

Concentraciones anómalas de oligoelementos contaminantes en aguas subterráneas del partido de José C. Paz, provincia de Buenos Aires, Argentina

Jorge E. Rusansky^{1,2}, Miguel A. Gómez Peral¹, María L. Soria³,
Verónica Schamray⁴ y Arturo J. Barros^{1,5}

¹ Instituto de Geoquímica (INGEOQUI), Av. Ricardo Balbín 3100, (1663) San Miguel, prov. de Buenos Aires, Argentina,

² Escuela de Educación Secundaria N°10, José C. Paz, prov. de Buenos Aires, Argentina,

³ Universidad Nacional de Luján, Departamento de Ciencias Sociales, División Geografía, Ruta Nacional N° 5 y Av. Constitución, (6700) Luján, prov. de Buenos Aires, Argentina,

⁴ Escuela de Educación Secundaria N°5, Fragata Sarmiento y Oribe, (1665) José C. Paz, prov. de Buenos Aires, Argentina,

⁵ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

Mail de contacto: rusanskyjorge@gmail.com

RESUMEN

Los partidos del Área Metropolitana de Buenos Aires se caracterizan por un aumento sostenido en la contaminación del agua, que causa serios problemas de salud. A través de un proyecto de investigación financiado por la Fundación YPF, se aportó al conocimiento del problema en José C. Paz.

Los objetivos fueron: determinar los parámetros fisicoquímicos y composición iónica en muestras de agua; establecer concentraciones anómalas de oligoelementos, reconocer procesos para remediación e interesar a docentes y alumnos en investigaciones relevantes.

Se analizaron 102 muestras de aguas subterráneas para consumo y superficiales, 10 de ellas por oligoelementos, en un área de 50 km², resultando: [As]: 0,40-26,9 µg L⁻¹ (mediana=15,5 µg L⁻¹); [Se]: 17,5-39,9 µg L⁻¹ (mediana=27,65 µg L⁻¹) y [Hg]: 0,8-21,8 µg L⁻¹ (mediana= 1,25 µg L⁻¹). Se destaca que el alto pH y los procesos de sorción y desorción en la superficie de minerales loésicos contribuyen a la concentración de arsénico.

Palabras clave: Calidad del agua, Acuíferos de José C. Paz (prov. Buenos Aires), Hidrogeoquímica, Composición iónica mayoritaria y minoritaria, Distribución de oligoelementos.

ABSTRACT

The Buenos Aires Metropolitan Area counties are characterized by a steady growth in water pollution, generating serious health problems. Through a research project, financed by YPF Foundation, a better understanding of the problem within José C. Paz County was reached.

The objectives were to determine water-samples physicochemical parameters and ionic composition; to establish anomalous oligoelements concentrations in some selected samples, to recognize remediation processes and to interest teachers and students in relevant research.

One hundred and two drinking water samples from shallow and deep aquifers and from surface courses were analyzed, ten of them for oligoelements, in an area of 50 km²; the concentrations being: [As]: 0,40-26,9 µg L⁻¹ (median=15,5 µg L⁻¹); [Se]: 17,5-39,9 µg L⁻¹ (median=27,65µg L⁻¹) and [Hg]: 0,8-21,8 µg L⁻¹ (median= 1,25 µg L⁻¹). Noticeably, the high pH and the surface sorption and desorption processes of loessic minerals, contribute to the arsenic concentration.

Keywords: Water quality, Aquifers of José C. Paz (Buenos Aires province), Hydrogeochemistry, Major and minor ionic composition, Oligoelements distribution.

Introducción

Es bien conocido el problema de la contaminación natural con arsénico y otros oligoelementos en el agua para consumo

humano dentro de la llanura chaco-pampeana, especialmente en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), y la gran preocupación que producen sus consecuencias. La presente contribución al estudio del problema se propuso

medir las concentraciones de dichos oligoelementos en aguas superficiales y subterráneas dentro del partido de José C. Paz. El trabajo se realizó con la activa participación de instituciones educativas de la zona como una forma de promover el interés de docentes y educandos en la realización de tareas de investigación relevantes, aplicadas a su ámbito geográfico. Así, se trató de despertar el interés por el propio ambiente y alentar, además, la elección de una futura carrera profesional.

El partido de José C. Paz tiene 265.981 habitantes (INDEC, 2010) distribuidos en casi 50 km² de superficie; está ubicado hacia el noroeste del AMBA, en el segundo cordón de partidos que rodean a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) a unos 35 kilómetros de la misma.

