

HIDROGEOQUIMICA DEL ARSÉNICO EN EL SISTEMA ACUÍFERO DE LA REGION DE JUNIN. CUENCA DEL RIO SALADO. PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

González Nilda⁽¹⁾, Hernández Mario A.⁽¹⁾, Ceci J. Horacio⁽²⁾, Trovatto María M.⁽¹⁾ y Hernández Lisandro⁽³⁾

⁽¹⁾ Cátedra de Hidrogeología UNLP ⁽²⁾ Hidroar SA ⁽³⁾ Cátedra Fundamentos de Geología UNLP
Fax 0221 4229923/4801806 Email igs2@unlpmuseum.speedy.com.ar

RESUMEN: Se exponen algunos resultados de la investigación realizada por Convenio entre la Municipalidad de Junín (Buenos Aires) y la Facultad de Ciencias Naturales y Museo UNLP, cuyo objetivo general fuera la evaluación geohidrológica ambiental y el particular, reconocer la ocurrencia de Arsénico, Flúor y nitratos en las aguas subterráneas. Se utilizó información histórica proveniente de 23 perforaciones de servicio, 57 fuentes relevadas en el año 2004 y 6 perforaciones de exploración practicadas a los acuíferos Pampeano y Puelche. A partir del reconocimiento del sistema geohidrológico (hidrometeorología, geomorfología, geología de superficie y subsuelo, hidroquímica), elaboración de la información histórica, relevamiento de campo, nuevos análisis químicos en aguas y sedimentos de las formaciones *Pampeano* y *Puelche*, pudo delinarse el modelo conceptual marco para la interpretación hidrogeoquímica. La componente geohidrológica fue reproducida mediante un modelo matemático de flujo. La vinculación entre contenidos de As con el comportamiento de iones mayoritarios y el flujo subterráneo en el Pampeano, permitió delimitar zonas con diferentes tenores de As, teniendo en cuenta la norma provincial (límite tolerable 0.05 mg/l) y su antecesora (0.10 mg/l). Las concentraciones de As en el Puelche resultaron del mismo orden que las del Pampeano (0.08 mg/l-0.20 mg/l y <0.05 mg/l-0.16 mg/l respectivamente). Se analiza el rol de la transferencia vertical entre acuíferos para explicar la presencia de As en el Puelche y los contenidos en sedimentos. Fue reconstruida además la marcha de los tenores de As para los pozos de servicio. Las conclusiones se dirigen a una propuesta de manejo basada en acciones estructurales y no estructurales, para los escenarios de tolerancia de 0.05 mg/l y 0.10 mg/l.

Palabras clave: Hidrogeoquímica - Arsénico – Gestión del recurso - Junín – Buenos Aires

ABSTRACT: Some results from a research conducted through an agreement between the Municipality of Junín (Buenos Aires province) and Facultad de Ciencias Naturales y Museo (University of La Plata) are exposed. The general objective is an environmental geohydrological evaluation and the particular objective is to identify the occurrence of arsenic, fluoride and nitrates in groundwater. Historical information from 23 service wells, 57 sources surveyed in 2004 and 6 exploration wells in the Pampeano and Puelche aquifers was used. A conceptual framework model for the hydrochemical interpretation was developed from an identification of the geohydrological system (hydrometeorology, geomorphology, surface and underground geology, hydrochemistry), the elaboration of historical information, a field survey and new chemical analyses of waters and sediments of the Pampeano and Puelche Formations. The geohydrological component was reproduced by a mathematical flow model. The relationship between As contents with the composition of major ions and the underground flow in the Pampeano aquifer permitted to delimit areas with different As levels, considering the present provincial standard (tolerable limit 0.05 mg/L) and a previous standard (0,10 mg/L). Arsenic concentrations in the Puelche were of the same order of magnitude as those in the Pampeano aquifer (0.08-0,20 mg/L and <0.05-0.16 mg/L, respectively). The role of vertical transfer between aquifers is analyzed to account for the presence of As in the Puelche and the contents in the sediments. The evolution of As contents was reconstructed for the service wells. The conclusions include a management proposal based on structural and non-structural actions, for tolerance scenarios of 0.05 and 0.10 mg/L.

Keywords: Hydrogeochemistry - Arsenic – Resource management - Junín - Buenos Aires

INTRODUCCION

A consecuencia del cambio transitorio en la norma de la Provincia de Buenos Aires que establecía el límite de Arsénico en agua potable (Decreto 6553/74), llevándolo de 0.10 mg/l a 0.05 mg/l (Decreto 878/03), se establece un Convenio entre la Municipalidad de Junín, afectada en la posibilidad natural de ofrecer al servicio público agua subterránea (única fuente disponible) bajo dicha condición, y la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata, para realizar un Estudio Geohidrológico Ambiental a través de su Cátedra de Hidrogeología.

