

Evaluación de la contaminación de acuíferos producida por actividades de saneamiento y re-uso de efluentes en el norte de la provincia de Mendoza

Assessment of aquifer contamination from on-site sanitation systems and effluent reuse in the North of Mendoza province

Amilcar Álvarez ¹

Mónica D'Elía ²

Marta Paris ²

Graciela Fasciolo ³

Carla Barbazza ³

Originales: Recepción: 02/12/2009 - Aceptación: 06/12/2010

RESUMEN

En la zona norte de la provincia de Mendoza se desarrollan actividades que pueden afectar la calidad natural del agua subterránea: disposición y re-uso de efluentes industriales para riego agrícola, utilización de fertilizantes, saneamiento *in-situ*, fugas de redes de alcantarillado, etc. En esta región, surcada superficialmente por los ríos Mendoza y Tunuyán, la sedimentación cuaternaria determinó la formación de dos grandes unidades hidrogeológicas: acuíferos libres (sector de conos aluviales), y acuífero freático superior y acuíferos subyacentes confinados y/o semiconfinados. El área de estudio se encuentra ubicada en esta última unidad hidrogeológica donde se ha detectado contaminación de acuíferos por nitratos. El objetivo de este trabajo es identificar el origen de la contaminación, utilizando metodología hidroquímica mediante la evaluación de diversos parámetros físico-químicos y biológicos, y técnicas isotópicas para corroborar la procedencia del agua subterránea y el origen de los nitratos. Los resultados obtenidos muestran que

ABSTRACT

Some activities carried out in the Northern part of the province of Mendoza may affect groundwater quality: industrial effluent disposal and reuse for irrigation, fertilizer application, on-site sanitation systems, sewer leaks, etc. In this area, cut across by the Mendoza and Tunuyán rivers, two large hydro-geological units developed from Quaternary sedimentation: unconfined aquifers (area of alluvial cones) and upper water-table and underlying semi-confined and confined aquifers (where the study area is located). The objective of this paper is to identify the source of nitrate contamination in aquifers. Several physical-chemical and biological parameters were analyzed to assess groundwater quality, and isotope techniques were used to trace the origin of groundwater and the source of nitrates. Results show that nitrate contamination in semi-confined and confined aquifers does not originate in the overlying unconfined aquifer, which is affected by reuse of industrial effluents, but is caused by the horizontal groundwater flow from the greater Mendoza area contaminated by sewer leakage and on-site sanitation systems.

1 Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino (INA-CRA). Belgrano Oeste 210. Mendoza. Argentina. M5500FIF. amilcaralvarez@yahoo.com

2 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH). Universidad Nacional del Litoral (UNL). Ciudad Universitaria. C. C 217. Ruta 168 - km 472,4. (3000) Santa Fe. Argentina.

3 Instituto Nacional del Agua - Centro de Economía, Legislación y Administración del Agua (INA-CELA). Belgrano 210 (Oeste). Mendoza. Argentina. M5500FIF.

la presencia de nitratos en los acuíferos semiconfinado y confinado no proviene de la influencia del acuífero libre suprayacente, afectado por el re-uso de efluentes, sino que se relaciona con el ingreso de flujo horizontal de aguas subterráneas contaminadas provenientes del área del Gran Mendoza, debido a las pérdidas en las redes de alcantarillado y obras de saneamiento *in situ*.

Palabras clave

agua subterránea • contaminación • re-uso • nitratos • isótopos ambientales

Keywords

groundwater • contamination • reuse • nitrates • environmental isotopes

INTRODUCCIÓN

Si bien las aguas subterráneas se encuentran más protegidas frente a la contaminación que las aguas superficiales, con frecuencia la degradación de la calidad del agua subterránea se vuelve un proceso irreversible y su remediación es mucho más compleja. La contaminación de acuíferos con nitratos es un tema de preocupación fundamentalmente en aquellos casos en que el agua subterránea es fuente de abastecimiento de agua potable. La amenaza que implica la presencia de nitrato en el agua subterránea requiere conocer su origen y evolución en el acuífero. Los nitratos provienen del producto final de la degradación aeróbica del nitrógeno orgánico y se caracterizan por su gran movilidad en el suelo alcanzando las aguas subterráneas. Los criterios de calidad para agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) establecen una concentración máxima de 45 mg/l de nitratos; cuando estos estándares se superan constituyen un riesgo sanitario para la población.

En el área del Gran Mendoza, Álvarez (3) determinó que el primer nivel de explotación poseía concentraciones de nitratos superiores a los 20 mg/l aumentando a tenores superiores a 100 mg/l en las zonas más pobladas de Guaymallén, Las Heras, Godoy Cruz y Capital. En el segundo nivel de explotación, en general se observaron tenores de nitrato inferiores (20 a 50 mg/l), por lo que se consideró que el proceso de contaminación era incipiente. En el tercer nivel, estas concentraciones no superaban 1 mg/l. Rodríguez (15) muestra el efecto del aprovechamiento de efluentes industriales con fines de riego en el primer nivel acuífero. La alteración encontrada es de tipo orgánico, manifestada por los contenidos elevados de compuestos nitrogenados. Álvarez *et al.* (4) concluyen que el proceso de contaminación continúa. El primer nivel de explotación del área de estudio, en la zona con información, está muy impactado por la presencia de concentraciones elevadas de nitrato (170 mg/l) y de sales disueltas que representan indicadores de un alto nivel de contaminación.

El proceso de contaminación se propaga zonalmente en el segundo y tercer nivel de explotación donde existen zonas en las que el nitrato supera los tenores máximos permitidos para consumo humano. El estado hidroquímico actual del acuífero en el área de estudio determina, en general, una situación de riesgo elevado de contaminación de los distintos horizontes acuíferos y la existencia de zonas con contaminación establecida que comprometen las reservas de agua dulce para consumo humano.

Objetivo

Realizar una caracterización de la contaminación de acuíferos debido a la presencia fundamentalmente de nitratos en la zona norte de la provincia de Mendoza (Argentina). Se plantea como hipótesis que la contaminación por nitratos de los acuíferos semiconfinado y confinado no proviene de la influencia del acuífero libre suprayacente afectado por el re-uso de efluentes, sino que se relaciona con el ingreso de flujo horizontal de aguas subterráneas contaminadas provenientes del área del Gran Mendoza (en el sector donde el acuífero es libre).

ÁREA DE ESTUDIO

Características del sistema hídrico subterráneo

El área de estudio se emplaza al norte de la Provincia de Mendoza, al NE del aglomerado urbano del Gran Mendoza, abarcando parte de los departamentos de Guaymallén y Lavalle (figura 1, pág. 22). Está comprendida en la porción occidental de la Región de los ríos Mendoza y Tunuyán (13), referida por Auge (7) como Cuenca Hidrogeológica Norte. Esta cuenca, surcada superficialmente por los ríos Mendoza y Tunuyán, posee un importante reservorio de agua subterránea, constituido por acuíferos con distinto grado de confinamiento que abarcan todo el subsuelo de la zona y niveles que van desde la surgencia natural hasta más de 200 m de profundidad (13). La región se caracteriza por su aridez, con precipitaciones que están en el orden de los 200 mm anuales. La fuente de abastecimiento de agua para los diferentes usos proviene fundamentalmente de las precipitaciones níveas en alta montaña que escurre en sus cauces hídricos superficiales y recarga los acuíferos. La extensión de esta cuenca es de 24.000 km² con un almacenamiento de agua subterránea estimado en 200.000 hm³. Es una cubeta sedimentaria formada en el período cuaternario a partir de sedimentos fluviales aportados por ambos ríos.