El avance sistemático de la contaminación de las aguas superficiales y de acuíferos freáticos del Área Metropolitana de Buenos Aires ha generado gran inquietud en los últimos años razón por la cual se estudió la distribución del arsénico y otros oligoelementos asociados (Se, Mo, Hg, Sb, B, F, etc.) en aguas superficiales y en los acuíferos Pampeano y Puelche, con muestras obtenidas en perforaciones domiciliarias, en un aljibe y en arroyos del partido de José C. Paz.

Los procesos de concentración están directamente relacionados con fenómenos genéticos que serán reseñados posteriormente y para comparar se utilizaron estándares, nacionales e internacionales, que limitan su explotación para diversos usos. El límite máximo sugerido de concentración del As en aguas para consumo humano, 10 µg L⁻¹, actualizado por el Código Alimentario Argentino (CAA) en 2007 es coincidente con el Valor Guía provisorio (VG) establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011) y con los datos de la United States Environmental Protection Agency (USEPA, 2006).

Sistema de Información Geográfica

La realidad geográfica de la zona en estudio se muestra a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) que integra en forma organizada hardware, software y datos geográficos. El SIG está diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar la información geográficamente referenciada con el propósito de abordar problemas complejos de planificación y gestión.

Se resume a continuación la contribución de los SIG para la elaboración cartográfica de mapas temáticos, a saber:

Mapa topográfico: resultó de la digitalización a través del modelo vectorial de un mapa base del área de José C. Paz proporcionado por la Dirección de Planeamiento de la Municipalidad del ex partido de General Sarmiento en la Región Metropolitana de Buenos Aires.

Mapa hidrográfico: se realizó con la misma metodología del mapa topográfico, utilizando líneas que representan la situación relativa de los principales cursos superficiales de agua. Se realizó, un mapa topográfico con los principales cursos de agua marcados a través de los dibujos de las curvas de nivel, metodología que, si bien es de gran utilidad para trabajos de campo, es algo más antigua que los SIG.

Mapa de suelos: el mismo muestra la configuración espacial de los suelos de la Región Metropolitana de Buenos Aires sobre un mapa base (Chiozza, 1979), utilizando nuevamente el método vectorial de los Sistemas de Información Geográfica.

Con toda esta información, se elaboró un mapa digital de José C. Paz.

Suelo y subsuelo

Desde la fundación de José C. Paz, los suelos han sido extensivamente usados para la fabricación de los ladrillos que sirvieron para levantar buena parte de la ciudad de Buenos Aires. De manera que son muy escasos los sitios donde se puede encontrar suelos originales, ya que su horizonte A fue "decapitado" para uso comercial. Además, un gran porcentaje del partido se halla urbanizado o semiurbanizado. En la Figura 1 se observa un block-diagrama del subsuelo de la región lindante con el área estudiada. Por la regularidad de la sedimentación y probada subhorizontalidad y continuidad de las capas sedimentarias, se le asignan características equivalentes.

En las áreas sin cobertura de agua de red, los acuíferos son la única fuente de abastecimiento de agua y, cuanto más humilde es el barrio, más superficial es el agua que se extrae. El partido de José C. Paz es un ejemplo de esto ya que de los 72 barrios que posee, sólo 3 tienen agua corriente. Por otra parte, la presencia de pozos ciegos, normalmente cercanos a las perforaciones de agua y el encamisado, inexistente, mal realizado o muy antiguo y oxidado, contribuyen a la mala calidad del agua consumida.

El agua subterránea que se explota en la región se encuentra alojada fundamentalmente en la Formación Pampeano o Sedimentos Pampea-

