

7

Importancia de los acuíferos en ambiente medanoso en la región semiárida pampeana

Eduardo E. Mariño y Carlos J. Schulz

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa
Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de La Pampa

@ [emarinio@exactas.unlpam.edu.ar; cjschulz@cpenet.com.ar].

Resumen

Los acuíferos alojados en ambiente medanoso son los principales recursos hídricos con que cuenta la provincia de La Pampa para el abastecimiento de agua destinada al uso urbano y rural.

El presente trabajo presenta una evaluación cuantitativa y cualitativa del recurso hídrico disponible en dos de los principales cuerpos de agua subterránea de la provincia de La Pampa, como son los acuíferos denominados "del valle Argentino" y "de General Pico-Dorila".

El aspecto cuantitativo se basó en la interpretación de los diversos datos recopilados de estudios anteriores, mientras que la caracterización hidroquímica insumió la obtención y análisis de muestras y la determinación, en base a los resultados analíticos, de la aptitud del agua subterránea para consumo humano, ganadero y uso para riego.

Se concluye que ambas áreas poseen recursos hídricos subterráneos muy significativos, en cantidad y calidad, y que esta disponibilidad se relaciona con la existencia de ambientes medanosos. Surge además que el aprovechamiento sustentable de estos sectores acuíferos requiere una planificación y gestión adecuada que contemple la sensibilidad propia de los sistemas hídricos en las zonas semiáridas.

Palabras clave: Acuífero - Ambiente medanoso - Consumo - Zonas semiáridas.

Importância dos aquíferos no ambiente de dunas na região semi-árida pampeana

Resumo

Os aquíferos localizados em ambiente de dunas são os principais recursos hídricos com que conta a província de La Pampa para o abastecimento de água destinada ao uso urbano e rural.

O presente trabalho apresenta uma avaliação quantitativa e qualitativa do recurso hídrico disponível em dois dos principais corpos de água subterránea da província de La Pampa, como são os aquíferos denominados "do vale Argentino" e "de General Pico-Dorila".

O aspecto quantitativo baseou-se na interpretação dos diversos dados compilados de estudos anteriores, enquanto que a caracterização hidroquímica teve como insumos a obtenção e análise de mostras e a determinação, com base em resultados analíticos, da aptidão da água subterrânea para consumo humano, do gado e uso para irrigação.

Conclui-se que ambas as áreas possuem recursos hídricos subterráneos muito significativos, em quantidade e qualidade, e que esta disponibilidade relaciona-se com a existência de ambientes de dunas. Além disso, constata-se que o aproveitamento sustentável desses setores aquíferos requer um planejamento e uma gestão adequada que contemple a sensibilidade própria dos sistemas hídricos nas zonas semi-áridas.

Palavras-chave: Aquífero - Ambiente de dunas - Consumo - Zonas semi-áridas.

Importance of the aquifers located in sand dune environments in the semi-arid region of the province of La Pampa

Abstract

Aquifers allocated in sand dune environments are the main water resource for urban and rural water supply in the province of La Pampa.

This contribution presents a quantitative and qualitative evaluation of the hydrologic resources available in two of the main groundwater bodies in the province of La Pampa. These are commonly referred to as the "Valle Argentino aquifer" and the "General Pico-Dorila aquifer".

Quantitative study was based on the interpretation of data compiled in earlier studies. Hydrochemical characterization entailed the gathering and analysis of samples and the assessment -based on analytical data- of water aptitude for human and livestock consumption and for its use in irrigation. The two areas carry very significant groundwater resources, in both quantity and quality. Such availability is related to the existence of sand dune environments. It is suggested that the sustainable use of these aquifers requires adequate planning and management that contemplate the sensitivity inherent to aquifers systems in semi-arid regions.

Key words: Aquifers - Dune - Consumption - Semi-arid regions.

Introducción

Los acuíferos alojados en ambiente medanoso son los principales recursos hídricos con que cuenta la provincia de La Pampa para el abastecimiento de agua destinada al uso urbano y rural. Las acumulaciones arenosas crean condiciones favorables para la infiltración del agua de lluvia, fuertemente condicionada por el marco climático; sus propiedades hidráulicas permiten una explotación con rendimientos superiores a los obtenidos en otros ámbitos y además incrementan localmente la posibilidad de

acceder a agua de mayor aptitud para distintos usos. Estas cualidades dan lugar a su selección como los sitios preferenciales para la ubicación de obras de captación. Sin embargo, dichos medios son sensibles al régimen de explotación y cuando éste es inadecuado se produce un marcado deterioro cuantitativo y cualitativo del recurso. Por ello resulta comprensible que buena parte del trabajo de los hidrogeólogos se oriente al estudio de estos sistemas hídricos.