La figura 2 (pág. 23) presenta un perfil geológico en dirección suroeste-noreste donde se puede observar la variabilidad espacial de las características litoestratigráficas e hidrogeológicas de la zona. La sedimentación cuaternaria del sector occidental de la Cuenca Hidrogeológica Norte determinó la conformación de dos grandes unidades hidrogeológicas. La primera, ubicada al Oeste en el sector de conos aluviales, está constituida por un acuífero que se comporta como libre. En ella se asienta el conglomerado del Gran Mendoza. La segunda unidad, situada al este -y donde se ubica el área de estudio- está conformada por un acuífero freático superior y diferentes niveles acuíferos subyacentes semiconfinados y confinados (2). En esta última unidad, la primera porción del paquete sedimentaria de 80 m de espesor presenta acuíferos freáticos colgados debido a la presencia de lentes de material menos permeables. Inferiormente, se aloja un acuífero semiconfinado-confinado con niveles productivos entre los 100 y 180 m de profundidad y otro a partir de los 200 m de profundidad. Esta diferenciación se realizó considerando no sólo la profundidad de las perforaciones y las características hidrogeológicas sino, además, teniendo en cuenta las características hidroquímicas e hidráulicas observadas en la zona (1).

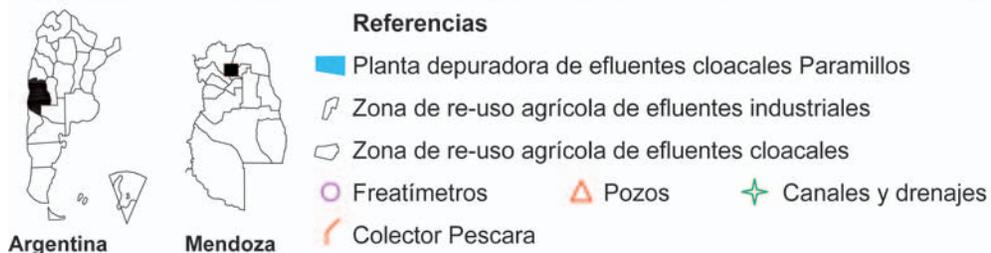
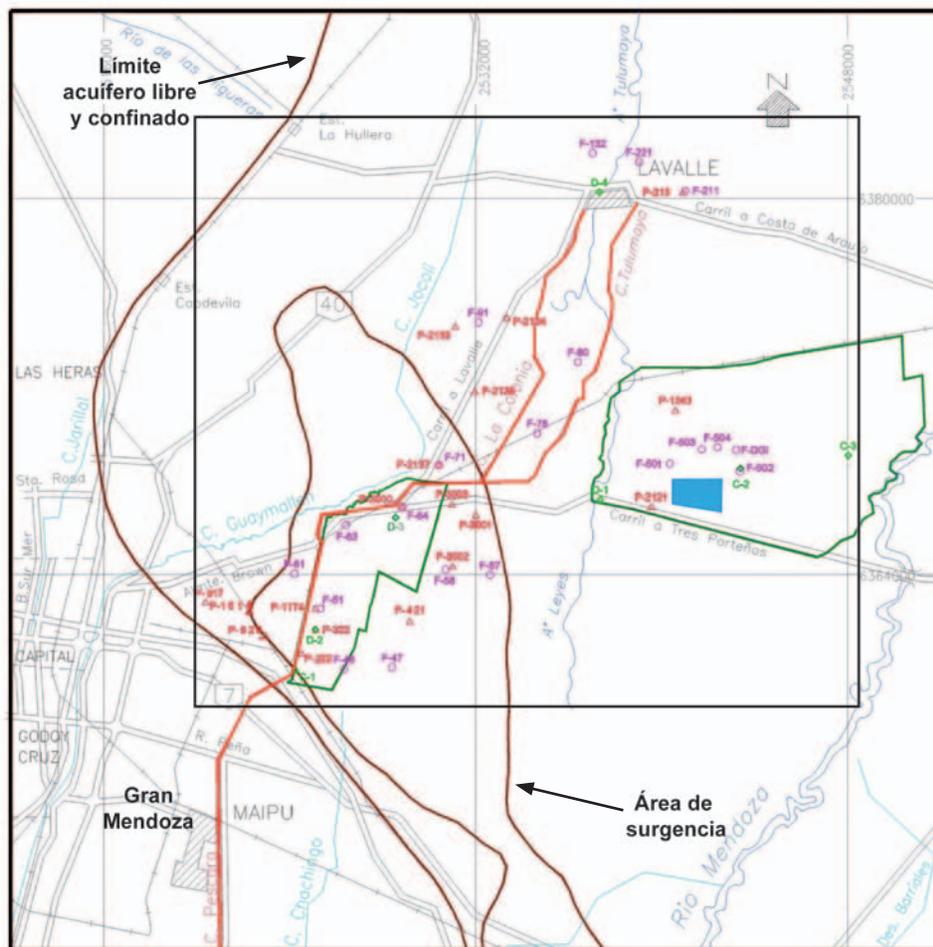


Figura 1. Localización del área de estudio, ubicación de los sitios de muestreo de agua superficial (canales y drenajes) y subterránea (freatímetros y perforaciones).

Figure 1. Study area and surface (canals and drainage canals) and groundwater sampling sites (water table meters and wells).

En la figura 1 (pág. 22) se puede observar el límite entre estas dos grandes unidades hidrogeológicas y un área de surgencia natural de 250 km² que presenta valores máximos de nivel de agua de 10 m sobre el nivel del terreno.

