

OCURRENCIA DE ARSÉNICO EN AGUAS DE LOS ACUÍFEROS PAMPEANO Y PUELCHE. JUNIN, PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA.

Hernández, M. A.⁽¹⁾, N. González⁽¹⁾, J. H. Ceci⁽²⁾, M. M. Trovatto⁽¹⁾ y L. Hernández⁽³⁾

⁽¹⁾ Cátedra de Hidrogeología UNLP ⁽²⁾ Hidroar SA ⁽³⁾ Cátedra Fundamentos de Geología UNLP
CISAUA - UNLP Calle 3 N° 584 (1900) La Plata Fax 0221 4229923

Palabras Claves: Arsénico – Aguas subterráneas - Junín – Buenos Aires.

INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas en un área importante de la llanura pampeana bonaerense se hallan afectadas por la presencia de Arsénico, en concentraciones que en muchos casos exceden el límite de tolerancia para aguas de bebida, que de acuerdo al Decreto 6553/74 fuera fijado en 0.10 mg/l. En el año 2004 y por Ley 11820, el valor se modificó a 0.05 mg/l. Esta Ley fue derogada por el Decreto 878/03, convalidado por la Ley 13154, que establece un nuevo marco regulatorio y crea una Comisión Permanente de Normas de Potabilidad y Calidad de Vertidos de efluentes Líquidos y Subproductos, que aún no se ha expedido, introduciéndose una incertidumbre respecto al límite a adoptar y existiendo incluso una tendencia a llevarlo a 0.01 mg/l, en consonancia con el estándar de la Organización Mundial de la Salud.

Para el valor de 0.05 mg/l queda una gran parte del territorio provincial con agua subterránea fuera de las normas de potabilidad por esta presencia de Arsénico, incluyendo la región Noroeste, parte de la Noreste, cuenca del Salado-Vallimanca, Interserrana y Sudoeste.

Uno de los distritos afectados es el Partido de Junín, razón por la cual sus autoridades formalizaron un Convenio con la Facultad de Cs. Naturales y Museo de la Universidad de La Plata, para la realización de un estudio tendiente a localizar fuentes alternativas y producir un programa de manejo adecuado a la realidad normativa (Hernández et al, 2004). Fue conducido por la Cátedra de Hidrogeología durante el año 2004 y parte de sus resultados están sintetizados en esta contribución.

CARACTERIZACIÓN DEL AREA

Se ubica la zona de estudio en la subcuenca superior del río Salado (Fig. 1), álveo que desemboca en la Bahía de Samborombón luego de recorrer 650 km con un módulo anual del orden de 24 m³/seg. El clima local es Húmedo mesotermal, con nula o pequeña deficiencia de agua y concentración estival de la eficiencia térmica del 45%. La precipitación media anual (1931-2003) alcanza a 985 mm, la evapotranspiración potencial a 798mm/año y la real a 793 mm/año, con un exceso hídrico anual del orden de 192 mm, radicado en los meses de Marzo a Noviembre (Hernández et al 2004).

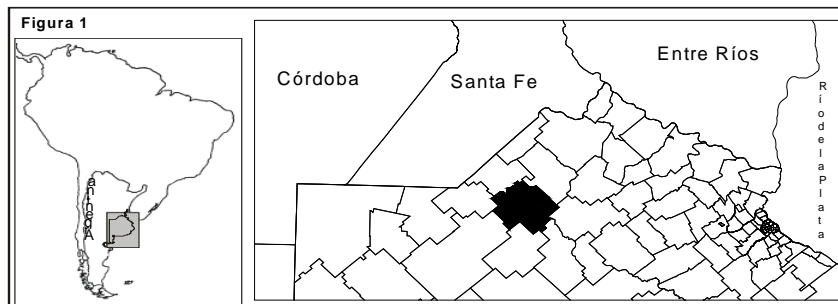


Figura 1. Ubicación del área.

Las geoformas principales reconocibles son la llanura propiamente dicha, la depresión del Salado ocupada por el valle y lagunas interfluviales, sectores de depresiones no integradas al drenaje actual y cadenas de médanos alineadas con rumbo NNW-SSE, interrumpidas por el valle del río.

