

El fondo químico natural del sistema acuífero de la cuenca del río Matanza - Riachuelo

Marisol Manzano¹, María Emilia Zabala^{2,3}, Sandra Martínez⁴ e Irene Martín⁴

¹ Universidad Politécnica de Cartagena, Pº de Alfonso XIII 52, E-30203 Cartagena, España. Tel. +34.968325443.

² Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo J. Usunoff" (UNCPBA – CIC – Municipalidad de Azul), República de Italia 780, (B7300) Azul, Buenos Aires, Argentina.

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

⁴ Autoridad de cuenca Matanza-Riachuelo (ACUMAR). Argentina.

Mail de contacto: marisol.manzano@upct.es

RESUMEN

Se ha estudiado el fondo químico natural (FQN) de los acuíferos Pampeano (primeros 20 m) y Puelches (techo y piso) en la cuenca Matanza-Riachuelo (CMR) usando datos del periodo 2003-2011. Para las tres profundidades estudiadas se determinaron los valores estadísticos característicos y los rangos de variación de la composición química; los tipos químicos de aguas en dos épocas hidrológicas extremas y la distribución espacial y temporal de la composición. Los valores estadísticos y los rangos de variación de la mayoría de los componentes son muy similares para las tres profundidades estudiadas. Los cambios temporales son mínimos para las tres profundidades y las dos épocas estudiadas, aunque esto podría estar influenciado por las características constructivas de los sondeos. Las fuentes y procesos más probables del FQN son: aporte atmosférico, disolución de CO₂, evapoconcentración, intercambio iónico, disolución/precipitación mineral y mezcla de aguas. Las actividades antrópicas son la fuente de modificación del FQN. Palabras clave: Matanza-Riachuelo, aguas subterráneas, fondo químico natural.

ABSTRACT

The groundwater baseline chemistry (GBC) of the Pampeano (first 20 m) and Puelches aquifers (top and bottom) under the Matanza-Riachuelo River basin (MRB) has been studied with data from the period 2003 to 2011. For each depth studied the following aspects were established: characteristics statistical values, variation ranges of the chemical values, hydrochemical facies during two extreme hydrological periods, and spatial and temporal distribution of the chemical components. The statistical values and the variation ranges of most chemical components are very similar in the three studied depths. Also, the changes of chemical composition in the two extreme hydrological periods studied are very small for the three depths, though this could be due to the borehole constructive characteristics. The most probable sources and processes for the GBC are: atmospheric deposition, soil CO₂ dissolution, evapoconcentration, ion exchange, mineral dissolution/precipitation, and mixing of waters. Human activities are the source of GBC modifications.

Keywords: Matanza-Riachuelo, groundwater, chemical baseline.

Introducción

El fondo natural de la calidad del agua subterránea es el rango de concentraciones de un elemento, especie o sustancia dados, presente en fase disuelta y derivado de fuentes geológicas, biológicas o atmosféricas naturales (Edmunds y Shand, 2009). Conocer el fondo químico natural (FQN) de las aguas subterráneas de un acuífero, así como los procesos que lo originan, las posibles modificaciones y sus causas, es una herramienta fundamental para las actividades de gestión, planificación y remediación de la calidad de las aguas subterráneas.

En la Cuenca Matanza Riachuelo (CMR), Provincia de Buenos Aires, se ha estudiado el FQN del agua de los acuíferos Pampeano y Puelches, que subyacen a la cuenca y que son ampliamente usados para proveer de agua a todo tipo de actividades humanas.

Objetivos

El objetivo del trabajo ha sido establecer los rangos de concentración característicos y distribución espacial del fondo químico natural de las aguas subterráneas del sistema acuífero subyacente a la CMR. Adicionalmente se ha realizado una primera aproximación, a nivel conceptual y aún por contrastar, de las posibles

fuentes y procesos que originan el FQN y de las posibles causas de modificación del mismo.

Materiales y métodos

Se han estudiado análisis químicos de aguas subterráneas procedentes de dos redes de observación y dos periodos distintos:

1. Red de monitoreo de ACUMAR en la CMR: en el periodo estudiado consistía en 44 sondeos distribuidos en 29 emplazamientos, 14 de ellos con un solo sondeo, perforado en los primeros 20 m del acuífero Pampeano, y el resto con dos sondeos, uno en el acuífero Pampeano y otro en el techo del acuífero Puelches. Se han usado análisis y datos de profundidad del agua de 24 campañas que cubren el período mayo de 2008 a septiembre de 2011.

2. Red de Agua y Saneamientos Argentinos S.A. (AySA): son pozos que alcanzan las capas más profundas del Puelches. Se han usado análisis químicos de 16 perforaciones, cubriendo el período 2003 a 2010.