El presente trabajo toma como casos de estudio a dos sectores de los acuíferos denominados “del valle Argentino” y “de General Pico-Dorila”, que son dos de los principales cuerpos de agua subterránea de la provincia de La Pampa (Giai y Tullio, 1998), con el objetivo de presentar una evaluación cuantitativa y cualitativa del recurso hídrico disponible en cada uno de ellos.

El acuífero del valle Argentino provee de agua potable a General Acha y también se abastecen otras localidades menores, lo que totaliza unos 21.700 usuarios (Schulz, 2004). Asimismo, del acuífero de General Pico-Dorila depende el abastecimiento doméstico e industrial de General Pico, que, con casi 60.000 habitantes, es la segunda localidad más importante del territorio provincial. Ambos acuíferos satisfacen además el consumo ganadero en los establecimientos rurales de sus respectivas zonas de influencia. La aplicación de riego complementario es una actividad de desarrollo incipiente en la provincia de La Pampa y aún escaso en ambas áreas de estudio. Sin embargo, la progresiva aparición de potenciales usuarios, justifica comenzar a considerar esta alternativa en los estudios básicos sobre calidad de agua.

Caracterización de las áreas de estudio

Acuífero del valle Argentino

La caracterización de este sector surge de numerosos trabajos antecedentes, entre los que cabe destacar a Cavalié (1985), Castro y Tullio (1990), Schulz (2004), Dornes y Schulz (2001) y Schulz *et al.* (1997, 1998, 1999 y 2002).

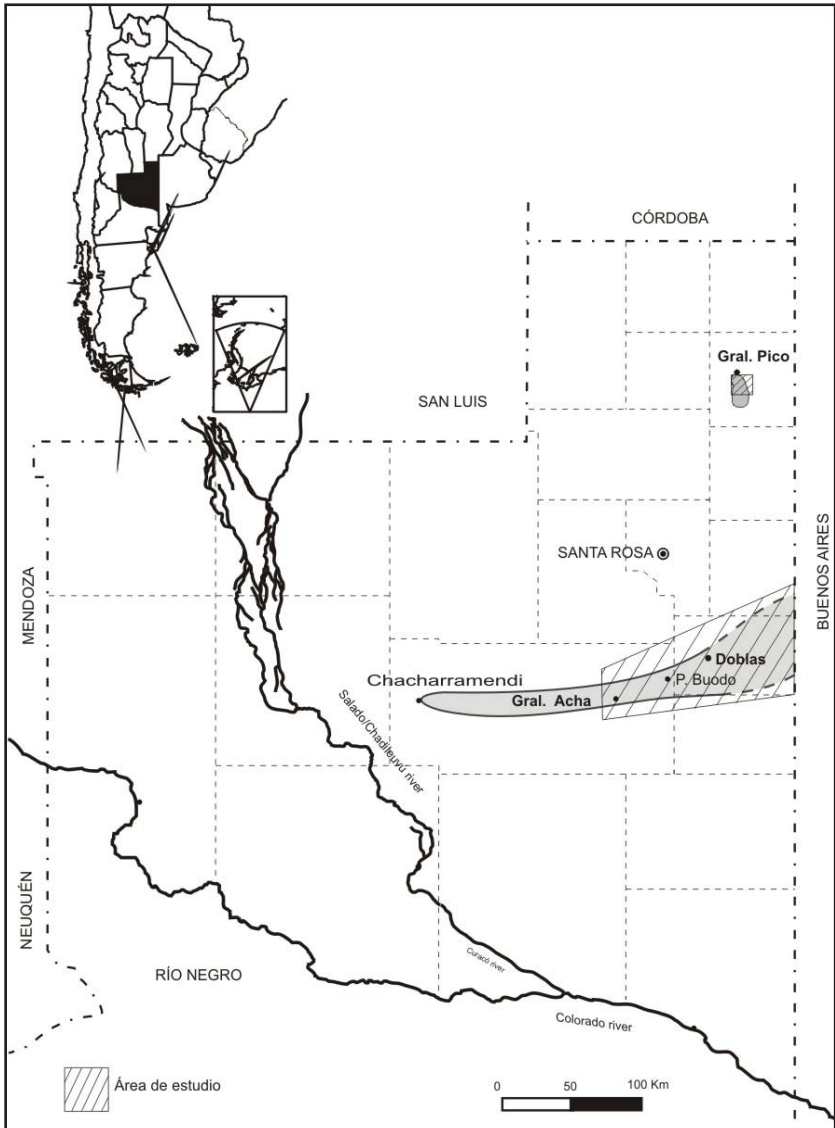
El valle Argentino se sitúa en la región central de la provincia de La Pampa (Figura N° 1), en una faja transicional entre la región subhúmeda