Depósitos Post-pampeanos (*Fm. Junín, Luján y La Plata*) y Pampeanos (*Fm. Ensenada*) son los términos geológicos aflorantes en la comarca (De Salvo et al, 1969). La *Fm. Ensenada* (limos loessoides, limos arenosos con limos arcillosos basales) representa al Pampeano y se prolonga hasta los 115-120 m de profundidad, apoyada sobre las *Arenas Puelches* o *Fm. Puelches* que alcanzan un espesor en la zona de aproximadamente 45 m. Continúan arcillas y arenas correspondientes a la *Fm. Paraná* de origen marino y en profundidad, una secuencia similar pero continental, perteneciente a la *Fm. Olivos*, estas dos últimas unidades reconocidas en 1914 por la perforación de exploración Puerto Canal Norte de 415 m (Hernández et al, 1975).

Sobre materiales parentales Post-pampeanos y Pampeanos se desarrollan suelos *Hapludoles énticos, Hapludoles típicos, Hapludoles tpto-árgicos y tpto-nátricos y Natracuolfes típicos*, con reducida expresión hacia el Norte de *Natracuoles y Argiudoles*.

Desde el punto de vista socioeconómico (Tauber, 1997), se trata de una región con actividad primaria (agrícola y ganadera) predominante por sobre una importante terciaria (servicios, comercio, banca) y creciente secundaria (industrias).

La población del Partido alcanzaba al 2001 a 88.664 habitantes, el 91 % de los cuales está radicado en la Ciudad de Junín.

EL AGUA SUBTERRÁNEA EN JUNIN

A partir de las primeras perforaciones de exploración practicadas por la ex Dirección General de Minas de la Provincia de Buenos Aires (Fortín Tiburcio 1912-1913, Puerto Canal Norte 1914, Ferrocarril 1919), la explotación ordenada de las aguas subterráneas en esta ciudad se inició en el año 1949, cuando la ex Obras Sanitarias de la Nación perfora los pozos Junín 1 y Junín 2, que alcanzaron el acuífero Puelche, aún cuando las sucesivas se practicaron al acuífero Pampeano por contener agua de muy buena calidad a una menor profundidad (Hernández et al 2004). En sucesivas etapas fueron construidas 24 perforaciones, todas ellas al acuífero Pampeano con una profundidad media de 80 m y caudales característicos entre 3.2 y 10.0 m³/h.m. La cobertura por red en la ciudad alcanza al 87% de la población.

Otras localidades del Partido (Agustina, Agustín Roca, Morse, Saforcada) poseen servicio público a expensas del acuífero Pampeano, utilizándose también para provisión a las industrias radicadas y en magnitudes crecientes para riego.

El cambio en el valor guía de As en aguas para bebida humana, colocó a parte de la dotación administrada por la Municipalidad de Junín fuera de norma, por lo cual emprendió a través de la Cátedra de Hidrogeología UNLP, una investigación geohidrológica ambiental destinada por una parte a la búsqueda de otra fuente alternativa y por otra, a proponer un sistema de manejo que permitiese suministrar agua con contenidos de As por debajo del límite.

INVESTIGACIÓN GEOHIDROLOGICA

Coherentemente con el objetivo preenunciado, se abordó el problema en dos escalas, una local que incluyó a la Ciudad y su entorno próximo y otra regional, involucrando a la totalidad del Partido.

En el primer caso, se analizó la información disponible proveniente de las perforaciones existentes y su historia piezométrica e hidroquímica, programándose seis (6) sondeos de exploración, dos (2) de ellos al acuífero Puelche y los otros cuatro (4) al acuífero Pampeano, en posiciones seleccionadas sobre la base de la elaboración e interpretación de la información antecedente. Los primeros contaron con una profundidad de 161 m y los restantes de 80 m.

En estos sondeos se reconoció la secuencia geológica, describiéndose las muestras y realizando análisis físicos. Fueron practicados ensayos de bombeo de larga duración, se tomaron muestras de agua de los acuíferos atravesados y muestras sólidas para determinación

de Arsénico en sedimentos. Estas últimas en los dos pozos de exploración más profundos, recogidas en el intervalo acuífero Pampeano, el acuitardo y el acuífero Puelche.