Sólo se han usado análisis con error de balance iónico aceptable según criterios internacionales. En total se han utilizado 570 análisis químicos con elementos mayoritarios, algunos minoritarios y algunos trazas para estudiar la parte superior del acuífero Pampeano (red de ACUMAR), 322 análisis para el techo del acuífero Puelches (red de ACUMAR) y 115 análisis para el acuífero Puelches (pozos de AySA). En el presente trabajo sólo se hará referencia a los componentes mayoritarios y a algunos minoritarios. El trabajo completo puede encontrarse en Manzano y Zabala (2012).

La metodología seguida para establecer el FQN ha consistido en los siguientes pasos:

1) Identificar e inventariar las fuentes potenciales de solutos para el agua subterránea en la CMR, tanto las naturales como las antrópicas.

2) Seleccionar los análisis químicos válidos desde el punto de vista de su calidad.

3) Determinar los valores estadísticos característicos y los rangos de variación de la composición química de los componentes químicos mayoritarios (Cl, SO₄, alcalinidad, Na, Ca y Mg), algunos minoritarios (K y NO₃) y trazas (F, As, Zn) y de los parámetros pH y conductividad eléctrica (CE) de las aguas muestreadas en cada uno de los tres niveles monitoreados.

4) Estudiar la influencia climática sobre los tipos químicos de aguas mediante el estudio comparado de dos mapas de diagramas de Stiff para cada nivel, uno correspondiente a la composición de las aguas al final de una época

seca y otro correspondiente a la composición al final de un largo periodo de recarga. Para la red de ACUMAR se han usado datos de mayo-junio de 2009 (época seca) y septiembre de 2010 (época húmeda); para los pozos de AySA se han usado datos de febrero y agosto de 2009 (época seca) y noviembre 2009 a marzo 2010 (época húmeda).

5) Estudiar la distribución espacial y la evolución temporal de los componentes químicos y relacionarlas con las fuentes de solutos (naturales y antrópicas) y con los episodios de recarga (ascenso piezométrico) o secado (descenso piezométrico). Se ha realizado estudiando mapas de isocontenidos de los tres niveles y las dos épocas hidrológicas estudiados.

6) Estudiar la evolución temporal de la composición química de cada nivel. Se ha realizado estudiando gráficos de la evolución simultánea de la concentración de cada componente, las lluvias ocurridas entre muestreos y la profundidad del nivel freático/piezométrico en cada sondeo.

7) Identificar los principales procesos responsables del FQN y de su eventual modificación y establecer los valores superiores de las concentraciones del FQN, así como los valores anómalos y sus posibles causas, para cada nivel monitoreado.

Características de la zona de estudio

Climatología, hidrología y usos del suelo

La CMR se localiza al NE de la Provincia de Buenos Aires (Figura 1), entre los paralelos 34° 32' y 36° 06' S y los meridianos 58° 12' y 59° 03' O. Posee una longitud de 70 km y una superficie aproximada de 2.240 km². El curso principal de la cuenca escurre en dirección SO-NE, vertiendo sus aguas en el Río de la Plata. Presenta un clima templado húmedo, con una precipitación media anual de 988 mm (1947-2012). La temperatura media anual es de 16 °C, la máxima se registra en enero y la mínima en julio (datos del Servicio Meteorológico Nacional, estación de Ezeiza).

Matanza-Riachuelo es una de las cuencas hidrográficas que componen la Región Metropolitana de Buenos Aires y constituye la región más densamente poblada de Argentina. Se estima que 5 millones de personas habitan el área de la cuenca (INDEC, 2010).

Según los usos del suelo se pueden diferenciar tres zonas: i) cuenca baja; sector altamente urbanizado y con fuerte presencia de establecimientos industriales; ii) cuenca media; predomina el uso urbano-industrial pero con menor densidad de ocupación del suelo; iii)

cuenca alta; predominan las actividades agrícola-ganaderas y los centros urbanos están dispersos.

La ocupación del suelo en las últimas décadas no se desarrolló bajo una planificación y tampoco fue acompañada con obras de infraestructura urbana. Si se considera el total de hogares de cada uno de los municipios que integran la cuenca, el 60 % no tiene conexión a red cloacal y el 30 % carece de acceso al agua potable. Los habitantes que no cuentan con conexión a red pública de agua potable utilizan agua subterránea a través de perforaciones particulares (INDEC, 2010).



Figura 1. Mapa de ubicación de la CMR.

