

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA URBANA Y PERIURBANA DE LA CIUDAD DE TRES ARROYOS, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Weinzettel Pablo, Varni Marcelo y Usunoff, Eduardo

Instituto de Hidrología de Llanuras, República de Italia 780, 7300 Azul, Tel./Fax 02281-432666,
e-mail: paw@faa.unicen.edu.ar

Resumen

Se caracteriza hidrogeológicamente a la zona urbana y periurbana de la ciudad de Tres Arroyos con la finalidad de definir una nueva zona para la perforación de pozos de abastecimiento a la ciudad. Para ello se analiza el escurrimiento subterráneo en el acuífero Pampeano. La configuración de la red de flujo se obtiene a partir de la medición del nivel freático en 70 perforaciones existentes en la zona de estudio. La dirección general del flujo es NNO-SSE. En la zona donde se ubican las perforaciones más antiguas de la red de provisión de agua potable se evidencia la existencia de un cono compuesto.

Las características hidroquímicas se determinan a partir del muestreo de las mismas perforaciones. Las perforaciones profundas (mayores que 70 m) son las pertenecientes a Obras Sanitarias municipal, mientras que las perforaciones domiciliarias muestreadas son someras (menores que 20 m). La conductividad eléctrica específica muestra valores entre 750 y 3740 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El subsuelo de la ciudad y alrededores se exploró mediante la realización de 40 sondeos eléctricos verticales (SEV). La profundidad de exploración promedio de los SEV fue de 120 metros. El ajuste del modelo geoeléctrico se basó en un par de sondeos paramétricos. Mediante el estudio realizado se determinaron zonas acuíferas que justifican la realización de perforaciones piloto.

Palabras claves: Tres Arroyos, Hidrogeología, Hidroquímica, Geoeléctrica, Calidad del agua.

Abstract

A hydrogeological survey of the urban and peri-urban areas of Tres Arroyos City has been carried out in order to identify a new sector for drilling water-supply wells. The groundwater flow in the Pampeano aquifer has been analyzed, from ground-water levels measured at 70 wells within the domain. The general groundwater flow takes place from the NNW to SSE. A composed depression cone has been detected where the oldest water-supply wells are placed. The hydrochemical features were analyzed from water samples obtained in the wells mentioned above. Deep wells (> 70 m) are owned by the municipal water supplier, whereas shallower wells (less than 20 m in depth) are domiciliary wells. The electrical conductivity ranges from 750 to 3,740 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Forty vertical electrical soundings (VES) were used to explore the underground characteristics within and around the city. The average depth of VES was 120 m. Fitting of the geoelectrical model took into account a couple of parametric wells. The study has pinpointed some sectors for drilling pilot wells.

Keywords: Tres Arroyos, Hydrogeology, Hydrochemistry, Geoelectric surveys, Water quality.

INTRODUCCIÓN

Se presentan los resultados obtenidos de un estudio hidrogeológico llevado a cabo en el área urbana y periurbana de la ciudad de Tres Arroyos, cabecera del partido homónimo, ubicada al SE de la provincia de Buenos Aires (Figura 1), con coordenadas geográficas $38^{\circ} 23' S$ y $60^{\circ} 16' W$ y una altitud aproximada de 120 msnm.

Es una ciudad agrícola ganadera por excelencia, con un importante sector industrial. La superficie del partido es de 5.861 Km^2 y su población está cercana a los 57.000 habitantes en todo el partido, mientras que en la ciudad cabecera tiene una población de 45.000 habitantes. La ciudad es atravesada por los arroyos denominados Tercer Brazo del arroyo Tres Arroyos (al oeste) y Segundo brazo (al este de la ciudad). El Primer brazo ubicado en la zona oriental, se une al Segundo brazo y estos a su vez confluyen luego con el Tercer brazo, ya fuera de la planta urbana para formar el arroyo Claromecó o Tres Arroyos, el cual desemboca en el Océano Atlántico.

