

Análisis de elementos minoritarios en las aguas subterráneas de la cuenca del arroyo Langueyú, Tandil, Buenos Aires, Argentina

Rosario Soledad Barranquero¹, Marcelo Varni², Alejandro Ruiz de Galarreta¹, Rafael Pardo³ y Marisol Vega³

¹ CINEA-UNICEN. Pje. Arroyo Seco s/n. Campus Universitario Tandil. CP 7000. Tandil, Buenos Aires, Argentina.

² IHLA-UNICEN. República de Italia 780 C.C. 47 (B7300) Azul, Buenos Aires, Argentina.

³ Departamento de Química Analítica, Fac. de Ciencias, Universidad de Valladolid. Paseo de Belén 7. Campus Miguel Delibes. 47011. Valladolid, España.

Mail de contacto: rosariobarranquero@yahoo.com.ar

RESUMEN

En este trabajo se analizaron los resultados de la determinación de elementos minoritarios en las aguas subterráneas de la cuenca del arroyo Langueyú, localizada en el centro-sudeste de la provincia de Buenos Aires, dentro del sistema serrano de Tandilia. Se determinó, para dos conjuntos de muestras extraídas en junio y noviembre 2011, bario, boro, estroncio, hierro, silicio, vanadio, cinc, cadmio, cobre, cromo, manganeso, níquel y plomo. Los valores de los elementos incluidos en la legislación argentina, boro, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plomo y cinc están dentro del rango apto para agua de consumo humano. Para estroncio, vanadio, silicio y bario, los valores se compararon con los de estudios antecedentes, estando vanadio y estroncio dentro de los rangos habituales mientras que silicio y bario mostraron concentraciones superiores. Se concluyó que el agua subterránea tiene una muy buena calidad, en lo que respecta a elementos minoritarios, para consumo humano.

Palabras clave: cuenca del arroyo Langueyú, aguas subterráneas, elementos minoritarios.

ABSTRACT

The contents of minor elements in groundwater from the Langueyú creek basin, located in the Tandilia hilly system in the Center-Southeast of the Buenos Aires province, have been investigated. Barium, boron, strontium, iron, silicon, vanadium, zinc, cadmium, copper, chromium, manganese, nickel and lead were determined in two sets of samples collected respectively in June and November 2011. The levels of boron, cadmium, copper, chromium, iron, manganese, nickel, lead and zinc are below the maximum allowable concentrations for drinking water, established by the Argentinian water regulations. The levels of strontium, vanadium, silicon and barium were compared with those reported in previous studies, resulting vanadium and strontium to be within the normal range, while silicon and barium concentrations were above previously reported data. With regard to minor elements, it was concluded that the groundwater of the studied area has a very good quality for human consumption.

Keywords: Langueyú creek basin, groundwater, minor elements.

Introducción

El objetivo del trabajo fue el análisis de elementos minoritarios en las aguas subterráneas de la cuenca del arroyo Langueyú (Figura 1). La importancia del estudio radica en la ausencia de estudios antecedentes en la propia cuenca; de los trabajos antecedentes que existen a otras escalas de detalle se seleccionaron para la discusión de resultados los siguientes: en el área minera de Tandilia (Hernández et al., 2002), la cuenca del río Salado (Galindo et al., 1999) y el acuífero loésico regional del suroeste bonaerense

(Bonorino et al., 2008) (Figura 1). No habiendo antecedentes a nivel de cuenca, el trabajo resulta de interés para contribuir al conocimiento hidroquímico del recurso y comprender los procesos geológicos e hidrogeológicos que determinan sus características.

La cuenca del arroyo Langueyú se localiza en el centro-sudeste de la provincia de Buenos Aires, dentro del sistema serrano de Tandilia, y posee una superficie aproximada de 600 km². Sobre el sector Sur de dicha cuenca se asienta la ciudad de Tandil, cabecera del partido del mismo nombre, con una extensión de 50 km² y una población de 111.483 habitantes según el

último Censo de Población y Vivienda (INDEC, 2010). El agua subterránea es el único recurso adecuado, en cantidad y calidad, con que se cuenta tanto para el consumo de la población como para el desarrollo de actividades (principalmente comerciales, industriales, agropecuarias y de servicios turísticos).