y semiárida. Las precipitaciones registradas en General Acha alcanzan a una media anual de 521 mm, para el período 1921-2003. La evapotranspiración potencial anual calculada por el método de Thornthwaite, para la localidad mencionada y para el período 1976-1995, asciende a 786 mm (Schulz, 2004).

El valle es una unidad geomorfológica que se extiende en la provincia de La Pampa, desde aproximadamente Chacharramendi en el Oeste, internándose en la provincia de Buenos Aires hacia el Este. Se trata de una depresión de un ancho, que se incrementa hacia el este, de entre 3 y 18 km. Su extensión longitudinal, con una dirección aproximada ENE-OSO, alcanza unos 210 km, presentando un desnivel topográfico que llega a superar los 50 metros, con respecto a la planicie que lo limita. Su característica morfológica principal es la presencia de un cordón medanoso central que lo divide, conformando lateralmente dos sectores deprimidos, conocidos localmente como los valles de General Acha, al Sur, y de Utracán, al Norte. Ambos valles están parcialmente ocupados por un conjunto de lagunas o salitrales, dependiendo esas características del ciclo hidrológico (Schulz *et al.*, 1999).

La hidrogeología del valle está en estrecha dependencia con la geomorfología, ya que mientras el cordón medanoso central actúa como área de recarga, los salitrales, lagunas y bajos laterales lo hacen como sectores de descarga. El agua subterránea se aloja en la secuencia clástica consistente en un manto arenoso, de hasta 15 metros de potencia, debajo del cual aparecen los limos arenosos del pampeano, que presentan intercalaciones de niveles arcillosos y calcáreos. El espesor total de los sedimentos se incrementa, hacia el este, de 150 a 250 m, ya que, subyaciendo al pampeano, aparecen las formaciones propias de la cuenca de Macachín (Mariño *et al.*, 2002). Esta secuencia muestra un efecto de drenaje diferido, con una transmisividad que normalmente varía entre 2 y 34 m²/día, aunque pueden registrarse valores más elevados en los tramos superiores, y un coeficiente de almacenamiento de 1×10^{-3} . La profundidad del nivel freático se sitúa entre un mínimo de 7 m, en el cordón medanoso, y un máximo de 100 m en la planicie. Los caudales que pueden extraerse alcanzan a 25 m³/h, en perforaciones de 150 metros de profundidad, aunque el uso de sistemas no convencionales (trincheras) permitió extraer hasta 90 m³/h (Schulz, 2004).

Figura N° 1. Ubicación de las áreas de estudio.



Acuífero de General Pico-Dorila

El área cuenta con numerosos estudios hidrogeológicos, inicialmente orientados a establecer la posibilidad de obtener agua subterránea para abastecer a la localidad de General Pico (Malán, 1983) y luego dedicados a profundizar el conocimiento del sistema (Consultora A.H. Risiga y Asociados, 1988; Mariño y Bonorino, 1996; Mariño, 2003 y Mariño y Dalmaso, 2003).

El área se ubica en el noreste de la provincia de La Pampa (Figura N° 1) y tiene un régimen climático subhúmedo seco (Cano *et al.*, 1980). Según datos del campo anexo del INTA en General Pico (Estación Experimental Agropecuaria Anguil, comunicación escrita), la precipitación media anual para el período 1921-2000 de 716,1 mm y la temperatura media anual para el período 1961-2000, es de 15,8°C, siendo la máxima media de 22,7°C y la mínima media 8,9°C.

Presenta un relieve suavemente ondulado dado por la alternancia de planicies arenosas y depresiones suaves que se completa con médanos aislados, bajos inundables y lagunas temporarias. Una geoforma medanosa elevada y elongada en sentido NNW-SSE, constituye el área de recarga del acuífero libre (Malán, 1983) y determina una divisoria de drenaje subterráneo a partir de la cual la circulación se produce hacia el este y suroeste, donde aparece una zona de descarga local.