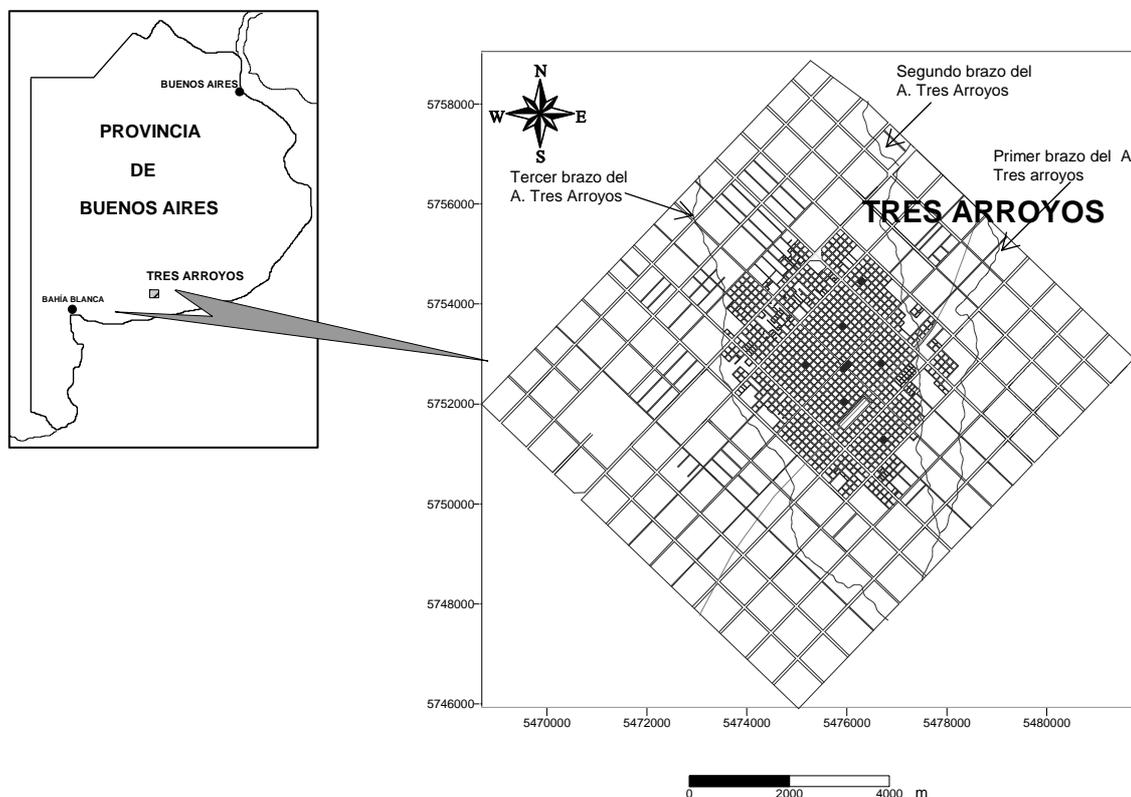


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

En lo que respecta al clima, según datos de la estación experimental chacra integrada Barrow, la precipitación media anual es de 762,8 mm (período 1938-2003). El mes más lluvioso es marzo, con 85,2 mm, y el menos lluvioso julio, con 40,9 mm. La temperatura media anual es de $14,9^{\circ}\text{C}$, siendo el mes más cálido enero con $22,8^{\circ}\text{C}$ y el más frío julio con $7,5^{\circ}\text{C}$.

HIDROGEOLOGÍA

La hidrogeología de esta región ha sido caracterizada en base a antecedentes obtenidos a partir de la investigación bibliográfica, análisis de los perfiles de perforaciones pertenecientes a Obras Sanitarias y de la realización e interpretación de sondeos eléctricos verticales en el área.

El ambiente hidrogeológico al cual pertenece el área de estudio es la cuenca interserrana o cuenca de Claromecó. El basamento hidrogeológico se presenta en el área de Tres Arroyos por debajo de los 200 metros de profundidad según se desprende de información obtenida del fondo de perforaciones realizadas hace más de 80 años por la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires. No obstante según los sondeos eléctricos verticales (SEV) realizados para este estudio, el basamento podría encontrarse a menos profundidad, es así que a partir de la interpretación de algunos SEV este podría encontrarse a 150 metros de profundidad. El basamento está compuesto por sedimentitas eopaleozoicas y neopaleozoicas que en conjunto superan 6 a 7 km de espesor (Ramos, 1999).

En discordancia angular sobre el basamento se presenta la Sección Hipoparaniana integrada por areniscas finas arcillosas y arcillas pardas rojizas asimilables a "El Rojo" (Groeber, 1945), asignadas al Mioceno inferior. Presenta más de 68 metros de espesor en Tres Arroyos (Hernández et al., 1975). Hidrogeológicamente se considera a esta sección como acuitarda con intercalaciones acuíferas pero con agua de alta salinidad.

La Sección Paraniense yace separada por una discordancia erosiva sobre la anterior sección e incluye depósitos marinos denominados "Paraniense" (Frenguelli, 1950), "El Verde" (Groeber, 1945) o "Mioceno Verde" asignados al Mioceno superior, son arcillas, areniscas arcillosas y arenas finas algo yesíferas, verde grisáceas y azuladas con fósiles marinos. En Tres Arroyos se inicia a los 120 metros de profundidad y contiene agua de elevada salinidad.

La Sección Epiparaniana suprayace a la anterior y es de particular importancia para este estudio debido a que alberga los acuíferos explotables. Está integrada por las unidades llamadas Sedimentos Pampeanos (Fidalgo et al., 1975), de edad Plio-pleistocena, y el Pospampeano correspondiente al Holoceno.

Litológicamente los Sedimentos Pampeanos están constituidos preferentemente 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 (Fidalgo et al., 1975). Su coloración es en general amarillento a rojizo oscuro. Es común la presencia de intercalaciones calcáreas denominadas tosca. Por su parte los sedimentos correspondientes al postpampeano se disponen discordantemente sobre los Sedimentos Pampeanos, 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. Las acumulaciones postpampeanas se presentan en afloramientos discontinuos.

El pampeano constituye un acuífero de tipo multiunitario con alternancia de sedimentos que son acuíferos y otros que se comportan como acuitardo. En general la calidad del agua desmejora en profundidad en lo que respecta al contenido de sales totales.

