

EFFECTOS DE LA EXPLOTACIÓN EN LA EVOLUCIÓN HIDROGEOQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN TRENQUE LAUQUEN, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Bocanegra, E^{1,2}; Moschione, E¹; Zamora¹, A., Picco, P³; Leiva, S³

⁽¹⁾ Unidad Académica Mar del Plata, Universidad Tecnológica Nacional

⁽²⁾ Universidad Nacional de Mar del Plata

⁽³⁾ Fac. Regional Trenque Lauquen, Universidad Tecnológica Nacional

Santa Fe 2095. 6º C. 7600 Mar del Plata. Tel: 02234915618. email: ebocaneg@mdp.edu.ar.

RESUMEN

El Partido de Trenque Lauquen en el noroeste de la provincia de Buenos Aires se abastece exclusivamente del recurso hídrico subterráneo para el desarrollo de sus actividades socio-económicas, presentando problemas de disponibilidad y calidad. En la ciudad de Trenque Lauquen el suministro se realiza a través de perforaciones ubicadas en la ciudad y en Mari Lauquen, 25 Km al sudoeste, donde se encuentra una importante lente de agua dulce. En ambas áreas los pozos más antiguos tienen profundidades de 30 y 50 m, y los más nuevos de 20 m.

El objetivo del trabajo es realizar una evaluación de la evolución temporal en la calidad fisicoquímica del agua, considerando las características hidrogeológicas y los procesos hidrogeoquímicos con la matriz sólida.

La metodología consistió en la valoración y síntesis de la información geológica, geofísica, hidrogeológica e hidroquímica y la modelación de procesos hidrogeoquímicos.

Las unidades hidrogeológicas explotadas comprenden una secuencia de arenas finas y limos arenosos de origen eólico que conforman lentes de agua freática de baja salinidad, a la que subyacen unos limos arenosos finos, algo arcillosos, con concreciones calcáreas en forma de loess, que apoyan sobre unas areniscas arcillosas con cemento calcáreo y abundante yeso.

Se verifican procesos hidrogeoquímicos en los que intervienen las fases de calcita, CO₂, yeso e intercambio catiónico. A medida que incrementa su salinidad, el agua del acuífero evoluciona hacia una disolución de yeso y precipitación de calcita, con el consiguiente incremento del contenido de sulfatos y de dureza. Estos cambios están relacionados con las características constructivas de las perforaciones, siendo que las más profundas muestran mayores tenores salinos.

Se consideran apropiadas las medidas de gestión en los últimos años, que condujeron a realizar perforaciones más someras y con menor caudal de extracción, lo que ha permitido que la tendencia creciente a la salinización haya disminuido su tasa de evolución, mejorando la calidad del agua subterránea.

PALABRAS CLAVE: hidrogeoquímica – Trenque Lauquen - Argentina

INTRODUCCIÓN

El noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, presenta una problemática variada en cuanto a cantidad y calidad de agua para el abastecimiento de las poblaciones que allí se asientan. Las principales actividades económicas en la zona comprenden la producción agrícola, con amplias extensiones de cultivo sin riego, y la cría de ganado, mayoritariamente bovino, por lo que las necesidades de disponibilidad de agua inciden directamente en el desarrollo de la zona (Moschione et al, 2011). Se presentan situaciones de escasa cantidad de agua en algunos partidos de la región, mientras que en otros, el alto tenor de minerales hacen del agua un recurso no apto para el uso y/o consumo. El partido de Trenque Lauquen, con una población de 43000 habitantes (INDEC 2010) se encuentra ubicado en esta zona de la Provincia de Buenos Aires, ($35^{\circ}.50' S$, $62^{\circ}.44' W$) y se extiende sobre una superficie de 5500 km^2 (Fig. 1). El Distrito tiene 600 hectáreas urbanizadas, 400 de las cuales corresponden a la ciudad cabecera, Trenque Lauquen, la que se provee de agua subterránea para el consumo humano.

