona norte de la cuenca del arroyo del Azul, más precisamente en la estancia Rincón Viejo (Figura 1) ubicada a unos 3 Km de la intersección del canal 11 y la ruta Nacional N° 3, valiéndose de que se ha tomado arbitrariamente al canal 11 como límite norte de la mencionada cuenca. Ésta se localiza en la zona centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Las características hidrogeológicas generales pueden consultarse en Usunoff et al. (1999).

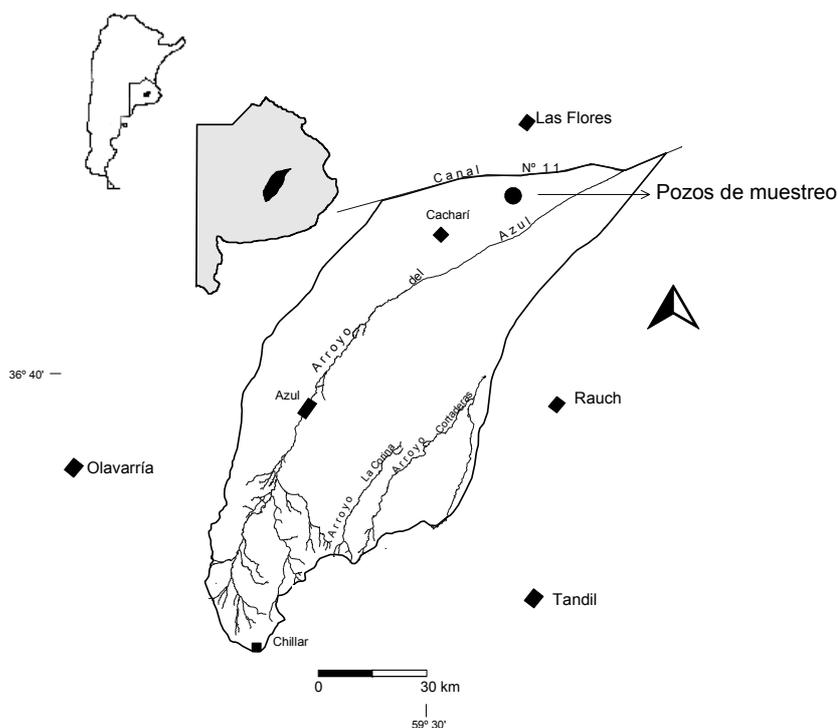


Figura 1. Ubicación de las perforaciones de muestreo en la cuenca del arroyo del Azul.

MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo de las perforaciones, como ya fue mencionado, fue estudiar las unidades hidrogeológicas que pudieran ser de relevancia por la calidad del agua que contienen y comparar el tipo de agua presente en cada uno de ellos tanto hidroquímica como isotópicamente. En esta oportunidad, se presentan los resultados de los análisis químicos.

Las perforaciones, de 5, 30, 100 y 186 m de profundidad, se localizan en la estancia Rincón Viejo y están separadas entre 5 y 15 m una de la otra. La primera de ellas, de 5 m, fue ejecutada hace 13 años cuando se instaló la red freaticométrica de 41 pozos someros (IHLLA, 1996) en la cuenca. De dichos pozos se tiene el registro freaticométrico y químico completo, tomados cuatro veces por año. En una segunda etapa llevada a cabo en el año 2006, se perforaron e instalaron 20 pozos de 30 m en distintos sectores de la cuenca, siempre junto a algún pozo somero. Finalmente, se decidió la realización de los pozos de 100 y 186 m en esta estancia al norte de la cuenca, ubicados en forma adyacente al de 5 y 30 m.

Para la extracción de las muestras se utilizó una bomba electrosumergible de 4 pulgadas de diámetro y una bomba manual para el pozo de 5 m de profundidad.

La perforación de 186 m fue perfilada eléctricamente para ajustar las profundidades de las unidades atravesadas y observar las características de los acuíferos de acuerdo al registro eléctrico obtenido.

Diseño constructivo de los pozos

En el diseño de los pozos se tuvieron en cuenta las presiones de los acuíferos confinados y, por una cuestión económica, se utilizaron pequeños diámetros para la captación, colocándose los diámetros mayores en la porción superior de los dos pozos profundos para poder ubicar una bomba de muestreo.

Pozo de 5 m: perforado en 3" de diámetro, entubado en PVC reforzado de 2" de diámetro. La zona filtrante se fabricó con el mismo caño de PVC ranurando el último metro. El espacio anular fue rellenado con grava seleccionada en el sector del filtro. Por encima de ésta se selló con bentonita.