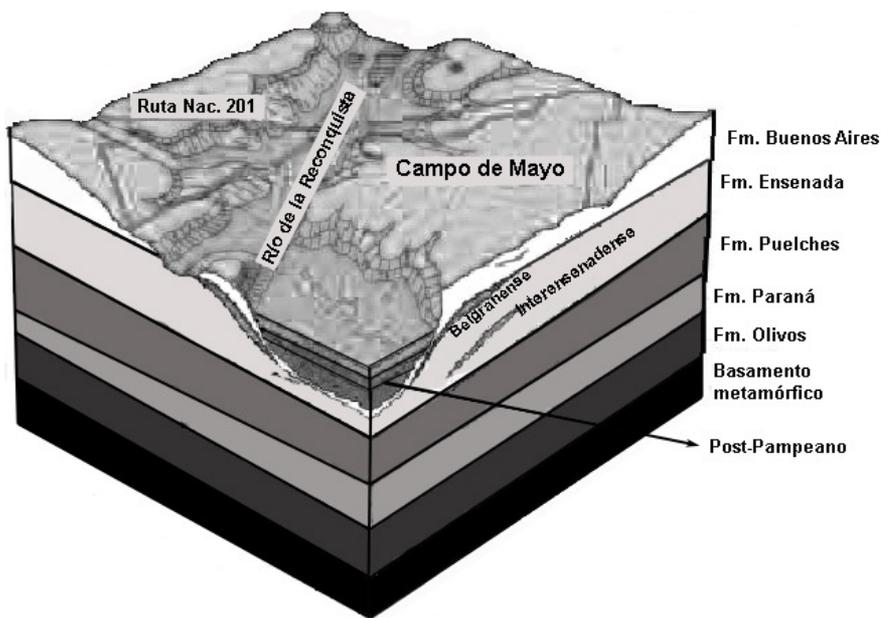


Figura 1: Esquema del subsuelo en el área estudiada (tomado y modificado de Silva Busso y Gatti, 2006)

-nos y en la Formación Puelche o Arenas Puelches; según Auge et al. (2002) la primera está formada por limos arenosos y arcillosos, denominados en conjunto "loess" y la segunda por arenas cuarzosas sueltas, medianas y finas, blanquecinas y amarillentas con estratificación gradada; contienen los acuíferos denominados Pampeano y Puelches respectivamente, que en conjunto constituyen la Sección Epiparaneana, es decir, se encuentran por encima del Acuífero Paraná.

El Post-pampeano se encuentra en las depresiones (Cuenca del Río de la Reconquista en la Fig. 1). Subyaciendo a los Sedimentos post-Pampeanos, en los sectores deprimidos del relieve y a la cubierta edáfica o al relleno artificial, en los más elevados, se disponen los Sedimentos Pampeanos, representados por las formaciones Buenos Aires y Ensenada; contienen al acuífero Pampeano que es el freático. En la figura anterior, por debajo de la capa freática, se encuentran los Acuíferos Pampeano y Puelche que, por tratarse de acuíferos multicapa de llanura, están hidráulicamente conectados. O sea, que si se explota sólo el más profundo (Acuífero

Puelche), también va a repercutir en los acuíferos superiores, bajando el nivel en la freática o "arrastrando" la depresión de la misma. A la inversa, si se extrae agua de la freática va a llegar un momento en que un acuífero más profundo va a aportar agua hacia arriba disminuyendo su nivel piezométrico (Auge, 2005).

Las aguas del acuífero Puelche se usan también para riego intensivo y extensivo. El Pampeano, de menor productividad y más expuesto a la contaminación, se capta en general en zonas urbanizadas de menores recursos económicos y con escasos servicios, y en el ámbito rural para el abastecimiento doméstico y del ganado.

Muestreo

En la Figura 2 se muestra una imagen del mapa digital de José C. Paz elaborado para este trabajo, en diferentes capas superpuestas. En la misma se observan los lugares de extracción de todas las muestras (con números) y las que fueron tomadas para análisis por oligoelementos, (con letras y números).