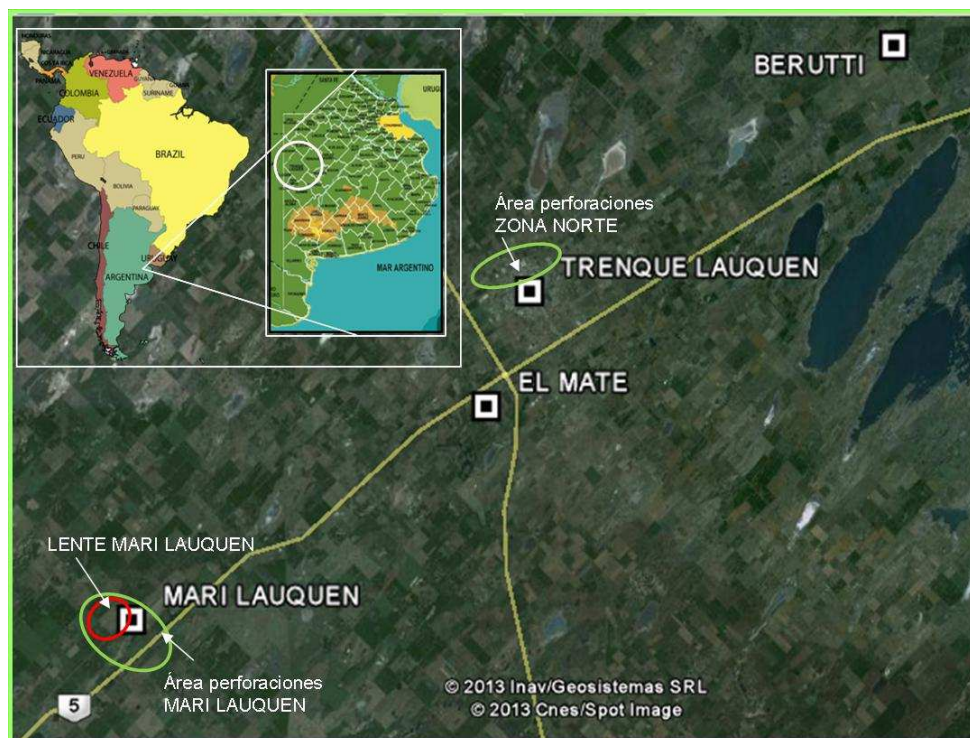


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

El abastecimiento se realiza a través de 34 perforaciones ubicadas en la Zona Norte de la ciudad, 12 de las cuales fueron construidas entre 1977 y 1980, con profundidades entre 50 y 30 m y caudal inicial de extracción de 25 y $20 \text{ m}^3/\text{h}$ respectivamente. Otras 12 perforaciones se realizaron en el año 2000 y las últimas 10 en 2004, con profundidad de 20 m y caudal inicial promedio de $5 \text{ m}^3/\text{h}$. Actualmente el caudal promedio en toda esta Zona Norte es $3.8 \text{ m}^3/\text{h}$ por pozo.

La fuente de provisión principal de la ciudad se localiza en Mari Lauquen, 25 Km al sudoeste de Trenque Lauquen, donde se encuentra una importante lente de agua dulce. La explotación se realiza

a través de 22 perforaciones que extraen un caudal promedio de 16 m³/h por pozo, y se encuentran conectadas con la urbe a través de un acueducto que finaliza en un depósito subterráneo.

Un área de explotación ubicada en el paraje El Mate, próxima a Trenque Lauquen cuenta con 5 perforaciones, prácticamente fuera de funcionamiento porque extraen agua con elevada salinidad.

El pueblo de Berutti, perteneciente al Partido de Trenque Lauquen, cuenta con 1150 habitantes y posee sistema de abastecimiento de agua en todos los hogares desde 1989, pero su calidad no cumple con las especificaciones para agua potable (Código Alimentario Argentino). La incorporación de un equipo de ósmosis inversa en un establecimiento educativo en el año 2007, permite una desalinización del recurso hídrico subterráneo, haciendo disponible una cuota de agua de 20 litros para cada familia por semana.