Pozo de 30 m: perforado en 6", entubado en PVC reforzado de 4" de diámetro. Se ranuraron los últimos cinco metros del entubado para que funcione como zona filtrante, engravándose el anular y cementando con bomba desde los 25 metros hasta la superficie.

Pozo de 100 m: se perforó en 6" de diámetro, se rellenó desde los 100 hasta los 97 m, colocándose un filtro de ranura continua de 2" de diámetro. Como caño portafiltro se utilizó PVC de 1 ¼" hasta los 18 m. A partir de allí y hasta superficie, se ubicó un caño de PVC de 4 ½" para utilizarlo como cámara de bombeo. De 90 a 97 m se engravó y luego se cemento por encima de la grava hasta los 92 m. Desde esta profundidad hasta 2 de la superficie se selló con suelo-cemento. En los dos metros superiores del anular se cementó. Este diseño se debe a que, en los perfiles de la ciudad de Las Flores, se observó que la presión del acuífero hace ascender el agua hasta la zona de la cámara de bombeo.

Pozo de 186 m: en este caso, si bien se perforó hasta los 186 m (técnicamente se pensaba alcanzar la profundidad de 200 m pero no se logró por problemas en el equipo perforador al atravesar un nivel de gravas y arenas de la Fm Paraná), el perfil mostró como zona interesante para la captación del acuífero, aquel que se extiende desde los 145 a 148 m, sector al cual se le enfrentó un filtro de 2" de ranura continua. De 186 a 149 se rellenó con material del mismo pozo. El portafiltro fue análogo al pozo anterior, de 1 ¼" hasta los 15

metros donde se colocó como cámara de bombeo una camisa de 4 ½". El anular fue rellenado con grava en la zona de filtros y cementado 2 m por encima de la grava. Luego se rellenó con suelo cemento hasta 2 m de superficie donde se cementó. En la Tabla 1 se indican las coordenadas y un resumen de los sectores acuíferos muestreados. Mayores detalles constructivos del pozo 3 y 4 pueden observarse en la Figura 2, en la cual se indica también el perfil litológico.

Tabla 1. Coordenadas, profundidad y ubicación de la zona filtrante de los pozos de muestreo.

Pozo	Prof. (m)	X	Y	Tramo filtrante	Nivel Estático (msnm)
1	5	5561050	5989650	4-5	49.33
2	30	5561077	5989592	25-30	49.32
3	100	5561112	5989528	94-97	49.24
4	186	5561101	5989538	145-148	49.31

RESULTADOS

Se describen brevemente las unidades hidrogeológicas atravesadas.

Sedimentos pampeanos y postpampeanos

Sobreyacen a las Arenas Puelches y son los 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 zona y a los establecimientos agropecuarios.

Básicamente los acuíferos explotados se presentan en las unidades llamadas Sedimentos Pampeanos (Fidalgo et al., 1975), de edad Plio-pleistocena, y el Pospampeano correspondiente al Holoceno. 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, tal como se puede observar en los dos pozos de 5 y 30 m perforados en esta unidad, con salinidades de 657 mg/l y 1746 mg/l, respectivamente.

Litológicamente, esta unidad se presenta en los primeros 27 m, con limos de tonalidades pardo rojizas con presencia de tosca y algunas intercalaciones arcillosas subordinadas. A partir de allí, y hasta los 93 m, el sedimento se compone mayoritariamente de una arcilla parda con limo subordinado y niveles calcáreos.

Arenas Puelches

Constituyen una secuencia de arenas cuarzosas sueltas, medianas y finas, blanquecinas y amarillentas, de origen fluvial, que ocupan unos 83.000 km² en el subsuelo del NE de la Provincia de Buenos Aires y se extiende también a la de Entre Ríos, Santa Fe y Córdoba (Auge, 1986). El límite SO de las Arenas Puelches se dispone en forma subparalela al Río Salado. Según Auge et al. (2002), la extensión en la Provincia de Buenos Aires es de alrededor de 92.000 km² en el sector NE. Los espesores oscilan entre 20 y 30 m en Buenos Aires y alrededores y se pasa a más de 60 m en Gral. Belgrano, Saladillo y Mosconi, como así también hacia la Bahía Samborombón y el Cabo San Antonio.