El partido de Tandil se encuentra atravesado, de noroeste a sureste, por afloramientos de naturaleza granítica mientras que por el borde suroeste asoman estratos tabulares del paleozoico (Teruggi y Kilmurray, 1980). Hacia el noreste el relieve del partido desciende suavemente hacia la pampa deprimida.

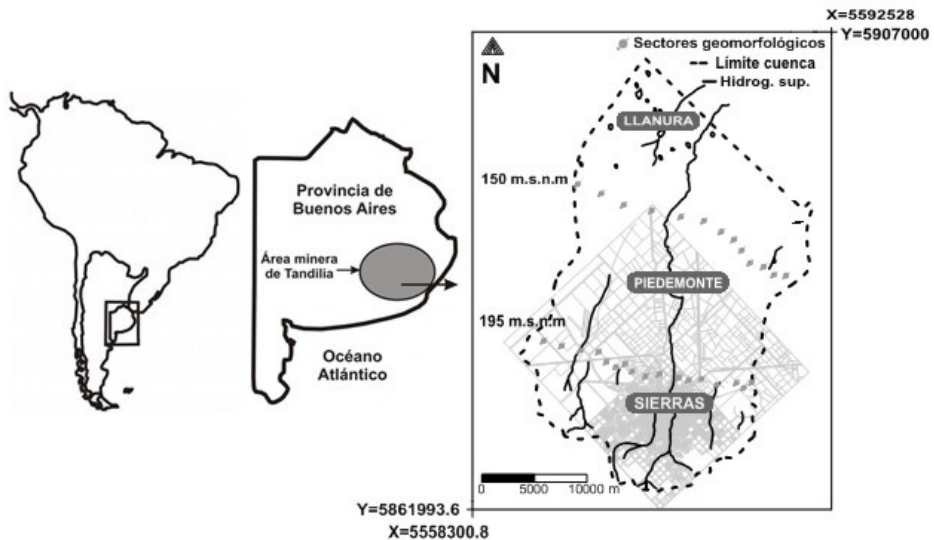


Figura 1. Ubicación de la cuenca del arroyo Languyú y el área minera de Tandilia. Fuente: elaboración propia a partir de Hernández et al., 2002.

El conjunto de sierras se encuentra orientado preferencialmente en dirección oeste-este y noreste-suroeste (Zambrano, 1974) y se constituye de una serie de bloques y depresiones producidos por los movimientos de ascenso que les dieron origen (Turner, 1975). Las más importantes son las sierras Alta de Vela, del Tigre, de las Animas, Tandileofú y del Tandil.

Por encima del basamento cristalino Precámbrico, y en discordancia erosiva, se ubican los Sedimentos Pampeanos y Pospampeanos. En ellos se reconocen diversas formaciones (Rabassa, 1973) de abajo hacia arriba: Fm Barker (limolitas y psefitas), Fm Vela (fluvial a eólica) y Fm Las Animas (eólica). En los valles fluviales se reconoce la Fm Tandileufú.

Los sedimentos pampeanos, compuestos en su mayoría por materiales loésicos de origen volcánico, son de aspecto masivo, de forma compacta y con presencia de tosca en

forma de láminas, de color generalmente castaño rojizo. Presentan una granulometría que se caracteriza en las vecindades del frente montañoso por la presencia de un conglomerado integrado por clastos de 3-4 cm hasta bloques de 30-50 cm y con disminución del tamaño hacia la zona distal. La matriz es limosa con fracciones subordinadas de arena y arcilla, con proporciones variables de carbonato de calcio.

La composición mineralógica presenta componentes de rocas volcánicas, mesosilíceas y básicas. En las fracciones arena y limo grueso, predominan plagioclasas, ortosa, cuarzo y vidrio volcánico. La edad de los sedimentos pampeanos corresponde a la edad Plioceno-Pleistoceno medio y los sedimentos Postpampeanos al Pleistoceno superior-Reciente.

En el partido de Tandil, se diferencian tres unidades morfológicas principales (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005):

La primera correspondiente al sector de serranías, se caracteriza por la presencia de sierras, cerros aislados y valles, relacionados con la presencia de bloques elevados por fallas directas. En esta área se encuentran las más altas pendientes y los valles de los cursos de aguas se hallan bien definidos.

La segunda unidad, en forma continua a la primera (ver Figura 1), es reconocida como Piedemonte, se caracteriza por tener una pendiente más suave que la anterior. Se observa la presencia de bloques de gran tamaño y conos aluviales. El drenaje presenta un diseño distributivo.