El objetivo de este trabajo es realizar una evaluación de la calidad fisicoquímica del agua en la zona de estudio considerando las características hidrogeológicas y los posibles procesos de intercambio de minerales con la matriz rocosa causantes de las variaciones registradas en componentes mayoritarios. Esta información resulta de suma importancia, teniendo en cuenta la necesidad de un uso sustentable del recurso hídrico disponible, minimizando riesgos de salinización de las perforaciones para abastecimiento público.

METODOLOGÍA

Se realizó la valoración y síntesis de la información geológica, geofísica e hidrogeológica y una evaluación de las características fisicoquímicas del agua subterránea en pozos ubicados en el Partido de Trenque Lauquen, a partir de análisis de laboratorio realizados entre 2005 y 2012. Se aplicó el programa Aquachem 4.0 (Calmbach and Waterloo Hydrogeologic INC, 1998) para el estudio de la evolución espacial y temporal de los componentes mayoritarios, y construcción de gráficos de Schoeller, Piper y Stiff.

La modelación hidrogeoquímica del balance de masas se realizó siguiendo la evolución de un pozo representativo de abastecimiento a la ciudad de Trenque Lauquen que cuenta con registros continuos de datos químicos. Se utilizó el código NETPATH (Plummer et al., 1991) por el cual se obtiene, conocida la o las soluciones iniciales y la composición de la solución final y seleccionadas determinadas condiciones y reacciones, uno o más modelos que expliquen las variaciones de composición observadas.

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

La zona de estudio, con una superficie de unos 1100 km², pertenece a la provincia hidrogeológica Llanura Chaco-pampeana árida, caracterizada por presentar déficit hídrico, y a la región hidrogeológica Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (Auge, 1997). Se trata de una cuenca cerrada sin escurrimiento superficial hacia cursos de agua, que presenta dos ambientes geomorfológicos predominantes: lomadas y bajos, estos últimos en época de alta precipitación permanecen inundados.

En el área de estudio se reconoce la presencia de las unidades hidrogeológicas *Postpampeano*, *Pampeano*, *Araucano* y *Formación Paraná*.

El *Postpampeano* presenta una gran continuidad areal, se denomina Médano Invasor (Tapia, 1937) y está conformado por arenas finas y limos arenosos de origen eólico, de espesor máximo 20 m. La elevada permeabilidad de los médanos favorece la infiltración y por ende la recarga (Auge et al, 1988), lo que deriva en lentes de agua freática de baja salinidad. Estas lentes de agua dulce, que no sólo se emplazan en los médanos sino también en la sección superior de la Formación subyacente (*Pampeano*), constituyen la única fuente segura para la provisión de agua potable.

El *Pampeano* está formado por limos arenosos finos, algo arcillosos, con concreciones calcáreas, también de origen eólico pero en forma de loess (Auge et al, 1988). Su comportamiento está definido como “ambiente acuitado, de baja permeabilidad, dentro del cual se desarrollan lentes de mediana permeabilidad portadoras de niveles acuíferos productivos” (Sala, 1975). La salinidad manifiesta una acentuada zonación lateral y vertical. La sección superior es la que posee menor contenido salino, fundamentalmente cuando está cubierta por médanos. La abundancia de vidrio volcánico hace que el agua subterránea pueda presentar altos tenores de flúor y en algunos casos de arsénico (Auge, 2004).

El *Araucano* está integrado por areniscas arcillosas con cemento calcáreo y abundante yeso. Se comporta como acuífero de baja productividad, el agua tiene elevada salinidad (mayor de 5 g/l) y es de tipo sulfatada. Esto limita su aprovechamiento a la provisión para el ganado.

La *Formación Paraná* está constituida por arcillas, arenas arcillosas y arenas con niveles calcáreos y fósiles marinos, es portadora de agua de alta salinidad, y se la considera el sustrato donde se apoya la secuencia hidrogeológica con agua que puede resultar apta para los usos corrientes (Auge, 2004).