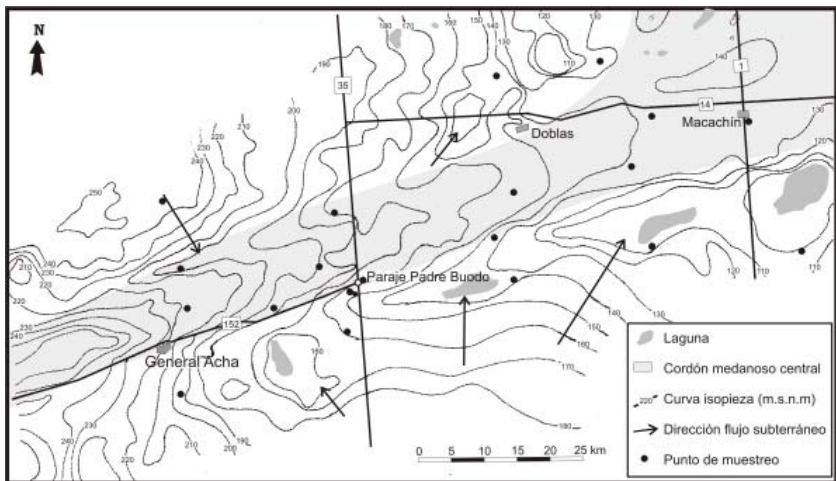
El acuífero libre puede dividirse, según las variaciones sedimentológicas, en una sección superior alojada en una capa arenosa eólica y en otra subyacente, en sedimentos loésicos. Estas secciones tienen características hidráulicas bien diferenciadas pero están conectadas hidráulicamente. Según los ensayos de bombeo realizados por Malán (1983), la permeabilidad promedio del acuífero alojado en el nivel arenoso superior es de 20 m/día, el rendimiento específico del 11%, y el espesor saturado oscila entre los 3 y 6,50 metros. El acuitardo conformado por el nivel limo-arenoso posee una permeabilidad promedio de 2 m/día y un coeficiente de almacenamiento de 2×10^{-3} . La profundidad del nivel freático no supera los 4 metros y los caudales que pueden obtenerse están en el orden de los 15 m³/h, para perforaciones de unos 25 metros de profundidad.

Metodología

Para ambos casos de estudio se realizó una evaluación de las reservas y recursos disponibles y de la calidad del agua subterránea para distintos usos. El aspecto cuantitativo se basó en la interpretación de los diversos datos recopilados de los estudios anteriores, mientras que la caracterización hidroquímica insumió la obtención y análisis de muestras, mayormente provenientes de perforaciones de establecimientos rurales de cada una de las áreas.

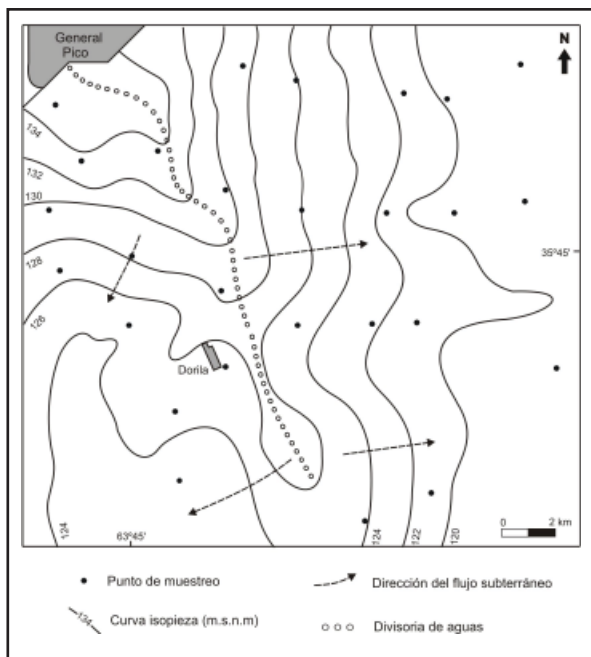
En el acuífero del valle Argentino se muestrearon 22 puntos, tres de los cuales son pozos de abastecimiento a las localidades de General Acha, Rolón y Macachín. Su distribución espacial se orientó a caracterizar los distintos ambientes geomorfológicos del área, partiendo de la hipótesis de la incidencia de tales condiciones sobre la calidad del agua subterránea. El sector analizado tiene una longitud, en dirección Norte-Sur, de 58 km y de 130 km en el sentido longitudinal del valle, extendiéndose desde la ciudad de General Acha hasta el límite con la provincia de Buenos Aires (Figura N° 2).