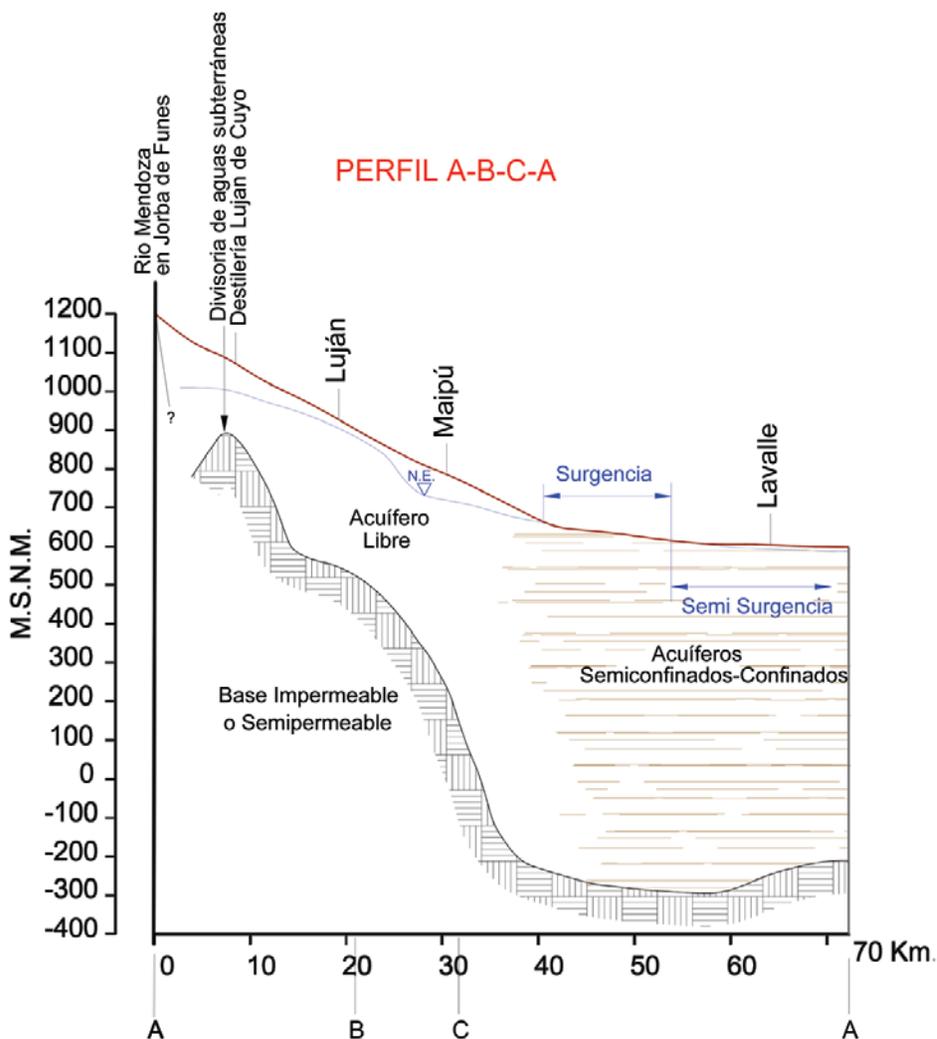


Figura 2. Perfil trazado desde el río Mendoza (Jorba de Funes) hasta Lavalle (10).
Figure 2. Profile of the Mendoza River from Luján (Joroba de Funes) to Lavalle.

Investigaciones isotópicas e hidroquímicas de los acuíferos de la cuenca norte mendocina realizadas por CRAS-OIEA (8) muestran que pueden diferenciarse aguas de procedencia del río Mendoza, del río Tunuyán y de las precipitaciones en la Pampa de Canota, delimitando el área de influencia de cada una de ellas. Asimismo, determinaron el contenido de tritio de las aguas de los ríos que reflejaron el aporte creciente a aguas subterráneas a lo largo del recorrido de los mismos. En el área de estudio, la zona principal de recarga se asocia al río Mendoza, especialmente entre la salida del Cañón de Cacheuta (entrada a la zona de llanura) y el Dique Cipoletti.

Características socioeconómicas y problemática hidrogeológica ambiental

El área de estudio comprende zonas rurales, urbano-rurales y urbano-industriales, en las cuales el abastecimiento de agua para consumo humano es fundamentalmente por agua subterránea y no existe servicio cloacal de eliminación de excretas.

Las actividades que se desarrollan en el aglomerado urbano del Gran Mendoza resultan de interés para esta investigación, en función de las variaciones espaciales del grado de confinamiento del acuífero y su ubicación aguas arriba según el sentido de escurrimiento subterráneo, aunque se encuentran fuera del área de estudio. El Gran Mendoza tiene una población de 986.341 habitantes (según el censo nacional de 2001): es la cuarta aglomeración del país y representa aproximadamente el 54% de la provincia de Mendoza.

Este conglomerado urbano ha estado evacuando los líquidos residuales por el sistema de pozos negros por lo menos hasta 1930-1940, época en que Obras Sanitarias de la Nación (OSN) habilitó el primer ramal de alcantarillado (9). En los últimos años la situación del saneamiento evolucionó favorablemente, ya que en la actualidad aproximadamente el 70% de su población cuenta con estos servicios, aunque se reconoce que dicho sistema de alcantarillado está obsoleto, con un sistema de tuberías no flexibles e importantes pérdidas, que pueden afectar la calidad de las aguas subterráneas (6). Según Ferres (9) la zona no saturada constituía un depósito natural de estos contaminantes, en lento pero permanente avance hacia los acuíferos infrayacentes en explotación.

En el área de estudio, el riego se realiza con agua superficial y subterránea. En la mayoría de las captaciones, los filtros captan agua de distintos niveles productivos del acuífero semiconfinado-confinado.

Se practica el re-uso agrícola de efluentes industriales, a través del Colector Pescara (figura 1, pág. 22), que recibe los efluentes líquidos de establecimientos fabriles (de predominancia agroindustrial, como bodegas), ubicados aguas arriba de la zona de estudio (Maipú).

Los efluentes característicos de estos establecimientos son: materia orgánica, sólidos en suspensión, soda cáustica y ocasionalmente metales pesados, etc. Con estas aguas se riegan 3300 ha en Guaymallén y 7000 ha (mezcladas con aguas claras) en Lavalle (16).

Antes de ingresar a la zona de re-uso, las aguas del Colector Pescara se diluyen con agua proveniente de una batería de pozos a efectos de alcanzar una conductividad eléctrica adecuada para su aprovechamiento agrícola (2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La dilución de sales se realiza desde octubre de 2004 (14).

Investigaciones llevadas a cabo con anterioridad, realizadas al sur del área de estudio (15), muestran el efecto del aprovechamiento de efluentes industriales con fines de riego en el primer nivel acuífero. La alteración encontrada es de tipo orgánico, manifestada por los contenidos elevados de compuestos nitrogenados.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las investigaciones han sido realizadas en el Instituto Nacional del Agua- Centro de Economía, Legislación y Administración del Agua y Centro Regional Andino (INA-CELA e INA-CRA, Mendoza) con aportes financieros de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Nación, en el marco del Proyecto PICT Red 2002 Nro 59 *Evaluación de impacto ambiental en acuífero: contaminación producida por actividades de saneamiento y disposición de efluentes* (Instituto Nacional del Agua y Universidad Nacional de Cuyo).

Red de monitoreo

Se diseñó una red de muestreo con el fin de monitorear los niveles acuíferos a partir de los siguientes criterios (figura 1, pág. 22):

- 17 freáticos existentes en el área que fueron originalmente construidos por el Departamento General de Irrigación (DGI) para controlar la profundidad de la superficie freática (foto a, pág. 26).
- 2 freáticos especialmente construidos en el marco del Proyecto de referencia en el área de Paramillos. Se utilizó cañería de PVC de 2" de diámetro con filtro ranurado de 1,5 m, recubiertos con tela geotextil. El fondo de la cañería fue sellado con tapa de PVC y en la boca se colocó un cabezal de hormigón con su respectiva tapa (foto b, pág. 26).
- 19 perforaciones de explotación existentes que captan agua de los acuíferos confinado-semiconfinado y que son empleados para riego y consumo humano (foto c, pág. 26).
- 2 puntos de muestreo sobre el canal de la salida de la Planta Depuradora Paramillos, 1 punto de muestreo sobre el Canal Pescara en el ingreso a la zona de re-uso (foto d, pág. 26) y 4 puntos de muestreo sobre 4 colectores de drenaje (foto e, pág. 26), a fin de analizar la posible interacción entre las aguas superficiales y el acuífero freático.

La profundidad de los freáticos oscila entre 2,40 y 4,20 m. Todos los sitios anteriormente detallados fueron georreferenciados con GPS.