Se ha contado con dos perfiles pertenecientes a pozos de 400 y 350 m de profundidad, realizados en la ciudad de Las Flores en el año 1913, los cuales han sido de gran importancia para la planificación de los dos pozos profundos perforados en esta investigación, debido a que se encuentran a sólo 35 km. En el perfil litológico del pozo 2 de la plazoleta (manzana 77) de Las Flores, las Arenas Puelches presentan un espesor de 45

m, extendiéndose entre los 85 m y los 130 m de profundidad. A su vez, Auge (2005) menciona un buzamiento hacia el SO que alcanza un valor medio de 0.4 m/km. En el pozo de 186 m las Arenas Puelches presentan un primer sector, a partir de los 94 m hasta los 100 m, integrado por una secuencia sedimentaria gradada de arena mediana y gruesa en la sección inferior haciéndose más limosa hacia el techo. Esta arena se compone de cuarzo en un 95 % y máficos, en conjunto con impregnaciones de óxido de hierro y magnetita, coincidiendo con las descripciones hechas por Santa Cruz (1972).

Subyaciendo a este nivel arenoso se presentan desde los 100 a los 111 m arcillas y limos con arena subordinada. Luego, y hasta los 114 m, se encuentra una arena fina cuarzosa que es seguida por una intercalación limosa que se extiende hasta los 120 m. A partir allí y hasta los 148 m, se halla el mayor espesor de arena fina compuesta por cuarzo de grano fino en un 95 %, de coloración blanquecina y amarillenta. Este intervalo se caracteriza por su buena selección, con clastos subangulosos, en el que el cuarzo es acompañado por feldespato, máficos y moscovita, junto con impregnaciones de hierro.

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 Paraniaco (Frenguelli, 1950) y El Verde (Groeber, 1945). Constituye una sucesión de arcillas, arenas arcillosas y arenas verdes y verde azuladas, con niveles calcáreos y fósiles marinos.

El impacto de esta ingesión marina ha dejado una profunda impronta en la evolución geomórfica de la llanura argentina ya que al enrasar la mayor parte de la actual región chaco pampeana le confirió su principal rasgo morfológico que es, precisamente, su carácter de llanura o de "pampa" (Nabel y Pereyra, 2002). Siguiendo a Hernández et al. (1975) esta formación se corresponde con la Sección Paraniaca.

En el pozo realizado se presenta a partir de los 148 m con arcillas verde grisáceas muy compactas y otras verdes muy plásticas. Desde un comienzo aparecen restos de conchillas marinas, encontrándose a los 156 m y con dos metros de espesor, una intercalación de arcilla verde plástica con abundantes conchillas y cristales de calcita. A los 158 m se encuentra una arcilla limosa blanquecina verdosa compacta y arcilla verde plástica siempre con presencia de conchillas. Finalmente, a partir de 171 m, se pasa a grava fina a muy fina de tonalidad verde con buena selección y clastos subredondeados a subangulosos, acompañada por arena y restos de conchillas.

Características hidráulicas

En el pozo somero de 5 m de profundidad el comportamiento hidráulico del acuífero fue conocido a partir de ensayos slug, para el que se obtuvo un valor promedio de conductividad hidráulica (K) de 1 m/d (Zabala et al., 2006).

El muestreo de los tres pozos de mayor profundidad se realizó con bomba electrosumergible. El mayor caudal se obtuvo del acuífero pampeano en el pozo de 30 m. Solamente en este pozo se realizó un ensayo de bombeo con recuperación, el cual arrojó un valor de $K = 24$ m/d, con un caudal de ensayo de 18 m³/h y una depresión de 17 m.

Los pozos 3 y 4, con filtros de 3 metros de longitud enfrentados a las arenas, tuvieron un comportamiento dispar. Del primero extrajo un caudal de 0.01 m³/h mientras que el pozo 4 produjo un caudal sostenido de 1 m³/h, con una depresión de 6 m. Los niveles estáticos nivelados de cada pozo se presentan en la Tabla 1.