Figura N° 2. Acuífero del valle Argentino.



En el acuífero de General Pico-Dorila se obtuvieron 27 muestras de agua subterránea distribuidas en 4 transectas orientadas en el sentido del flujo subterráneo y cubriendo una superficie de unos 400 km² (Figura N° 3).

Figura N° 3. Acuífero de General Pico-Dorila.



Los análisis químicos se realizaron según técnicas convencionales, mediante un espectrofotómetro de barrido en espectro visible y consistieron en la determinación de residuo seco, conductividad eléctrica, pH, alcalinidad, dureza, iones principales, nitratos, fluoruros y arsénico.

La evaluación de la calidad para consumo humano se basó en los límites adoptados por la Administración Provincial del Agua. La calificación para uso ganadero resulta de especial importancia, ya que las perforaciones consideradas son utilizadas preferentemente para la bebida del ganado vacuno, y se realizó de acuerdo a las clases propuestas por Bavera *et al.* (1979), quienes consideran los tenores de sales totales, cloruros, sulfatos, magnesio y nitratos y discriminan su aptitud para animales de cría y de tambo-inverne. Se debe tener en cuenta que cualquier límite adoptado no puede considerarse como absoluto debido a la multiplicidad de factores que inciden en el efecto que el agua ingerida tendrá sobre los animales, como son: la variación estacional de los consumos, el tipo de forraje suministrado y el tiempo y

grado de adaptación del ganado a aguas de determinada composición. Las clases de agua para riego se obtuvieron con el método del U.S. Salinity Laboratory Staff (1954) basado en la conductividad eléctrica y en la “relación de adsorción de sodio (R.A.S.)”. Esta categorización permite mensurar dos peligros potenciales, el de salinización y el de sodificación del suelo. Debe considerarse que en un emprendimiento de riego, la aptitud del agua debe ponderarse conjuntamente con las condiciones climáticas, edáficas y geomorfológicas del área en cuestión, con las características del cultivo a regar y con el sistema y dotación de riego.

Evaluación del recurso en el acuífero del valle argentino

Aspectos cuantitativos

Una estimación de reservas para el sector analizado, circunscripta sólo al cordón medanoso central, arroja un valor de unos 180 hm³, resultantes de adoptar un área de 1200 km², un espesor saturado medio de 150 m y un coeficiente de almacenamiento de 1.10⁻³. Los recursos disponibles en dicha zona estarían en un rango entre 12,5 y 50 hm³/año, según resulta de aplicar los valores de recarga calculados por diferentes métodos (Schulz, 2004).

El abastecimiento urbano de todas las localidades que se sirven del acuífero insumiría actualmente entre 1,2 y 1,5 hm³/año, asumiendo un consumo de 150 l/d por habitante. El uso rural más significativo es el destinado a la bebida del ganado vacuno, cuya demanda rondaría 6,6 hm³/año (Schulz, 2004). El requerimiento total actual representa casi un 65% del menor valor estimado para los recursos disponibles.

Calidad del agua

La clasificación de las muestras en facies hidroquímicas determina que un 41,6% son sulfatadas o cloruradas sódicas, un 45,8% son sulfatadas o cloruradas mixtas y sólo el 16,6% son bicarbonatadas mixtas. Los valores extremos, el promedio y el desvío estándar de algunas de las variables hidroquímicas se consignan en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1. Promedio y rango de los principales parámetros hidroquímicos. Los valores están en mg/l, excepto conductividad eléctrica (CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$).

	VALLE ARGENTINO			GRAL. PICO-DORILA		
	Min.	Max.	Media	Min.	Max.	Media
Residuo Seco	255	5.930	1.364,70	351	5.481	1.565,5
CE	340	8.720	1.948,61	432	6.462	1.881,0
Alcalinidad	140	948	402,87	240	1.312	660
Dureza total	92	2.088	398,40	24	620	228,4
Cl⁻	35	3.452	509,78	16	1.200	225,0
SO₄⁻²	5	1.440	292,00	13	1.697	283,0
NO₃⁻	2	59	18,78	4,8	194,3	46,6
F⁻	0,00	3,00	1,13	0,76	20	4,56
As	0,00	1,00	0,04	0,01	2,8	0,489

Al considerar la calidad del agua para humano surge que el 22,7% de las muestras presenta valores de residuo seco y sulfatos que exceden los límites recomendados (2.000 y 300 mg/l respectivamente), tratándose de las mismas muestras en ambos casos. La mitad de ellas superan también el límite para cloruros (700 mg/l). Los contenidos de flúor y arsénico no constituyen una limitante de importancia, ya que únicamente en tres muestras se registran valores elevados. Otras tantas se exceden en sus tenores de nitratos.