Un pozo de exploración realizado en Mari Lauquen alcanzó una profundidad de 105 m, determinándose espesores de 12 m para el *Postpampeano*, 62 m para el *Pampeano* y 28 m para el *Araucano*, hasta alcanzar una arcilla verde que sólo fue explorada en sus 3 m superiores y que resultó asimilable a la Fm *Paraná*.

Un estudio de prospección geoelectrica realizado en la zona de Mari Lauquen (Mugni, 2007) permitió identificar una lente de agua dulce de 15 km² de extensión (Fig. 1); en su sector central, zona de recarga, el espesor máximo es de 45 m, en el sector periférico, zona de circulación, el espesor es inferior a 20 m, mientras que en la zona de descarga se produce el acuífamiento y la desaparición de la lente.

RESULTADOS

La distribución espacial de concentración de iones mayoritarios correspondientes a muestras extraídas en el área de estudio entre los años 2010 y 2012 se muestra en la Fig. 2 mediante diagramas de Stiff.

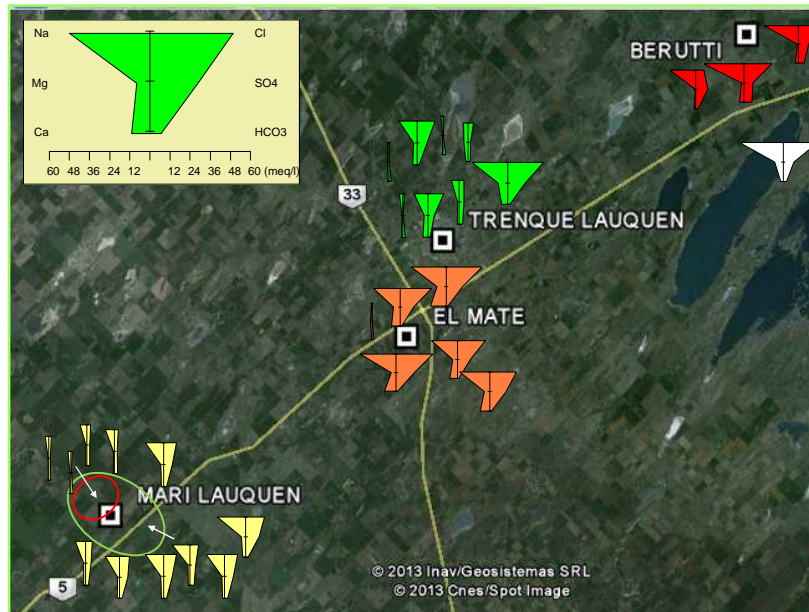


Figura 2. Distribución espacial de Diagramas de Stiff

En Berutti, la composición química del agua varía entre Na.HCO₃ y Na.Cl.SO₄. El valor de conductividad del pozo que constituye la fuente de agua para consumo de la población es de 3710 μ S/cm, con valores mayores en otras perforaciones, y alcanzando un máximo registrado de 25450 μ S/cm. El catión sodio presenta una oscilación ente 555 y 5950 mg/l, mientras que en diferentes pozos se registraron valores máximos de cloruros, sulfato y bicarbonato de 7736, 2477 y 1170 mg/l respectivamente. El agua de la laguna Hinojo Grande es Na.Cl con conductividad 7960 μ S/cm.

El agua subterránea para abastecimiento de Trenque Lauquen evolucionó de Na.Ca.Mg.HCO₃ a Na.Cl.SO₄ durante el período 2005-2010 (Fig.3). Se registró una conductividad promedio de 2340 μ S/cm en Mari Lauquen y 3418 μ S/cm en Zona Norte de la ciudad. En Mari Lauquen los valores máximos de cloruros, sulfato y bicarbonato fueron 1018, 1030 y 880 mg/l respectivamente, y en Zona Norte 2090, 1650 y 298 mg/l.