En el ámbito regional, se relevaron cuarenta y tres (43) fuentes de agua subterránea que captan del acuífero Pampeano con medición de niveles, determinación de cota topográfica, muestreo de agua con finalidad analítica (propiedades físicas, TSD, iones mayoritarios, Arsénico, Flúor y nitratos), ensayos de bombeo donde fue posible, además de recogerse información utilitaria.

Durante la campaña se procedió al reconocimiento geológico superficial y geomorfológico, basado en la interpretación previa de una imagen satelital ASTER.

El sistema geohidrológico identificado por medio de la información de gabinete y campo es sintetizado por razones de espacio en el Cuadro 1. Las perforaciones antecedentes dan cuenta de la presencia de la *Fm. Olivos* en profundidad, integrada por un miembro arcilloso cuspidal y otro arenoso basal, portador de aguas salinas.

Unidad geológica	Litología	Comportamiento hidrológico
Pospampeano (<i>Fm. Junín</i> y otras)	Arenas eólicas. Limos	Zona No-Saturada
Pospampeano-Pampeano sup. (<i>Fm. Ensenada</i>)	Limos. Limos arenosos. Arenas finas	Acuífero freático
Pampeano medio y superior (<i>Fm. Ensenada</i>)	Limos. Limos arenosos Arenas finas	Acuífero Pampeano
Pampeano inferior (<i>Fm. Ensenada</i>)	Arcillas. Arcillas limosas	Acuitardo
<i>Arenas Puelches</i>	Arenas finas a med. Arenas gruesas.	Acuífero Puelche
<i>Fm. Paraná</i> miembro Superior	Arcillas	Acuícludo
<i>Fm. Paraná</i> miembro Superior	Arenas medianas a gruesas	Acuífero

Cuadro 1. Sistema geohidrológico

Con la información piezométrica obtenida se trazaron sendos mapas equipotenciales para el acuífero Pampeano (ámbito regional y local), estableciéndose las principales características hidrodinámicas. La información hidroquímica fue tratada a nivel de mapas de contenidos iónicos, graficación de iones mayoritarios y series de comportamiento de las concentraciones de Arsénico en función del tiempo.

RESULTADOS

En la Figura 2 se muestra el mapa equipotencial regional elaborado para el acuífero Pampeano, en el cual se indica también el contenido en Arsénico. Desde el punto de vista hidrodinámico se puede apreciar una capa con morfología radial, localizándose las principales áreas de recarga al W y N del Partido, en un amplio sector coincidente con un alineamiento medanoso destacable hacia el NW de Junín y con menor expresión, otra más pequeña y del mismo arrumbamiento que responde también a un sector de médanos. Es de tipo autóctona indirecta, a través del acuífero freático.

La dirección de flujo es W-E y NW-SE, con un gradiente hídrico medio del orden de $2.7 \cdot 10^{-4}$ y velocidad efectiva media de $8.1 \cdot 10^{-2}$ m/día a 1.23 m/día. (calculada sobre la base de valores de permeabilidad procedentes de ensayos de bombeo y porosidad efectiva de gabinete).

La descarga regional se materializa hacia los cursos río Salado y Ao. Saladillo de la Vuelta y cuerpos lagunares, todos ellos rasgos de neto carácter ganador o efluente.

En la escala local (Figura 3) puede verse la distorsión impuesta por la captación para provisión a la ciudad, traducida en una amplia hidroforma negativa, enmarcada por la isolínea de 60 m snm y emplazada entre la Ruta Nac. 188 y la Avenida de Circunvalación. Dentro ella

son distinguibles tres menores, la más profunda y extensa con una altura potenciométrica inferior a los 50 m y las restantes bordeadas por la equipotencial 55 m.