Durante el año 2004 se llevaron a cabo las investigaciones atinentes, parte de cuyos resultados son expuestos en este trabajo. Consistieron en la caracterización hidrometeorológica, hidrológica, geológica, geomorfológica, edafológica e hidrogeológica regional, mediante análisis de antecedentes, trabajos de gabinete, relevamientos de campo, muestreos, perforaciones de exploración multipropósito, análisis químicos en agua y sedimentos y el montaje de un modelo matemático de flujo.

Coherentemente con el resultado del estudio, se propone un manejo integrado de las aguas del acuífero actualmente utilizado (Pampeano) y del infrayacente (Puelche), incluyendo el tratamiento selectivo para lograr la calidad requerida.

Varios autores se refirieron a la ocurrencia de tenores de Arsénico y Flúor en las aguas subterráneas de la llanura pampeana en asociación con el contenido vulcanoclástico de los limos Pampeanos (Hernández y González 1968; Nicolli et al 1997; Cabrera y Blarasin, 2001). En esta oportunidad se procedió al muestreo de sedimentos en distintos intervalos de los acuíferos Pampeano y Puelche, para intentar una asociación con las concentraciones halladas en el agua subterránea.

MATERIALES Y METODOS

A partir de la interpretación de la información antecedente y datos recopilados, se reconstruyó el marco hidrometeorológico, climático, hidrológico, geológico e hidrogeológico de la comarca, base para la identificación del sistema geohidrológico y reconocimiento de los mecanismos actuantes. El estudio fue planteado en una escala regional abarcando el Partido de Junín y sectores aledaños (2.300 km²), y otra local que incluyó a la ciudad y su entorno inmediato.

Para la primera se realizó un reconocimiento de las características geológicas y geomorfológicas, delineadas primeramente mediante interpretación de una imagen satelital ASTER, y el relevamiento de fuentes de provisión de agua a expensas del acuífero Pampeano, comprendiendo la medición de profundidad del nivel de agua, acotamiento de los puntos, determinación de propiedades físicas "in situ" y muestreo con fines analíticos.

Con los resultados de campo y laboratorio, se trazó el mapa equipotencial del acuífero Pampeano, sobre el cual se han volcado los contenidos en Arsénico, para la posición Junio de 2003.

En la dimensión local fue elaborada la información hidrométrica e hidroquímica provista por 23 perforaciones de servicio, construyéndose las gráficas de evolución de los contenidos en Arsénico en función del tiempo para todos ellos y cotejándolas con la red de flujo del acuífero Pampeano. Se construyeron seis (6) perforaciones de exploración, cuatro (4) de ellas al acuífero Pampeano con una profundidad media de 80 m y dos (2) al acuífero Puelche, de 161 m. Se utilizó el sistema rotativo con inyección de agua, muestreándose sistemáticamente cada metro, para la identificación litológica y granométrica en gabinete.

Previa limpieza y desarrollo de los sondeos se colectaron muestras de agua para determinaciones fisicoquímicas, con especial atención a las concentraciones de Arsénico, y de sedimentos en los dos más profundos, en intervalos correspondientes a los acuíferos Pampeano y Puelche y el acuitardo (45 m, 60 m, 80 m, 120 m y 145 m). La labor analítica fue confiada con muestras réplica a cuatro diferentes laboratorios (Municipalidad de Junín, CIMA-UNLP, INDUSER SRL y C&D) para asegurar los resultados.

Para la obtención de los parámetros geohidrológicos de ambos acuíferos se realizaron ensayos de bombeo que, conjuntamente con el resto de la información hidrodinámica, concurrieron a definir el modelo conceptual del sistema y su modelación matemática, por el momento con espaciado temporal semestral.

Con la intención de proponer un sistema de explotación que permita la provisión pública con agua totalmente bajo norma, fue conducido un relevamiento de carácter utilitario de la actual red de captación y distribución de agua en el ejido urbano, basado en la cartografía elaborada para la escala de detalle.

CARACTERISTICAS GENERALES

El Partido de Junín se ubica en la región Noroeste bonaerense (Figura 1), en el sector superior de la cuenca del río Salado, curso autóctono y perenne que con nacientes próximas a la zona de estudio en la Pcia. de Santa Fe, desemboca en la Bahía de Samborombón luego de recorrer 650 km con un módulo anual del orden de $24 \text{ m}^3/\text{seg}$.