La última unidad morfológica es la de llanura, reconocida hacia el NE por la presencia de pendientes muy suaves. Es una zona de acumulación y transporte de materiales más finos, con fuerte predominio de sedimentos de origen eólico. El drenaje es poco definido y pobremente integrado, con cauces estrechos y cursos temporarios que, en ciertos casos, desaparecen en suaves depresiones.

En relación a las aguas subterráneas se pueden diferenciar dos tipos de ambientes hidrolitológicos que se corresponden con las dos unidades geológicas anteriormente descritas. Estas unidades, debido a su constitución, textura y estructura, se comportan en forma diferente respecto a la admisión y circulación del agua subterránea, determinando ambos ambientes: el primero fisurado y el segundo poroso clástico.

El ambiente fisurado se corresponde con el Basamento Cristalino y posee una

permeabilidad secundaria por la fisuración. Este aspecto es considerado clave en cuanto a la muy alta vulnerabilidad de dicho recurso frente a cargas contaminantes, debido a la elevada velocidad de circulación fisural. Los caudales erogados en pozos ubicados en este tipo de rocas no superan en general 1 m³/h

El ambiente poroso-clástico está constituido por los sedimentos pampeanos, su permeabilidad es primaria y el flujo es laminar. Es donde se ubica el sistema acuífero explotado para el abastecimiento humano por parte de la mayoría de la población tanto rural como urbana. Los rendimientos de los pozos situados en este medio son variables, en algunos casos mayores a los 100 m³/h.

En relación al flujo subterráneo regional, se verifica un sentido de escurrimiento sudoeste-noreste con un menor gradiente que la morfología superficial.

El clima de la zona según los balances climáticos de Thornthwaite y Mather (1957) ha sido tipificado como subhúmedo-húmedo, mesotermal. Para el período 1900-2000 se obtiene un valor medio anual de precipitación de 838 mm, la evapotranspiración real y potencial son de 694 y 712 mm, respectivamente, con un déficit poco significativo (18 mm) correspondiente a los meses de enero, febrero y marzo. Los excesos hídricos suman 144 mm y se distribuyen en los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre (Figura 2).

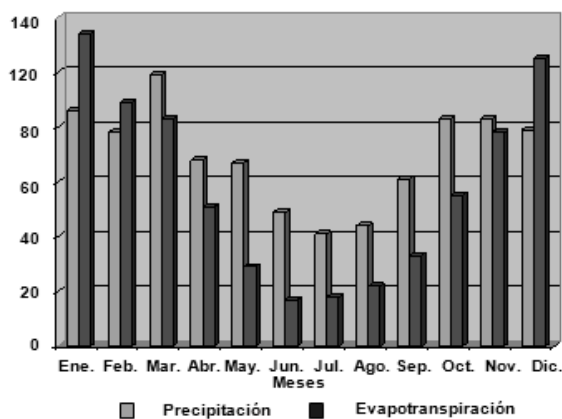


Figura 2. Precipitación y evapotranspiración medias mensuales de la Estación Tandil para el período 1900-2000. Fuente: elaboración propia a partir de Tabla 1 en Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005.

Materiales y métodos

Las características hidrodinámicas e hidroquímicas generales de la cuenca se describieron a partir de trabajos antecedentes que se vienen llevando a cabo en el Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA) desde el año 2007.

Los resultados de los elementos minoritarios se analizaron en relación a los procesos geológicos e hidrogeológicos dominantes en la cuenca.

En el Código Alimentario Argentino (CAA), legislación nacional en la cual se establecen los parámetros para agua de consumo humano, sólo se consignan valores máximos para boro, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plomo, y cinc. Para los restantes elementos, bario, estroncio, vanadio y silicio, no se establecen límites en el CAA y por ello se consideran para su análisis los rangos de estudios antecedentes en la cuenca del río Salado (Galindo et al., 1999) y en el acuífero regional del suroeste bonaerense (Bonorino et al., 2008).

Para la toma de muestras se utilizó una red de monitoreo de pozos existentes que se ha definido en trabajos anteriores a nivel de cuenca (Barranquero et al., 2012a). Las perforaciones se encuentran equipadas con dispositivos de extracción manuales (bomba de mano), eólicos (molinos) y eléctricos (bomba centrífuga, sumergible, bombeador) que se hicieron funcionar durante algunos minutos antes de tomar la muestra. Ésta se envasó en recipientes de 1 litro de PET (Poliétileno Tereftalato). Los recipientes fueron enjuagados con el agua a colectar, se llenaron sin dejar cámara de aire y se acidificaron.