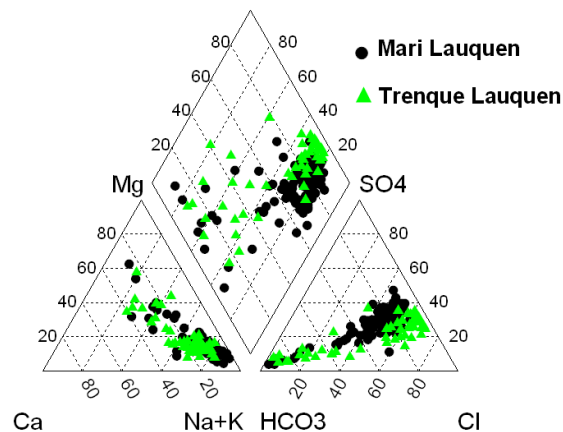


Figura 3. Diagrama de Piper de pozos de Zona Norte de Trenque Lauquen y de Mari Lauquen (2005-2010)

La modelación hidrogeoquímica se realizó siguiendo la evolución de un pozo representativo del área de estudio ubicado en la Zona Norte que cuenta con registros continuos de datos químicos, el ZN11.

La composición de dicho pozo en el año 2005 correspondía al agua dulce del acuífero (CE = 490 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y evolucionó incrementando su salinización gradualmente, según se aprecia en la Fig.4.

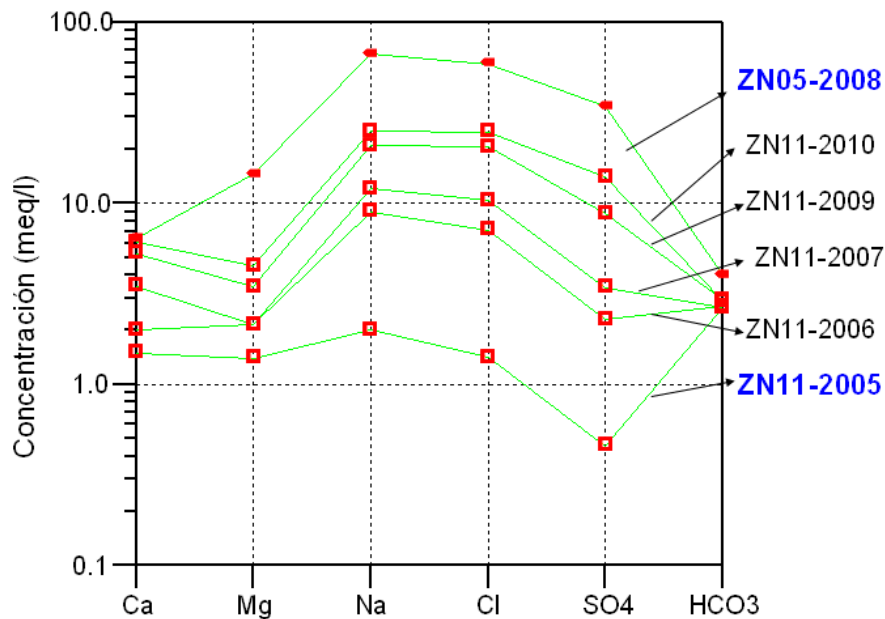


Figura 4. Diagramas de Schoeller del Pozo ZN11

El agua representativa de la formación Araucano correspondiente a la composición química del pozo ZN5 en el 2008 constituye el agua extremo salada en la modelación (CE= 8370 $\mu\text{S}/\text{cm}$), (Tabla 1).

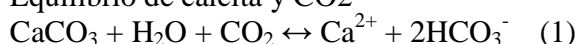
Tabla 1. Concentraciones de iones mayoritarios (mmol/L)

Iones	Acuitardo salado	ZN11- 2005	ZN11- 2006	ZN11- 2007	ZN11- 2009	ZN11- 2010
	4.					
C	27	3.49	2.89	2.72	3.04	3.01
	1					
S	7.28	0.23	1.15	1.72	4.38	7.04
	5					
Cl ⁻	9.30	1.41	7.14	10.33	20.63	24.86
Ca ²⁺	3.					
+	25	0.75	1.02	1.76	2.66	3.06
	7.					
Mg ²⁺	25	0.73	1.11	1.09	1.77	2.29
+	25					
Na ⁺	6	2.00	9.01	12.02	21.05	25.07

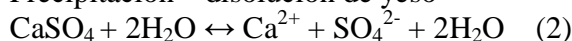
Las reacciones y procesos que tienen lugar como consecuencia de la mezcla de aguas en un acuífero están condicionadas tanto por la composición inicial de cada una de las soluciones como por los materiales presentes en el medio y las condiciones físicoquímicas reinantes (Eh, P_{CO_2} , pH, etc).