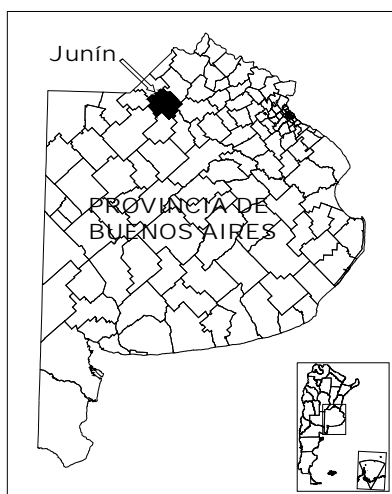


Figura 1. Ubicación del área

Para el lapso 1931-2003, la precipitación media anual es de 985 mm, la evapotranspiración potencial de 798 mm/año y la real alcanza 793 mm/año. El exceso hídrico anual está en el orden de 192 mm, localizado en el intervalo Marzo a Noviembre (Hernández et al 2004). El clima resulta de tipo húmedo mesotermal, con nula o pequeña deficiencia de agua y concentración estival de la eficiencia térmica del 45%.

Las principales geofomas 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 SSW-NNE, interrumpidas por el valle del río. Los suelos reconocidos son *Hapludoles énticos*, *Hapludoles típicos*, *Hapludoles tpto-árgicos* y *tpto-nátricos* y *Natracualfes típicos*, con escasa manifestación hacia el Norte de *Natracuoles* y *Argiudoles*.

Afloran en la comarca depósitos del Pleistoceno Superior-Holoceno (Post-pampeanos) y del Pleistoceno medio y superior (Pampeanos). Entre los primeros, las formaciones *Luján* y *La Plata* en los valles fluviales y la *Fm. Junín* en las partes altas del relieve (De Salvo et al, 1969). Los Pampeanos están representados por la *Fm. Ensenada*, limos loessoides, limos arenosos con limos arcillosos basales que se prolongan en subsuelo hasta los 115-120 m de profundidad, apoyada sobre las *Arenas Puelches* o *Fm. Puelches* que alcanzan un espesor local de aproximadamente 45 m (Auge et al, 2002). Continúan arcillas y arenas marinas correspondientes a la *Fm. Paraná* y en profundidad, una secuencia similar pero continental, perteneciente a la *Fm. Olivos*, estas dos últimas reconocidas en 1914 por la perforación de exploración Puerto Canal Norte de 415 m de profundidad (Hernández et al, 1975).

El marco socioeconómico de Junín (88.700 habitantes) es fundamentalmente agroganadero, con una fuerte componente de servicios y creciente actividad industrial. El único recurso hídrico disponible para toda actividad es el subterráneo, esencialmente el acuífero Pampeano alojado en los depósitos homónimos que abastece a la ciudad y gran parte del área rural, con alguna participación en ésta del freático. Desde 1949 Junín cuenta con abastecimiento público, actualmente bajo administración comunal, por medio de 23 perforaciones de explotación que aportan caudales individuales medios de 80 m³/hora y sirven al 87 % de la población. Otras localidades del Partido como Agustina, A. Roca, Morse y Saforcada cuentan con provisión domiciliaria desde el acuífero Pampeano. Se lo utiliza también para abastecer a industrias radicadas y para riego.

HIDROGEOLOGIA

Siguiendo el esquema estratigráfico más arriba descrito, el sistema geohidrológico activo está compuesto por el acuífero freático, que junto con otro semilibre (Pampeano) subyacente conforman una única unidad desde el punto de vista hidráulico. La base arcillosa a arcillo-limosa de los limos pampeanos es un acuitardo que separa a los acuíferos precitados de otro semiconfinado (Puelche), contenido en las arenas homónimas.

La base de esta componente activa está representada por un espesor de arcillas muy plásticas (*Fm. Paraná*, miembro superior) de origen marino y carácter acuicludo. Continúa en profundidad un estrato arenoso de la misma formación, que se comporta como acuífero confinado, apoyado sobre arcillas rojas continentales (*Fm. Olivos*) también acuicludas.

El Cuadro 1 sintetiza la configuración física del sistema.

Unidad geológica	Litología	Hidrolitología
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	Acuicludo
<i>Fm. Paraná</i> miembro Inferior	Arenas medianas a gruesas	Acuífero

Cuadro 1 : Sistema geohidrológico (Hernández et al, 2005)

HIDRODINAMICA

La recarga del sistema es autóctona directa para el conjunto acuífero freático-Pampeano e indirecta para el Puelche, que reconoce también recarga alóctona. La local del Puelche ocurre por filtración vertical, en aquellas posiciones donde su altura potenciométrica es inferior a la del Pampeano.

Para el análisis hidrodinámico regional, se reproduce en la Fig. 2 el mapa equipotencial del acuífero Pampeano para Octubre de 2004.