Figura 2. Mapa regional

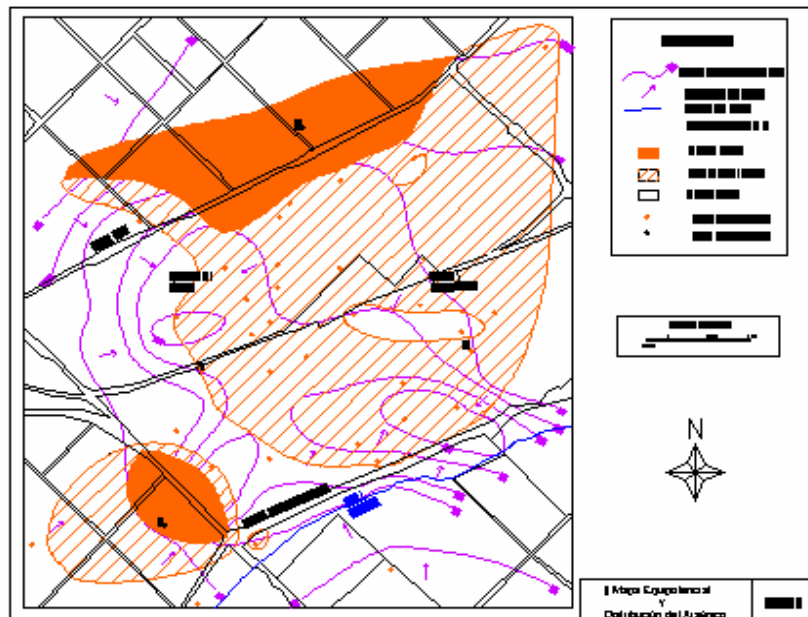
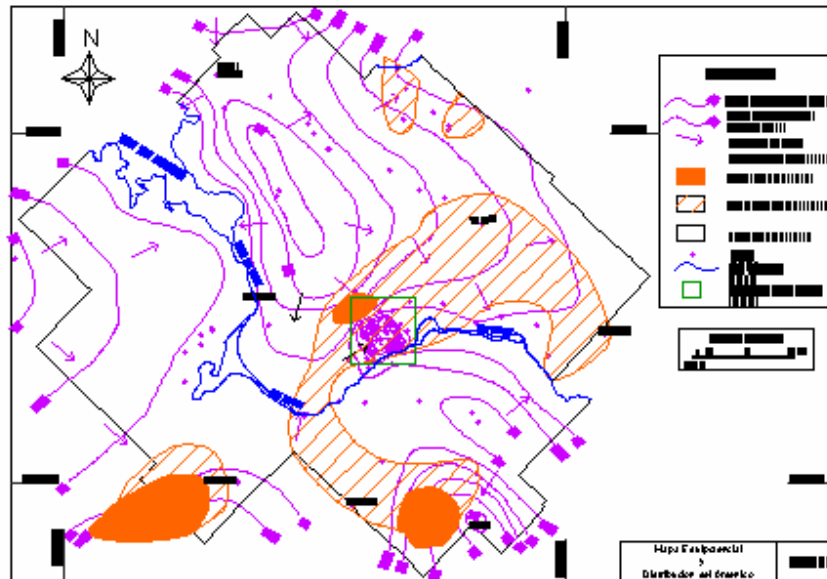


Figura 3 Mapa local

El gradiente hídrico llega a $1 \cdot 10^{-3}$ a $5 \cdot 10^{-2}$, alcanzándose una velocidad efectiva de hasta 13.5 m/día (para un coeficiente de Trasmisividad de $750 \text{ m}^2/\text{d}$). Un efecto destacable es el cambio de comportamiento del río Salado en un sector de la Av. de Circunvalación, donde para actuar como perdedor.

Respecto al acuífero Puelche, las alturas hidrostáticas serían inferiores a las del Pampeano, lo cual explica su recarga por filtración vertical a través del acuitardo interpuesto, excepto en el sector de la ciudad, donde la alteración impuesta por la extracción desde el Pampeano invierte la relación.

Hidroquímicamente, las aguas del Pampeano son bicarbonatadas sódicas, ocasionalmente cálcicas o calco-magnesianas. Hacia la planicie marginal de los cuerpos lagunares, pueden pasar a bicarbonatadas-sulfatadas sódicas o cloruradas-bicarbonatadas sódicas como resultado de la evolución según el flujo. El total de sólidos disueltos (TSD) fluctúa en la mayor parte de los casos entre 330 mg/l y 790 mg/l.