Geología e hidrogeología

La columna estratigráfica se compone del basamento cristalino (Proterozoico) y las formaciones Olivos (Oligoceno-Mioceno), Paraná (Mioceno Medio-Superior) y Puelches (Plioceno Superior). Le siguen los Sedimentos Pampeanos (Plio-Pleistoceno) y las formaciones Luján, La Plata, La Postrema y depósitos recientes, todos del Pleistoceno-Holoceno. Las unidades que se depositaron posteriormente a los Sedimentos Pampeanos se agrupan bajo la denominación de Sedimentos Postpampeanos. Una descripción detallada de la disposición espacial de estas unidades se encuentra en Vives et al. (2012).

Los trabajos realizados por EASNE (1973), Auge (2004) y UNLP (2010), entre otros, hablan de un único sistema acuífero de carácter multiunitario, homogéneo regionalmente pero con una fuerte anisotropía local en el sector NE de la Provincia de Buenos Aires. En condiciones naturales la recarga del sistema se produce a través de la infiltración de los excesos de agua meteórica, mientras que las más profundas lo hacen en forma indirecta a través de las

unidades suprayacentes (Auge et al., 2002; UNLP, 2010; INA, 2010). La descarga se produce a lo largo de los ríos y arroyos, en coincidencia con los cursos permanentes más importantes, y también al Río de la Plata

Las variaciones de los niveles freáticos y piezométricos están supeditadas a las condiciones climáticas, a excepción de aquellas zonas donde la actividad humana es muy intensa (UNLP, 2010). En el acuífero Pampeano la profundidad del agua oscila entre <1 m (Lanús) y 17 m (Almirante Brown). En el acuífero Puelches oscila entre 2 m (Dock Sud) y 21 m (Almirante Brown). El sentido general del escurrimiento subterráneo lateral es de SO a NE en ambos acuíferos. La componente vertical es relevante en ciertas zonas, siendo de sentido descendente en la mayor parte de la cuenca, posiblemente por modificación de los gradientes naturales debido a los bombeos en el acuífero Puelches (UNLP, 2010; Vives et al., 2012).

Resultados

Fuentes potenciales de solutos para el FQN

Las fuentes potenciales de solutos y los procesos que los incorporan al agua subterránea de la zona son:

i) Fuentes atmosféricas: no se dispone de información sobre la composición química del agua de lluvia ni de la deposición seca dentro de la CMR. Con respecto a la composición de las partículas en suspensión y gases atmosféricos, se dispone de los datos de cuatro estaciones de control de calidad del aire instrumentadas por ACUMAR.

ii) Fuentes edáficas y litológicas: en acuíferos libres el CO₂ edáfico es una de las principales fuentes del carbono inorgánico disuelto del FQN. La concentración del agua de recarga por efecto de la evapotranspiración es también un proceso relevante para el FQN, pues aunque no incorpora solutos al agua de recarga, sí la concentra, y a veces notablemente, con respecto al agua de lluvia local. Las reacciones con los minerales de los materiales que componen al acuífero suelen ser la principal fuente de solutos para el FQN. Se recopiló información bibliográfica de datos mineralógicos del medio sólido en la zona de estudio y alrededores, entre otros los de Teruggi (1957), González Bonorino (1965), Santa Cruz (1972) y Tófolo et al. (2005). Los minerales presentes sugieren que las siguientes reacciones pueden contribuir significativamente al FQN: equilibramiento con carbonatos, adsorción e intercambio de Na y disolución de plagioclasas.

iii) Mezcla de aguas de distinto origen y composición: es el caso de la mezcla de agua

de recarga local con agua salina de la Fm Puelches o de la Fm Paraná, o con agua marina de los sedimentos post-pampeanos de la cuenca baja.

iv) Fuentes antrópicas: son la principal causa de modificación del FQN. Se han inventariado las actividades que se desarrollan dentro de la CMR, se ha cartografiado su distribución espacial y se han identificado los principales tipos de efluentes que pueden aportar solutos, modificando el FQN (Manzano y Zabala, 2012).

Valores estadísticos característicos y rangos de variación del FQN

* **Parte superior del acuífero Pampeano:** Los componentes con mayor rango de variación de valores son el Cl y el Na (Fig. 2). El Cl oscila cuatro órdenes de magnitud (10^0 a 10^3) aunque la mayoría de los valores están entre 12 y 65 mg/L. Las concentraciones de Na oscilan tres órdenes de magnitud (10^1 a 10^3), pero la mayoría lo hace entre 100 y 250 mg/L. Ambos componentes presentan valores atípicos del orden de 10^3 , todos ellos en el NE de la cuenca (sondeos 6F y 29F). Los parámetros con menor rango de variación son el pH (valores entre 6,5 y 8,5, la mayoría están entre 7,5 y 8,0), la alcalinidad (valores entre 100 y 1200 mg/L de CaCO_3 , mayormente entre 400 y 600 mg/L) y el K (valores entre 7 y 130 mg/L, la mayoría entre 10 y 20 mg/L). Ninguno de los tres presenta valores atípicos. Las concentraciones de SO_4 oscilan cuatro órdenes de magnitud (10^0 a 10^3), aunque la mayoría de los valores están entre 14 y 46 mg/L. Las concentraciones de NO_3 oscilan tres órdenes de magnitud (10^0 a 10^2), la mayoría están entre 8 y 32 mg/L y no presenta valores atípicos. Las concentraciones de Ca oscilan dos órdenes de magnitud (10^1 a 10^2), los valores más frecuentes están entre 20 y 80 mg/L y no presentan valores atípicos. Las concentraciones de Mg oscilan tres órdenes de magnitud (10^0 a 10^2), los valores más frecuentes están entre 10 y 30 mg/L y tampoco presenta valores atípicos.