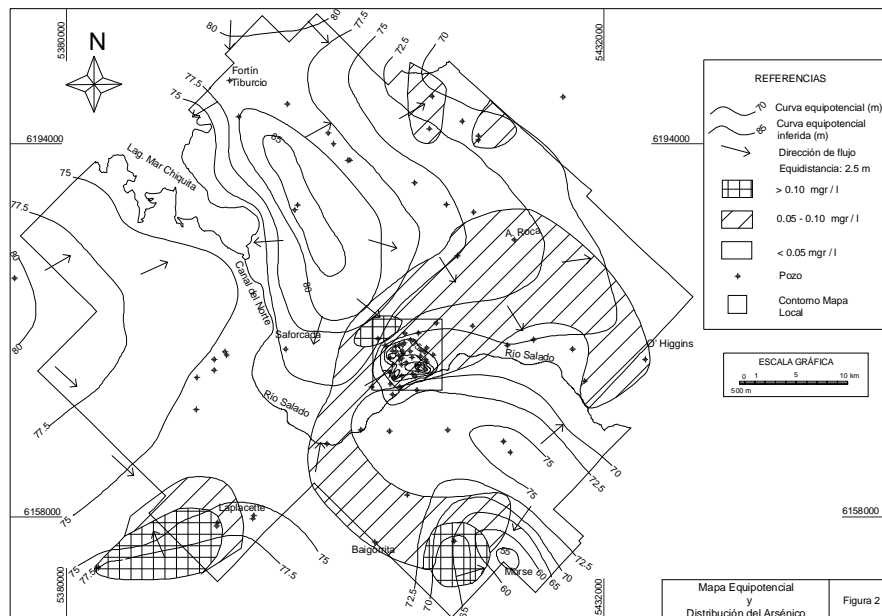


Figura 2. Mapa equipotencial acuífero Pampeano (escala regional)

Las principales zonas de recarga se observan al W y N del Partido, en un amplio sector coincidente con una cadena de médanos situada hacia el NW de la ciudad, además de otra más reducida del mismo rumbo, también sobre un alineamiento medanoso. La circulación ocurre según un patrón morfológico radial, con dirección regional W-E y NW-SE y gradiente hídrico medio del orden de $2.7 \cdot 10^{-4}$. La velocidad efectiva fue calculada, sobre la base de los gradientes medidos, valores de Permeabilidad producto de ensayos de bombeo y porosimetría de laboratorio, entre $8.1 \cdot 10^{-2}$ m/día a 1.23 m/día. Los cursos del río Salado y Ao. Saladillo de la Vuelta junto con los cuerpos lagunares, son las zonas de descarga local manifestando de esta forma su carácter ganador o efluente (Hernández et al, 2005).

El mapa equipotencial de este acuífero es mostrado en la Fig. 3 para el ejido urbano de Junín y alrededores. Aquí se puede advertir que la explotación a través de las perforaciones de servicio origina una amplia hidroforma negativa demarcada por la equipotencial 60 m snm, introduciendo una distorsión respecto al flujo regional. Dentro de ella se incluyen tres hidroformas menores, una de ellas más profunda y extensa bordeada por la isolínea de 50 m snm y las restantes por la de 55 m snm. Puede notarse que una consecuencia de la distorsión es el cambio de comportamiento del río Salado, que pasa a actuar localmente como perdedor en las proximidades de la Av. de Circunvalación.

Existe lógicamente un gradiente hídrico mayor, entre $1 \cdot 10^{-3}$ y $5 \cdot 10^{-2}$, al igual que la velocidad efectiva que llega a 13.5 m/día. Dentro de la hidroforma mayor, la carga hidráulica del Pampeano resulta inferior a la del Puelche como efecto de la extracción, originándose un flujo vertical ascendente a través el acuitardo.