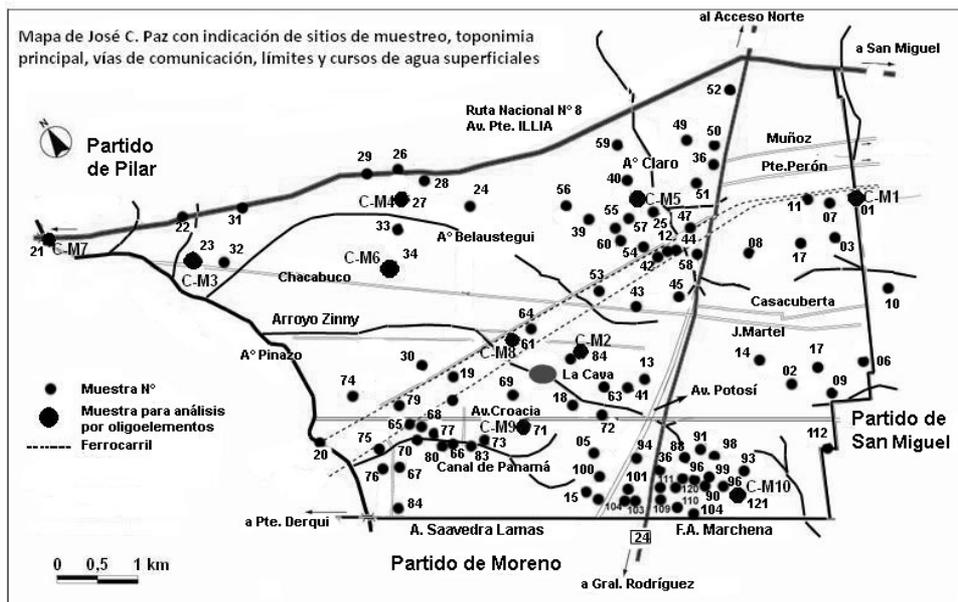


Figura 2: Imagen compuesta del Mapa Digital de José C. Paz, con indicación de los lugares de muestreo

Las muestras fueron obtenidas por los alumnos directamente de las perforaciones en las escuelas participantes del proyecto, en sus casas, o como en el caso del sector noroeste del partido, se tomaron especialmente en una salida de campo. Como se decidió aceptar todas las muestras que los alumnos ofrecieran, su número puede parecer excesivo en relación con el área o con mala distribución espacial. Aún así, se desecharon algunas por errores evidenciados en la toma de las mismas. Se consideraron 102 muestras (97 de aguas subterráneas y 5 de aguas superficiales).

Resultados obtenidos

En las Tablas 1 y 2 siguientes se presentan los resultados obtenidos en las determinaciones realizadas de los parámetros fisicoquímicos in situ (Multímetro Horiba U-10) y de los análisis de aniones y cationes mayoritarios y minoritarios, (laboratorios del Instituto de Geoquímica) además de los resultados de análisis por oligoelementos (Activation Laboratories de Ontario, Canadá)

Parámetros fisicoquímicos

Observando los parámetros fisicoquímicos se pueden encontrar ciertos valores destacables. Seis muestras de pozos dieron turbidez mayor a 3 NTU (límite máximo

sugerido) con una muestra de agua de consumo (tomada en una bomba de mano) con valor de 27 NTU. Con respecto al pH, sobre el total de muestras analizadas, el valor mínimo es 6,75 y el máximo 8,40 (sin considerar aguas superficiales); de ellas, el 17,8% tienen valores superiores a 8, y el 8% son superiores a 8,2.

El valor promedio del oxígeno disuelto en la totalidad de las muestras es de 5,86 con una mediana muy próxima a este valor (5,63) siendo la desviación estándar muy baja (StD=1,58).

Al transformar la medida de conductividad eléctrica específica a mgL^{-1} de sales contenidas, se determinó que el 20% de las muestras superan 1 mS.cm^{-1} . De acuerdo con Nicolli et. al. (2008) una mayor conductividad eléctrica específica puede implicar un mayor contenido de arsénico, especialmente con aguas donde el sodio es mayor que calcio y magnesio y el bicarbonato es predominante. Con respecto a la dureza (en CaCO_3) el 54% de las muestras corresponden a aguas de consumo clasificadas como "muy duras", el 34% son "semiduras", el 11% "duras" y solamente el 1% "blandas". Es decir, que el 65% de las muestras analizadas son aguas muy duras y duras con un porcentaje de CaCO_3 mayor a 120 mg L^{-1} .

Con referencia a los sólidos totales disueltos (STD) se determinó un contenido mínimo de

573,8 mgL⁻¹ y un valor máximo de 1260,9 mgL⁻¹, con una mediana de 877,7 mg L⁻¹, valores por

debajo del valor máximo sugerido por el Código Alimentario Argentino (CAA, 2007).

Tabla 1. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y de los aniones y cationes mayoritarios