Las determinaciones, llevadas a cabo en el Laboratorio de Técnicas Instrumentales de la Universidad de Valladolid, España, y consideradas para este trabajo, fueron las siguientes: bario, boro, estroncio, hierro, silicio, vanadio y cinc realizadas por espectrofotometría de plasma de acoplamiento inductivo y de emisión óptica (ICP-OES por sus siglas en inglés); cadmio, cobre, cromo, manganeso, níquel y plomo, por espectrometría de masas (ICP-MS por sus siglas en inglés). Dichas determinaciones se efectuaron para dos conjuntos de muestras extraídas en junio y noviembre del 2011.

El análisis de los resultados se realizó utilizando técnicas estadísticas univariadas, mediante comparación con estudios antecedentes y verificando su aptitud según los límites establecidos por la legislación vigente.

Resultados y discusión

Hidrodinámica

En la Figura 3 se representa el conjunto de sitios de muestreo considerados en ambos momentos de recolección. A partir de las campañas de medición de niveles en junio y octubre 2011 se observa que la profundidad del nivel freático es de pocos metros prácticamente en toda la cuenca. En la primera campaña tuvo un máximo de 36,7 m en el pozo 41 (ver Figura 3) y un mínimo de 2,9 m en el 27, presentando la mayoría de las perforaciones valores entre 2,5 y 5,5 m. El mapa de isopiezas resultante es el que se muestra en la Figura 4. En la segunda campaña se registró un descenso de los niveles estáticos, siendo el promedio de disminución de 0,5 m (Barranquero et al., 2012b).

El acuífero en estudio es libre con recarga por precipitación, principalmente localizada en el sector serrano, con sentido de flujo SO-NE, como se señalara en la introducción.

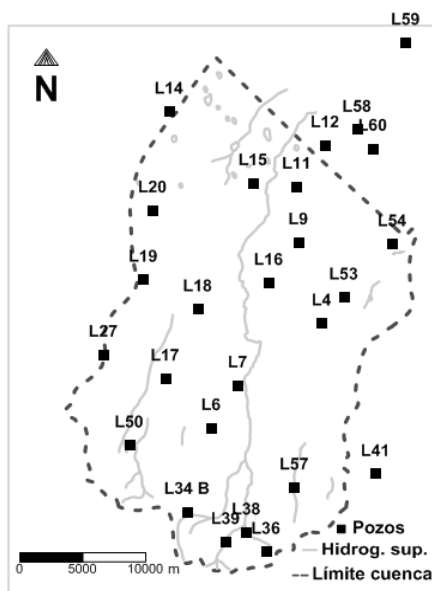


Figura 3. Sitios de muestreo. Fuente: elaboración propia.

Hidroquímica

La tipificación de las aguas en este apartado respecto a su contenido salino total, pH, y a las características iónicas mayoritarias se toma de Barranquero et al. (2012b).

Las aguas de la cuenca en estudio presentan un bajo contenido de sales totales disueltas (entre 400 y 900 mg/l para la campaña de junio 2011) y son bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas en el sur de la cuenca y bicarbonatadas sódicas hacia el NE.

El pH presenta un valor mínimo de 7,3 en la muestra 38 y un máximo de 8 en el pozo 58. El contenido de cloruros y sulfatos aumenta en el sentido del flujo, en tanto la concentración de calcio y magnesio disminuye por el intercambio con el sodio.

La predominancia del anión bicarbonato en todas las muestras obedece a que el límite impuesto arbitrariamente al norte de la cuenca hace que no se abarque el sector de descarga regional, sólo se manifiestan descargas locales y sectorizadas.

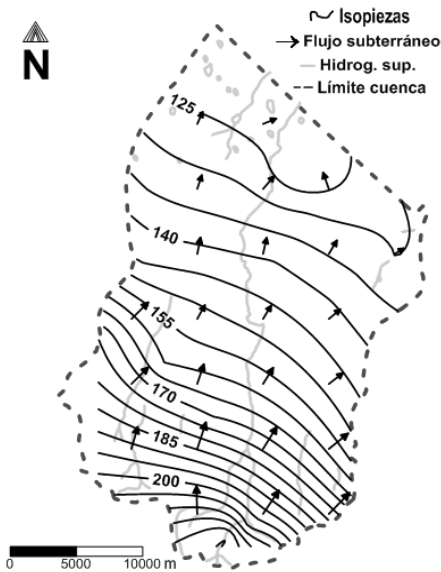


Figura 4. Mapa isopiezas junio 2011. Fuente: elaboración propia a partir de Figura 3 Barranquero et al., 2012b.