Fotografías de los sitios de muestreo y medición Sampling and measurement sites



Freatímetro F-47 de la DGI.
Water table meter F-47 DGI.



Freatímetro F-504.
Water table meter F-504.



Perforación de explotación P-2135.
Well P-2135.



Canal Pescara.
Pescara canal.



Colector de drenaje.
Drainage collector.

Determinaciones analíticas en campo y de laboratorio

Como parte de las tareas de investigación del Proyecto, se realizaron 10 campañas para muestreo y mediciones (tabla 1, pág. 27).

Tabla 1. Identificación temporal de las campañas de muestreo.

Table 1. Sampling campaigns.

Identificación de la campaña	Mes y Año
1	diciembre 2004
2	abril / mayo 2005
3	agosto 2005
4	diciembre 2005
5	marzo / abril 2006
6	agosto / septiembre 2006
7	diciembre 2006 / enero 2007
8	agosto 2007
9	diciembre 2007 / enero 2008
10	febrero 2008

Se realizaron determinaciones *in situ* de conductividad eléctrica (CE), temperatura del agua (T), pH y oxígeno disuelto (OD) y se midió la profundidad del agua subterránea en los freáticos. Los análisis de nitratos, nitritos y sólidos disueltos totales se llevaron a cabo en el Laboratorio del INA-CRA, mientras que los referidos a metales pesados (cobre, cadmio, zinc, cromo, plomo, manganeso, mercurio y arsénico) fueron realizados por la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA, Mendoza, Argentina).

El resto fueron encargados a un laboratorio particular local (boro, calcio, magnesio, carbonatos, cloruros, sulfatos, sodio, potasio, pH, dureza total, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo total, *Escherichia coli*, DBO y DQO).

Durante febrero de 2008 (campaña 10) se tomaron muestras de agua subterránea en los pozos F-48, F-91, F-132, P-222, P-322, P-451, P-2134, P-2136 y P-917, y una muestra de agua en el Canal Pescara (C1).

Estas muestras se remitieron al Laboratorio del INA-CRA (Mendoza, Argentina) y al laboratorio particular local para la determinación de sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, dureza total y de carbonatos, pH, calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos y nitritos; al Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS, Buenos Aires, Argentina) para la determinación de ^{18}O , ^2H y tritio, y al Environmental Isotopes Laboratory de la Universidad de Waterloo (Ontario, Canadá) para el análisis del contenido de ^{15}N .

Adicionalmente en este último laboratorio también se realizaron determinaciones de ^{18}O de los nitratos en las muestras correspondientes a los sitios P-322, P-451, P-917 y F-91. Los datos de ^{18}O , ^2H y ^{15}N se expresan como la desviación relativa (δ ‰) del contenido isotópico de la muestra con respecto al Standard Mean Ocean Water (V-SMOW) para los dos primeros y al N_2 atmosférico para el último. El contenido de tritio se expresa en Unidades de Tritio (UT) que corresponde a $^3\text{H}/10^{18}$ átomos de ^1H .

Se analizó la consistencia de los datos mediante el cálculo del error analítico (expresado en %) y su correlación con CE. Los valores de profundidad del agua fueron transformados a cotas de nivel freático y piezométrico y se elaboró un atlas de mapas con curvas equipotenciales para cada una de las campañas realizadas.

Se analizó la variabilidad espacio-temporal de profundidad y niveles de agua. Se realizaron comparaciones con mapas de isopiezas obtenidos en investigaciones precedentes para similares períodos de observación.

Se analizaron los datos de isótopos estables y tritio de la estación colectora de agua de lluvia de Mendoza perteneciente a la Red Colectora Nacional y a la Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) de la International Atomic Energy Agency y la World Meteorological Organization (IAEA-WMO). Esta estación (N° 874200) se encuentra ubicada a 827 m s.n.m. a los 32°52'48" de latitud Sur y 68°50'60" de longitud Oeste.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el período en estudio se han registrado profundidades que oscilan entre los 0,62 y 3,20 m bbp, con un valor promedio de 1,56 m. No se observan variaciones temporales importantes en el nivel de agua. La figura 3 muestra las variaciones en los niveles observados en los freatómetros. Además, no se ha evidenciado relación de estas variaciones con la disponibilidad y distribución hídrica superficial (6).

Figura 3. Evolución temporal de los niveles freáticos
Figure 3. Temporal evolution of water table levels

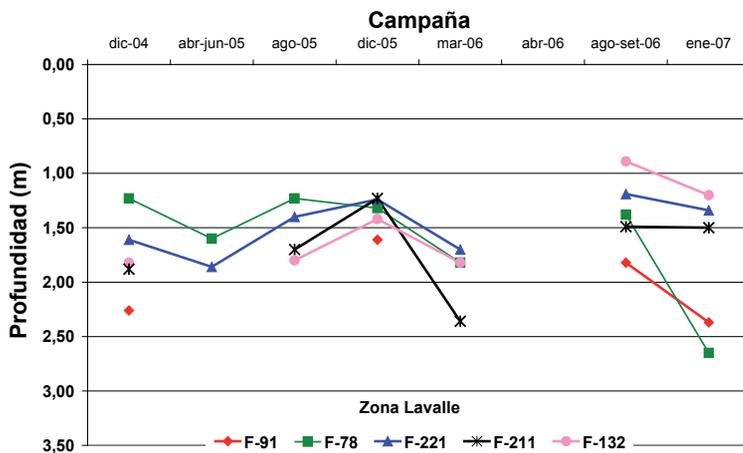


Figura 3a. Freatímetros en la zona de Lavalle.

Figure 3a. Water table meter in the Lavalle area.

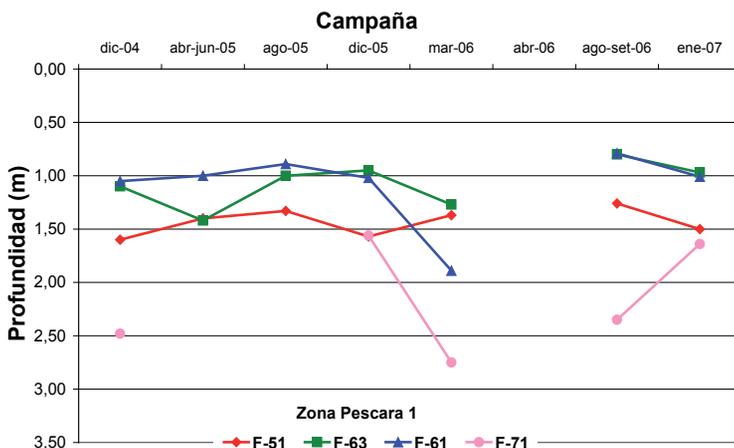


Figura 3b. Freatímetros en la zona Pescara 1.
Figure 3b. Water table meter in the Pescara 1 area.