HIDRODINÁMICA

El censo de pozos en la zona urbana y periurbana de la ciudad comprendió el registro de 70 perforaciones entre el 1 y el 10 de noviembre de 2004 (Figura 2).

Entre las perforaciones censadas deben distinguirse 17 pozos pertenecientes a Obras Sanitarias de la Municipalidad de Tres Arroyos y 53 perforaciones de particulares con usos variados. En general, las perforaciones de Obras Sanitarias se distinguen de los pozos domiciliarios por su mayor profundidad (entre 70 y 100 m) y el aislamiento de los metros

superiores del perfil. Los pozos particulares alcanzan en su mayoría 12 m de profundidad y excepcionalmente llegan a 30 m.

Según los ensayos de bombeo realizados por las empresas perforadoras de los pozos de abastecimiento, los caudales de extracción van de 60 a 100 m³/h. Las transmisividades obtenidas son de 200 a 600 m²/día con conductividades hidráulicas de 4 a 12 m/día. El coeficiente de almacenamiento según el ensayo del pozo N° 10 de Obras Sanitarias es de 4.10⁻⁴.

En los puntos censados se midió la profundidad del agua y se realizó la nivelación de las bocas de pozo utilizando nivelación geométrica con nivel y mira en los pozos urbanos y periurbanos más cercanos, mientras que para los pozos más lejanos se utilizó un GPS diferencial.

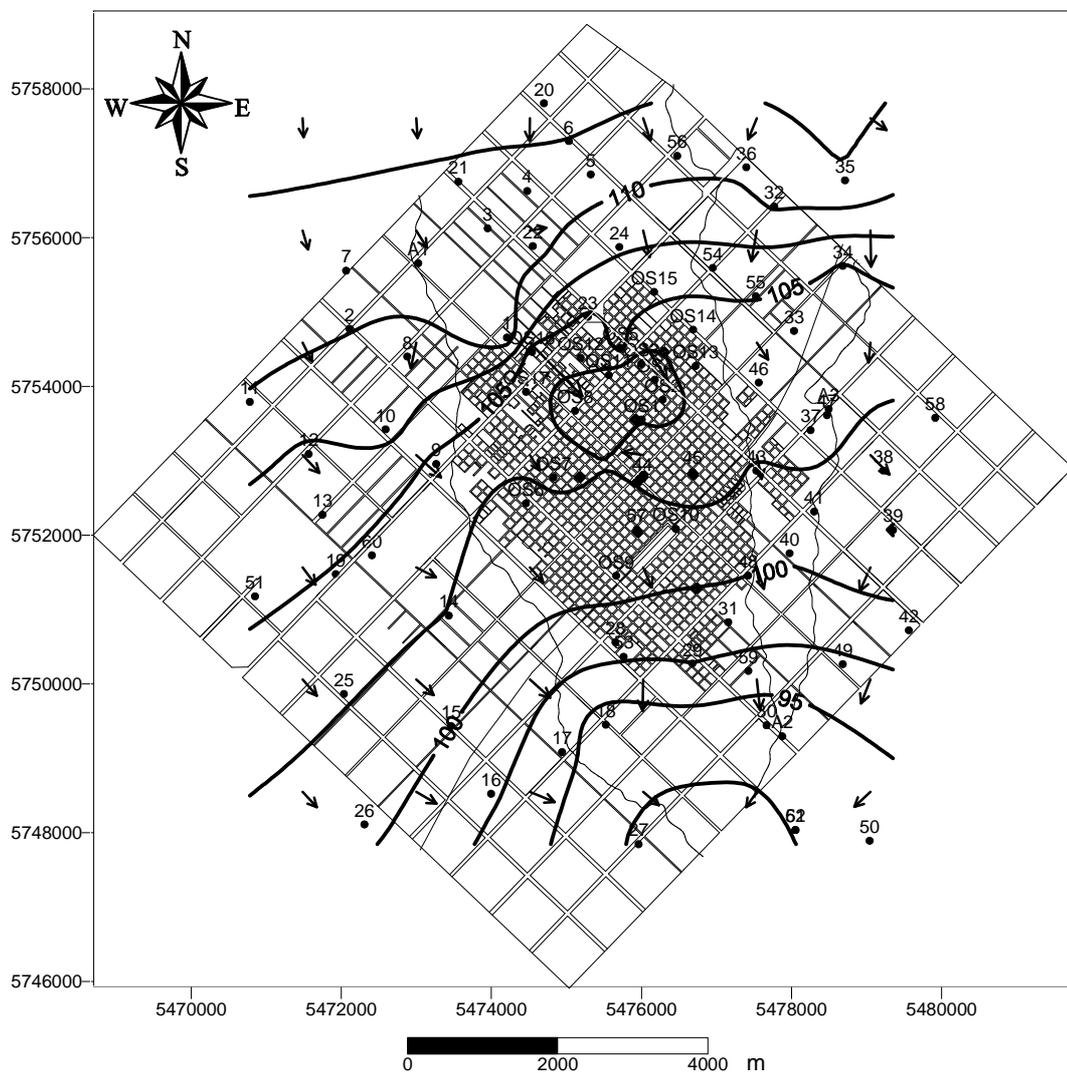


Figura 2. Pozos censados, curvas isopiezas y flujo subterráneo

Los niveles freáticos se volcaron en un mapa obteniéndose las curvas isopiezas y la correspondiente red de flujo subterráneo (Figura 2). Puede observarse que la dirección del flujo regional es de norte a sur y se destaca la presencia de un cono combinado de explotación en la zona urbana.

