

VARIACIONES HIDROQUIMICAS EN EL AGUA SUBTERRANEA EN LOCALIDADES DEL PARTIDO DE PUAN, PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

Jorge C. Carrica y E. René Albouy

Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur

ABSTRACT

The only supply source of the area studied is the ground water extraction, mainly from the phreatic bed. There are frequent chemical variations in space and time in the more superficial aquifer levels specially fluoride and arsenic concentrations. The hydrochemical variations in time are of seasonal nature, and they are imputed to the recharge-discharge relation changes of the aquifer, while the spatial variations –in largeness and depth- are more notorious and constant in time.

The ground water chemical quality of the area is near the maxim allowed concentrations limit as for the above mentioned elements, according to the standing drinking water standards . Hence, the water of explotación well could be classified as potable or not, depending on the sampling time.

At Darregueira locality, the seasonal hydrochemical variations allows identify the fluoride supply source in the aereation zone sediments and/or in the upper portion of the phreatic aquifer.

It is also determined that it must be defined the potability in terms of the annual average chemical composition, in those places where the hydric resource is poor and the water treatment alternatives are economically limited; this is about the chemical elements which are unhealthful for a long time ingestion and which show concentration variations close to the maxim allowed contents.

RESUMEN

La extracción de agua subterránea, principalmente de la capa freática, es la única fuente de abastecimiento del área de estudio. El agua de los niveles acuíferos más someros presenta frecuentes variaciones químicas espaciales y temporales especialmente en cuanto al contenido en fluoruros y arsénico. Las variaciones hidroquímicas temporales son de carácter estacional y se atribuyen a cambios en la relación recarga-descarga del acuífero en tanto que las variaciones espaciales (areales y en profundidad) son más notables y constantes en el tiempo.

De acuerdo a las normas de potabilidad vigentes, la calidad química del agua subterránea de la zona está cerca del límite de las concentraciones máximas permitidas en cuanto al contenido de los elementos mencionados. Así, el agua de un pozo de explotación puede ser clasificada como potable o no, según la época del muestreo.

En la localidad de Darregueira las variaciones hidroquímicas estacionales permitieron ubicar la fuente de aporte de fluoruros en los sedimentos de la zona de aereación y/o en la porción superior del acuífero freático.

Se concluye, además, que en los lugares donde el recurso hídrico es pobre y las alternativas de tratamiento del agua económicamente limitadas, debería definirse la potabilidad en términos de la composición química media anual; esto en cuanto a los elementos químicos cuya ingesta prolongada perjudica la salud y que presenten variaciones de concentración próximas a los contenidos máximos permitidos.

INTRODUCCIÓN

La región sudoccidental bonaerense es una importante zona agrícola-ganadera del país cuya única fuente de abastecimiento de agua es la extracción de agua subterránea principalmente de la capa freática.

El principal factor limitante de la potabilidad del agua son las altas concentraciones de flúor y arsénico que hacen que el recurso hídrico de la zona sea cualitativamente limitado y que frecuentemente el agua utilizada para abastecimiento a núcleos urbanos se encuentre químicamente cerca del límite de las concentraciones máximas permisibles según las normas de potabilidad vigentes. En este caso, si ocurren leves variaciones químicas estacionales, el agua de un mismo pozo de explotación puede ser clasificada, como potable o no potable, según la época de muestreo.

Cabe recordar que la ingesta prolongada de aguas con altas concentraciones de fluoruros provoca una serie de alteraciones clínicas de carácter endémico conocida como fluorosis que se manifiesta estéticamente por el manchado de dientes, característica notable en los habitantes de la región.

OBJETIVOS

El estudio trata dos aspectos de una misma problemática: las altas concentraciones de fluoruros en el agua subterránea de la región que limitan la potabilidad de las mismas.

Uno de los objetivos es aportar nuevos datos en cuanto a la ocurrencia del fenómeno en la zona y analizar sus variaciones espaciales, especialmente en profundidad. En el caso particular de la localidad de Darregueira, se intenta dilucidar el origen de las variaciones estacionales en la concentración de fluoruros en el agua de los pozos de explotación que abastecen a la ciudad, cuyos valores se encuentran frecuentemente cercanos y a veces sobrepasan al máximo tolerable por las normas de potabilidad vigentes.

Otro aspecto tratado, íntimamente relacionado con el anterior, se refiere a la necesidad de implementar, en zonas como éstas, donde el recurso es cualitativamente limitado, un criterio de definición de la potabilidad del agua en función de la composición química media de una serie de análisis químicos estacionales.