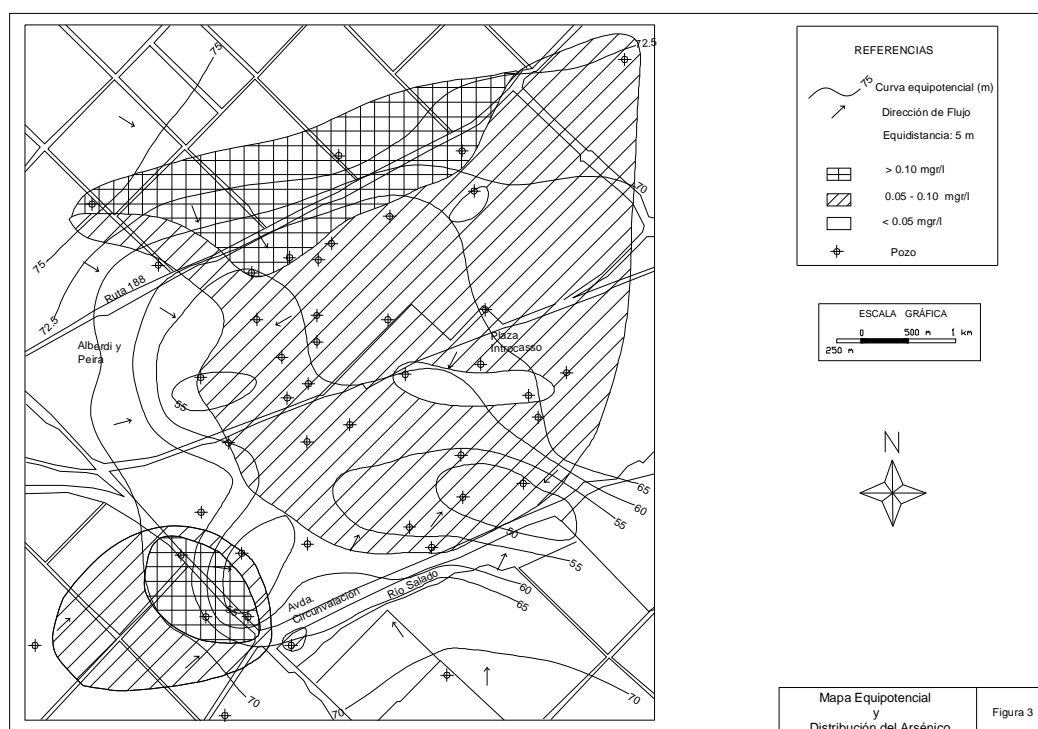


Figura 3. Mapa equipotencial acuífero Pampeano (escala local)

HIDROQUIMICA

Desde el punto de vista iónico, las aguas del Pampeano son bicarbonatadas sódicas, ocasionalmente cálcicas o calco-magnesianas, evolucionando a bicarbonatadas-sulfatadas sódicas o cloruradas-bicarbonatadas sódicas hacia las zonas de descarga, con TSD de 330 mg/l a 790 mg/l. Las del acuífero Puelche en las dos perforaciones de exploración, bicarbonatadas cloruradas sódicas y cloruradas bicarbonatada sódica, con TSD de 980 mg/l y 1380 mg/l, respectivamente.

Para analizar la ocurrencia del As se trata en primer lugar su distribución espacial en el Pampeano a escala regional y local. Dentro de esta última, su evolución en función del tiempo para los pozos de servicio, scatters con diferentes indicadores, relación con el acuífero Puelche y presencia en los sedimentos.

La distribución a escala regional es mostrada en la Fig. 2 junto con las curvas equipotenciales. Aproximadamente un 70% del Partido registra tenores por debajo de 0.05 mg/l (sector occidental, parte del Centro-Norte y zona al Sudeste de la Ciudad). En el resto se alcanzan contenidos entre 0.05 mg/l y 0.10 mg/l, con extremo puntual en la localidad de Morse de 0.16 mg/l. Si bien no hay una relación lineal con el flujo, los máximos se ubican próximos a zonas de descarga. En la Fig. 3 se aprecia que a escala local, el ejido urbano se halla en un 60% con tenores mayores a 0.05 mg/l, coincidiendo con la amplia hidroforma negativa. Sin embargo los mayores a 0.10 mg/l se localizan en sus flancos, no en el centro.

La mayor parte de los pozos de servicio superaron en algún momento los 0.05 mg/l y en algunos casos 0.10 mg/l. En la Fig. 4 se muestra la evolución del As para algunos representativos. En general, la tendencia desde 1999 es al mantenimiento o decrecimiento de las concentraciones en el tiempo, sin que se haya evidenciado incremento en función de la explotación. Los extremos históricos son de 0.03 mg/l y 0.16 mg/l, los mínimos más frecuentes entre 0.04 mg/l y 0.05 mg/l y los máximos del orden de 0.10 mg/l.

Tomando cada pozo individualmente, la amplitud de la variación temporal está en el orden de 0.04 mg/l en 50% de los pozos, con extremos de 0.03 (9%) y 0.09 (4.5%), lo cual resalta la escasa oscilación, en términos de valor absoluto.