PARÁMETRO	Valor mínimo	Valor máximo	Media Aritmética	Media Geométrica	Mediana
Temperatura (°C)	14,1	27,6	20,32	20,16	19,6
Turbidez (NTU)	0	27	1,5	---	0
Oxígeno Disuelto (mg L ⁻¹)	2,30	9,8	5,86	5,67	5,63
pH	6,75	8,40	7,58	7,57	7,55
Cond. Especifica (mS cm ⁻¹)	0,48	1,36	0,82	0,80	0,76
Salinidad (%)	0,02	0,06	0,03	0,03	0,03
Potencial Redox (mV)	205,50	270,10	240,97	240,49	241,60
Sólidos Totales Disueltos (mgL ⁻¹)	573,8	1260,9	891,1	880,2	877,7
Ca ²⁺	11,60	153,10	62,87	46,88	51,70
Mg ²⁺	5,35	64,20	22,73	18,65	18,50
Na ⁺	24,30	238,80	141,37	126,67	151,60
K ⁺	5,23	12,40	8,06	7,88	7,35
HCO ₂ ⁻	30,00	617,90	464,39	452,54	456,30
Cl ⁻	4,68	148,60	34,58	27,44	27,10
SO ₄ ²⁻	12,70	228,90	48,04	43,43	45,00
NO ₃ ²⁻	10,20	295,00	104,21	85,74	93,00
NO ₂ ²⁻	5,00	418,00	50,59	20,45	13,00
Dureza en CaCO ₃	57,1	646,6	250,58	196,42	204,20
CO ₂	4,01	139,00	31,51	22,25	22,10

Aniones, cationes, dureza y CO₂ expresados en (mg L⁻¹)

Muestras analizadas = 102

Aniones y cationes

Muy significativos son los valores para nitratos y nitritos. Del total de las muestras analizadas (102), el 85% contiene nitratos por encima del Valor Guía establecido por el CAA (45 mg L⁻¹). Los nitritos son sólo un 10% de las muestras presentan valores más altos que los sugeridos (100 µg L⁻¹). El ión sulfato se comporta en forma esperada, salvo en tres muestras que justamente son de pozos entre 30 y 40 m, cercanos a una ex metalurgia, a una fábrica de cerámica y de una freática a 12,5 m de profundidad, en un aljibe. Pero lo que nos debe llamar la atención es que altos contenidos de sulfato se relaciona con altos contenidos de selenio (Merino, 1990). Véanse los análisis por este elemento en la Tabla 2.

Se realizó la clasificación de las aguas a través de los Diagramas de Piper. Para los aniones, casi la totalidad de los puntos caen en el campo donde predominan los altos contenidos en bicarbonatos y carbonatos. El 87% de las muestras tienen estas características. El 13% restante tienden hacia el extremo sulfato y hacia el extremo cloruro. Analizando los números de muestras se concluye que la mayoría de las más cercanas al extremo carbonato + bicarbonato, pertenecen al sector sureste del partido de José C. Paz. Con respecto a los cationes se nota que existe una distribución aproximadamente lineal, aunque se pueden diferenciar dos poblaciones una hacia el extremo Na⁺ + K⁺ y la otra en el sector hacia la línea que va desde el Ca⁺⁺ hacia el Mg⁺⁺ aunque más hacia el sector del primer catión.

Al analizar el diagrama cuaternario, se observó que existen dos poblaciones marcadas, una bicarbonatada sódica y la otra bicarbonatada sódica cálcico - magnésica. De acuerdo a las características de las aguas también se puede decir, a partir de la información obtenida, que ambas poblaciones representan en forma general, los dos tipos de acuíferos estudiados: la primera al acuífero

Puelche (más profundo) y la segunda al Pampeano (somero).

Oligoelementos

En la Tabla 2 se muestran los resultados de los análisis realizados por oligoelementos. Se incluyeron sólo aquellos elementos que dieron algún valor anómalo con respecto a los Valores Guía del CAA o de la OMS (2011).

Tabla 2. Resultados de los análisis químicos realizados por oligoelementos

SÍMBOLO	As	Se	Hg	Br*	B	Al	Cr	Mn	Fe	Ni	Pb	U
Unidad	µg L ⁻¹											
Limite detección	0,03	0,2	0,2	3	3	2	0,5	0,1	10	0,3	0,01	0,001
C-M1	8,1	79,4*	1,2*	252*	221	35	<0,5	45,7	120	9,9	12,4	13,8
C-M2	0,4	18,2*	0,8	60*	527*	17	<0,5	33,8	50	3,2	1,57	15,1
C-M3	26,9*	17,5*	1,1*	86*	449	6,0	<0,5	1,7	<10	0,9	0,77	9,2
C-M4	11,8*	31,2*	1,1*	170*	226	7,0	<0,5	1,3	<10	1,3	1,62	8,4
C-M5	19,4*	37,7*	1,4*	182*	320	4,0	<0,5	1,3	<10	1,9	1,22	8,1
C-M6	12,6*	33,9*	4,8*	93*	236	212*	<0,5	27,9	240	3,1	2,81	0,7
C-M7	22,7*	32,8*	5,4*	163*	307	885*	<0,5	5,1	400*	4,7	2,62	4,8
C-M8	20,8*	24,1*	21,8*	93*	368	13	<0,5	2,0	30	1,0	1,89	13,2
C-M9	10,6*	39,9*	8,7*	230*	223	10	<0,5	13,5	<10	1,9	2,03	16,5
C-M10	18,6*	41,6*	10,5*	214*	143	32	<0,5	9,5	30	3,0	2,54	9,5