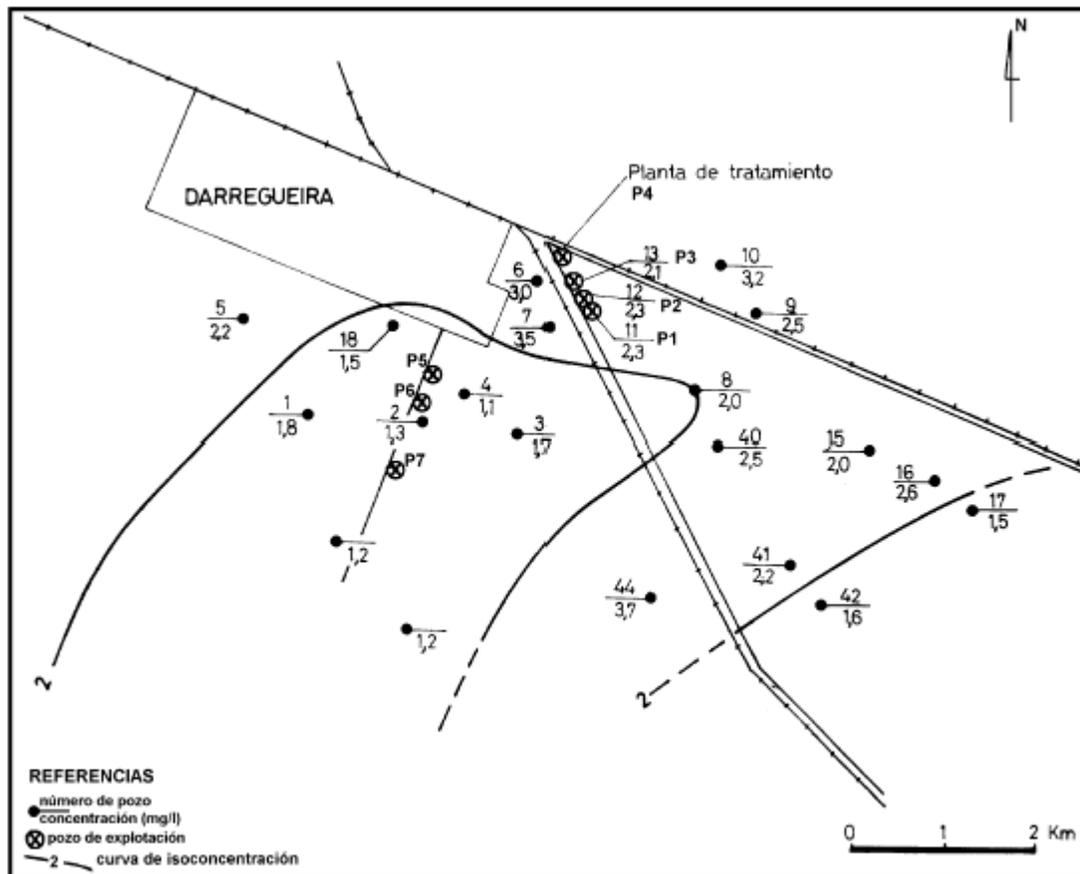
AREA DE ESTUDIO

El trabajo hace referencia a aspectos hidrogeológicos regionales y a las variaciones hidroquímicas espaciales observadas en varias localidades del sudoeste del partido de Puán, en la provincia de Buenos Aires, tales como: Darregueira, Felipe Solá y 17 de Agosto (Figura 1). El estudio,



Figura 1. Ubicación del área de estudio

en particular, de las variaciones hidroquímicas temporales, se realizó en los pozos de explotación para abastecimiento a la localidad de Darregueira, cuya área de explotación abarca unos 50 Km²; los pozos de explotación estudiados se ubican al sur del casco urbano (P5, P6 y P7) y otro (P4) al este de la ciudad (Figura 2).



adrenamiento centrípeto que alojan lagunas temporarias o semipermanentes de hasta 50 ha de superficie, producto del afloramiento del nivel freático.

El clima es de transición entre el subhúmedo, que caracteriza a la llanura bonaerense y el semiárido de la región norpatagónica. La precipitación anual media alcanzó para el período (1961-83) los 648 mm (INTA Bordenave) distribuidas en el año en un semestre pluviométricamente lluvioso a fines de la primavera y el verano (octubre-marzo) y uno de escasas precipitaciones en otoño-invierno.