En general los arroyos actuarían como efluentes del agua del acuífero salvo en un sector ubicado al Este de la ciudad donde debido al cono de bombeo de los pozos de Obras Sanitarias se produciría el aporte de agua hacia el acuífero por parte del Brazo N° 1 de los Tres Arroyos.

HIDROQUÍMICA

En cada pozo censado se tomó una muestra de agua para la realización de análisis químicos, determinándose in situ temperatura y conductividad eléctrica específica. Adicionalmente, se obtuvieron muestras de agua en tres secciones de los arroyos que atraviesan la zona para la posterior realización de un análisis químico completo. En el laboratorio de aguas del Instituto de Hidrología de Llanuras se determinó el contenido de Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, COH_3^- , $\text{CO}_3^{=}$, NO_3^- , F^- , conductividad eléctrica (CE), residuo seco (RS) y pH. El dosaje de elementos minoritarios y trazas (34 elementos) se determinó en el ACME Analytical Laboratories Ltd. (Vancouver, Canadá) para 38 de las 70 muestras.

Las características generales de las aguas subterráneas de la zona se evidencian en la Tabla 1 y en un diagrama de Piper (Figura 3). La ubicación de las muestras en el diagrama indica aguas mayormente cloruradas-bicarbonatadas sódicas.

Tabla 1. Valores medios y desviación estándar de las determinaciones realizadas en el IHLLA. (Valores en ppm, CE es la conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$, RS es el residuo seco en ppm).

	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Cl^-	NO_3^-	$\text{SO}_4^{=}$	HCO_3^-	F^-	CE	RS	pH
Media	48,74	23,14	242,47	11,88	222,30	79,98	43,85	435,62	2,26	1469	704	7,43
SD	24,88	14,60	87,61	2,97	131,16	42,25	42,66	112,12	1,41	532	317	0,20

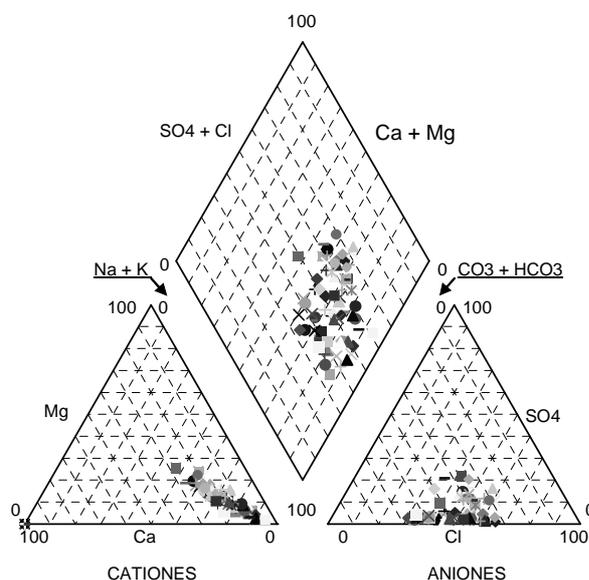


Figura 3. Diagrama de Piper.

Si se analiza la distribución espacial de la conductividad eléctrica, se observan mayores valores en la zona urbana, decreciendo en la periferia de la ciudad (Figura 4). Este aumento de la salinidad (junto con aumentos en las concentraciones de Na^+ y Cl^- , podría deberse a la combinación de al menos dos factores: por un lado a contaminación de tipo antrópico en la zona urbana debido fundamentalmente a la infiltración desde pozos ciegos y a pérdidas desde la red de cloacas y, en segundo lugar, al bombeo intenso desde pozos profundos lo cual puede producir el ascenso de aguas más salinas desde mayores profundidades. De todas maneras, no todas las zonas periféricas presentan aguas con baja salinidad, pudiéndose distinguir en principio dos zonas favorables: una al sudoeste y otra al este de la ciudad.

Las características hidroquímicas más destacables son las siguientes:

- CE y RS: se incrementan en el ámbito urbano (zona Este de la ciudad) tanto en pozos someros como en algunos pozos profundos de Obras Sanitarias. También se produce un incremento en algunos pozos del sector periurbano al norte y al oeste de la ciudad.
- F⁻: su distribución es errática posiblemente asociada a variaciones del pH. En la mayoría de las muestras se sobrepasa el límite permitido para aguas de consumo según el Código Alimentario Argentino (1,2 mg/l).
- NO₃⁻: Es llamativa la existencia generalizada de altas concentraciones, tanto en el ámbito urbano como fuera de él. Las más altas concentraciones se dan al sur de la ciudad. En la zona norte, algunas perforaciones profundas de Obras Sanitarias tienen concentraciones menores a 50 ppm. Lo mismo ocurre al este de la ciudad, aunque en este caso con pozos domiciliarios someros.