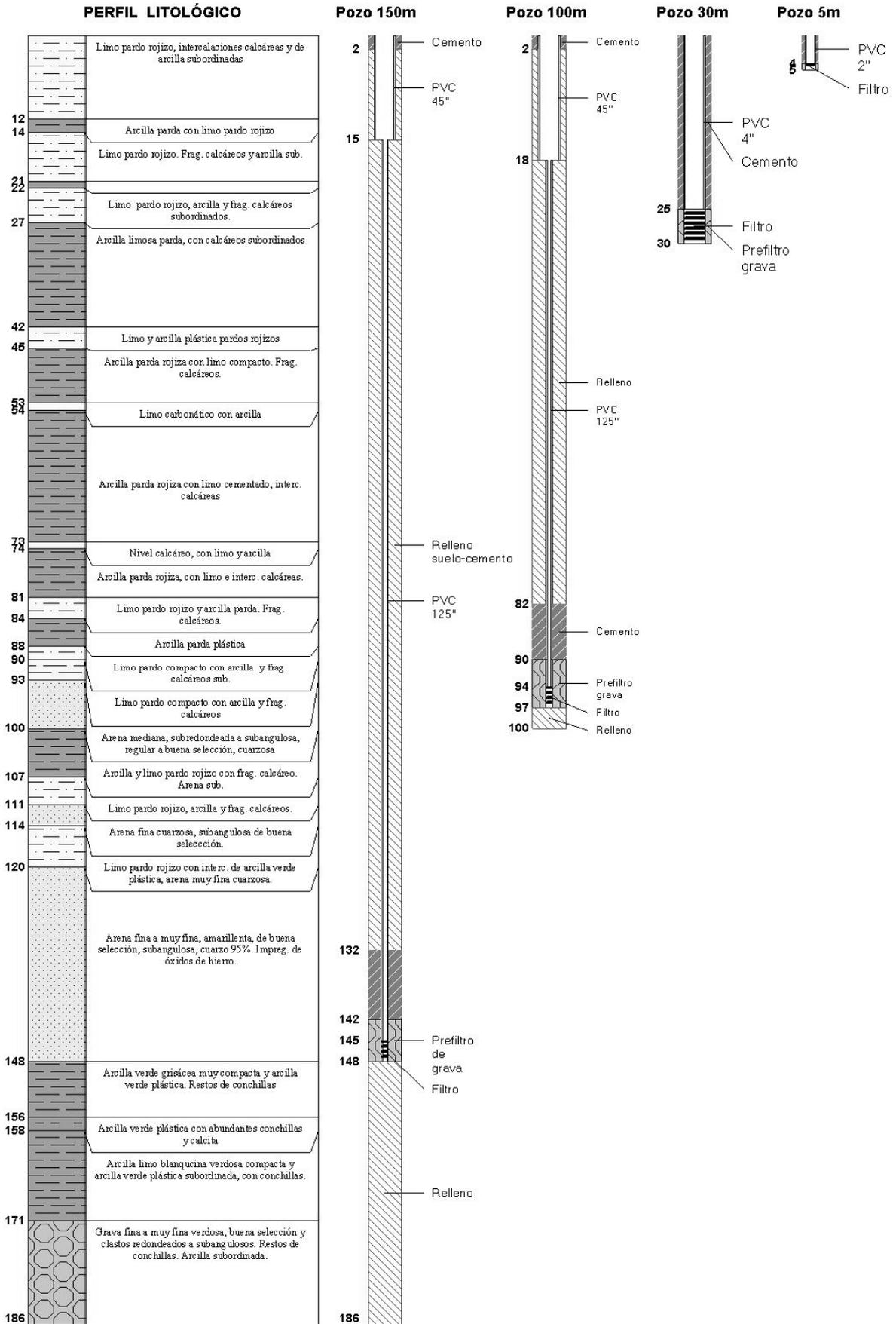


Figura 2. Perfil litológico y diseño de los pozos de muestreo de 5, 30, 100 y 186 m.

Registro eléctrico

El perfilaje eléctrico se realizó con una unidad Microlog Robertson Geologging y consistió en la obtención de los registros de potencial espontáneo (SP), radiación gamma natural, resistividad normal de 8, 16, 32 y 64" y resistividad puntual. El registro se realizó en el pozo más profundo previo a su entubado. En la Figura 3 se puede observar el perfil de pozo junto con el registro del perfilaje, en el cual sólo se muestran los registros de resistividad de 16 y 64", para una mayor claridad de la figura.

El registro muestra claramente el pase de las distintas unidades atravesadas. Para el pampeano las resistividades oscilan entre 10 y 12 ohm m, correspondientes a los limos de los primeros 30 m. Desde allí y hasta los 93 m, el registro es bastante monótono con valores de 7 ohm m en coincidencia con la prevalencia de material arcilloso con algunas intercalaciones de limos. El registro de gamma natural indica valores de 40 a 50 cps, típico para el contenido de arcillas de esta formación.