La evapotranspiración potencial según el método de Thornthwaite alcanza los 738 mm anuales; los excesos hídricos factibles de recargar al acuífero se dan principalmente en otoño e invierno, estaciones donde las precipitaciones medias superan a la evapotranspiración potencial.

ASPECTOS HIDROGEOLOGICOS

Desde el punto de vista hidrogeológico, los niveles acuíferos explotables y la zona de aereación están constituidos por limos areno-arcillosos cementados por carbonato de calcio denominados genéricamente "sedimentos pampeanos" (Fidalgo, et. al., 1975). Se trata de sedimentos de naturaleza loésica, del Mioceno superior-Pleistoceno inferior (De Francesco, 1992) de amplia distribución en la región pampeana argentina y que pueden alcanzar hasta los 200 m de espesor.

La composición mineralógica de los sedimentos pampeanos es bastante homogénea de plagioclasas intermedias a básicas, litoclastos de vulcanitas, cuarzo y vidrio volcánico (Teruggi, 1957).

Los minerales de arcilla presentes son illita, caolinita y montmorillonita, prevaleciendo esta última, además de sericita y abundante carbonato de calcio (Rossi, 1996).

El techo de la formación se caracteriza por la presencia de potentes mantos de tosca masiva (2 a 3 m de espesor) que aparecen en posición aflorante o subaflorante en las partes topográficamente altas y están ausentes en los bajos topográficos donde han sido erosionados.

El desarrollo de los suelos está limitado en profundidad a la presencia de la tosca por lo que alcanzan los máximos espesores (1 a 1,5 m) en los bajos topográficos; los suelos dominantes de la zona son Haplustoles énticos con textura franco arenosa fina (INTA, 1989).

La génesis y yacencia de los sedimentos pampeanos da lugar a acuíferos del tipo multicapa cuyo hidroapoyo resulta de muy difícil identificación dado el pasaje transicional de estos sedimentos a las formaciones miocénicas subyacentes. Los ensayos de bombeo realizados con motivo de la realización de las captaciones dieron valores de transmisividad de hasta hasta 150 m²/día para los 75 metros superiores del acuífero y un rendimiento específico Sy de 0,10 a 0,05. La Tabla 1 resume algunos parámetros hidráulicos e hidroquímicos obtenidos de los ensayos realizados en varias localidades de la zona; en el caso de los niveles inferiores no aislados ensayados en Darregueira y Felipe Solá no se descarta algún grado de confinamiento.

La hidrodinámica del sistema está condicionada por la morfología del área, en donde las partes altas actúan como zonas de recarga local de la capa freática y los bajos, como lugar de descarga. Esta dinámica subterránea está sobreimpuesta a un flujo regional, algo más profundo, que con rumbo este-oeste, parte del piedemonte de las Sierras Australes y se dirige hacia las depresiones que bordean la localidad de Guatraché en la provincia de La Pampa.

Desde el punto de vista hidroquímico las aguas subterráneas de la capa freática se caracterizan por presentar altas concentraciones de flúor y arsénico a pesar de su generalmente baja salinidad

(Total Sólidos Disueltos de 0,3 a 2,5 g/l). Las concentraciones de estos elementos, que alcanzan valores de hasta 12 mg/l de fluoruros y 0,15 mg/l de arsénico, se presentan de manera anárquica y frecuentemente independiente de la salinidad y profundidad del nivel acuífero explotado.

Muchos autores han adjudicado este fenómeno a la presencia de ceniza y vidrio volcánico en los sedimentos loésicos (Rossi, 1996; Nicolli et. al., 1985). Las variaciones hidroquímicas espaciales podrían relacionarse al modo de transporte y depositación de la ceniza volcánica, al tipo, composición química y edad de la erupción así como también a la dinámica del agua subterránea y las condiciones climáticas de cada sector. Esta compleja interacción de factores sería responsable de las variaciones hidroquímicas del agua, muy comunes en el sistema acuífero de la región.