Los análisis químicos realizados sobre muestras extraídas de las perforaciones de exploración al Puelche a su vez, denotan los tipos iónicos bicarbonatada clorurada sódica y clorurada bicarbonatada sódica, con TSD de 980 mg/l y 1380 mg/l y un estadio evolutivo más avanzado según lo demuestran los diagramas de Schoeller trazados.

La distribución del Arsénico en el acuífero Pampeano a escala regional es mostrada en la Figura 2 junto con el trazado de las curvas isopiezas, evidenciando que aproximadamente un 70% de la superficie del Partido registra tenores por debajo de 0.05 mg/l (sector occidental, parte del Centro-Norte y una amplia zona al Sudeste de la Ciudad). En el resto del área se alcanzan contenidos entre 0.05 mg/l y 0.10 mg/l, con un extremo puntual en la localidad de Morse de 0.16 mg/l.

En la escala local (Figura 3) la mayor parte de los pozos de servicio superaron en algún momento los 0.05 mg/l y en algunos pocos casos 0.10 mg/l. El comportamiento en el tiempo marca en general una relativa estabilidad e inclusive una tendencia al decrecimiento en los tenores de As, en este último caso en coincidencia con los sondeos más recientes.

Contrariamente a lo esperado, los análisis químicos de las aguas del Puelche arrojaron tenores de Arsénico entre 0.07 mg/l y 0.20 mg/l. La asociación que tradicionalmente se planteaba entre este oligoelemento y los materiales volcánicos que componen el loess pampeano, hacían presumir su baja concentración en las arenas silíceas del Puelche como ocurre en otras posiciones de la región Noreste, por ejemplo.

Como parte de la investigación se efectuaron entonces determinaciones de Arsénico en los sedimentos atravesados por las perforaciones de exploración profundas, en tramos de interés.

En la Figura 4 se visualiza la distribución vertical de las concentraciones en ambos

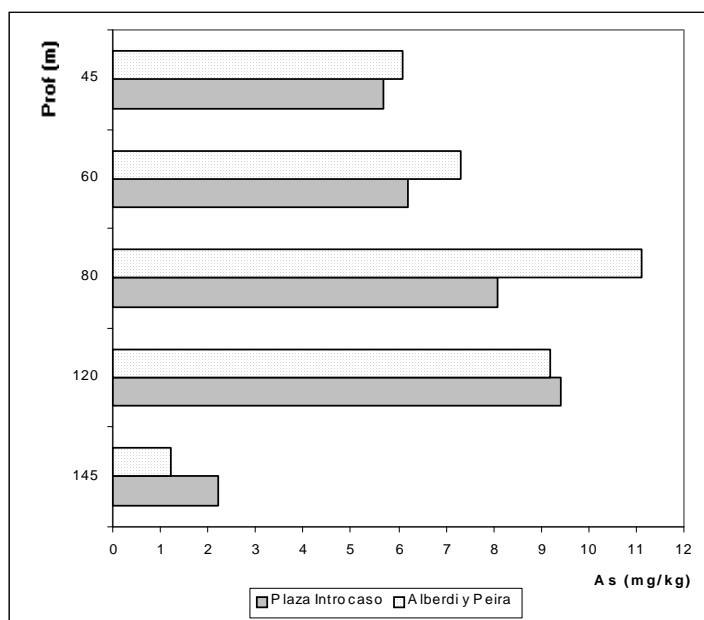


Figura 4. Concentración de Arsénico en los sedimentos

pozos de exploración, aclarándose que las muestras fueron recuperadas por el sistema rotativo, pero convenientemente lavadas para evitar una hipotética contaminación desde la inyección que circulaba por el interior del sondeo.

De todas formas, la regularidad en el incremento del Arsénico en los dos sondeos según la profundidad, tal como se describe a continuación, muestra que no se trataría de un aporte exógeno o una removilización durante la operación de perforación.