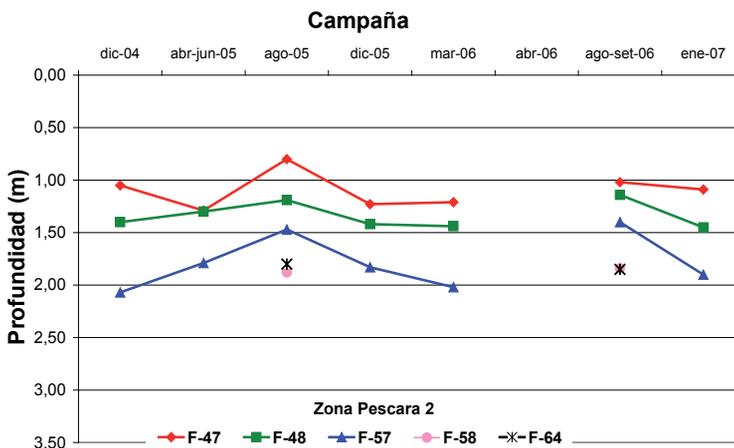


Figura 3c. Freatímetros en la zona Pescara 2.
Figure 3c. Water table meter in the Pescara 2 area.

El sentido general del escurrimiento subterráneo es de SO a NE (figura 4, pág. 30). La figura 5 muestra un perfil ABC en el sentido general del escurrimiento subterráneo, donde pueden apreciarse las variaciones espaciales de las relaciones hidráulicas entre los acuíferos superior e inferior. En el tramo AB el nivel absoluto (cota) del acuífero inferior es mayor al del acuífero superior. La mayor parte de este tramo coincide con el área de surgencia natural del acuífero inferior. En el tramo BC la relación de carga se invierte.

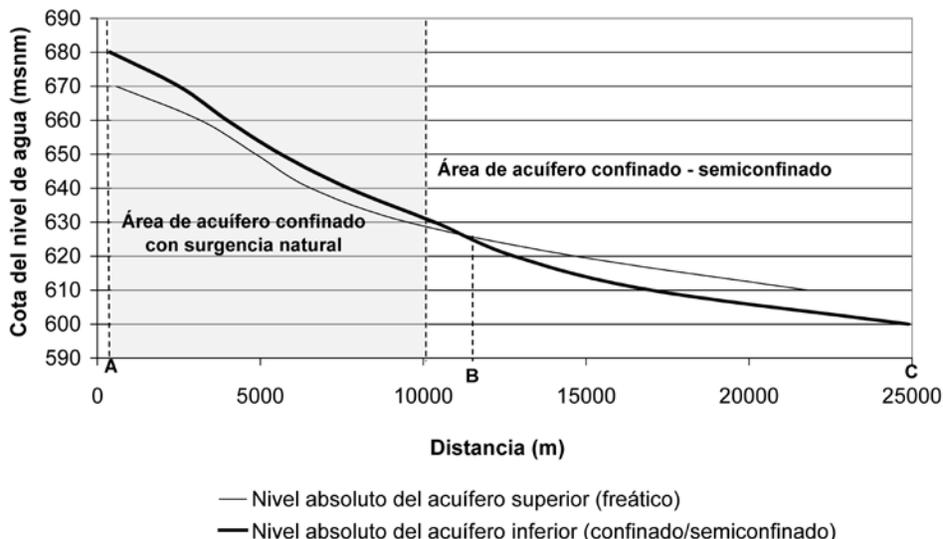


Figura 5. Perfil de cota de nivel de agua acuífero superior y acuífero inferior .
Figure 5. Water level height in the upper and lower aquifer.

En la figura 6 se muestran estos contenidos en relación con la línea de agua meteórica local (LAML). Los contenidos de isótopos estables del agua subterránea varían entre -18,4‰ y -16,1‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y entre -122‰ y -139‰ para $\delta^2\text{H}$. En la figura 6 (pág. 32) se grafican los contenidos de isótopos estables de las muestras de agua subterránea y la del Canal Pescara conjuntamente con la LAML. En ella se puede observar que los mismos se encuentran prácticamente alineados con la LAML y empobrecidos respecto del promedio anual ponderado y de los promedios estacionales ponderados para el agua de lluvia, indicando que provienen de aguas de zonas más frías.

Este hecho estaría sustentado por los resultados obtenidos en investigaciones previas (8) en las que se han determinado concentraciones de isótopos estables del agua subterránea para el Sector Occidental que varían entre -18,0‰ y -18,9‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y entre -136‰ y -142‰ de $\delta^2\text{H}$ para el primer nivel; entre -18,5‰ y -18,9‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y entre -138‰ y -141‰ de $\delta^2\text{H}$ para el segundo nivel y entre -17,8‰ y -18,6‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y entre -133‰ y -142‰ para $\delta^2\text{H}$ para un grupo de pozos del tercer nivel. Estos valores son similares a los determinados para el agua del río Mendoza (entre -18,2‰ y -19,1‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y entre -138‰ y -142‰ para $\delta^2\text{H}$) que corresponden a aguas de deshielo originadas en la fusión de nieve en la cordillera, indicando que el agua subterránea provendría de este río. Se puede observar que los contenidos de isótopos estables del agua de los pozos P2134, 2136 y P222 (pozos más profundos), se encuentran más cercanos al correspondiente al agua del río Mendoza, mientras que el agua de los pozos más someros está más enriquecida en ^{18}O y deuterio. Esto podría estar relacionado con la mezcla del agua de recarga del río Mendoza con

agua de lluvia (mucho más enriquecida) precipitada en los días previos a la toma de muestra (Información de precipitaciones en estaciones de Mendoza suministrada por el Ing. Jorge Masa). El agua del Canal Pescara proviene de efluentes industriales y cloacales, inyección de agua subterránea, etc., que en general tienen su origen en las aguas del río Mendoza, lo que justifica el contenido isotópico similar al mismo.