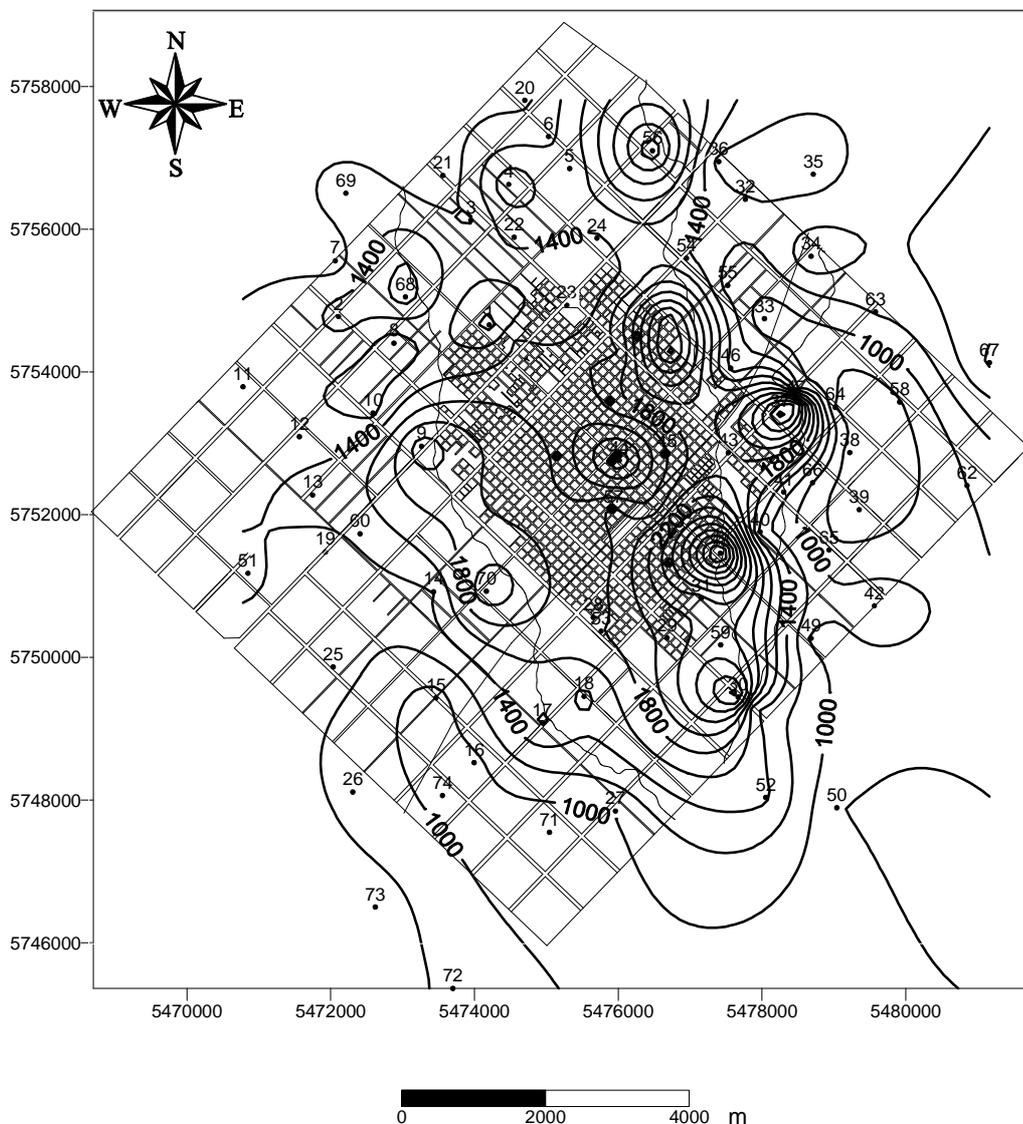


Figura 4. Mapa de isoconductividad eléctrica.

- As⁻: Las 38 muestras analizadas tienen un contenido medio de 0,07 ppm. El sector de perforaciones profundas de Obras Sanitarias, en el ámbito urbano tiene las menores concentraciones, por debajo de 0,05 ppm (límite permitido). Se observa un

progresivo deterioro hacia el este y el oeste, según lo medido en pozos someros. Ello permite suponer que las concentraciones de As disminuyen en profundidad, asociado a un comportamiento similar del F. Así se lo ha detectado a través de un análisis de componentes principales (Harman, 1976; Jöreskog et al., 1976).

Un análisis de la evolución histórica de los parámetros químicos en los pozos de abastecimiento de Obras Sanitarias indica que las aguas no han cambiado sustancialmente sus características químicas con el tiempo; sólo se advierte una ligera degradación de su calidad. Además del aludido efecto de superposición de un medio antropizado, es posible que el régimen actual de bombeo promueva la movilización de aguas profundas de menor calidad. Pero este análisis es válido sólo para el ámbito urbano. Si se asume que las aguas tienen un único origen, deberá reconocerse que las características químicas naturales son aquellas detectadas en los sectores no consolidados del ámbito periurbano que, tal lo discutido, se corresponden con aguas de baja mineralización y de calidad comparativamente mejor con respecto a aquellas utilizadas para el abastecimiento de la población.