Puede advertirse que la tendencia es al incremento de los contenidos en profundidad para las posiciones del intervalo limo loessoide del acuífero Pampeano de 45m, 60m y 80 m bbdp, con mayores concentraciones en el sondeo de las calles Alberdi y Peira (6.1 mg/kg, 7.3 mg/kg y 11.1 mg/kg) que en el de Plaza Introcasso (5.7 mg/kg, 6.2 mg/kg y 8.1 mg/kg), en ambos casos tenores importantes.

Las muestras de los 120 m de profundidad corresponden netamente al acuitardo (9.4 mg/kg en Alberdi y Peira y 9.2 mg/kg en Plaza Introcasso) mostrando una disminución del contenido respecto al valor de la profundidad 80m, pero por encima de las posiciones más someras.

Ya dentro de las *Arenas Puelches*, el tenor de Arsénico (1.2 mg/kg y 2.2 mg/kg respectivamente), si bien es el más bajo de la columna atravesada, era poco esperable en arenas fluviales silíceas.

Estos resultados abren una importante alternativa respecto a la tradicional asociación establecida en la región entre los materiales piroclásticos componentes de los limos pampeanos (vidrio volcánico) y la ocurrencia de Arsénico y Flúor en las aguas subterráneas asociadas.

En el caso concreto de Junín si bien se mantiene esta relación, surgen tres evidencias a analizar:

- a. Las concentraciones de As en los sedimentos pampeanos es progresivamente creciente en profundidad, hasta la base acuitarda.
- b. En las *Arenas Puelches*, el tenor de As decrece, pero observa un valor no esperable conforme a su constitución litológica.
- c. El agua subterránea en ambos casos posee contenidos relativamente altos.

La primera evidencia estaría indicando por su regularidad, una removilización soluble del Arsénico en fase sólida desde niveles superiores a inferiores a través del tiempo, como consecuencia del proceso de filtración descendente impuesto por la explotación del acuífero Pampeano.

La segunda, un origen para el acuífero Puelche no vinculado directamente con el suprayacente.

La tercera evidencia estaría mostrando la permanencia de la fuente desde tiempos anteriores al Pleistoceno, aunque actualmente el material geológico no exhiba testimonios pelíticos importantes en el Puelche, pero quizás concentraciones remanentes no asociadas linealmente con los términos granométricos.

Una primera hipótesis que surgiría en función de los contenidos de As en el medio y el agua subterránea, y de la conformación física del sistema geohidrológico continente, apuntaría a un aporte desde el Pampeano por filtración vertical descendente hacia el Puelche e inclusive, a justificar de esa forma la presencia de concentraciones importantes en la base arcillo-limosa que conforma el acuitardo.

Pero si se tiene en cuenta que desde el año 1949 se halla en explotación continua el acuífero Pampeano, con 24 pozos productivos en la actualidad (caudales de 75 m³/h a 130 m³/h), con la consecuente depresión de los niveles que transforman a los piezométricos del Puelche en positivos por inducción, esta hipótesis no se sostiene desde el punto de vista hidráulico.

Si durante decenios la filtración vertical a través del acuitardo ha sido ascendente, no debería haber influido lógicamente una hipotética recarga a partir del Pampeano en la calidad química del acuífero semiconfinado.

Únicamente quedaría como posibilidad que durante mucho tiempo y ante la tendencia natural a la filtración vertical descendente, el Arsénico soluble hubiese accedido al acuífero Puelche, pero no se explica de que manera habría podido pasar a la fase sólida sin acudir a cambios temporales en las propiedades físicas del agua subterránea, lo cual aparece "prima facie" como poco probable.

Tampoco se explica como el Arsénico en solución no hubiese sido desalojado por efluencia subterránea del Puelche durante el lapso en que no es receptor de recarga en el ámbito local.

Subsiste entonces como hipótesis más plausible avalada por los tenores determinados en los sedimentos y agua subterránea, y el estado de la componente dinámica del sistema geohidrológico, la existencia de Arsénico singenético con las arenas de la *Formación Arenas Puelches*, probablemente contenido en las fracciones finas minoritarias.

Esta hipótesis supone un aporte piroclástico coetáneo con la depositación de las arenas fluviales, responsable de los tenores del oligoelemento en las aguas, al igual que ocurre con los terrenos pampeanos (Nicolli et al, 1997; Cabrera y Blarasín, 2001).