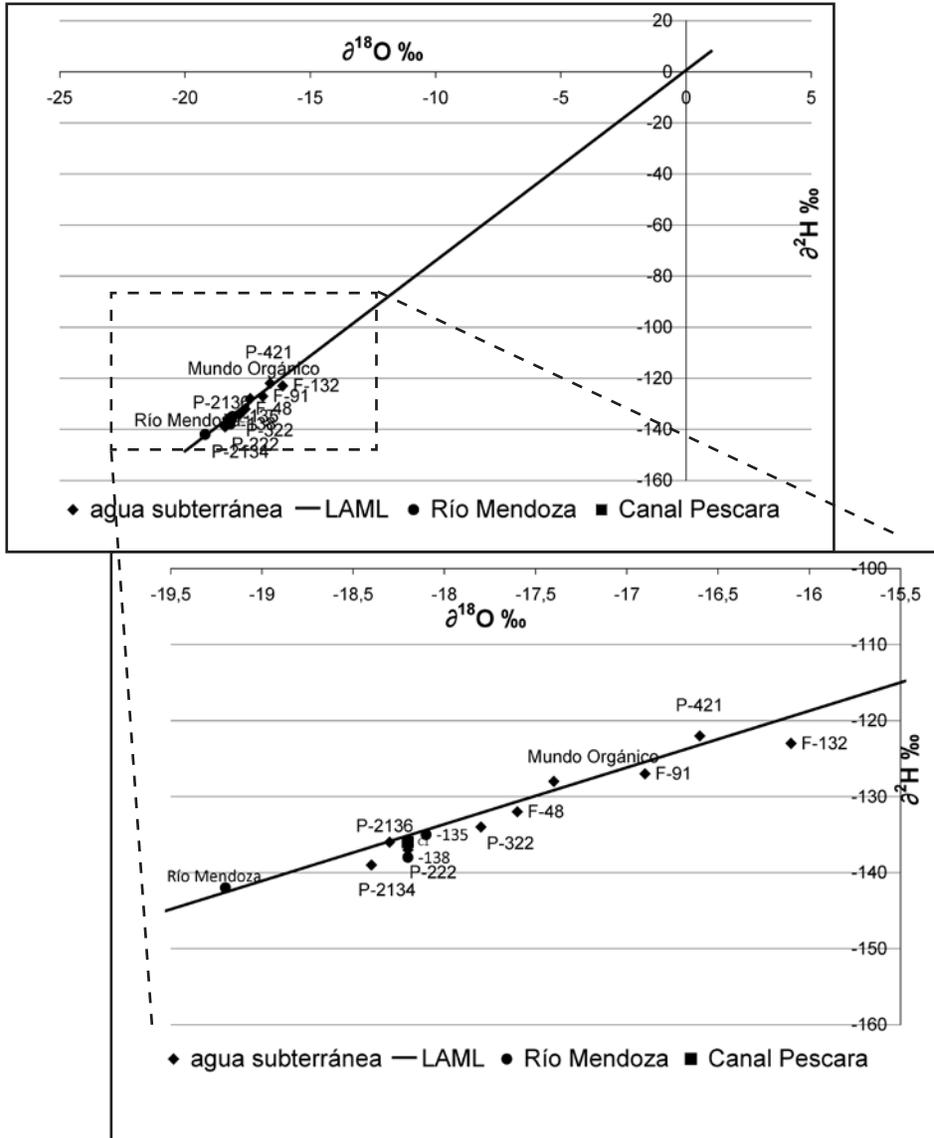


Figura 6. Contenido isotópico del agua subterránea y superficial.

Figure 6. Surface and groundwater isotopic content.

En lo que respecta al tritio, los mayores valores corresponden a las muestras colectadas en el Canal Pescara (3,1UT) y en el freático F-132 (4,0UT). El contenido de tritio del Canal Pescara refleja la existencia de una mezcla de agua, tal como se describió anteriormente, en tanto que el contenido de tritio del freático F-132 (ubicado en una zona de viñedos) se podría asociar al agua de riego proveniente de este canal. Los tenores en el agua de los pozos P-222 (surgente) son de 1,5UT y del pozo P-2134 es de 1,0UT, por lo cual se evidencia una disminución en el sentido del escurrimiento. No se ha detectado tritio en el pozo P-2136, lo que indicaría que el acuífero ha sido recargado hace más de 50 años. Por otra parte, en las muestras de agua de los pozos P-421, P-917, P-322 y F-48, ubicados en el sector SO del área, se han determinado concentraciones de tritio del orden de 2,5UT que, independientemente de su profundidad, podrían corresponder a mezclas de agua de recarga regional (río Mendoza/lluvias en altura) y local (lluvias, si bien son escasas y pérdidas de redes).

La tabla 2 presenta los valores mínimos, máximos, coeficientes de variación y promedios de conductividad eléctrica, nitratos, nitritos, DBO, nitrógeno y fósforo total, obtenidos en agua subterránea, canales y drenajes. Estas variables químicas fueron seleccionadas en función de los objetivos perseguidos en esta investigación y por su vinculación con las actividades productivas y sociales que se realizan en el área.

Tabla 2. Valores mínimos, máximos, coeficientes de variación y promedios encontrados en aguas subterráneas, canales y drenajes de algunas variables químicas.

Table 2. Minimum and maximum values, variation coefficients, and arithmetic means of some chemical variables in aquifers, canals and drainage canals.

Estadística descriptiva freáticos						
Variable	n	Media	Desvío	CV	Mínima	Máxima
CE	149	10566,81	10609,74	100,41	1135	84100
NO ₃ ⁻	149	12,76	31,38	245,93	0	157,52
NO ₂ ⁻	145	0,14	0,23	162,26	0	1,09
DBO	129	8,08	13,61	168,5	0	118,8
N total	42	15,12	19,11	126,4	2,8	106,4
P total	42	1,39	2,14	154,74	0	13,15

Estadística descriptiva pozos						
Variable	n	Media	Desvío	CV	Mínima	Máxima
CE	86	1206,4	315,4	26,14	740	1818
NO ₃ ⁻	87	11,63	15,13	130,06	0	87,56
NO ₂ ⁻	86	0,01	0,01	83,09	0	0,08
DBO	36	1,51	2,61	173,41	0	9,6
N total	21	11,31	13,94	123,32	1,4	70
P total	21	0,57	0,6	104,52	0	2,01

Estadística descriptiva superficiales						
Variable	n	Media	Desvío	CV	Mínima	Máxima
CE	58	2197,9	917,77	41,76	1099	7590
NO ₃ ⁻	59	9,37	7,99	85,26	0	29,04
NO ₂ ⁻	59	0,17	0,31	181,5	0	1,09
DBO	52	23,54	38,99	165,67	0	248,8
N total	17	22,43	11,23	50,08	5,6	36,4
P total	17	4,76	4,38	92,14	0	14,9

Se observa que en los 3 casos, los parámetros presentan alta dispersión debido a la integración espacial y temporal del procesamiento estadístico, lo que limita la interpretación. Sin embargo, se considera que los valores más altos de nitratos en el acuífero semiconfinado-confinado estarían explicados por el flujo horizontal del agua del agua subterránea que proviene del Gran Mendoza, sin incidencia local (6). Como se observa en la figura 7, en el acuífero libre los valores presentados indican variaciones de 2350 a 31100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esto no muestra una correlación con la dirección de flujo horizontal del agua subterránea. Se observa gran variabilidad espacial debido a efectos puntuales o locales, en principio vinculados a la percolación del lixiviado de sales de los suelos, que son lavados para el uso agrícola (4). En el acuífero semiconfinado-confinado, la CE varía desde 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta valores de 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