* **Techo del acuífero Puelches:** Los valores estadísticos característicos son relativamente similares a los del acuífero Pampeano, aunque los valores de las medianas y de los percentiles de casi todas las variables son algo mayores (Fig. 2). Dos motivos pueden explicar la similitud: o bien en el sistema acuífero no hay cambios significativos de composición química con la profundidad, o bien ambas redes de observación proporcionan aguas mezcla de líneas de flujo parcialmente coincidentes. No obstante, el rango de variación de algunas variables es menor en el techo del acuífero Puelches (Na, alcalinidad, Ca y Mg), mientras

que el NO_3 y el SO_4 tienen un rango mayor. Esto sugiere que Na, Ca, Mg y alcalinidad dependen principalmente de reacciones con la matriz, las cuales se encuentran en equilibrio o cerca del mismo a mayor profundidad. El NO_3 es un contaminante y sus fuentes son la actividad agrícola, la agropecuaria y la urbana, y aunque eso implica que debería variar más en las aguas más someras, lo más probable que los bombeos en el acuífero Puelches hayan inducido la contaminación de esa formación, como sugiere la distribución espacial del NO_3 (Fig. 3).

* **Parte inferior del acuífero Puelches:** Los rangos de variación de las concentraciones y los valores de las medianas de la mayoría de los componentes son significativamente menores que en las aguas de la red de ACUMAR (Fig. 2). La menor variabilidad de las concentraciones se atribuye al efecto conjunto de varias causas: 1) los pozos de AySA están más concentrados espacialmente; 2) al ser pozos de abastecimiento se bombean más y con más frecuencia; 3) integran un mayor espesor de acuífero que los sondeos de ACUMAR. El menor valor de las medianas (excepto para el NO_3) puede también deberse a varias causas: 1) las fuentes de esos solutos son menos variadas a mayor profundidad (es el caso del Cl y el SO_4 , ya que aquí no hay sedimentos con agua marina); 2) el bombeo hace que la procedencia del agua sea siempre la misma. La contaminación por NO_3 es notable, con valores alrededor de 30 mg/L y un máximo de 119 mg/L. Como en el caso del techo del acuífero, el incremento de los gradientes verticales por los bombeos es la causa más probable de que las aguas residuales, agrícolas y/o ganaderas hayan llegado a la profundidad de los filtros de los pozos.

Comparando los diagramas de cajas de las aguas de los tres niveles se puede deducir la siguiente información:

pH y alcalinidad: parecen controlados por pocos procesos. Las principales fuentes de alcalinidad y de control del pH serían la disolución de CO_2 edáfico (acuífero Pampeano) y de minerales carbonatados. La uniformidad de los valores en estas dos variables a las tres profundidades de estudio sugiere que todas las aguas estudiadas podrían estar en equilibrio (o cerca) con los minerales carbonatados, aunque esto no se ha contrastado.

Cl: Es el componente que más varía, lo que sugiere la existencia de fuentes y procesos variados que no están homogéneamente distribuidos en la cuenca. La parte superior del acuífero Pampeano tiene Cl < 50 mg/L en casi