Tabla 1. Algunas características hidráulicas e hidroquímicas

de pozos de la zona de estudio

Pozo	Prof. (m)	Nivel ensayado	Q (m ³ /h)	Qs (m ³ /h/m)	C. E. μ S/cm	F (mg/l)
P 4	50	20-50	18	-	-	2,5
P 5	53	15-53	31	2,7	1558	1,7
P 5	83	15-83	18	6,4	1750	1,8
P 6	51	22-50	33	4,2	1650	1,5
P 7	56	21-56	34	3,3	1709	1,6
17 A 1	38	7-38	6	0,6	420	2
17 A 1	58	38-58	5,3	0,3	480	2,5
17 A 2	25	9-25	5,4	0,45	383	0,8
17 A 2	38	25-38	4,5	0,25	375	1,3
FS 1	50	12-50	14	2,2	1163	6
FS 1	85	50-85	12,8	1,9	1454	2,3
FS 1	105	85-105	9	0,4	1505	1,6

Notas : D: Darregueira; 17 A: 17 de Agosto; FS: Felipe Solá; Q: Caudal de bombeo; Qs: caudal específico; C.E.: Conductividad eléctrica del agua; F: Concentración de fluoruros

A modo de ejemplo pueden citarse las variaciones hidroquímicas espaciales observadas en los alrededores de la localidad de 17 de Agosto, en donde sobre un total de 25 pozos censados en inmediaciones del casco urbano, el agua de la capa freática presenta conductividades eléctricas entre 375 a 2.100 S/cm, concentraciones de fluoruros entre 0,8 y 2,5 mg/l y de arsénico entre 0,01 y 0,1 mg/l ; el nivel freático, se ubicó entre 6 y 12 metros de profundidad. En el sector donde se ubican los pozos de explotación para abastecimiento , situado a unos 6 Km al nor-noreste de la localidad, los sedimentos pampeanos están cubiertos por un manto eólico de 1 a 2 m de espesor y constituye un área de recarga preferencial del acuífero freático. Aquí la capa freática, situada a unos 7 m de profundidad, contiene aguas de baja salinidad (total de sólidos disueltos promedio de 350 mg/l) y se verifica un incremento en el contenido de fluoruros en profundidad, que no es acompañado con un aumento en el contenido salino del agua (Tabla 1: Pozos 17 A 1 y 17 A 2); tampoco se observan cambios litológicos ni mineralógicos notables en los sedimentos hasta los 58 m de profundidad. Este fenómeno, adjudicado al mayor tiempo de contacto del agua de los niveles más profundos con los sedimentos que aportan los fluoruros, es común en toda la región pampeana y es el principal factor limitante de la profundidad de las captaciones para abastecimiento humano (Malán, 1983; Malán y Schulz, 1988) .

Las variaciones hidroquímicas espaciales observadas en los alrededores de la localidad de Felipe Solá, situada a solo 15 Km al este-sudeste de 17 de Agosto, son notablemente diferentes a las anteriores, especialmente en profundidad. En un radio de 10 Km de la localidad se censaron 20 pozos en la capa freática, registrándose niveles ente 5 y 15 m de profundidad, conductividades

eléctricas del agua entre 850 y 1.340 S/cm, concentraciones de fluoruros entre 2,2 y 7,7mg/l y de arsénico entre 0,04 y 0,08 mg/l.

Un pozo exploratorio de 105 m de profundidad ubicado en el mismo ejido urbano de la localidad acusó notables variaciones en las concentraciones de fluoruros en profundidad (Tabla 1 Pozo FS 1) registrándose un fuerte decrecimiento de las mismas con un leve aumento de la salinidad, una litología algo más fina y menor transmisividad de los niveles ensayados; un pozo similar, realizado a unos 10 Km al noroeste, verificó el mismo fenómeno.

Dentro del marco hidrogeológico descrito y con relación a las variaciones en la concentración de fluoruros, merecen remarcarse los siguientes aspectos: a) no se observan variaciones litológicas de importancia en los perfiles de los pozos excepto la presencia entre los 81 y 85 m de profundidad de un nivel más arcilloso en el pozo FS 1, b) no se verifican variaciones notables en los registros de resistividad normal corta y larga ni en el de potencial espontáneo de los perfilajes eléctricos, excepto en el mencionado nivel y en el registro de una resistividad aparente menor a partir de los 93 metros de profundidad en FS 1, c) los sondeos eléctricos verticales realizados en el área solo denotan una capa de menor resistividad aparente ($< 10 \text{ ohm. m}$) por debajo de los 90-95 m ; la zona saturada por encima de dicha profundidad obseva valores entre 10 y 20 ohm.m , d) aunque este nivel más profundo no ha sido adecuadamente ensayado, no se descarta un grado de confinamiento de los niveles acuíferos inferiores y e) conforme al conocimiento hidrogeológico regional la recarga de dicho nivel se ubicaría en un lugar distante de Felipe Solá, en dirección al positivo de las Sierras Australes.