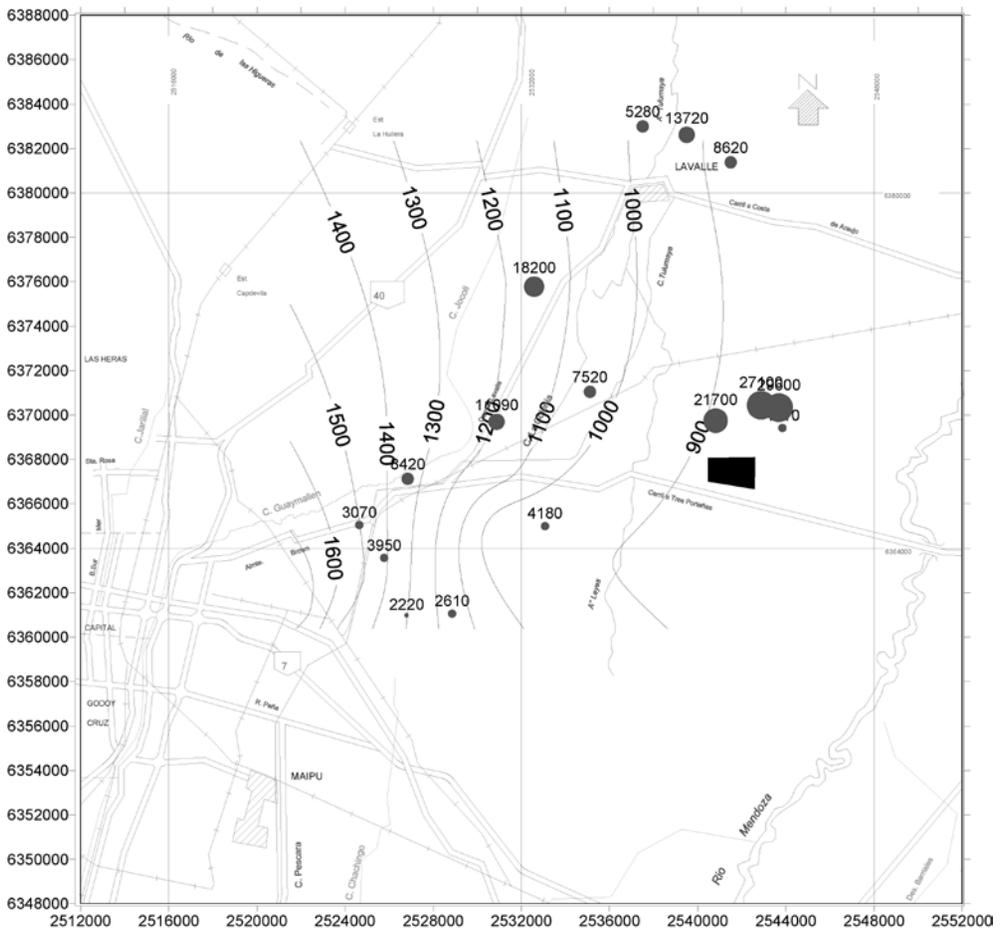


Figura 7. Variación de la Conductividad Eléctrica del agua subterránea ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en el acuífero libre (símbolos) y semiconfinado-confinado (líneas). Diciembre 2006.

Figure 7. Electrical conductivity variation ($\mu\text{S}/\text{cm}$) in the un-confined (symbols) and semiconfined-confinad aquifer (lines). December 2006.

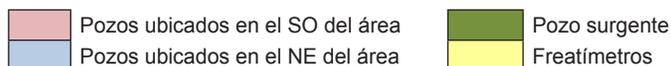
Por esta razón, esta variación ha sido representada con curvas de isocontenidos, en tanto que las concentraciones de nitratos registradas en el acuífero libre se relacionarían con efectos locales de contaminación por las actividades que se desarrollan en el terreno. De acuerdo con esto, los contenidos registrados han sido representados con símbolos.

En la tabla 3 se muestran los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de los nitratos ($\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$) determinados en las muestras de agua subterráneas y Canal Pescara, en relación con los rangos típicos de $\delta^{15}\text{N}$ de las principales fuentes de N en la hidrosfera (11).

Tabla 3. Valores de CE, concentraciones de NO_3^- y $\delta^{15}\text{N}$ de las muestras obtenidas y rangos típicos dados por Kendall & Aravena (12) de $\delta^{15}\text{N}$ de las principales fuentes de N en la hidrosfera.

Table 3. CE values, NO_3^- concentrations and $\delta^{15}\text{N}$ of samples and typical ranges given for Kendall & Aravena (12) of $\delta^{15}\text{N}$ of main N sources in the hydrosphere.

Punto de muestreo	CE $\mu\text{S/cm}$	NO_3^- mg/l	Fuente	Excretas animales y humanas	N suelo	Fertilizantes artificiales inorgánicos	NO_3^- y NH_4 atmosférico
			$\delta^{15}\text{N} \text{ ‰}$	+10‰ +20‰	-8‰ +15‰	-4‰ +4‰	-15‰ + 15‰
C-1	1146	3,52	4,89		X	X	X
P-322	1929	46,54	9,97	X	X		X
P-451	1701	87,56	9,99	X	X		X
P-917	1697	79,20	10,91	X	X		X
F-48	2000	20,68	17,86	X			
P-222	1491	28,60	8,31		X		X
P-2136	829	4,84	4,21		X	X	X
F-132	5210	33,44	18,47	X			
P-2134	1099	4,40	2,77		X	X	X
F-91	13240	79,20	37,99				



Los pozos ubicados en el SO del área (P-322, P-451 y P-917), aguas abajo del área del Gran Mendoza siguiendo el sentido general del escurrimiento subterráneo, presentan las mayores concentraciones de nitratos (en febrero de 2008 se han registrado entre 45 y 88 mg/l) y los valores de $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ y $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ ($\delta^{18}\text{O}$ de los nitratos) indicarían que el nitrato proviene de excretas de animales o humanas (figura 9, pág. 37). En los freáticos F-48 y F-132 se observaron concentraciones de nitratos entre 20 y 30 mg/l en febrero de 2008 y contenidos de $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ del orden de 18‰ que indicarían que el nitrato también tiene origen en excretas animales o humanas. El freático F-132 está en zona de chacras donde se utilizan abonos y el freático F-48 está en un área muy próxima a corrales y criaderos de cerdos.

En el caso particular de frentímetro F-91 el contenido de nitrato para febrero de 2008 fue de 79,20 mg/l y los valores de $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$ y $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-$ muestran que se estaría frente a un proceso de desnitrificación. Los pozos P-2134 y P-2136 tienen bajas concentraciones de nitratos (4,40 y 4,84 mg/l respectivamente).

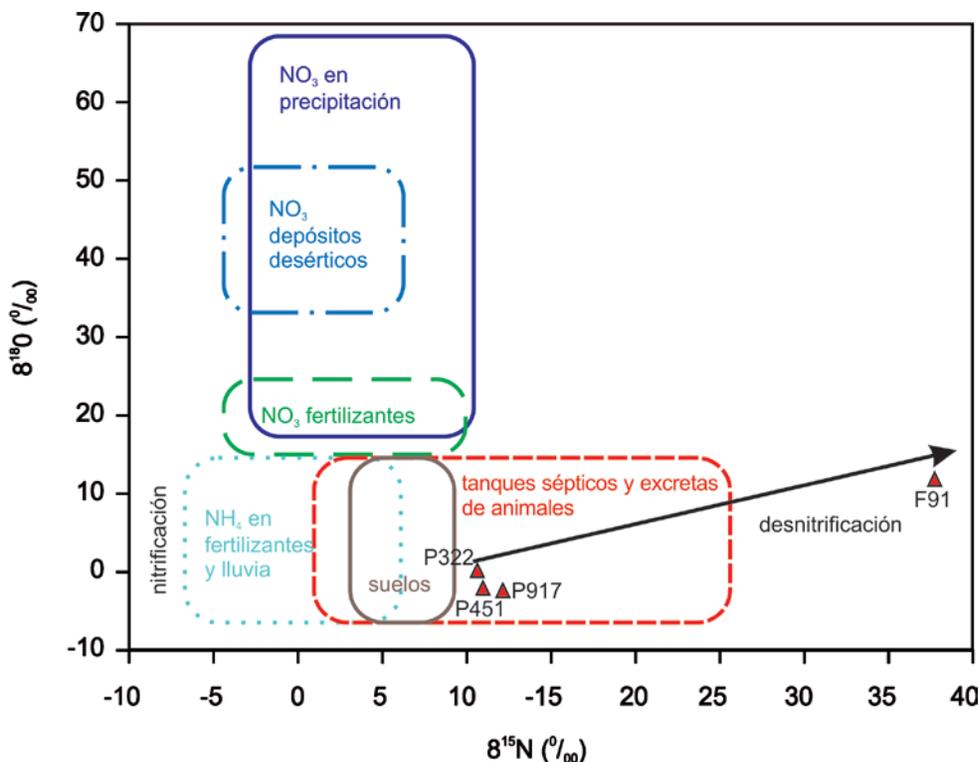


Figura 9. Rangos típicos según Kendall (11) de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{18}\text{O}$ de las principales fuentes de NO_3^- .
Figure 9. Typical ranges according Kendall (11) of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of main NO_3^- sources.