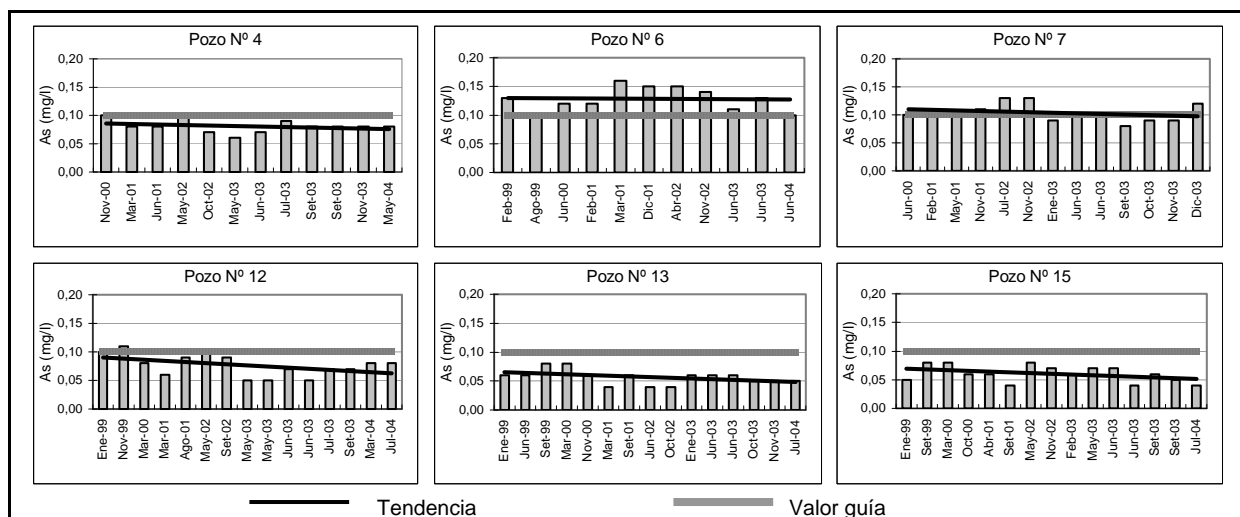


Figura 4. Evolución del As en pozos de servicio

Para vincular la abundancia del ión con otros componentes químicos, se recurrió a scatters con indicadores de tal carácter, resultando más útiles para la interpretación de As vs. $\text{CO}_3\text{H}^-/(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ y As vs. $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ que se muestran en la Fig. 5. Los comportamientos que se advierten son los naturales, directo en el caso del primer scatter e inverso en el segundo, es decir mayor concentración de As en aguas alcalinas y menor en aguas de mayor dureza.

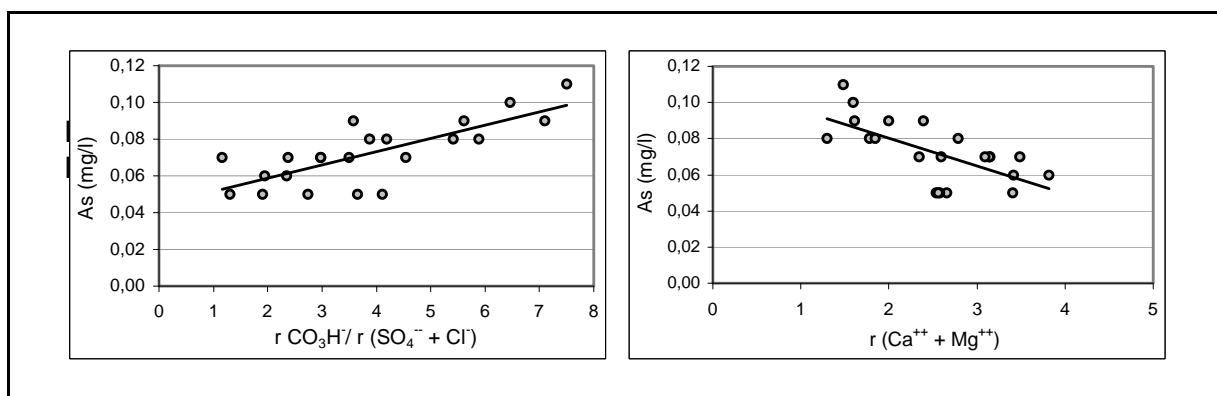


Figura 5. Relaciones con el Arsénico

La expectativa de hallar agua con bajo contenido de As en el acuífero Puelche, como ocurre en otros sectores de la llanura bonaerense en función de su litología (arenas silíceas) no se cumplió al detectarse concentraciones entre 0.07 mg/l y 0.20 mg/l en los pozos de exploración, con análisis realizados en cuatro diferentes laboratorios calificados. Aquella posibilidad estaba avalada por la tradicional asociación entre depósitos piroclásticos abundantes en la llanura pampeana y los tenores de Arsénico y Flúor (Hernández y González, 1968; Nicolli et al, 1997; Cabrera y Blarasín, 2001).

Análisis sobre material sólido practicados en trectos característicos de la secuencia litológica en las perforaciones de exploración, arrojaron los resultados expuestos en el

Cuadro 2, donde puede apreciarse el incremento de As en profundidad, incluyendo al término arcillo limoso que obra como acuitardo. La concentración en las Arenas Puelches aunque más baja, resultaba poco esperable por las razones más arriba aludidas.