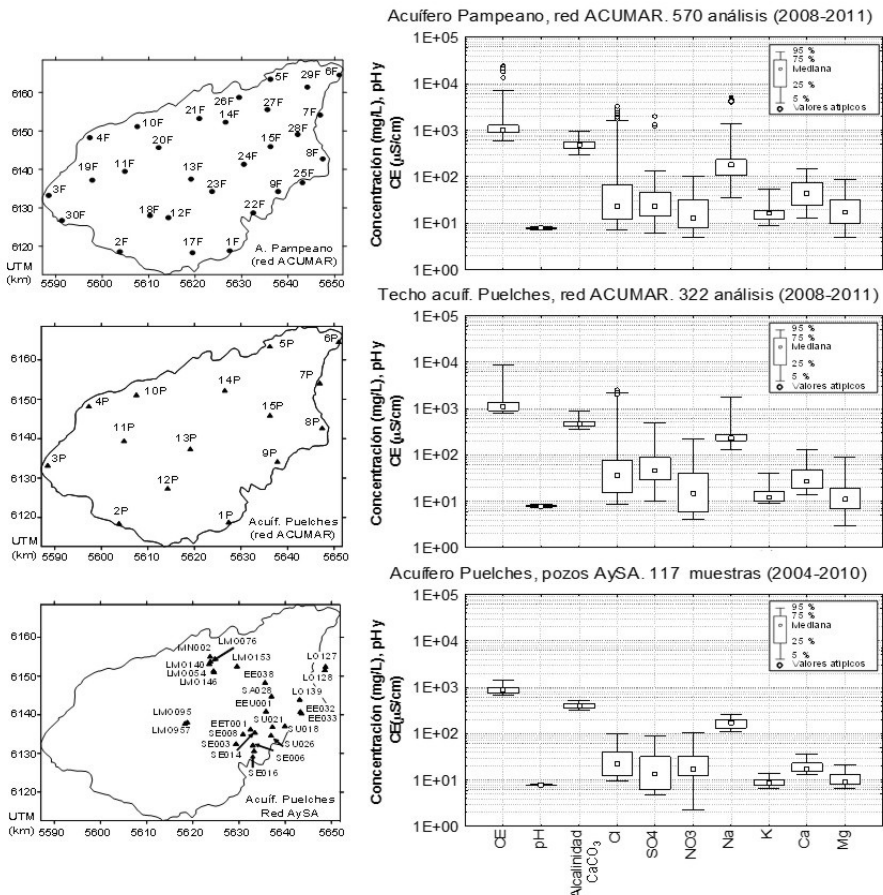


Figura 2. Sondeos y pozos estudiados y diagramas de caja de algunas variables químicas significativas en las aguas de los mismos. Arriba: sondeos de ACUMAR en el acuífero Pampeano. Centro: sondeos de ACUMAR en el techo del acuífero Puelches. Abajo: pozos de AySA en el acuífero Puelches.

toda la cuenca, excepto en un punto del borde SO (3F), donde hay 200 mg/L, y en varios sondeos de la cuenca baja, donde se alcanzan los 6500 mg/L (29F). Las fuentes de Cl serían el aporte atmosférico y la mezcla del agua de recarga local con aguas más salinas de otras formaciones (sedimentos marinos en la cuenca baja). En el techo del acuífero Puelches la situación es similar, aunque el valor de la mediana es un poco mayor. En casi toda la CMR se tiene Cl < 70 mg/L, excepto en el sondeo 12P (centro-S), con unos 400 mg/L, y en la costa, donde se alcanzan 2000 mg/L. A esta profundidad el origen del Cl sería principalmente la mezcla del agua de recarga con aguas más salinas de distinto origen en distintos lugares de

la cuenca. Los pozos de AySA tienen contenidos de Cl entre 10 y 100 mg/L.

SO₄: Las fuentes y procesos naturales son, en principio, similares a los del Cl, pero adicionalmente hay fuentes antrópicas que pueden modificar el FQN, singularmente en el acuífero Pampeano (agricultura, actividad industrial, núcleos urbanos). Sin embargo, las aguas con mayor rango de variación y mayores valores de los percentiles son las del techo del acuífero Puelches. Le siguen las del acuífero Pampeano y por último las de la parte inferior del acuífero Puelches. En casi toda la CMR se tiene SO₄ < 70 mg/L, excepto en sitios concretos del borde SO (sondeo 2P), en el centro-S (sondeos del emplazamiento 12) y en la costa.

El sondeo 12F (ranurado en la Fm Pampeano) tiene unos 150 mg/L, y el 12P (ranurado en el techo de la Fm Puelches) tiene unos 350 mg/L. Esto apunta a que en esta zona la fuente de SO_4 es natural, posiblemente la Fm Paraná. En

la costa se alcanzan los 2000 mg/L, y la fuente principal debe ser la mezcla con agua marina de los sedimentos. En la parte inferior del acuífero Puelches los pozos de AySA estudiados tienen entre 2 y 50 mg/L de SO_4 .