EXPLORACIÓN GEOELÉCTRICA

Con el objeto de explorar el subsuelo al menos hasta una profundidad de 100 m, sobre todo en la zona periurbana, donde solo se cuenta con información de pozos someros, se realizó una campaña de sondeos eléctricos verticales (SEV). Se efectuaron 40 SEV (Figura 5), para lo cual se utilizó la configuración tetraelectródica de Schlumberger. La apertura de alas fue en general de 400 m.

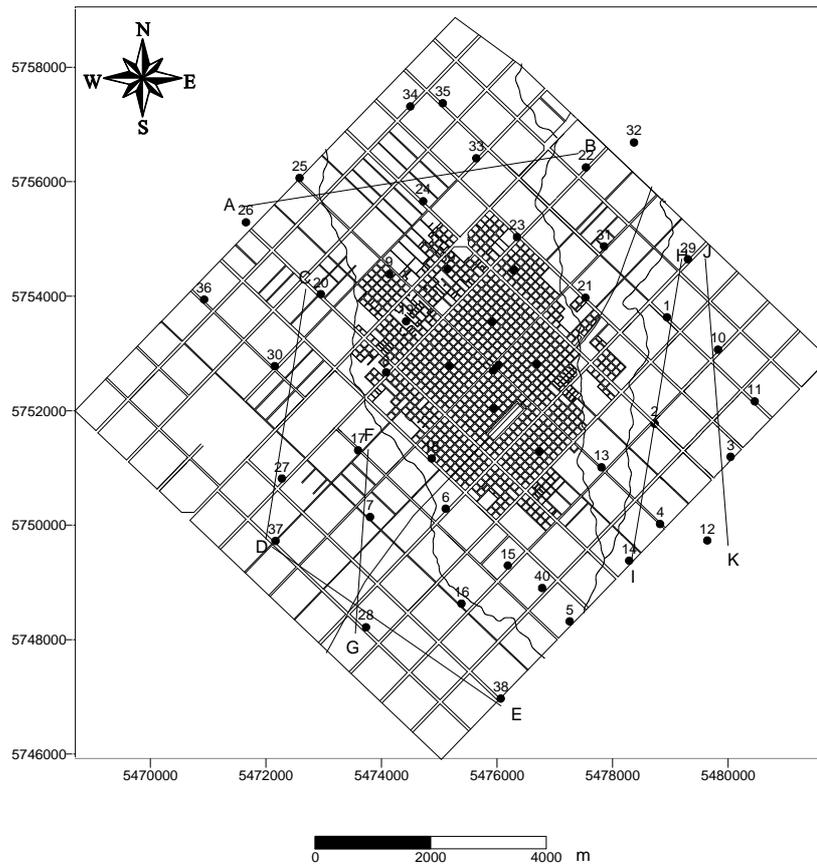


Figura 5. Ubicación de sondeos eléctricos verticales y perfiles.

Los sondeos se interpretaron en primer lugar mediante un software que resuelve el modelo resistivo a partir de la curva de campo (Zohdy, 1974). Luego, analizando los

resultados obtenidos se generó un modelo resistivo general lo más simple posible mediante la aplicación de otro programa computacional específico.

El modelo resistivo se asoció a un modelo hidrogeológico a partir de la realización de dos sondeos paramétricos, junto a las perforaciones N° 12 de Obras Sanitarias (SEV 39) y a la perforación N° 19 (SEV 23) (Figura 6).

Las diferencias observadas en las curvas de los respectivos SEV y la diferencia en la litología y salinidad del agua en cada uno de estos dos pozos permitió la obtención de dos modelos resistivos. El modelo del SEV 39 fue relacionado con una zona acuífera de la cual se puede obtener agua con aceptable conductividad eléctrica, mientras que el modelo a partir del SEV 23 se relacionó a sectores con probabilidad de obtener agua de baja calidad por su vinculación a niveles de mayor contenido de arcilla y de menor transmisividad, según lo indican las bajas resistividades obtenidas.