Elementos minoritarios

En primer lugar se llevó a cabo un análisis estadístico univariante del conjunto de datos correspondientes a junio 2011, estableciendo así una línea de base a nivel de cuenca (Tabla 1). Se calcularon la media aritmética, la desviación estándar, el mínimo, el máximo y el umbral de anomalía. Este último se refiere al valor medio (media aritmética) más dos veces la

desviación estándar de la población considerada "no contaminada" (Mazdiego Martínez, 1995).

Se consignan además en la tabla los valores de referencia; en el caso de boro, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plomo, y cinc se presentan los valores máximos establecidos para agua de consumo humano en el CAA. Para bario, estroncio, vanadio y silicio se consignan los rangos de estudios antecedentes en la cuenca del río Salado (Galindo et al., 1999) y en el acuífero regional del suroeste bonaerense (Bonorino et al., 2008).

Como puede observarse en la tabla algunos elementos (cobre, cromo, manganeso, níquel, plomo y cinc) presentan una desviación estándar igual, y en muchos casos mayor, que la media aritmética. Esto significa que esos elementos tienen una dispersión alta, es decir que hay muestras en las cuales la concentración del elemento se aleja ampliamente de la concentración media o promedio.

En un primer análisis del conjunto de elementos se puede decir que todos ellos, a excepción del silicio, son componentes minoritarios por presentar concentraciones en el rango entre 0,01 y 10 mg/l (FCIHS, 2009).

Comparación con antecedentes

Los niveles de estroncio y vanadio se encuentran en el rango de lo hallado en antecedentes. En cambio, la concentración de bario presenta una media aritmética que coincide con el límite superior en el acuífero del SO bonaerense (0,14 mg/l) y un valor máximo de 0,43 mg/l. El silicio es el único elemento que no puede considerarse como minoritario ya que presenta una media aritmética de 31,25 mg/l y que, respecto al dato antecedente en la cuenca del río Salado, es alrededor de 100 veces superior.

En todo el grupo anterior, que ha sido comparado con antecedentes, no se logra identificar un comportamiento espacial vinculado con los distintos ambientes geomorfológicos.

Respecto al umbral de anomalía, la muestra L34B (ver Figura 3) lo supera para el caso del bario, la muestra 50 para el estroncio y la muestra 59 para el vanadio.

Según Bonorino et al., 2008 el bario pertenece al grupo de "metales alcalinos y alcalino térreos" que tiene preferencia a pasar a la solución durante el proceso de meteorización de materiales loésicos lo que explica su concentración en el agua subterránea.

En tanto la presencia de silicio es explicada por Galindo et al., 1999, para la cuenca del río Salado, en relación a los sedimentos arcillosos y los minerales formadores de roca como anfíboles, piroxenos y micas. En la cuenca del

arroyo Languyú predominan otros minerales pertenecientes al grupo de los silicatos como plagioclasas, ortosa y cuarzo; así como uno de sus derivados más comunes que es el vidrio volcánico.

Tabla1. Parámetros estadísticos elementos minoritarios junio 2011 (todos los valores en mg/l).
Fuente: elaboración propia.

	Valor de referencia	Media aritmética	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Umbral anomalía
Bario	0,006 A 0,14 (Bonorino et al., 2008)	0,14	0,07	0,04	0,43	0,29
Estroncio	0,084 a 1,2 (Bonorino et al., 2008)	0,47	0,15	0,22	0,78	0,77
Vanadio	0,055 a 0,671 (Galindo et al., 1999) 0.044 a 1.4 (Bonorino et al., 2008)	0,10	0,05	0,02	0,24	0,20
Silicio	0,018 a 0,036 (Galindo et al., 1999)	31,14	1,76	24,02	34,13	34,67
Boro	0,5	0,29	0,10	0,06	0,44	0,49
Cadmio	0,005	0,0001	0,00005	0,000004	0,0002	0,0001
Cobre	1	0,01	0,01	0,001	0,03	0,02
Cromo	0,05	0,001	0,03	0,0002	0,001	0,05
Hierro	0,3	0,05	0,02	0,01	0,10	0,08
Manganeso	0,1	0,001	0,002	0,000004	0,01	0,01
Níquel	0,02	0,0004	0,0004	0,00001	0,001	0,001
Plomo	0,05	0,001	0,002	0,0001	0,01	0,005
Cinc	5	0,25	0,92	0,01	4,76	2,09