Profundidad (m)	Unidad	As (P.Introcasso) mg/kg	As (Alberdi y Peira) mg/kg
45 m	Pampeano (limos)	5.7	6.1
60 m	Pampeano (limos)	6.2	7.3
80 m	Pampeano (limos)	8.1	11.1
120 m	Pampeano (acuitardo)	9.2	9.4
140 m	Arenas Puelches	2.2	1.2

Cuadro 2. Contenido de As en sedimentos

La regularidad del incremento en profundidad estaría indicando la removilización soluble del Arsénico a partir de fase sólida, desde niveles superiores a inferiores a través del tiempo, como consecuencia del proceso de percolación descendente impuesto por la explotación del acuífero Pampeano, interrumpido lógicamente en el acuífero Puelche cuya altura potenciométrica es positiva con relación al Pampeano y por lo tanto, el flujo vertical ascendente.

La procedencia del As en el agua del Puelche en la escala local no puede asociarse entonces a aporte desde el Pampeano, por la filtración vertical ascendente, quedando como hipótesis más sostenibles:

- Origen autógeno del As en sólido (y consecuentemente en el agua del acuífero semiconfinado), a partir del aporte piroclástico coetáneo con la depositación de las arenas en el Pleistoceno inferior, aunque actualmente el material geológico no exhiba testimonios pelíticos importantes en el Puelche, pero quizás concentraciones remanentes no asociadas linealmente con los términos granométricos.
- Afluencia subterránea desde las zonas de recarga colindantes, donde la altura freática es superior a la piezométrica y ocurre filtración vertical descendente, sin que pueda hallarse una explicación satisfactoria acerca de la manera en que habría podido pasar el As a la fase sólida sin acudir a cambios temporales en las propiedades físicas del agua subterránea.

De todas formas, la consecuencia práctica de existir concentraciones mayores a 0.05 mg/l en el acuífero Puelche, es descartarlo como una fuente alternativa plena para la provisión pública y plantear en consecuencia un programa de manejo planificado de agua de ambos acuíferos, junto con un tratamiento correctivo.

PROPUESTA DE MANEJO

Considerando como escenarios los umbrales de aptitud de 0.05 mg/l y 0.10 mg/l, se ha presentado un Programa de manejo del agua subterránea teniendo en cuenta que no existe otro recurso hídrico disponible, que incluye acciones estructurales y no-estructurales.

Entre las primeras, la colocación de caudalímetros totalizadores en cada uno de los pozos, previamente intervenir en la red actual, generando nodos de concentración del agua captada por conjunto de pozos y su almacenaje transitorio en cisternas o tanques donde producir las mezclas, dado lo delicado que resulta hacerlo directamente en red.

Para el escenario de límite 0.10 mg/litro, se postula un nodo al Sur de las vías del ferrocarril (Plaza S. Martín o Plaza 9 de Julio), favorable para la futura expansión de la red hacia el Oeste de la Avenida Pastor Bauman. Otros dos al Norte de las vías, uno en el

predio de Obras Sanitarias donde ya existe un tanque elevado, integrando el caudal del pozo al acuífero Puelche de Alberdi y Peira y el restante en Avda. República y Jean Jaures, permitiendo la expansión de la red hacia el Este.

Si se considera un umbral de tolerancia de 0.05 mg/l, la alternativa es recurrir a disminuir las concentraciones de As y F mediante tratamiento. No es posible pensar en una Planta para la dotación de la Ciudad (actualmente más de 1000 m³/hora), lo cual significa construir una megaplanta de muy difícil factibilidad económica y práctica.

Otro tanto ocurriría dotando de una unidad correctiva a cada uno de los pozos de captación. La estrategia propuesta se basa en utilizar los mismos nodos de concentración y mezcla planteados para el anterior escenario (red actual y proyección), pero con Plantas de Tratamiento solamente en los pozos con mayor concentración, realizándose las mezclas hasta un valor óptimo, desde mínimos procedentes de aquellos donde se instale la Planta.

Esta modalidad tiene además un factor favorable: el volumen de sólidos arsenicales (rechazo de Planta) producido sería significativamente menor al que supone una aplicación integral. Esto es sumamente importante y condicionante, ya que son residuos peligrosos que deben disponerse finalmente conforme a la legislación vigente, en repositorios especiales con el correspondiente costo y riesgo del transporte.

La Facultad de Ciencias Naturales y Museo UNLP tiene la intención de realizar de acuerdo con las autoridades locales, pruebas piloto de tratamiento de aguas subterráneas utilizando arcillas ferruginosas disponibles en la Provincia, sobre experiencias de laboratorio actualmente en curso.