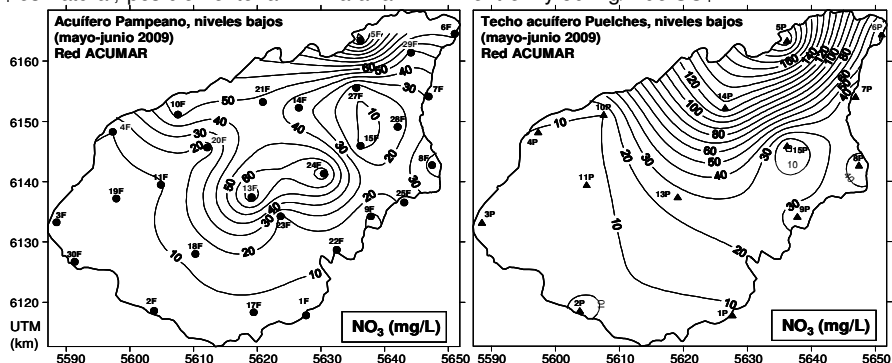


Figura 3. Distribución espacial de NO_3 en la parte superior del acuífero Pampeano (izquierda) y en el techo del acuífero Puelches (derecha) en la época de niveles bajos de mayo-junio de 2009.

Na: Las fuentes y procesos potenciales son los mismos que para el Cl y, además, reacciones con el medio sólido tales como adsorción, intercambio iónico y disolución de plagioclasas. En el acuífero Pampeano el rango de variación de las concentraciones es grande, lo que sugiere que las fuentes y procesos son variados. Algunos de ellos son locales, como indica la existencia de valores atípicos. En el techo del acuífero Puelches el rango de variación es menor que en el Pampeano, y en las aguas de niveles más profundos del acuífero Puelches el rango de variación es muy pequeño, como sucede con todos los demás componentes y los procesos de control son probablemente hidrodinámicos. En el techo del acuífero Puelches hay concentraciones de Na del orden de 10^3 , lo que sugiere un origen común para el Na, el Cl y el SO_4 (aguas salinas de distintos origen).

Ca y Mg: Los valores de las medianas y de los cuartiles de ambos componentes son mayores en el acuífero Pampeano que en el techo del acuífero Puelches, y mayores en éstas que en los pozos de AySA. En la mayoría de las aguas de los tres niveles los contenidos de Ca son mayores que los de Mg, y la relación entre ambos es aproximadamente la misma en el acuífero Pampeano y el techo del acuífero Puelches y un poco menor en las aguas profundas del Puelches. Esto sugiere que los principales procesos de control deben ser los mismos en los tres conjuntos de aguas, posiblemente la disolución y/o precipitación de minerales carbonatados y el intercambio iónico.

No obstante, las aguas más salinas del acuífero Pampeano y del techo del acuífero Puelches tienen más Mg que Ca, lo que apunta al agua de mar como fuente de ambos en esas aguas.

NO_3 : el valor de la mediana es prácticamente el mismo en los tres conjuntos de muestras, entre 12 y 17 mg/L. Solo una minoría de aguas tiene concentraciones menores a 10 mg/L, lo que indica que el NO_3 presente en la mayoría de las aguas de los tres niveles no es fondo natural sino contaminación. Es probable que todas las aguas con más de 5-7 mg/L tengan una o dos fuentes de N adicionales al aporte atmosférico, posiblemente contaminación por aguas residuales y/o fertilizantes. La contaminación es previsible para las aguas del acuífero Pampeano, pero sorprende que tanto las aguas del techo del acuífero Puelches como las de los pozos de AySA tengan contenidos elevados de NO_3 , con valores máximos de 271 y 119 mg/L respectivamente. Esto apunta a contaminación por aguas residuales, así como a un transporte descendente acelerado por unos gradientes verticales incrementados por bombeos. Tampoco se puede descartar que existan flujos directos a través del espacio anular de los pozos en áreas donde los niveles están muy deprimidos.

Tipos químicos de aguas

En los tres niveles estudiados los cambios químicos entre las dos situaciones hidrodinámicas estudiadas son mínimos.

* Parte superior del acuífero Pampeano: La mayoría de las aguas son de tipo $\text{HCO}_3\text{-Na}$ en

ambos momentos. En el S-SE y O-NO de la cuenca y en la parte central cerca del río hay algunas aguas de tipo $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ y $\text{HCO}_3\text{-Mg}$. En algunos sondeos se produce un cambio en el catión dominante entre ambas fechas, haciéndose mayor la proporción de Ca o de Mg. Estos cambios se pueden atribuir al efecto del intercambio iónico, pero no se pueden descartar mezclas con agua de origen marino en la cuenca baja, donde hay aguas de tipo Cl-Na. En los sondeos 6F y 29F, en el extremo NE, las aguas son menos salinas en septiembre de 2010 que en mayo-junio de 2009. Esto se atribuye a dilución por la recarga de los meses anteriores al muestreo de septiembre, pero quizás también contribuya la infiltración del agua del Río de la Plata que ingresa por el cauce del Riachuelo cuando ocurre el fenómeno de la sudestada.