Las principales reacciones seleccionadas para modelar el proceso de mezcla de agua dulce del acuífero *Pampeano* con agua del *Araucano* son las siguientes:

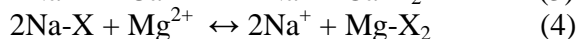
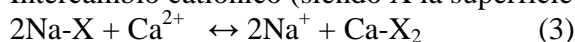
Equilibrio de calcita y CO_2



Precipitación – disolución de yeso



Intercambio catiónico (siendo X la superficie de intercambio)



En el proceso de mezcla modelado (Tabla 2), la solución final en cada año es la composición del agua del acuífero pampeano, mientras que las concentraciones de las soluciones iniciales corresponden a las del agua del acuitardo y del acuífero pampeano el año anterior.

Inicialmente la explotación en las zonas ubicadas fuera de la lente de agua dulce, tanto en Mari Lauquen como en Trenque Lauquen, se realizó por medio de pozos de 50 m de profundidad que extraían caudales de $25 \text{ m}^3/\text{h}$.

La evolución de los criterios de gestión condujo a disminuir las profundidades a unos 20 m, y caudales mínimos de $5 \text{ m}^3/\text{h}$ (Tabla 3), con la consecuente disminución de los contenidos salinos.

Tabla 2 Resultados de los modelos de procesos de mezcla (en mmol/L)

Paso	Solución Inicial 1	Solución Inicial 2	Solución Final	% mezcla	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1	Acuitardo salado	ZN11-2005	ZN11-2006	0.10	0.80	-1.48	0.00	0.26	-0.77
2	Acuitardo salado	ZN11-2006	ZN11-2007	0.06	0.33	-0.58	-0.69	0.40	-0.41
3	Acuitardo salado	ZN11-2007	ZN11-2009	0.21	-0.72	0.72	-1.92	0.61	-0.61
4	Acuitardo salado	ZN11-2009	ZN11-2010	0.11	-1.51	1.35	-0.60	0.07	1.25

(a) disolución o precipitación de calcita

(b) disolución o liberación de CO_2

- (c) intercambio Ca/Na
- (d) intercambio Mg/Na
- (e) disolución o precipitación de yeso

Tabla 3 Evolución de las características de la explotación y contenidos salinos en el año 2010

Año de construcción	Nº de pozos	Prof. Pozo (m)	Ca udal (m3/h)	Cl promedio (mg/l)	SO4 promedio (mg/l)
1977	4	50	25	785	825
1980	9	30	20	753	580
1990	2	25	12	624	650
2004	4	20	12	464	469
2004	8	18	5	124	40

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En la Zona Norte de Trenque Lauquen, a partir de la información hidroquímica del año 2010, se observa una elevada salinización con altos tenores de Cl y SO₄, que se corresponde con pozos de 50 m profundidad, una salinidad menor en pozos de 30 m de profundidad, mientras que otros presentan bajas concentraciones debido probablemente a una reducción de la explotación.

En Mari Lauquen los pozos ubicados en el sector central de la lente de unos 40 m de profundidad, registran baja salinidad, mientras que los pozos localizados en la periferia de la lente o fuera de la misma registran altos tenores de Cl y SO₄.

En la modelación, el proceso de mezcla presenta una tendencia a la precipitación de calcita, la disolución de yeso, adsorción de calcio y desorción de sodio. El equilibrio (1) se muestra inicialmente por disolución de calcita y liberación de CO₂ pasando luego a precipitación de la primera y disolución del segundo, lo cual se confirma en el hecho de que la alcalinidad permanece sin grandes variaciones, entre 136 y 146 mg/l, a lo largo del tiempo (2005-2010).