Observaciones muy similares a las descritas para el pozo FS 1 se habrían verificado en pozos exploratorios realizados en la Colonia Santa María y en la Colonia Santa Teresa en la provincia de La Pampa, a unos 70 Km al noroeste de Felipe Solá (Schulz, comunicación verbal).

DARREGUEIRA: ESTUDIO DE UN CASO

La localidad de Darregueira (6.000 habitantes) se ubica a unos 30 y 45 Km al noroeste de 17 de Agosto y Felipe Solá respectivamente. Hasta 1994 el abastecimiento de agua potable a la ciudad se realizaba mediante la explotación de tres pozos de 50 metros de profundidad ubicados al este de la ciudad que extraían de la capa freática, por bombeo, unos $1.000 \text{ m}^3/\text{d}$. En 1993 el SPAR asesoró la construcción de un cuarto pozo (P4) con las mismas características, en el predio donde se localiza el tanque elevado de distribución. El agua de estos pozos es del tipo clorurada-bicarbonatada sódica, ($\text{Cl} = \text{CO}_3\text{H} > \text{SO}_4$; $\text{Na} \gg \text{Ca} > \text{Mg} \gg \text{K}$), tiene una salinidad media de unos 1.100 mg/l, una concentración de fluoruros promedio de 3,3 mg/l y de 0,05 mg/l en arsénico; el exceso de fluoruros se trataba mediante una planta de intercambio iónico.

En 1993 y como resultado de un nuevo estudio hidrogeológico destinado a localizar nuevas áreas de explotación, se identificó un sector de la capa freática, de forma aproximadamente lenticular, ubicado a unos 2 Km al sureste de la localidad, donde se construyeron tres nuevos pozos de explotación (Pozos P5, P6 y P7); el límite del área de explotación lo constituye la isolínea de 2 mg/l de fluoruros por ser este elemento el factor limitante de la potabilidad del agua, Figura 2.

Un cálculo estimativo de la recarga por infiltración del agua de lluvia que recibe dicho sector, puede efectuarse asumiendo un área de unos 12 Km^2 y un valor de infiltración eficaz de unos 65 mm (un 10% de las precipitaciones del período 1961-1983) Carrica, 1993. Estas cifras arrojan una recarga de $780.000 \text{ m}^3/\text{año}$, volumen superior al consumo anual medio de la ciudad de Darregueira (estimado en unos $450.000 \text{ m}^3/\text{año}$, con picos máximos de $1.850 \text{ m}^3/\text{d}$ en verano y mínimos de $850 \text{ m}^3/\text{d}$ en invierno).

Los pozos de explotación tienen 50 metros de profundidad y cada uno extrae unos $35 \text{ m}^3/\text{h}$ de la capa freática cuyo nivel se ubica entre los 4 y 6 m de profundidad. Un primer pozo

exploratorio (correspondiente al pozo de explotación P5) permitió elaborar sintéticamente el siguiente perfil litológico correspondiente a los denominados sedimentos pampeanos:

0 a 1,60 m	suelos y paleosuelos limo arenosos con abundante materia orgánica vegetal
de 1,60 a 3,00 m	niveles de tosca masiva compactos - semicompactos
de 3,00 a 6,50 m	limo arcilloso con cemento calcáreo, compacto.
de 6,50 a 33 m	limo arenoso, algo arcilloso, pardo rojizo, con abundante cemento calcáreo
de 33 a 42 m	limo arcilloso con escasa cementación calcárea

de 42 a 56 m	limo arenoso, pardo rojizo, poco compacto.
de 56 a 62 m	idem anterior, más arcilloso
de 62 a 77 m	limo arenoso, cementado, muy compacto
de 77 a 83 m	limo arcilloso, pardo rojizo, con escaso cemento calcáreo

El perfilaje eléctrico del pozo permitió distinguir dos sectores de menor resistividad (< 15 ohm.m) entre los 33 y 42 m y por debajo de los 75 m, coincidentes con una litología más fina del loess; el comportamiento hidráulico de estos niveles podría ser más acuitado que acuífero, pero el fenómeno no fue comprobado.

Los ensayos de bombeo a pozo desnudo dieron como resultado transmisividades de 65 y 150 m²/d y un Sy de 0,13 y 0,08 para los niveles ubicados entre los 15 y 53 m y 15 y 83 metros respectivamente; también se verificó un leve incremento de la salinidad y de la concentración de fluoruros en este último tramo (Tabla 1 pozo P5) por lo que se decidió limitar la profundidad de los pozos de explotación definitivos a 50 metros.