Comparación con legislación

Como se detalló anteriormente, a todos aquellos elementos para los cuales se señala un máximo en el CAA, se los analizó teniendo en cuenta este valor por su relevancia para la salud pública en relación a su uso para consumo humano. Es el caso de los elementos boro, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plomo y cinc.

En todos los casos se hallaron valores aptos para agua de consumo, es decir que ninguno de los elementos supera el máximo recomendado por el CAA ni siquiera con su valor máximo. Se destacan el cinc y el boro por presentar valores máximos cercanos a dicho límite. Mientras que para el caso del boro ese valor máximo es

representativo de lo que pasa con un conjunto importante de muestras, el cinc tiene un valor máximo en la perforación 9 que es superior en varios órdenes de magnitud a las concentraciones halladas en todas las muestras restantes. El origen de las pequeñas cantidades de boro halladas en las aguas subterráneas de la cuenca obedecería al vidrio volcánico.

Se calculó el promedio de la concentración de boro en las muestras correspondientes a los sectores de sierras, piedemonte y llanura, siendo 0,17, 0,33 y 0,33 mg/l respectivamente. En la Figura 5 puede observarse la distribución espacial en toda el área de la cuenca. El aumento de la concentración de boro en el sentido del escurrimiento subterráneo puede

explicarse en el mayor tiempo de contacto con los materiales loésicos que son su fuente.

Respecto al umbral de anomalía las muestras 57 y 9 lo superan respecto al cadmio, 41 y 60 en lo que se refiere al cobre, respecto al hierro sólo la muestra 50, el plomo en las muestras 9 y 41, y, por último, para el cinc también la muestra 9 que tiene una concentración mayor al doble del umbral de anomalía.

En el caso del cadmio y el plomo el valor máximo y la media no son muy representativos

del conjunto de datos porque obedecen a unas pocas muestras por encima del umbral de anomalía. Lo mismo ocurre con el máximo para el caso del cobre, el cromo, el manganeso y el cinc. Todos estos elementos, a excepción del cadmio, han mostrado una desviación estándar igual o superior a la media aritmética.

Los datos correspondientes a noviembre 2011 no se han consignado en este análisis por presentar valores muy similares a los hallados en la campaña del mes de junio.

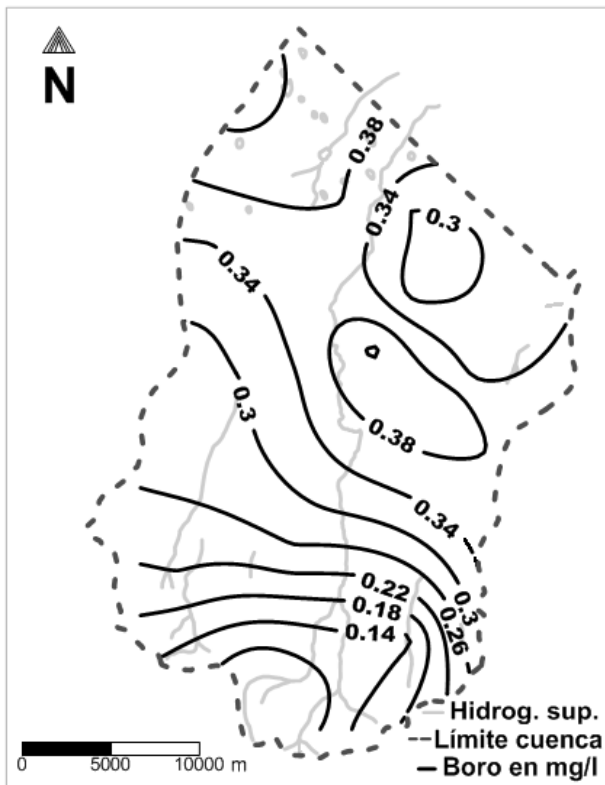


Figura 5. Distribución espacial de la concentración de boro. Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El agua subterránea tiene una muy buena calidad, para consumo humano, en lo que respecta a elementos minoritarios para los cuales se establece el límite en el CAA.