CONSIDERACIONES FINALES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en estas investigaciones han permitido constatar contaminación por nitratos en los niveles acuíferos semiconfinado-confinado en la zona sur del área de estudio, próxima al área del Gran Mendoza. Los contenidos disminuyen hacia el noreste en el sentido del flujo horizontal según la circulación advectiva horizontal de aguas subterráneas.

Hacia el noreste, el análisis de los valores de nitratos y salinidad sugiere que no hay evidencia de interacción vertical entre los niveles semiconfinado-confinado y freático. El empleo de técnicas isotópicas específicas ha permitido corroborar que el origen de esta contaminación proviene de excretas humanas y/o animales principalmente asociada a la falta de servicio cloacal y/o por fugas de

redes del Gran Mendoza, mientras que, en esta zona, el acuífero freático actúa como sumidero de la contaminación que se produce localmente debido al re-uso agrícola de aguas industriales, sin migración vertical hacia el nivel semiconfinado-confinado, que es la reserva de agua dulce más importante de la zona.

Esta circunstancia, sumada a la relación hidráulica entre estos cuerpos de agua subterránea plantea la necesidad de establecer rigurosas pautas de gestión que garanticen la protección de la fuente actual de abastecimiento (acuífero semiconfinado-confinado) puesto que el acuífero superior constituye una considerable amenaza de contaminación de los recursos hídricos. De este modo, la construcción de pozos, el cegado y abandono de los mismos, los esquemas de bombeo y riego, deberían merecer especial atención de las autoridades competentes y de los usuarios. Un descenso del nivel piezométrico o un aumento de la carga hidráulica del nivel superior -por ejemplo por la falta de revestimiento de canales- favorecerían el flujo vertical descendente de aguas contaminadas.

Para dar continuidad a las investigaciones realizadas se plantea la pertinencia de realizar una mayor cantidad de determinaciones isotópicas (incluyendo un seguimiento en las aguas del río Mendoza y valoración de isótopos del sulfuro para establecer relaciones con nitratos), químicas y físico-químicas en tiempo y espacio para completar la ubicación y caracterización de las fuentes de contaminación e identificar los procesos que pueden tener lugar en el suelo y subsuelo.

REFERENCIAS

1. Álvarez, A. 1984. *Evaluación hidroquímica del recurso hídrico de la zona norte Provincia de Mendoza*. Publicación N°P-271. Programa: Evaluación Permanente del Área Zona Norte. CRAS.
2. _____. 1993. Estudio de la contaminación del agua subterránea. Salinización de acuíferos y contenido de Arsénico, Flúor y Nitratos. Zona Norte, Provincia de Mendoza. CRAS. San Juan. Argentina. (Documento Interno DI 214).
3. _____. 1995. *Estudios de contaminación del agua subterránea, Salinización de acuíferos y contenido de arsénico, flúor y nitrato en la zona norte de la provincia de Mendoza*. En: Mendoza Ambiental. Gobierno de Mendoza - Ministerio de Medio Ambiente, Urbanismo y Vivienda; IADIZA. Mendoza, Argentina. p. 29-43.
4. _____.; J. Robles, J. Villalba. 2006. Aspectos hidrogeológicos del sector noreste del conurbano del gran Mendoza. Sector Las Heras-Guaymallén. INA-CRA (IT Nro 85-CRA). 11 p.
5. _____.; G. Fasciolo, C. Barbazza. 2007. *Contaminación por actividades humanas de un acuífero confinado*. XXI CONAGUA 2007. San Miguel de Tucumán. Publicado en actas y CDRom.
6. _____.; G. Fasciolo, C. Barbazza, F. Lorenzo, M. E. Balanza. 2008. *Impactos en el agua subterránea de un sistema de efluentes para riego. El Sistema Paramillos (Lavalle, Mendoza, Argentina)*. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCUYO. 40(2): 61-81.
7. Auge, M. 2004. *Regiones Hidrogeológicas. República Argentina, provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe*. Universidad de Buenos Aires. www.gl.fcen.uba.ar/investigacion/grupos/hidrogeologia/auge/Reg-Hidrogeo.pdf

8. CRAS-OIEA. 1991. Informe Técnico Convenio CRAS-OIEA, Proyecto N°4499/RB.
9. Ferres, C. 1989. *Estudio de efecto de la percolación de los líquidos residuales domiciliarios sobre la calidad del agua subterránea en el área de acuífero libre*. Informe Técnico 107 CRAS. San Juan. Argentina.
10. Hernandez, J.; L. Fornero, N. Martinis. 2005. Aplicación del modelo de flujo de agua subterránea Modflow al acuífero de la subcuenca El Carrizal. XX CONAGUA 2005. Mendoza. Publicado en actas y CDRom.
11. Kendall, C. 1998. Tracing Nitrogen Sources and Cycling in Catchments. In: *Isotopes Tracers in Catchment Hydrology*. Eds. Kendall, C. & McDonnell, J. J. Elsevier Science B. V., Amsterdam. p. 519-576.
12. _____; Aravena, R. 2000. Nitrate isotopes in groundwater systems. In: *environmental tracers in subsurface hydrology*. Eds. Cook, P. & Herczeg, A. Kublic Academic Publishers. p. 261-297.
13. Pazos, J.; J. Bessone, J. Vivas, A. Vacas, C. Wetten, C. Valero. 1993. *Recursos Hídricos Subterráneos y Aguas Termales*. Geología y Recursos Naturales de Mendoza. V.A. Ramos (Ed.), Relatorio, 5(1): 551-599.
14. Puebla, P.; O. Zoia, M. Gómez, S. Saurina, M. Quiles, G. Fasciolo, N. Falótdo, B. Faro. 2007. *Sistemas de Gestión Integral para manejar la contaminación de efluentes industriales*. INA-CELA. CDRom.
15. Rodríguez, R. 1992. *Estudio de la contaminación del agua subterránea por efecto de los efluentes industriales*. Documento Interno 180 CRAS. San Juan. Argentina.
16. Universidad Nacional de Cuyo. 2004. *Marco estratégico para la provincia de Mendoza*. Diagnóstico físico ambiental. www.uncu.edu.ar/contenido/Index.php?logout=true&tid=101 Mendoza. Argentina.

Agradecimientos

A los técnicos Máximo Velga, Samuel Sobrino y Aldo Morsuchi por su colaboración en las tareas de campo y laboratorio.

A la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT), que financiara estas investigaciones.

A la Red Argentina de Capacitación y Fortalecimiento de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (Arg Cap-Net), por promover el encuentro y trabajo sinérgico de investigadores de la Universidad Nacional de Cuyo y Universidad Nacional del Litoral y del Instituto Nacional del Agua - Centro de Economía, Legislación y Administración del Agua y Centro Regional Andino (CELA).