De 93 a 100 m se observa la aparición del primer nivel arenoso, el cual es claramente detectado por todos los registros. No obstante, la resistividad no tiene un crecimiento muy acentuado, ya que como se verá, este acuífero es portador de agua con mayor concentración de sales. De 100 a 111 m se produce una intercalación de arcilla y luego otra, de arcilla y limo que separa al segundo nivel de arena cuarzosa bien determinada por el SP y el registro eléctrico, que se extiende hasta los 114 m de profundidad.

Por debajo, se encuentra un nivel confinante de limo y arcilla, con un máximo para el registro gamma de 150 cps y resistividades de 4 ohm m. Este nivel separa al resto del perfil del mayor espesor de arenas presente en el pozo que correspondería, al igual que las anteriores, a las Arenas Puelches y cuya calidad de agua hace que muestren las mayores resistividades del perfil con valores de 18 ohm m para la primera parte y de 20 ohm m para el último tramo.

Ainchil et al. (2007) encuentran en base a perfilajes eléctricos de pozos de la ciudad de La Plata, variaciones litológicas laterales y verticales propias de un ambiente fluvial, con predominio de arenas con intercalaciones arcillosas. En la perforación realizada, las resistividades obtenidas de las Arenas Puelches son algo menores a las determinadas por estos autores quienes mencionan valores mayores de 30 ohm m, lo cual podría deberse a la composición del agua que las mismas contienen.

A partir de los 141 m se encuentra un espesor de 23 m de arcillas verdes con fósiles marinos (Formación Paraná) con resistividades de 5 ohm m y fuerte incremento en el registro de gamma natural, llegando a 200 cps (157 m). A los 171 m y hasta el final del pozo se observa una arena gruesa y gravilla de tonalidades verdes por lo cual la resistividad llega hasta 15 ohm m en un sector de este nivel, y se observa una fuerte deflexión de la curva de SP hacia la derecha. Posiblemente el agua sea de mayor contenido salino que el resto del perfil, aunque esto no se ha podido comprobar ya que no se concretó, en esta etapa, la captación de dicho nivel acuífero para conocer sus propiedades químicas e isotópicas. Hacia la base el perfil se muestra con bajas resistividades nuevamente y con aumento de la cps del registro gamma, posiblemente por la presencia de arcillas en este sector de la formación.

Muestreo del agua a distintas profundidades

La realización de los pozos de muestreo ha permitido la comparación de la calidad del agua de cada uno de los acuíferos captados. Hasta el presente, sólo se ha efectuado el análisis químico de los iones mayoritarios de cada uno de los pozos (Tabla 2). Se están realizando también, determinaciones isotópicas de ^{18}O , ^2H , ^3H y ^{14}C para poder hacer inferencias acerca del origen del agua de los diferentes acuíferos.

De los análisis disponibles hasta el momento, se puede indicar que el contenido total de sales se incrementa hasta el acuífero de 97 m de profundidad. En cambio, se produce una inversión de esta tendencia al analizar el agua del acuífero contenido en las Arenas Puelches. Allí, la salinidad es de 2588 mg/l en el acuífero de 97 m y de 1120 mg/l en el de 148 m. Esto constituye un interesante hallazgo ya que este acuífero podría constituirse en una fuente importante de agua de buena calidad, máxime que la zona en general presenta agua con elevado contenido de sales al captar agua del acuífero pampeano. Un estudio más avanzado acerca de las posibilidades en cuanto a caudal permitiría la planificación de su captación para diferentes usos que contribuyan a la producción en esta zona de campos bajos.

Tabla 2. Iones mayoritarios y residuo seco (RS) expresados en mg/l, conductividad eléctrica (CE) expresada en microsiemens/cm, de los cuatro pozos de muestreo.

Pozo	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	CE	RS	PH
1	19.50	22.70	224.50	15.00	82.80	6.65	634.40	1239.00	652.00	7.79
2	54.50	27.20	468.40	15.60	58.40	167.50	1214.50	2640.00	1746.00	7.54
3	391.20	148.33	494.30	33.00	1320.00	286.78	536.80	4540.00	2588.00	7.24
4	106.20	55.60	240.10	23.00	456.30	140.20	355.20	2030.00	1120.30	7.62

Estos datos preliminares permiten clasificar al agua de cada uno de los acuíferos captados. Las muestras de los cuatro pozos han sido graficadas en el diagrama de Piper de la Figura 4. Claramente, el agua de las muestras más superficiales se diferencia de las del acuífero arenoso ubicado a 100 y 148 m. Las primeras tienen composición bicarbonatada sódica mientras que las del último son del tipo clorurada sódica.