Las acciones no estructurales incluyen una campaña educativa sobre el uso del agua (curricular e informal), la generación de una red de monitoreo a expensas de los pozos de servicio y particulares (clubes, productores agropecuarios, industrias, cooperativas), para alimentar una Base de Datos radicada en una unidad específica municipal, con la cual se mantendrá en operación el modelo matemático con capacidad de pronóstico.

CONCLUSIONES

El estudio base de esta contribución, destinado a reconocer la presencia de Arsénico en aguas subterráneas de Junín (Buenos Aires), fue conducido a escala regional y local, identificándose el sistema geohidrológico, la hidrodinámica e hidroquímica del acuífero semilibre Pampeano, la hidrodinámica del acuífero semiconfinado Puelche y la ocurrencia del ión en agua y sedimentos, para llegar a formular un Programa de Manejo del recurso.

Para el acuífero Pampeano se utilizó información de 23 pozos de servicio, 35 fuentes relevadas a escala regional y cuatro sondeos de exploración, identificándose una recarga autóctona directa preferentemente localizada en sectores positivos del relieve, circulación con un gradiente medio de $2.7 \cdot 10^{-4}$ y velocidad efectiva entre $8.1 \cdot 10^{-2}$ y 1.23 m/día y descarga local en el álveo del río Salado, Ao. Saladillo de la Vuelta y cuerpos lagunares.

En el acuífero Puelche, la recarga local es autóctona indirecta, en parte alóctona, con descarga por filtración vertical ascendente en el Pampeano en el ámbito de la ciudad de Junín, a expensas de la extracción continua de este último (>1000 m³/hora) y el consecuente abatimiento de sus alturas potenciométricas

Las aguas del Pampeano son fundamentalmente bicarbonatadas sódicas y las del Puelche, bicarbonatadas cloruradas sódicas a cloruradas bicarbonatadas sódicas, ambas con TSD por debajo de 1400 mg/l, mayor en el segundo.

A escala regional, el Pampeano cuenta con concentraciones As inferiores a 0.05 mg/l en un 70% del Partido, en cambio en el ejido de la ciudad se hallan valores mayores a ese umbral en el 60% de la superficie, con tenores históricos entre 0.03 y 0.16 mg/l y tendencia a la estabilización o decrecimiento en los seis últimos años. Las aguas del Puelche, pese a la litología arenosa del acuífero, registraron contenidos entre 0.07 mg/l y 0.20 mg/l.

Análisis practicados sobre muestras de sedimentos del Pampeano (incluyendo el acuitardo) y Puelche mostraron valores de As crecientes en profundidad en el primero, con extremos de 5.7 mg/kg y 11.1 mg/kg, hasta descender en el Puelche a 1.2-2.2 mg/kg.

La presencia de tenores altos no esperados de As en el agua del Puelche podría obedecer bien a su origen autógeno, no obstante su litología mayoritariamente samítica, o a afluencia lateral desde zonas de recarga aledañas, donde existe filtración vertical descendente. No es el caso del ejido urbano, donde la transferencia vertical es probadamente ascendente.

Ante la incertidumbre acerca del umbral de tolerancia por contradicción de normas provinciales, fue planteado un Programa de manejo del recurso en dos escenarios, de 0.10 mg/l y 0.05 mg/l. Para el primer caso, se proponen previa intervención en la geometría de la red de distribución, tres nodos de concentración y mezcla con participación del acuífero Puelche. El segundo escenario, contempla ya el tratamiento puntual del agua en pozos con altos contenidos, para su ulterior mezcla en los nodos ubicados en los mismos lugares.

Incluye el Programa acciones no estructurales, como campañas educativas respecto al uso del agua, operación de una red de monitoreo y control, generación de una Base de Datos para sistematizar los registros y mantener actualizado el actual modelo matemático de flujo montado a propósito de este estudio, con capacidad de pronóstico.

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 Blarasin, 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. *Actas IV Jornadas Geológicas Argentinas*, I:269-292. Mendoza.
- Hernández, M. A. y N. González 1968 "Algunas consideraciones acerca de la geoquímica del Flúor en las aguas subterráneas del Noreste de la Provincia de Buenos Aires". *III Congreso Nacional de Agua*, I:177-188, San Juan.
- 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* II: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).
- Hernández, M. A., González, N., Ceci, J. H., Trovatto, M. M. y Hernández, L. 2005. Ocurrencia de Arsénico en aguas de los acuíferos Pampeano y Puelche. Junin. Provincia de Buenos Aires. Argentina. *XX Congr. Geológico Argentino*. La Plata (en prensa).
- 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.