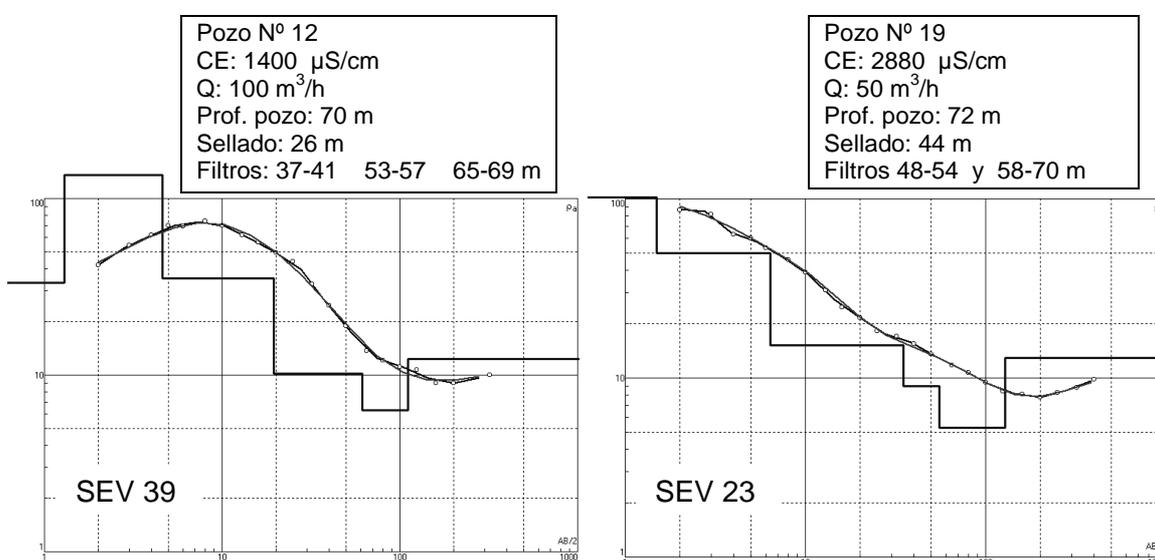


Figura 6. Sondeos eléctricos verticales paramétricos en pozos 12 y 19. Curva de campo e interpretación.

El modelo resistivo comienza con una primera capa de suelo (resistividades menores a 50 ohm m, espesor menor a 2 m), luego una capa de tosca (resistividades mayores a 100 ohm m, espesores entre 2 y 8 m), luego un espesor de material areno limoso, saturado, con aguas de baja salinidad (resistividades entre 25 y 10 ohm m), por debajo limos arcillosos (resistividades de 8 ohm m) y limos con mayores intercalaciones de arcilla generalmente con aguas de mayor contenido salino (resistividades menores a 6 ohm m). Finalmente, se detectó la presencia de una capa de mayor resistividad por debajo de los 100 m de profundidad. La capa de tosca no se presenta en las zonas topográficamente bajas.

Se realizaron seis perfiles para correlacionar lateralmente las interpretaciones de los SEV:

Perfil AB (SEV 26, 25, 24, 33, 22): Capa areno limosa de desarrollo medio con resistividades de 12 ohm m. La capa limo arcillosa presenta resistividades bajas en correspondencia con los SEV 25, 24 y 33.

Perfil CD (SEV 20, 30, 27 y 37): Presenta un desarrollo limitado de la capa areno limosa. La capa arcillo limosa se presenta a escasa profundidad y las bajas resistividades indicarían la presencia de aguas de baja calidad.

Perfil FG (SEV 17, 7 y 28): El material presenta resistividades aceptables especialmente en la parte sur del perfil.

Perfil DE (SEV 37, 28 y 38): La capa areno limosa está poco desarrollada, no obstante la capa que la subyace presenta resistividades de 8 ohm m, las cuales indican un material limoso en profundidad con arcilla subordinada.

Perfil HI (SEV 29, 1, 2 y 14): Se observa un desarrollo poco importante de la capa areno limosa con resistividades mayores a 13 ohm m creciendo hacia el sur, pero alcanzando sólo unos 40 m de desarrollo. La capa subyacente presenta resistividades aceptables de 8.5 y 11 ohm m en la parte central del perfil (SEV 1 y 2).

Perfil JK (SEV 29, 10, 11, 3 y 12): Presenta un buen desarrollo de la capa de interés, teniendo como mínimo unos 40 m de espesor al norte y llegando a superar los 80 m al sur. La capa ubicada por debajo presenta resistividades algo bajas.

En la Figura 7 se graficaron los perfiles CD y JK, el primero de ellos muestra una zona con el dominio de bajas resistividades en profundidad con valores inferiores a 5 ohm m, y pocas posibilidades para la captación de agua de buena calidad para un pozo profundo.