Valor máximo sugerido por el CAA	10	10	1	6	500	200	50	100	300	20	50 **	30 según OMS
----------------------------------	----	----	---	---	-----	-----	----	-----	-----	----	-------	--------------

• = El Código Alimentario Argentino sugiere un valor guía de 10 µg L⁻¹ de "bromato" el cual equivale a 6,25 de Br

* = Supera el Valor Guía sugerido por el Código Alimentario Argentino

** = La Organización Mundial para la Salud brinda un Valor Guía de 10 µg L⁻¹

El arsénico y oligoelementos asociados son los más estudiados en las aguas subterráneas y superficiales de muchas regiones del país ya que su consumo prolongado y en cantidades inadecuadas puede provocar enfermedades que van desde pequeñas erupciones cutáneas hasta HACRE (Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico) y cáncer de epitelios como en la provincia de Santiago del Estero (Nicolli et al. 2012).

Bundschuh et. al. (2008) citan que "la toxicidad del arsénico en las aguas de la provincia de Buenos Aires, anárquica en apariencia y correlacionada con altos contenidos en flúor y otros oligoelementos, está vinculada particularmente, aunque no exclusivamente, al acuífero Pampeano, en el que no se ha demostrado una correlación lineal con el sentido del flujo o con altos contenidos en sus litologías". Los sedimentos que conforman los acuíferos Pampeano y Puelche tienen contenidos en As, en promedio, entre 6,4 a 22 mg kg⁻¹ para el primero y de 1,2 a 2,2 mg kg⁻¹ para el segundo. Pero según los mismos autores, el acuífero Puelche presentó en

localidades como Escobar y Junín, altas concentraciones de As (entre 70 y 200 µg L⁻¹).

Smedley y Kinniburgh (2002) consideran que si bien las concentraciones elevadas no se restringen a determinadas condiciones y se registran en acuíferos oxidantes y de pH alto, en acuíferos con condiciones reductoras y en acuíferos ligados a procesos antropogénicos (actividad industrial, minera, asentamientos urbanos, actividad agropecuaria, etc.), la mayor parte de los acuíferos con altos contenidos en arsénico (As) se originan a partir de procesos geoquímicos naturales. Según Nicolli et al. (2008), el contenido de As en las aguas subterráneas está relacionado con el pH, el Na⁺ y el HCO₃⁻ y muestra poca correlación con el Al, el Fe y el Mn, excepto en aquellas muestras con altos contenidos en As. Con pH mayor a 8,2 se provoca la disolución del vidrio volcánico que es filtrado por los materiales de origen volcánico a partir del loess hacia los acuíferos. El pH alto y la alcalinidad llevan a procesos de disolución, lixiviación, sorción y desorción en sedimentos loésicos que contribuyen al enriquecimiento en

As por encima de los valores sugeridos por las organizaciones nacionales e internacionales.

Análisis de los resultados

En la citada Tabla 2, las muestras C-M6 y C-M7 corresponden a aguas superficiales (nótese el alto contenido en metales: especialmente hierro y aluminio); las demás son "aguas de consumo". Una muestra especial es la C-M1, obtenida de una perforación a 30 m de profundidad, a 50 metros de un campo de 14 Ha. donde hace años funcionó una industria metalúrgica. Los valores, especialmente en cadmio (Cd), aluminio (Al), manganeso (Mn), hierro (Fe), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc ($Zn > 250 \mu\text{g L}^{-1}$) y plomo (Pb), son bastante más altos que el resto de las muestras, si bien no generan una anomalía pura porque están por debajo de los valores máximos sugeridos para el agua, aunque sí es una anomalía geoquímica relativa con respecto a las demás muestras.