* **Techo del acuífero Puelches:** Con excepción de dos sondeos, los demás tienen aguas de tipo $\text{HCO}_3\text{-Na}$ que no cambian ni de facies ni de salinidad total entre ambas situaciones hidráulicas. Las aguas del sondeo 2P son de tipo $\text{HCO}_3\text{Cl-Na}$ y mantienen su carácter entre los dos momentos estudiados. El agua del sondeo 12P es de tipo Cl-Na en septiembre de 2010. No se dispone de muestras de ese sondeo entre los meses de mayo a julio de 2009, pero si no hubiese cambios significaría que la fuente de Cl tampoco sería atmosférica ni superficial sino profunda. En la costa, el agua del sondeo 6P es de tipo Cl-Na en los dos momentos estudiados y no cambia significativamente de salinidad total. Se trata claramente de agua marina diluida.

* **Parte inferior del acuífero Puelches:** Todas son de tipo $\text{HCO}_3\text{-Na}$, composición muy uniforme y no cambian en el tiempo.

En resumen, la distribución espacial de las concentraciones y de los parámetros físico-químicos a las tres profundidades de estudio y en las dos épocas hidrológicas más extremas registradas, indica que los cambios temporales de composición química observados en cada profundidad de observación son mínimos, y se restringen a zonas concretas ubicadas en la cuenca baja y en los límites E y O de la cuenca.

Límite superior del fondo químico natural

Debido a que un número significativo de análisis manejados tiene errores de balance iónico algo elevados (10 y 15 %), se ha sugerido usar el valor del percentil 90 % como límite superior del FQN para la mayoría de las especies consideradas en el estudio (Tabla 1). Para la parte superior del acuífero Pampeano y el techo del Puelches se han calculado dos

valores del percentil, uno sin incluir los valores de los pozos de cuenca baja 29F y 6F (en el caso del Pampeano) y del pozo 6P (en el caso del Puelches) y otro incluyéndolos. El motivo es que los sondeos 6F y 29F están en realidad perforados en sedimentos marinos post-pampeanos, y el pozo 6P tiene también salinidad de origen marino. Integrar las aguas de estos pozos en el cálculo del percentil incrementa notablemente el valor del mismo para el Cl, el Na y la CE, aunque el aumento es poco relevante para el K, el Ca y el SO_4 y despreciable para el Mg.

Con vistas al monitoreo y la gestión se propone usar distintos valores como referencia del límite superior de las concentraciones del FQN en distintas zonas de la CMR: para la mayor parte de la cuenca se pueden usar los valores del percentil 90 % sin integrar los datos de los pozos 6F, 6P y 29F; para la cuenca baja se debe usar el valor del percentil 90 % integrando esos pozos. Es decir, se propone que la gestión sea distinta en distintas zonas de la cuenca en función de los distintos orígenes del FQN.

Conclusiones

La composición química de las aguas subterráneas estudiadas es relativamente homogénea a escala regional y no muestra grandes variaciones espaciales ni temporales en las tres profundidades de observación, con excepción de unos pocos pozos concretos de la red de ACUMAR, la mayoría de ellos ubicados en la zona costera y/o cercana al cauce y en los límites E y O de la cuenca. Los parámetros estadísticos característicos y los rangos de variación de la mayoría de los componentes mayoritarios y minoritarios en las aguas de las tres profundidades estudiadas son bastante similares entre sí. No obstante, se estima que las características constructivas de los pozos influyen en la homogeneidad hidroquímica.

La mayoría de las aguas de la parte superior del acuífero Pampeano y del acuífero Puelches son de tipo $\text{HCO}_3\text{-Na}$. En algunos puntos del de éste último aparecen otros tipos químicos: Cl-Na (cuenca baja y límite SO y S) y $\text{HCO}_3\text{-Ca/Mg}$ (límite E). Aunque en la cuenca baja se observan pequeños cambios de salinidad entre las dos épocas hidrológicas estudiadas, los tipos químicos no cambian.

Las fuentes y procesos que originarían el FQN del agua subterránea son: el aporte atmosférico, la concentración por evapotranspiración, la disolución de CO_2 , la mezcla de agua de recarga local con aguas más salinas congénitas, el intercambio catiónico, el

Tabla 1. Valores del percentil 90 % de la concentración de las especies químicas estudiadas