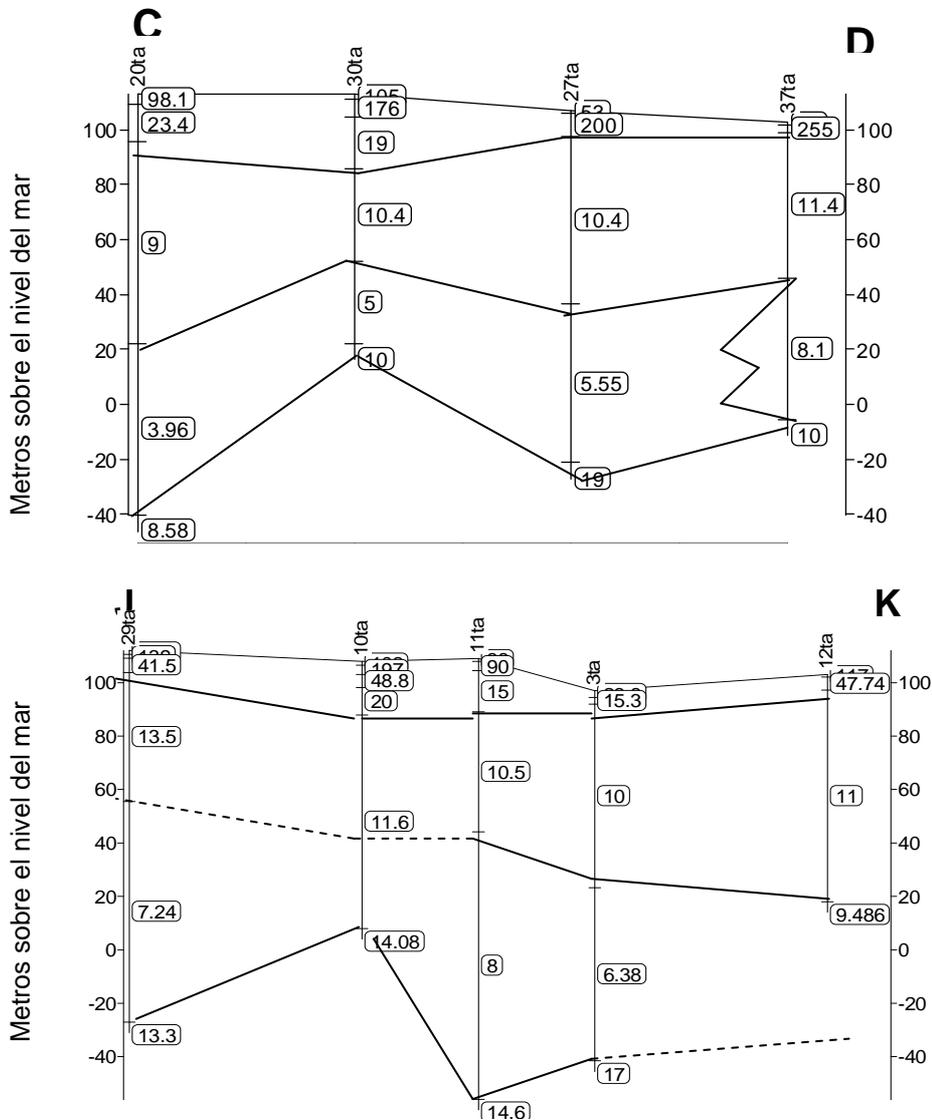


Figura 7. Perfiles resistivos CD y JK, los valores expresan resistividades en ohm m.

El perfil JK, por su parte, presenta mayores resistividades especialmente en el sector de los SEV 10 y 11, los cuales se encuentran en el mismo sector de los pozos con agua de conductividades eléctricas por debajo de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 5).

CONCLUSIONES

Se determinó un modelo resistivo que es coherente con un modelo conceptual hidrogeológico simple de la zona estudiada. Por debajo del suelo, en las lomas se detecta una capa de tosca que suele ser muy espesa y compacta, con las consiguientes altas resistividades. Esta capa está ausente en los sectores relativamente bajos topográficamente. Por debajo se encuentran materiales limo arenosos con aguas de relativamente baja salinidad. Esta capa es la de interés para la explotación y su espesor varía según el sector analizado. Se apoya en un nivel de materiales limo arcillosos que portan aguas más salinas. Finalmente, por debajo de los 100 m se detectan materiales de mayor resistividad.

Los contenidos de flúor y arsénico estarían relacionados y aparentemente disminuyen en profundidad según lo observado al comparar los pozos someros y los más profundos de Obras Sanitarias Municipal. El nitrato se presenta con tenores elevados en toda la zona estudiada. No obstante es de esperar que en algunas zonas no antropizadas este ión se reduzca también en profundidad. Por lo expuesto es fundamental el buen sellado de los niveles superiores al construir futuras perforaciones.

Con base en la variación espacial de los espesores de los niveles de interés analizada principalmente a través de los cortes geoelectrónicos, por un lado, y a la distribución de la salinidad de las aguas, por otro, se han determinado dos zonas con características favorables para la explotación. Estas dos zonas se ubican al sudoeste y al este de la ciudad. Por su posición respecto del flujo subterráneo y por los resultados de los sondeos eléctricos sería recomendable realizar una exploración mediante un pozo piloto en el sector este en inmediaciones del SEV 10.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se presenta con la autorización de las autoridades comunales del municipio de Tres Arroyos. Se agradece especialmente al Intendente municipal Sr. Carlos Alberto Sánchez, al Director de Medio Ambiente, Lic. Alejandro Rossi, y al Ing. Carlos Preciado del área de Vialidad Rural de la municipalidad de Tres Arroyos.

BIBLIOGRAFÍA

- Fidalgo, F., Francesco, F. y Palcual, R.**, 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense. Relatorio VI Congreso Geológico Argentino, pp. 103-138.
- Frenguelli, J.**, 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la provincia de Buenos Aires. LEMIT, Serie II, N° 33. La Plata.
- Groeber, P.**, 1945. Las aguas surgentes y semisurgentes del norte de la provincia de Buenos Aires. Rev. La Ingeniería, año XLIX, N° 6, pp 371-387.
- Harman, H.**, 1976. Modern Factor Analysis. The University of Chicago Press, Chicago, 487 p.
- Hernández, M., Fili, M., Auge P. y Ceci, J., 1975. Geohidrología de los acuíferos profundos de la provincia de Buenos Aires. Actas VI Congreso Geológico Argentino, Tomo II, pp 479-500
- Jöreskog, K.G., Klován, J.E. y Reyment, R.A.**, 1976. Geological Factor Analysis. Elsevier, Amsterdam, 178 p.
- Ramos, V.**, 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29(3):41-96.
- Zohdy, A.**, 1974. A computer program for the automatic interpretation of Schlumberger sounding curves over horizontally stratified media. Geological Survey, Springfield, USA.