En cuanto a la aptitud para consumo ganadero, se registra un claro predominio (45,5% de las muestras) de aguas débilmente mineralizadas que hacen necesario el suministro de suplementos minerales, tanto para animales de cría como de tambo-inverne. Las perforaciones con esta característica se concentran especialmente en el cordón medanoso central, en el sector de que se extiende entre General Acha y Padre Buodo. Un porcentaje similar de muestras se agrupa en tres categorías que van desde muy buena hasta aceptable para los dos tipos de ganado mencionados.

Considerando su calidad para riego, un 68,2% de las muestras corresponden a las clases C2 y C3, que representan un peligro de salinización moderado a medio. Pueden aplicarse en suelos con permeabilidad de moderada a buena y a cultivos con tolerancia media a las sales. Para la clase C3 deben realizarse, regularmente, riegos de lavado. Desde el punto de vista del peligro de sodificación, las muestras pertenecen a las clases S1 y S2, que no implican riesgo especialmente en suelos de textura gruesa. Las perforaciones

con aguas de tipo C2-S1 se concentran en el sector medanoso entre General Acha y Padre Buodo.

Problemática actual

El área estudiada no presenta problemas originados por la demanda actual o derivados de una inadecuada calidad para los usos que se contemplaron. Si bien se detectaron indicios de contaminación, reflejados por aumentos en los valores de nitrato, los mismos son incipientes y de carácter puntual (Fernández y Mariño, 2002). No obstante, se ha llamado la atención sobre la necesidad de implementar un denominado “Plan director de los recursos hídricos del valle Argentino” (Schulz, 2004) que asegure una gestión eficiente y sustentable del agua subterránea.

Evaluación del recurso en el acuífero de General Pico-Dorila

Aspectos cuantitativos

Las reservas totales del denominado “acuífero de General Pico-Dorila” fueron calculadas por Malán (1983) considerando que por restricciones impuestas por la calidad del agua para consumo humano, la explotación podía realizarse en una superficie de 71,4 km² y en un espesor de 21 metros, 6 de los cuales se desarrollan en el nivel arenoso superior y el resto en la Formación Cerro Azul. Estudios exploratorios posteriores del mismo autor demostraron que el área de extracción podía extenderse a unos 90 km², con lo cual las reservas totales ascenderían a 81 hm³.

Con relación a los recursos disponibles, en función de lo propuesto por Malán (1983) resultaría posible la extracción anual de un volumen de 2,25 hm³ (6.164 m³/d), equivalente a una lámina media anual de 25 mm. Sin embargo, adoptando posteriores estimaciones de la recarga (Mariño y Bonorino, 1996; Giai y Hernández, 1999; Mariño y Dalmaso, 2003; Mariño, 2004), estos recursos podrían incrementarse significativamente.

Considerando únicamente el abastecimiento urbano a General Pico y de acuerdo a los datos mensuales de macromedición suministrados por COR-PICO para el período 2000-2002, la producción de agua promedio por día

fue de 8.566,61 m³. El consumo promedio es de 522 litros, por día y por usuario (entendiéndose que cada usuario corresponde a una conexión), con picos de hasta 700 litros, por día y por usuario, en el mes de diciembre.

La demanda en el ámbito rural se limita actualmente a la bebida del ganado, predominantemente vacuno, que en el área estudiada sería de unos 37.000 animales, si se adopta una media de 0,94 cabezas/hectárea (Censo Nacional Agropecuario, 2002, comunicación escrita). Con dicho stock ganadero y un consumo medio diario por animal de 60 l, la demanda anual sería de 0,81 hm³. El requerimiento total anual (de unos 4 hm³) supera los recursos calculados por Malán, lo que refleja, aun cuando éstos puedan ser mayores, una explotación intensiva del sistema.

Calidad del agua

La clasificación de las muestras en facies hidroquímicas muestra un neto predominio de aguas bicarbonatadas mixtas a sódicas (81,5%) mientras que el 18,5% restante, son sódicas sin anión dominante. Los valores consignados en la Tabla N° 1 indican que se trata de aguas más alcalinas y con contenidos más elevados de nitrato, fluoruros y arsénico que las colectadas en el acuífero del valle Argentino, en tanto son menores la dureza y el tenor de cloruros.