Los tres nuevos pozos de explotación emplazados a unos 500 m uno de otro entraron en servicio a fines de 1994, fecha a partir de la cual se efectúa un monitoreo hidrodinámico e hidroquímico con frecuencia aproximadamente trimestral.

RESULTADOS

El análisis de la información hidroquímica permitió constatar variaciones hidroquímicas estacionales íntimamente relacionadas con la ocurrencia y magnitud de las precipitaciones que producen la recarga del acuífero. Así es como, coincidentemente con el año hidrológico, la recarga se produce generalmente en otoño momento en el cual los niveles freáticos ascienden y la salinidad del agua decrece por dilución con el agua de infiltración reciente (Figura 3).

La magnitud de la explotación del recurso parece no alterar, al menos sustancialmente, las condiciones impuestas por el año hidrológico natural, en todo caso podría acentuar el déficit hídrico estival por concordancia con la mayor demanda de agua de la población.

La Figura 3 muestra, a través del tiempo, las variaciones hidroquímicas estacionales del agua en cada uno de los pozos y la relación inversa que existe entre la lluvia mensual y el Total de Sólidos Disueltos (TSD) del agua. El incremento de salinidad del agua se da junto con el de todos los iones mayoritarios y secundarios a excepción de los fluoruros y el nitrato, mientras que el arsénico observa un comportamiento algo más estable pero errático (varía entre 0,02 y 0,05).

La relación inversa observada entre el TSD y la concentración de fluoruros en el agua indicaría que la fuente de aporte de fluoruros al agua se situaría en la zona de aereación (que en este caso tiene solo 5 a 6 metros de espesor) y/o en los primeros metros de la zona saturada del acuífero, pues su concentración aumenta cuando existe recarga y dilución del agua del acuífero. Esta apreciación se vería ratificada por el comportamiento de los nitratos, que en general, acompaña a los fluoruros y cuyo principal origen es la oxidación de la materia orgánica del suelo.

La concentración de nitratos de los pozos de explotación fluctúa entre 4 y 22 mg/l con una media de 12 mg/l, concentraciones que se consideran naturales para las aguas de la región (Bonorino et. al., este Congreso).

La Figuras 4 y 5 muestran la relación temporal entre las concentraciones de cloruros y fluoruros y estos últimos con los nitratos en el agua del pozo P4; se aprecia claramente la relación inversa entre Cl - F y la directa entre el F y los NO₃ a través del tiempo.

El agua del pozo P7 ha sido catalogada en dos oportunidades como "químicamente no potable" por exceder el límite tolerable de concentración de fluoruros (2 mg/l) según las normas de calidad para consumo humano de la Administración General de Obras Sanitarias de la Provincia de Buenos Aires ,lo que llevó a sacar temporalmente de servicio al pozo en cuestión.

Sobre 20 análisis químicos del agua del pozo P7, realizados entre noviembre de 1994 y febrero de 1999 , en dos análisis correspondientes a los meses de abril de 1995 y marzo de 1998, se determinó que el contenido en fluoruros sobrepasó el límite tolerable dispuesto por la legislación vigente, en ambos casos se midió un tenor de 2,1 mg/l ; la concentración promedio de fluoruros del agua del pozo fue de 1,77 mg/l (con un máximo de 2,1 mg/l y un mínimo de 1,5 mg/l).

A modo ilustrativo se indica que el máximo nivel de contaminación establecido para los fluoruros en el agua de consumo humano en los EEUU es de 4 mg/l (Gorelick, et.al., 1993, Appendix D; Langmuir, 1997, pág 306).