Por otra parte, se observa un proceso de intercambio catiónico entre Ca, Mg y Na, con aumento de los iones alcalino-térreos en solución, en compensación con la adsorción del sodio. Este tipo de procesos suceden en casos de intrusión de agua salada en un acuífero con agua dulce, tendiendo a equilibrar concentraciones y provocando un incremento en la dureza, evolución que se verifica en este caso de estudio con un aumento en este parámetro desde 148 a 534 mg/l en el período evaluado.

La zona de Berutti presenta un tenor salino y composición mayoritaria similares a El Mate, limitando la disponibilidad de agua de calidad adecuada para el consumo humano y animal en la zona.

CONCLUSIONES

En Zona Norte y Mari Lauquen se verifican procesos hidrogeoquímicos que pueden vincularse con el intercambio de minerales con la matriz rocosa, en los que intervienen las fases de calcita, CO₂, yeso e intercambio catiónico. A medida que incrementa su salinidad, el agua del acuífero evoluciona hacia una disolución de yeso y precipitación de calcita, con el consiguiente incremento del contenido de sulfatos y de dureza. Estos cambios están relacionados con las características constructivas de las perforaciones, siendo que las más profundas muestran mayores tenores salinos.

Se consideran apropiadas las medidas de gestión en los últimos años, que condujeron a realizar perforaciones más someras y con menor caudal de extracción, lo que ha permitido que la tendencia creciente a la salinización haya disminuido su tasa de evolución, mejorando la calidad del agua subterránea.

La localidad de Berutti presenta un interesante ejemplo de organización y contribución de la comunidad en busca de alternativas de solución para la escasez de agua apta para el consumo humano, poniendo de manifiesto la necesidad de optimizar y dimensionar el sistema adecuadamente de modo de cubrir por completo los requerimientos de la población.

REFERENCIAS

- Auge, M. (1997). Hidrogeología Regional Argentina. Provincias Hidrogeológicas. Primer Congreso Nacional de Hidrogeología. Inédito. 20 págs. Bahía Blanca.
- Auge, M. (2004). Regiones Hidrogeológicas: República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe. <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/indexm.htm>
- Auge, M., Méndez Escobar, R., Nagy, M. (1988). Hidrogeología del Partido de Salliqueló, Provincia de Buenos Aires, República Argentina. Rev. Asoc. Bras. Aguas Subterráneas (ABAS). Vol 12: 75-90. Sao Paulo.
- Calmbach and Waterloo Hydrogeologic INC (1998) AQUACHEM Aqueous Geochemical Analysis, Plotting and Modeling.
- INDEC. (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. www.censo2010.indec.gov.ar
- Moschione E, Picco P, Leiva S y Zamora A (2011). Diagnóstico de calidad del agua subterránea y gestión del recurso hídrico en el noroeste de la provincia de Buenos Aires (caracterización de los centros urbanos). III Reunión PROIMCA y I PRODECA. UTN. Volumen 2 parte. Capítulo F. Contaminación de aguas subterráneas pag: 327-334. ISBN 978-950-42-0136-6
- Mugni, J. (1997). Prospección geofísica en Mari Lauquen. Municipalidad de Trenque Lauquen. Informe Técnico. Inédito. 94 págs. La Plata.
- Plummer LN, Prestemon EC, Parkhurst DL (1991) An Interactive Code (NETPATH) for Modelling NET Geochemical Reactions Along a Flow PATH. U.S.G.S. Water Resources Invest, Report 91-4078, 227 pp.
- Sala J M (1975) Recursos Hídricos (especial mención de las aguas subterráneas). VI Cong. Geol. Arg., Buenos Aires. Relatorio: 169-194 pp.
- Tapia, A. 1937. Datos geológicos de la provincia de Buenos Aires. Aguas Minerales. Com. Nac. Climat. Y Aguas Min. Tomo II: 23-90. Buenos Aires.