Los contenidos de flúor, arsénico y nitratos constituyen la limitante principal de la aptitud del agua para consumo humano. Esta restricción se hace más notable cuando la perforación se encuentra alejada del área de recarga preferencial o cuando la profundidad de captación es superior a 25 metros.

En cuanto a la calidad para la bebida del ganado vacuno, un 44% de las muestras resultan deficientes, por sus bajos valores de residuo seco, tanto para bovinos de cría como de tambo-invernada y las restantes se distribuyen equitativamente entre las categorías que van de satisfactoria a aceptable y de muy buena a mala usable para cada una de las aplicaciones mencionadas.

La utilización para riego queda condicionada por una alta potencialidad para salinizar los suelos, un 59% de las muestras corresponden a la clase C3, aunque con precauciones de manejo podrían usarse en la zona. En cambio, el peligro de sodificación es bajo (clase S1) en buena parte de las muestras (37%).

Problemática actual

Uno de los principales problemas de índole hidrológica que actualmente afecta a la localidad de General Pico, es satisfacer los volúmenes extraordinarios de demanda que se dan en ciertos horarios “pico” de la temporada estival. La demanda creciente lleva a intensificar el régimen de bombeo de los pozos, lo cual tiene un correlato hidroquímico que determina un aumento en las concentraciones de arsénico y flúor (Medus *et al.*, 2005). Esta situación se ha amortiguado mediante la ejecución de nuevas perforaciones pero vuelve a presentarse en forma recurrente.

Otro problema es la dificultad para la disposición final adecuada de los efluentes cloacales, que se realiza en cinco lagunas de oxidación y estabilización que se encuentran con su capacidad casi colmada, situación que se agrava en períodos con precipitaciones importantes. A esto se suma su incorrecta localización sobre la zona de recarga del acuífero. Como una alternativa de solución se está contemplando la posibilidad de su reutilización con fines agrícolas y/o forestales.

Ambas situaciones ponen de manifiesto la necesidad de abordar una planificación hidrológica y ambiental que proteja cuantitativa y cualitativamente a esta importante reserva acuífera.

Conclusiones

Los datos presentados permiten concluir que ambas áreas poseen recursos hídricos subterráneos muy significativos, en cantidad y calidad, para usos en el ámbito urbano y rural. Esta condición se vincula a la existencia de ambientes medanosos, donde la cobertura arenosa genera condiciones favorables para la infiltración. El aprovechamiento sustentable de estos sectores acuíferos requiere una planificación y gestión adecuada que contemple la sensibilidad propia de los sistemas hídricos en las zonas semiáridas.