Los resultados se corresponden, en líneas generales, con lo señalado en estudios antecedentes para el área minera de Tandilia, la cuenca del río Salado y del suroeste bonaerense, para el caso de estroncio y

vanadio, siendo mayores los niveles de bario y silicio. En el caso del silicio, las concentraciones halladas son significativamente mayores a las obtenidas en el estudio antecedente en la cuenca del Salado.

No se presentó ningún caso de contenido de plomo o cinc por encima del límite máximo del CAA, como sí ocurrió puntualmente en los trabajos antecedentes. Sí se destacan en este

caso las concentraciones de boro cercanas al límite del CAA pero aun así de menos de 1 mg/l.

La distribución espacial del boro muestra un aumento en el sentido del flujo subterráneo que se corresponde con el mayor tiempo de contacto con los materiales loésicos.

Todos los elementos, analizados particularmente en este trabajo por su concentración respecto a la legislación y a los antecedentes, tienen origen en los materiales loésicos por los que las aguas circulan.

Referencias

- Barranquero, R., Varni, M., Ruiz de Galarreta, A. y Banda Noriega, R. 2012a. Aporte hidroquímico al modelo conceptual del sistema hídrico subterráneo. Tandil, Argentina. *Geoacta* 37(2): 130-146.
- Barranquero, R. S., Varni, M., Ruiz de Galarreta, A., Pardo Almudí, R. y Vega, M. 2012b. Evaluación de los niveles de arsénico y fluoruros en las aguas subterráneas de la cuenca del arroyo Langueyú, Tandil, Buenos Aires, Argentina. Octavo Encuentro del "Internacional Center For Earth Sciences". Mar del Plata.
- Bonorino, A. G., Limbozzi, F., Albouy, R. y Lexow, C. 2008. Movilidad de metales pesados y otros elementos en el acuífero loésico regional del suroeste bonaerense. *Geoacta* 33: 31-42.
- Galindo, G., Herrero, M. A., Flores, M. y Fernandez-Turiel, J. L. 1999. Correlación de metales trazas en aguas subterráneas someras de la Cuenca del Río Salado, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Digital. CSIC -Consejo Superior de Investigaciones Científicas-. Recuperada en Julio 31, 2012, del sitio Web Portal de Recursos Educativos Abiertos (REA) en <http://www.temoa.info/es/node/370387>
- FCIHS. 2009. *Hidrogeología*. Editor: Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona.
- Hernández, M., Giaconi, L. M. y González, N. 2002. Línea de base ambiental para las aguas subterráneas y superficiales en el área minera de Tandilia, Buenos Aires, Argentina. *Groundwater and human development*. Editores: Bocanegra, E. Martínez, D. Massone, H. ISBN: 987-544-063-9. 336-343.
- INDEC,2010. http://www.censo2010.indec.gov.ar/preliminar/es/cuadro_resto.asp. Acceso: 21/12/2011.
- Mazadiego Martínez, L.F. 1995. Autocorrelación espacial y criterios de reconocimiento de anomalías (Spatial autocorrelation and criteria for anomaly recognition). Contaminación y Depuración de suelos. Instituto Tecnológico Geominero de España. 265-286. Madrid.
- Rabassa, J. 1973. Geología superficial de la Hoja Sierras de Tandil, Provincia de Buenos Aires. MOP- LEMIT. La Plata. *Anales Serie II* (240): 117-160.
- Ruiz de Galarreta, A., y Banda Noriega, R. 2005. Geohidrología y evaluación de nitratos del Partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina. IV Congreso Argentino de Hidrogeología y II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Río Cuarto. 99-108.
- Teruggi, M., y Kilmurray, J. 1980. Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. *Geología Regional Argentina*. Córdoba. Vol. II.
- Thorntwhaite, C.W. and Mather, J.R. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Laboratory of Climatology*, Publication núm. 10: Centertown, N. J.; 185-311.
- Turner, J. 1975. Síntesis. Relatorio Geología de la provincia de Buenos Aires. *VI Congreso Geológico Argentino*. Bahía Blanca. 9-27.
- Zambrano, J. J. 1974. Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la Provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. Vol. XXIX (4): 443-69.