Todas las muestras menos la C-M2, superan ampliamente los Valores Guía para As tanto del CAA como de la OMS y USEPA. Otro dato significativo es que todas las muestras analizadas, ya sean superficiales, del acuífero Pampeano o del Puelche, presentan valores anómalos de Se; esto se puede correlacionar con lo sugerido por Merino (1990) respecto a la presencia de Se y $\text{SO}_4^{=}$ (se calculó el coeficiente de correlación con un resultado de 0,89). También se observan valores anómalos de Br. El CAA menciona el valor guía de $10 \mu\text{g L}^{-1}$ como "bromato", es decir BrO_3^- de manera que para poder comparar, se lo transformó estequiométricamente a $\text{Br}^- (=6,25 \mu\text{g L}^{-1})$.

La muestra C-M10 que corresponde a la muestra 121 (Fig.2), fue tomada en un antiguo aljibe que se encontró en un predio frente a una de las escuelas participantes del proyecto. El agua está a 12,5 m. de profundidad y, si bien es cierto que los valores generales se mantienen dentro de parámetros razonables, volvemos a encontrar algunas cifras que son preocupantes si tenemos en cuenta que en varios lugares del partido de José C. Paz se encuentran aljibes de este tipo y perforaciones muy superficiales. Los valores de arsénico ($18,6 \mu\text{g L}^{-1}$), mercurio ($10,5 \mu\text{g L}^{-1}$) y selenio ($41,6 \mu\text{g L}^{-1}$) están muy por encima de los máximos sugeridos por el CAA.

Del análisis global de la Tabla 2 se desprende que As y Se generan las anomalías más significativas ya que son elementos geoquímicamente afines, aunque no debe dejar de prestársele atención al contenido en mercurio y bromo; con respecto al primer elemento, si bien es cierto que no tiene valores

demasiado elevados (salvo las muestras C-M8 y C-M9), debe notarse que la muestra C-M8 es demasiado anómala con respecto a este metal. Se sugiere en futuras investigaciones realizar nuevos análisis para detectar alguna posible anomalía local. Del mismo modo, se debería precisar en detalle el contenido en Br que resultó ser demasiado alto en la totalidad de las muestras analizadas, ya sean aguas superficiales o de la Sección Epiparaneana.

Se debe destacar además, que varios grupos nacionales e internacionales de especialistas están llevando a cabo estudios para la remediación de la contaminación del agua subterránea especialmente referida al As. Se han desarrollando tecnologías de poco costo basadas en reacciones fotoquímicas; uno de los procesos (fotocatálisis heterogénea) usa como reactivo el TiO_2 que remueve compuestos inorgánicos. Además el uso de hierro cerovalente (nanoparticulado) permite remover el arsénico, entre otros metales y metaloides (Morgada y Litter, 2010). Se están desarrollando investigaciones para su aplicación a gran escala, con bajo costo.

Conclusiones

La geología superficial de la región está formada por sedimentos loésicos post-pampeanos que conformaron el suelo desarrollado por encima; en la zona de estudio ha desaparecido el horizonte húmico en muchos sectores (por la fabricación de ladrillos), la mayoría de los cuales se encuentran actualmente con asentamientos humanos. La mayoría de las aguas de consumo que se extraen del subsuelo paceño son bicarbonatadas sódicas (88); algunas muestras son bicarbonatadas sódicas cálcico-magnésicas (7) y otro subconjunto (6) son cloruradas sulfatadas sódicas. Los nitratos son notablemente altos: el 84,6 % del total de las muestras analizadas sobrepasa el valor máximo recomendado por el CAA. La media aritmética es $104,21 \text{ mg L}^{-1}$ aunque la moda es 138 mg L^{-1} , muy alejado de la mediana (93 mg L^{-1}).

Con respecto a los oligoelementos, se analizaron 2 muestras de aguas superficiales y 8 muestras de aguas de consumo. Se detectaron los siguientes valores: arsénico: Valor Máximo (Vmax): $26,9 \mu\text{g L}^{-1}$, Valor Mínimo (Vmin) $0,38 \mu\text{g L}^{-1}$ y Valor Medio (Vmed): $15,19 \mu\text{g L}^{-1}$; selenio: Vmax= $79,4 \mu\text{g L}^{-1}$, Vmin= $17,5 \mu\text{g L}^{-1}$ y Vmed= $35,61 \mu\text{g L}^{-1}$; mercurio: Vmax= $21,8 \mu\text{g L}^{-1}$, Vmin= $0,8 \mu\text{g L}^{-1}$ y Vmed = $5,69 \mu\text{g L}^{-1}$.