Bibliografía

- BAVERA, G. A.; RODRIGUEZ, E. E.; BEGUET, H. A.; BOCCO, O. A. y SANCHEZ, J. C. (1979). *Aguas y Aguadas*. Hemisferio Sur, Buenos Aires, 284 p.
- CANO, E.; CASAGRANDE, G.; CONTI, H. A.; FERNANDEZ, B.; HEVIA, R.; LEA PLAZA, J. C.; MALDONADO PINEDO, D.; MARTINEZ, H.; MONTES, M. A. y PEÑA ZUBIATE, C. A. (1980). *Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de La Pampa-clima, geomorfología, suelo y vegetación*. INTA, Gobierno de La Pampa, UNLPam, Santa Rosa, 493 p.
- CASTRO, E. y TULLIO, J. O. (1990). "Acuífero Valle Argentino (Síntesis Preliminar)". Inédito. Administración Provincial del Agua, Santa Rosa.
- CAVALIE, C. (1985). "Estudio hidrogeológico hoja General Acha". En *Revista Pampa Geológica*. Publicación especial: 64-80.
- CONSULTORA A. H. RISIGA y ASOCIADOS (1988). "Estudio para ajustar el conocimiento hidrogeológico del acuífero Pico-Dorila y el funcionamiento hidráulico de la batería de pozos que abastecerán al servicio de agua potable de la ciudad de General Pico". Tomos 1 a 9. Informe final. Inédito. Ministerio de Obras y Servicios Públicos, Santa Rosa.
- DORNES, P. y SCHULZ, C. (2001). "Determinación de la recarga en la región de La Pampa central, Argentina". En MEDINA, A.; CARRERA, J. y VIVES, L. (eds.), *Las caras del agua subterránea. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas 1* (I). Instituto Tecnológico Geominero, Madrid: 614-622.
- FERNÁNDEZ, M. A. y MARIÑO, E. E. (2002). "Evaluación de los contenidos de nitratos en los alrededores de General Acha, La Pampa, Argentina". En XXXII IAH & VI ALHSUD Congress. Versión en CD. Mar del Plata, pp. 277-286.
- GIAI, S. B. y TULLIO, J. O. (1998). "Características de los principales acuíferos de la provincia de La Pampa". En *Asociación de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, Revista* 12: 51-68.
- GIAI, S. B. y HERNÁNDEZ, M. A. (1999). "Aproximación de la curva recarga-precipitación en zonas medanosas". En TINEO, A. (ed.), *Hidrología Subterránea. Serie de Corrección Geológica* 13: 353-360.
- MALÁN, J. M. (1983). "Estudio hidrogeológico para el abastecimiento de agua potable a la localidad de General Pico, departamento Maracó, provincia de La Pampa". Informe preliminar. En *Coloquio de Hidrología de Grandes Llanuras, Actas III*. Olavarría: 1449-1457.
- MARIÑO, E. E. (2003). "Sistema hidrogeoquímico de un acuífero libre en ambiente medanoso en el área General Pico-Dorila, provincia de La Pampa". Tesis doctoral. Inédito. Universidad Nacional de Córdoba, 141 p.
- MARIÑO, E. E. (2004). "La interpretación hidroquímica como herramienta en la estimación de la recarga del acuífero de General Pico, La Pampa, Argentina". En *Cuadernos del CURIHAM* 10: 57-63.
- MARIÑO, E. E. y BONORINO, A. G. (1996). "Estimación de la infiltración eficaz en un acuífero en ambiente medanoso a partir de mediciones periódicas del nivel freático". En XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas IV. Buenos Aires: 405-408.
- MARIÑO, E. E. y DALMASO, M. G. (2003). "Análisis de la información básica para la gestión del acuífero que abastece a General Pico, La Pampa, Argentina". En *Memorias del III Congreso Argentino de Hidrogeología y I Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales en hidrología subterránea*. Tomo 1. Rosario, pp. 209-218.
- MARIÑO, E. E.; SCHULZ, C. J.; FERNANDEZ, M. A.; CASTRO, E. y DALMASO, M. G. (2002). "Hidroquímica subterránea del sector oriental del Valle Argentino, provincia de La Pampa". En VIII Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Actas. Santa Rosa: 139-141.
- MEDUS, M.; MARIÑO, E. E. y SCHULZ, C. J. (2005). "Variación temporal de los contenidos

- de arsénico en la batería de pozos que abastece a General Pico, La Pampa, Argentina". En *Taller sobre arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento*, Actas. Río Cuarto: 73-81.
- SCHULZ, C. J. (2004). "Estudio hidrogeológico del area central del valle argentino, La Pampa, Argentina". Elaboración de una propuesta de gestión de los recursos hídricos. Tesis doctoral. Inédito. Universidad Nacional de Córdoba, 141 p.
- SCHULZ, C.; BONORINO, G.; VIVES, L. y DORNES, P. (1997). "Estudio de planificación y gestión de los recursos hídricos del Valle Argentino, provincia de La Pampa". En *Congreso Nacional de Hidrogeología*, Actas. Bahía Blanca: 403-414.
- SCHULZ, C. J.; DORNES, P. F.; VIVES, L. S. y BONORINO, A. G. (1998). "Caracterización hidrogeológica del acuífero detrítico del Valle Argentino, La Pampa, Argentina, con énfasis en el estudio de la recarga". En *4º Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea*. Vol. 3. Montevideo: 1457-1467.
- SCHULZ, C. J.; MARIÑO, E. E.; CASTRO, E.; DALMASO, M. G.; FERNANDEZ, A. y DORNES, P. (1999). "Evaluación preliminar de la calidad del agua subterránea en un sector del Valle Argentino, provincia de La Pampa". En *VII Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales*, Actas. Santa Rosa: 289-296.
- SCHULZ, C. J.; CASTRO, E. C. y DALMASO, G. (2002). "Hidrogeoquímica del acuífero del Valle Argentino (L.P). Aptitud del agua para uso humano y rural". En *XXXII IAH & VI ALHSUD Congress*. Versión en CD. Mar del Plata: 277-286.
- U.S. SALINITY LABORATORY STAFF (1954). "Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils". *Handbook* 60. U.S. Department of Agriculture, EE.UU., 160 p.