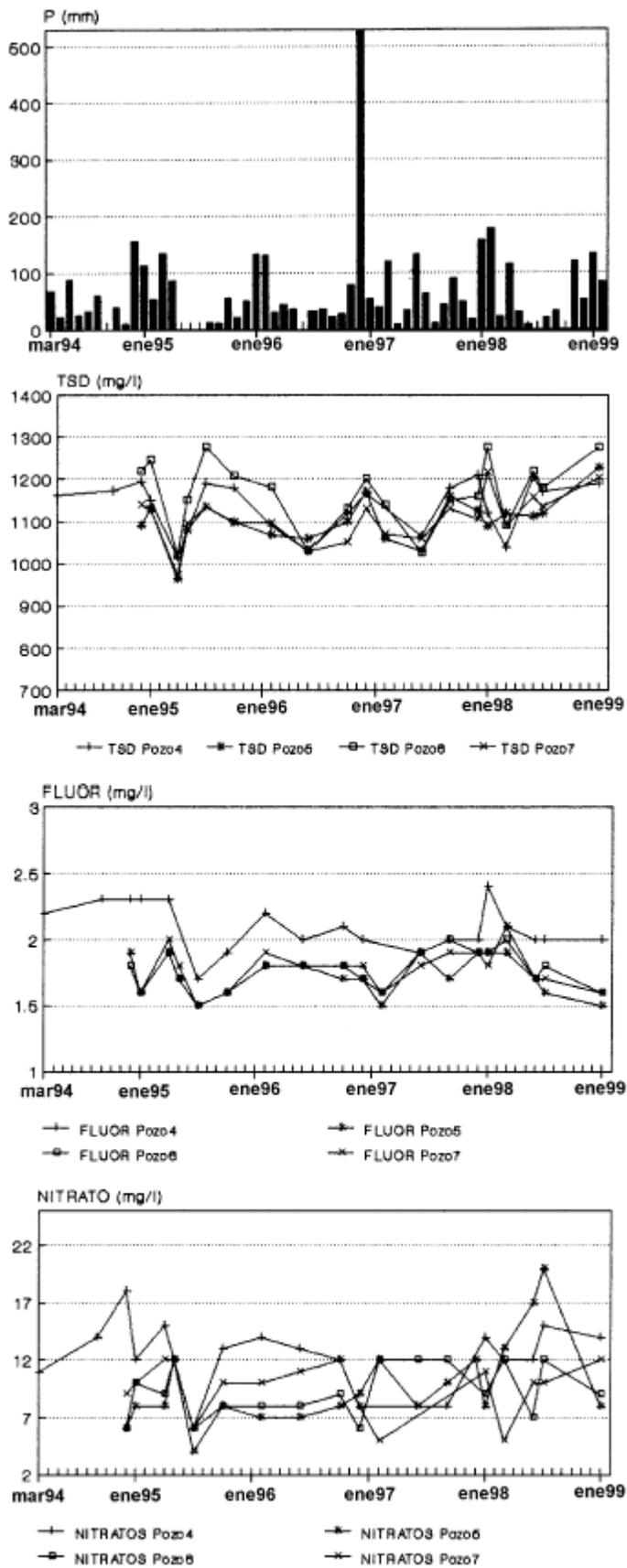


Figura 3.