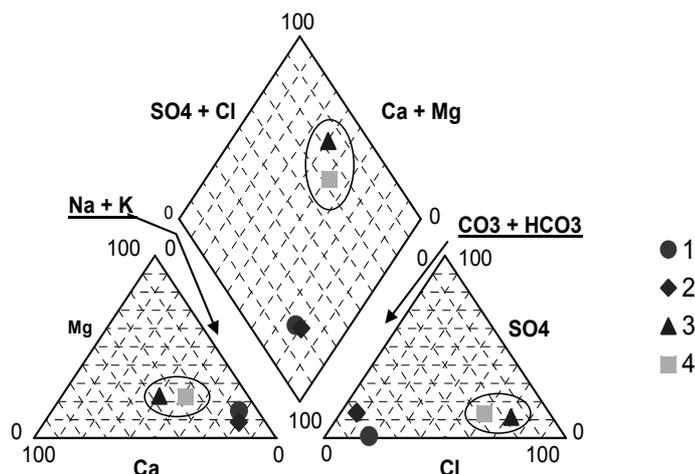


Figura 4. Diagrama de Piper de las muestras de los pozos, en círculos se agruparon las muestras de los pozos más profundos.

Este diagrama coincide con el que Auge (2005) indica para las muestras obtenidas del acuífero Puelche en la ciudad de La Plata, para lo que él llama planicie costera, con la diferencia que en este caso las salinidades detectadas son mucho menores.

CONCLUSIONES

A partir del diseño de los pozos para el muestreo de agua, basados en datos de perfiles antecedentes de zonas próximas, se ha logrado el objetivo de tener puntos de control de la calidad del agua a distintos niveles convenientemente aislados para la realización de muestreos químicos como los presentados en este trabajo o para el muestreo de agua con el fin del análisis isotópicos, para estudiar los posibles orígenes de las aguas de los distintos niveles.

Futuras investigaciones deberían orientarse a observar los parámetros acuíferos en esta zona y el caudal posible de explotación. Los contenidos salinos de las aguas del acuífero de la formación Paraná, no muestreadas, serían de alto contenido salino a juzgar por el registro obtenido mediante el perfilaje eléctrico.

El residuo seco de 1120 mg/l en las Arenas Puelches en su sección inferior contrasta positivamente respecto del residuo de 2588 mg/l del sector superior, pudiendo considerarse seriamente la posibilidad de su aprovechamiento para actividades productivas en la zona.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias a los fondos aportados por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) para el proyecto PID 2003 N° 452.

REFERENCIAS

- Ainchil, J., Kruse, E., Calahorra Fuertes, P. y Ruiz, S.** 2007. Interpretación de perfilajes de pozos en la estimación de las características hidrogeológicas (Análisis preliminar). Taller de geofísica aplicada a la hidrogeología. Ainchil, J. y Sosa, D. compiladores. Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Argentino, p. 85-93.
- Auge, M.P.** 1986. Hydrodynamic behavior of the Puelche Aquifer in Matanza River Basin. *Groundwater*. 25:636-642.
- Auge, M. Hernández, M. y Hernández L.** 2002. Actualización del conocimiento del Acuífero semiconfinado Puelche en la Provincia de Buenos Aires – Argentina: 624-633. XXXII International Hydrogeology Congress. Proceedings. Mar del Plata.
- Auge, M. P.** 2005. Hidrogeología de La Plata, provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata. p. 292-312.
- Frenguelli, J.** 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la provincia de Buenos Aires. LEMIT, serie II, 33 p.
- 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.
- 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.
- IHLA.** 1996. Red de monitoreo de las aguas subterráneas en la cuenca del arroyo del Azul. Informe Final. Inédito. 76 p.
- Nabel, P.E. y Pereyra, F.X.** 2002. El paisaje natural bajo las calles de Buenos Aires. Editorial Eudeba, Buenos Aires, 124 p.
- Santa Cruz, J. N.** 1972. Estudio sedimentológico de la formación Puelches en la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 27:5-62.
- Usunoff, E., Varni, M., Weinzettel, P. y Rivas, R.,** 1999. Hidrogeología de grandes llanuras: La pampa húmeda argentina. *Boletín geológico y minero*. 110:391-406.
- Zabala, M.E., Weinzettel, P. y Varni, M.** 2006. Utilización de ensayos de pulso para la estimación de la conductividad hidráulica en la cuenca del arroyo del Azul, provincia de Buenos Aires, Argentina. VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Asunción. Paraguay. Actas en CD.