La consecuencia práctica de hallar concentraciones superiores a 0.05 mg/l del elemento en el acuífero Puelche, es poder descartarlo como una fuente alternativa plena para la provisión pública y tener que plantear en consecuencia, un programa de manejo planificado de agua de ambos acuíferos junto con un tratamiento correctivo.

Cabe reiterar para el acuífero Pampeano, la tendencia a la permanencia de los niveles del metal en función del tiempo e inclusive en algunos casos, su disminución. En lo que respecta al acuífero más profundo no existen antecedentes acerca de su comportamiento, ya que el Estudio base de esta contribución es el primero que se realiza con el propósito de reconocer la ocurrencia de Arsénico en la región.

Los antecedentes disponibles, si bien denotaban su presencia en otras comarcas, no mostraban concentraciones relativamente elevadas.

CONCLUSIONES

La existencia de concentraciones superiores a 0.05 mg/l de Arsénico en el acuífero semiconfinado Puelche (0.020 mg/l a 0.20 mg/l), detectadas por medio de un programa de exploración por perforaciones y análisis en el sector urbano de la ciudad de Junín, descarta su empleo como fuente sustituta o complementaria del actual servicio público.

Como parte del Estudio, se realizaron determinaciones del oligoelemento en los sedimentos del Pampeano y la Fm. Arenas Puelches, hallándose tenores entre 6.1 mg/l y 11.2 mg/l, con tendencia al incremento en profundidad en el primer caso y de 1.2 mg/l y 2.2 mg/l en el segundo.

La presencia de As en contenidos elevados en el acuífero Puelche no puede explicarse por el aporte del Pampeano, ya que como consecuencia de la extracción desde este último a partir de 1949 sus niveles potenciométricos se hallan por debajo de los del Puelche.

Tentativamente, se abre la hipótesis del origen autógeno del metal a partir de una presencia de material fino de origen piroclástico durante la depositación de las Arenas Puelches.

Como consecuencia de los resultados, la expectativa de recurrir al Puelche como fuente alternativa fue negativa y motivó la propuesta de un manejo planificado de ambas unidades acuíferas, junto con la adopción de tecnologías correctivas en posiciones identificadas.

REFERENCIAS

- Auge, M. P., Hernández, M. A. y Hernández, L. 2002. Actualización del conocimiento del acuífero semiconfinado Puelche en la Provincia de Buenos Aires. Argentina. XXXII IAH Congress y VI Congreso ALHSUD. Ed. CD Rom. Mar del Plata.
- Cabrera, A. y Blarasín, M. 2001 "Geoquímica del Flúor y Arsénico en el agua subterránea del Sur de Córdoba, Argentina". IGME, Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 1: 17-25, Barcelona.
- De Salvo, O. E., Ceci, J. H. y Dillon, A. 1969 "Caracteres Geológicos de los Depósitos Eólicos del Pleistoceno Superior de Junín, Provincia de Buenos Aires" Anales IV Jornadas Geológicas Argentinas. Mendoza.
- Hernández, M. A., Auge, M. P., Filí, M. F. y Ceci, J.H. 1975 "Geohidrología de los acuíferos profundos de la Provincia de Buenos Aires". Actas Sexto Congreso Geológico Argentino (T.II, pp. 435-456). Bahía Blanca.
- Hernández, M.A., González, N., Ceci, J. H., Trovatto, M. M. y Hernández, L. 2004. Estudio hidrogeológico ambiental en el Partido de Junín. Provincia de Buenos Aires. FCNyM-UNLP. Cátedra de Hidrogeología. La Plata (inédito).

- Nicolli, H. B. , Smedley, P. L. y Tullio, J. O. 1997 "Aguas subterráneas con altos contenidos de flúor, arsénico y otros oligoelementos en el norte de la provincia de La Pampa: estudio preliminar" Cong. Int. Sobre Aguas y Workshop sobre Química Ambiental y Salud. Resúmenes, III-40. Buenos Aires, 1997.
- Tauber, F. 1997 "Junin. Reflexiones y datos para una estrategia de desarrollo". UNLP-Municipalidad de Junín, Junín.