También se verificaron altos valores en bromo, lo cual debe ser un llamado de atención

para futuras investigaciones. Con respecto al aluminio y el hierro, se detectaron valores muy anómalos en aguas superficiales: entre 212 y 885 $\mu\text{g L}^{-1}$ para el primero y entre 240 y 400 $\mu\text{g L}^{-1}$ para el segundo, como así también anomalías relativas en muestras cercanas a ex metalurgias y a una actual fábrica de cerámicos.

A la situación inicial de equilibrio de los recursos naturales en el distrito paceño, se le fue sumando un acelerado proceso de gradual deterioro de los suelos y del agua, producido por la acción de los asentamientos humanos cuyo continuo crecimiento, y el de sus necesidades, generó un gran desequilibrio. Este panorama es el resultado de desarticulaciones socio-económicas y políticas que sentaron las bases para el deterioro ecológico. En función de los resultados obtenidos se plantea la necesidad de una recomposición dinámica de los equilibrios entre la sociedad, el medio ambiente y sus necesidades de crecimiento económico.

Del trabajo participativo entre las instituciones educativas y la comunidad científica se logran realizar investigaciones sobre temas relevantes, a partir de los cuales los docentes y alumnos pueden encontrar un interés especial en su labor que contribuya a descubrir, mitigar o resolver problemas locales.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Fundación YPF por el subsidio otorgado que, además completó equipamiento en los laboratorios escolares y a la Ing. Mónica Vera por la lectura del manuscrito. Muy especialmente a las comunidades educativas de las Escuelas de Educación Secundaria N° 3, 5 y 10, de la Escuela de Educación Secundaria Técnica N° 3 y del Instituto Superior de Formación Docente N° 36, todas ellas de José C. Paz, que brindaron su apoyo y asistencia para esta investigación.

Referencias

Auge M.P., Hernández, M. A. y Hernández, L. 2002. Actualización del acuífero semiconfinado Puelche en la provincia de Buenos Aires, Argentina. En *Groundwater and Human Development*. Bocanegra, E., Martínez, D. y Massone, H. Eds. 624-633

Auge, M. P. 2005. *Hidrogeología Ambiental I*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Buenos Aires.

Bundschuh, J., Nicolli, H. B., Blanco, M. del C., Blarasin, M., Farías, et al. 2008. Distribución del arsénico en la región sudamericana. En

Bundschuh, J., Pérez Carrera, A. y Litter, M. I. (editores): *Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana*. Red Iberoarsen, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), Argentina

Chiozza, E. 1979. *El país de los argentinos, región metropolitana. Configuración espacial*. Centro Editor de América Latina. Buenos Aires, Argentina.

Código Alimentario Argentino. 2007. *Capítulo XII: Bebidas hídricas, agua y agua gasificada*. En línea: www.anmat.gov.ar

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) 2010. *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*. En línea: www.indec.gov.ar

Merino, M. H. 1990: Geoquímica del flúor en aguas de la cuenca del río Citalamochita entre las localidades de Embalse y Villa María. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. *Tesis Doctoral, Biblioteca FCEFYN-Centro SG 179*.

Morgada, M.E. y Litter, M. 2010: Tecnologías fotoquímicas y solares para la remoción de arsénico de soluciones acuosas. En: Estado del arte. En: Litter, M., Sancha A. M. e Ingalinella, A.M. (editoras) *Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en aguas*. Red Iberoarsen, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), Argentina.

Nicolli, H.B., Blanco, M. del C., Paoloni, J.D., Fiorentino, C.E. 2008. Ambientes afectados por el arsénico. En: Bundschuh, J., Pérez Carrera, A. y Litter, M.I. Editores: *Distribución de arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana*. CYTED-IBEROARSEN 49-76

Nicolli, H.B., Bundschuh, J., Blanco, M. del C., Tujchneider, Ofelia C., Panarello, H.O., Dapeña, C. y Rusansky, J.E. 2012. Arsenic and associated trace-elements in groundwater in the Chaco-Pampean plain, Argentina: Results from 100 years of research. *Science of the Total Environment, Elsevier* 429:36-56

Organización Mundial para la Salud. 2011. *Guidelines for drinking-water quality*. 4th Ed. En línea: www.who.int/water_sanitation_health

Silva Busso, A. y Gatti, D. 2006. Aguas Subterráneas. *Atlas Ambiental de Buenos Aires*. www.atlasdebuenosaires.gov.ar

Smedley, P. y Kinniburgh, D. 2002: A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Appl. Geochem.* 17, 517-568.

United States Environmental Protection Agency, (USEPA), 2009. *National primary drinking water regulations*. En línea: www.epa.gov