Variable	Pampeano, ACUMAR (2008-2011)				Techo del Puelches, ACUMAR (2008-2011)				Puelches, AySA (2003-2010)	
	sin 6F y 29F		con 6F y 29F		sin 6P		con 6P		N° muestras	P90
	N° muestras	P90	N° muestras	P90	N° muestras	P90	N° muestras	P90		
CE (µS/cm)	529	1427	570	2052	300	1787	322	2810	115	1385
pH	527	8,3	568	8,3	298	8,5	320	8,5	115	7,9
Alc. (mg/L CO3Ca)	529	635,0	570	704,0	300	551,0	322	602,0	115	490,0
Cl (mg/L)	529	97,0	570	216,5	300	183,0	322	459,0	115	86,7
SO4 (mg/L)	526	69,0	567	78,0	300	220,5	322	347,0	115	77,4
NO3 (mg/L)	509	73,0	545	77,0	275	127,0	293	124,0	115	51,3
Na (mg/L)	529	264,0	570	345,5	300	329,0	322	457,0	115	250,0
K (mg/L)	529	23,0	570	36,0	300	17,0	322	21,0	115	13,0
Ca (mg/L)	529	98,0	570	117,5	300	75,3	322	104,0	115	28,0
Mg (mg/L)	529	44,0	570	54,0	300	30,0	322	43,0	115	18,0

equilibramiento con minerales carbonatados y, en menor proporción, la disolución de feldspatos. Los procesos que incorporan solutos modificando localmente el FQN son las actividades humanas (urbana, industrial, agrícola y ganadera). Dado que en la cuenca se realizan actividades que generan partículas sólidas y gases susceptibles de ser distribuidas por el viento, sería conveniente establecer estaciones de caracterización hidroquímica del aporte atmosférico. Todas las hipótesis planteadas deben ser contrastadas.

El estudio del FQN no solo aportó información sobre la calidad natural de las aguas subterráneas en el conjunto de la CMR, sino que permitió identificar zonas donde se debía densificar la red de monitoreo.

La contaminación antrópica y también ciertas características naturales de los acuíferos condicionan los potenciales usos del agua subterránea. Conocer ambos aspectos es fundamental para una adecuada gestión de las aguas subterráneas..

Agradecimientos

Los autores agradecen a ACUMAR su colaboración en el suministro de datos e información, y al personal del IHLA su colaboración en distintos aspectos de la realización del trabajo.

Referencias

Auge, M.; Hernández, M. y Hernández, L. 2002. Actualización del conocimiento del acuífero semiconfinado Puelche en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. En: *Groundwater and Human Development*. Bocanegra, E.; Martínez, D. y Massone, H. (Eds.). ISBN 987-544-063-9.

Auge, M. 2004. Hidrogeología de la ciudad de Buenos Aires. En: www.gf.fcen.uba.ar/investigacion/grupos/hidrogeologia/auge/Hidrogeologia-Bs_As.pdf.

EASNE. 1973. Contribución al estudio geohidrológico del NE de la Provincia de Buenos Aires. Comité de estudios de aguas

subterráneas del Nor-Este. Serie técnica 24, Buenos Aires.

Edmunds, M.E. y Shand, P. (eds.) 2009. *Groundwater Baseline Quality*. Blackwell Publishing, Ltd. 469 pp.

González Bonorino, F. 1965. Mineralogía de las fracciones arcilla y limo del Pampeano en el área de la ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y sedimentológico. *Rev. AGA*, 20(1): 67-148.

INA. 2010. Balance de agua subterránea en la cuenca del río Matanza-Riachuelo mediante modelación numérica. Proyecto INA 1.207 Informe LHA 01-1.207-10. Ezeiza. 119 pp.

INDEC. 2010. Censo nacional de población, hogares y viviendas. En: <http://www.censo2010.indec.gov.ar/resultadosdefinitivos.asp>. Consultado en: 10-06-13.

Manzano, M y Zabala, M. 2012. El fondo químico natural del sistema acuífero de la cuenca del río Matanza-Riachuelo. Proyecto de Aguas Subterráneas en la Cuenca Matanza Riachuelo. Informe final, 213 pp.

Santa Cruz, J. N. 1972. Estudio sedimentológico de la Fm Puelches en la Provincia de Buenos Aires. *Rev. AGA*, 27(1): 5-62.

Teruggi, M. 1957. The nature and origin of the Argentine loess. *J. Sediment Petrol*, 27 (3): 322-332.

Tófolo, O.R.; Etchichury, M.C. y Fresina, M. 2005. Características texturales y petrofacies de depósitos neógenos, Bancalari, Provincia de Buenos Aires. *Rev. AGA*, 60 (2): 316-326.

UNLP. 2010. Estudio de las condiciones hidrogeológicas, capacidad de recarga y de la calidad de las aguas subterráneas en la cuenca Matanza-Riachuelo. Universidad Nacional de La Plata. Realizado para ACUMAR. 67 pp.

Vives, L.; Mancino C. y Scioli C. 2012. Modelo conceptual y numérico del flujo de aguas subterráneas de la cuenca del río Matanza-Riachuelo. Proyecto de Aguas Subterráneas en la Cuenca Matanza Riachuelo. Informe final, 227 pp.