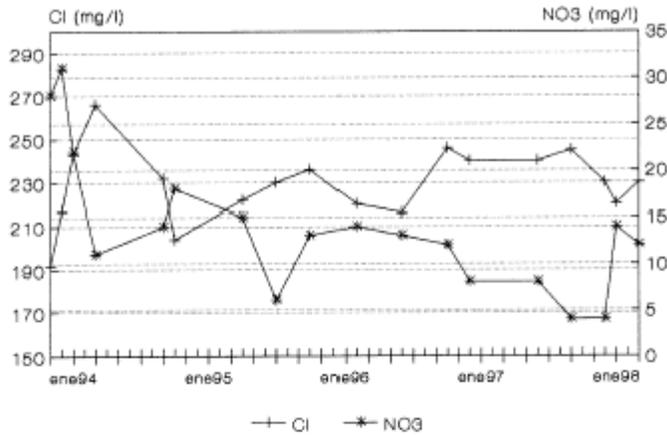


Figura 4. Cloruros y nitratos pozo de explotación P4 - Darregueira -

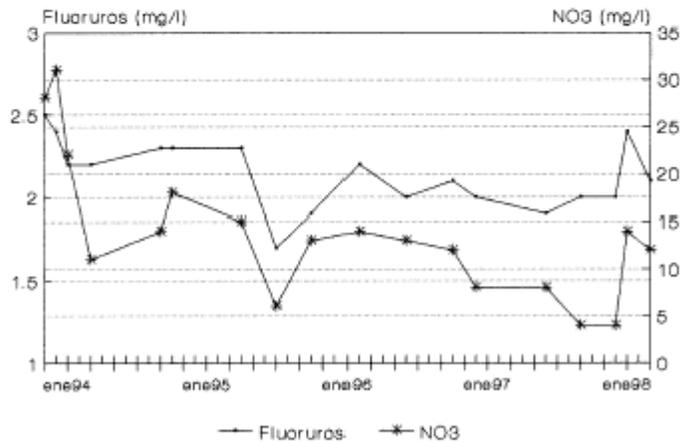


Figura 5. Fluoruros y nitratos pozo de explotación P4 - Darregueira -

-CONCLUSIONES

El agua del acuífero freático de la región presenta, en general, altas concentraciones de flúor y arsénico, siendo éste el principal factor limitante de su potabilidad. Tales concentraciones se presentan sin seguir un patrón de distribución areal particular y con frecuencia, en forma independiente de la salinidad y profundidad del nivel acuífero explotado, fenómeno que estaría relacionado con la ocurrencia y geoquímica de la fuente de aporte de aquellos, la hidrodinámica subterránea de cada sector y las variaciones climáticas. La compleja interacción de todos estos factores sería responsable de las frecuentes alteraciones hidroquímicas del sistema acuífero.

Las variaciones hidroquímicas temporales que se observan en el agua de los pozos de abastecimiento a Darregueira son de pequeña magnitud y de carácter estacional. La causa se adjudica a cambios en la relación recarga-descarga natural del sistema y a la intensidad de la explotación del recurso, especialmente en verano.

La relación inversa observada entre salinidad y la concentración de fluoruros y de nitratos en el agua de los pozos indicaría que la fuente de aporte de fluoruros se encuentra en la zona de aereación y/o en la porción superior de la zona saturada del acuífero.

En el caso particular del pozo de explotación P7, se han detectado, en dos ocasiones concentraciones de fluoruros superiores al límite tolerable establecido por las normas de calidad para el agua de consumo humano (2 mg/l) y el pozo ha sido puesto fuera de servicio. En estos casos, y en particular, donde el recurso hídrico natural es escaso y las alternativas de tratamiento del agua económicamente limitadas, se sugiere implementar una metodología de clasificación basada en análisis químicos periódicos que permitan definir la potabilidad en función de una composición media anual. El método solo sería aplicable a los elementos químicos que pueden causar efectos nocivos para salud mediante una ingesta prolongada y que presenten variaciones de concentración próximas a los contenidos máximos permisibles.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Carrica, J., 1993. Balshort: un programa de balance hidrológico diario del suelo aplicado a la región sudoccidental pampeana. XII Congreso Geológico Argentino, Actas (6): 243-248. Buenos Aires.

De Francesco, F. O., 1992. Estratigrafía del cenozoico en el flanco occidental de las sierras de Curamalal, Sierras Australes bonaerenses. 3ras. Jornadas Geológicas Bonaerenses, Actas:3-12. La Plata.

Fidalgo, F., De Francesco, F. y Pascual, R., 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense. VI Congreso Geológico Argentino, Relatorio Geología de la provincia de Buenos Aires:103-138. Buenos Aires.

González Uriarte, M. y Navarro, E., 1995. Caracterización geomorfológica de la cuenca de las lagunas Encadenadas del Oeste. 4tas. Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Actas (1):205-203. Junín.

Gorelick, S., Freeze, A., Donohue, D. and Keely, J., 1993. Groundwater contamination. Optimal Capture and containment. 385 p., Lewis Publishers, Florida.

INTA, 1989. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires, escala 1:500.000. 525p. Buenos Aires.

Langmuir, D., 1997. Aqueous environmental geochemistry. 600 p. , Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Malán, J., 1983. Estudio hidrogeológico para abastecimiento de agua potable a la localidad de General Pico, Departamento Maracó, provincia de La Pampa. Coloquio Hidrología de Grandes Llanuras, Tomo 3: 1466-1475. Olavarría.

Malán, J. y Schulz, C., 1988. Estudio hidrogeológico para la provisión de agua potable a Quemú-Quemú, La Pampa. 2das. Jornadas Geológicas Bonaerenses, Actas: 567-578. Bahía Blanca.

Nicolli, H., O'Connor, T., Suriano, J., Koukharsky, M., Gomez Peral, M., Bertini, L., Cohen, I., Corradi,

L., Baleani, O. y Abril, E., 1985. Geoquímica del arsénico y de otros oligoelementos en aguas subterráneas de la llanura sudoriental de la provincia de Córdoba. Academia Nacional de Ciencias, Miscelanea 71, 112p., Córdoba.

Rossi, S. Patricia, 1996. Evolución hidrogeoquímica del agua subterránea en la cuenca superior del arroyo Chasicó, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctor en Geología, Universidad Nacional del Sur, 125 p. (inédito).

Teruggi, M., 1957. The nature and origin of argentine loess. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 27 (3):322-332.