

# Contaminación por nitrato en la zona urbana y rural de la localidad de Macachín, La Pampa, Argentina

M. E. Holzman<sup>(1)</sup>, M. G. Dalmaso<sup>(2)</sup> y E. Mariño<sup>(2)</sup>

(1) Becario Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Instituto de Hidrología de Llanuras, Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Azul. Avda. Italia 780.

mauroholzman@hotmail.com

(2) Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa. Avda. Uruguay 151.  
cienciaytecnica@exactas.unlpam.edu.ar; emarinio@exactas.unlpam.edu.ar

## RESUMEN

La localidad de Macachín está ubicada sobre el acuífero del Valle Argentino. Allí el acuífero freático está alojado en una capa arenosa superficial y en sedimentos limo-arenosos. El objetivo del trabajo es caracterizar la contaminación del acuífero libre del territorio de Macachín, considerando la presencia de nitrato como factor condicionante de la calidad del recurso. Analizando el área periurbana, se cubrió el área de replanteo de las fuentes de agua potable para la localidad. En la urbana se consideraron los pozos domiciliarios y los de abastecimiento. Se recolectaron muestras de agua en perforaciones y en pozos barrenados. Se midió temperatura, pH, conductividad eléctrica y concentración de iones nitrato, nitrito y cloruro. Se calcularon parámetros estadísticos básicos de los 8 pozos de abastecimiento, de perforaciones y de pozos barrenados. Se concluyó que el estado de las aguas subterráneas es poco satisfactorio. Todos los pozos domiciliarios muestreados mostraron contenidos de nitrato superiores a los niveles permitidos para el consumo de agua potable. En los pozos de abastecimiento hubo un aumento significativo en las concentraciones de nitrato, aproximadamente a partir del año 1998. El aporte de materia orgánica al agua subterránea tendría su origen en la descomposición de los desechos domiciliarios dispuestos en pozos ciegos. En las dos áreas, las concentraciones de nitrato en la zona no saturada fueron muy similares y superiores al límite permitido para consumo humano. Fuentes probables de contaminación en la zona rural serían corrales permanentes de animales.

Palabras clave: calidad del agua, contaminación urbana y rural, fuentes de contaminación, hidroquímica, nitrato

## ***Pollution by nitrate in the urban and rural zone of Macachín's town, La Pampa, Argentina***

### ABSTRACT

*The town of Macachín is located over the Valle Argentino aquifer. There, the phreatic aquifer is lodged in a sandy superficial cap and in the slime-sandy sediments. The objective of this work is to depict the pollution of the unconfined aquifer of Macachín, considering the presence of nitrate as determining factor of the quality of the resource. The periurban area was analysed with the purpose of cover the area of relocalization of the sources of potable water for the town. In the urban area, the domiciliary perforations and in those of supply were considered. Samples in perforations and in drilled wells were collected. Temperature, pH, electrical conductivity and the ions concentration for nitrate, nitrite and chloride were measured. Statistical basic parameters were calculated for eight wells in exploitation and also for the perforations and drilled wells. It was concluded that the conditions of the underground waters is little satisfactory. All of the domiciliary wells sampled contained a quantity of nitrate that overcomes the maximum levels allowed for the consumption of potable water. In the city's wells of supply a significant increase of the nitrate concentrations was identified since 1998, approximately. The contribution of organic matter to the underground water could be originated in the decomposition of the domiciliary wastes arranged in cesspools. In both areas, the nitrate concentrations in the unsaturated zone are similar and superior to the limit allowed for human consumption. The pollutant sources in the rural zone can be permanent corrals of animals.*

*Key words: hydrochemistry, nitrate, pollution sources, urban and rural pollution, water quality*

## **Introducción**

El área de estudio comprende la zona urbana de la localidad de Macachín y la zona rural aledaña. Dicha localidad se encuentra ubicada a la vera sur del acuífero del Valle Argentino, provincia de La Pampa, Argentina, en la intersección de las rutas provinciales

Nº 1 y Nº 18, y es la cabecera del departamento Atreucó. Posee agua corriente desde 1970 y cloacas desde el año 2002. Sólo el 40% de la población se encuentra conectada a este servicio, el 60% restante utiliza pozos sépticos para sus efluentes que, según información verbal de los pobladores, tienen una profundidad aproximada de 3-4 metros. El clima es sub-

húmedo a semiárido del tipo templado, con temperaturas medias anuales de 15.6°C (1941-2008). La pluviometría anual media es de 678,4 mm/año (1921-2008). El sistema de abastecimiento de agua potable cuenta con 8 pozos (los n° 1 y n° 5 están actualmente en desuso por altos tenores de nitrato y salinidad en el agua que brindan) y está a cargo de la Cooperativa de Servicios Públicos Ltda. (Figura 1).

Para este trabajo son de interés tres unidades litológicas que afloran en la zona, por ser las que alojan al acuífero estudiado. La más antigua de ellas

es la "Formación Pampeana" (Salso, 1966), compuesta por arenas muy finas, limosas, castañas, de carácter acuitardo. Le siguen hacia arriba depósitos de arenas eólicas recientes, cuyo espesor es de 4 a 6 metros (Giai y Tullio, 1998). Finalmente pueden mencionarse los sedimentos contenidos en las depresiones, los que son portadores de sales solubles y material clástico con granulometría desde arenas a arcillas. Los niveles freáticos del acuífero libre son someros y se ubican generalmente en los depósitos de arenas eólicas; los pozos de abasteci-

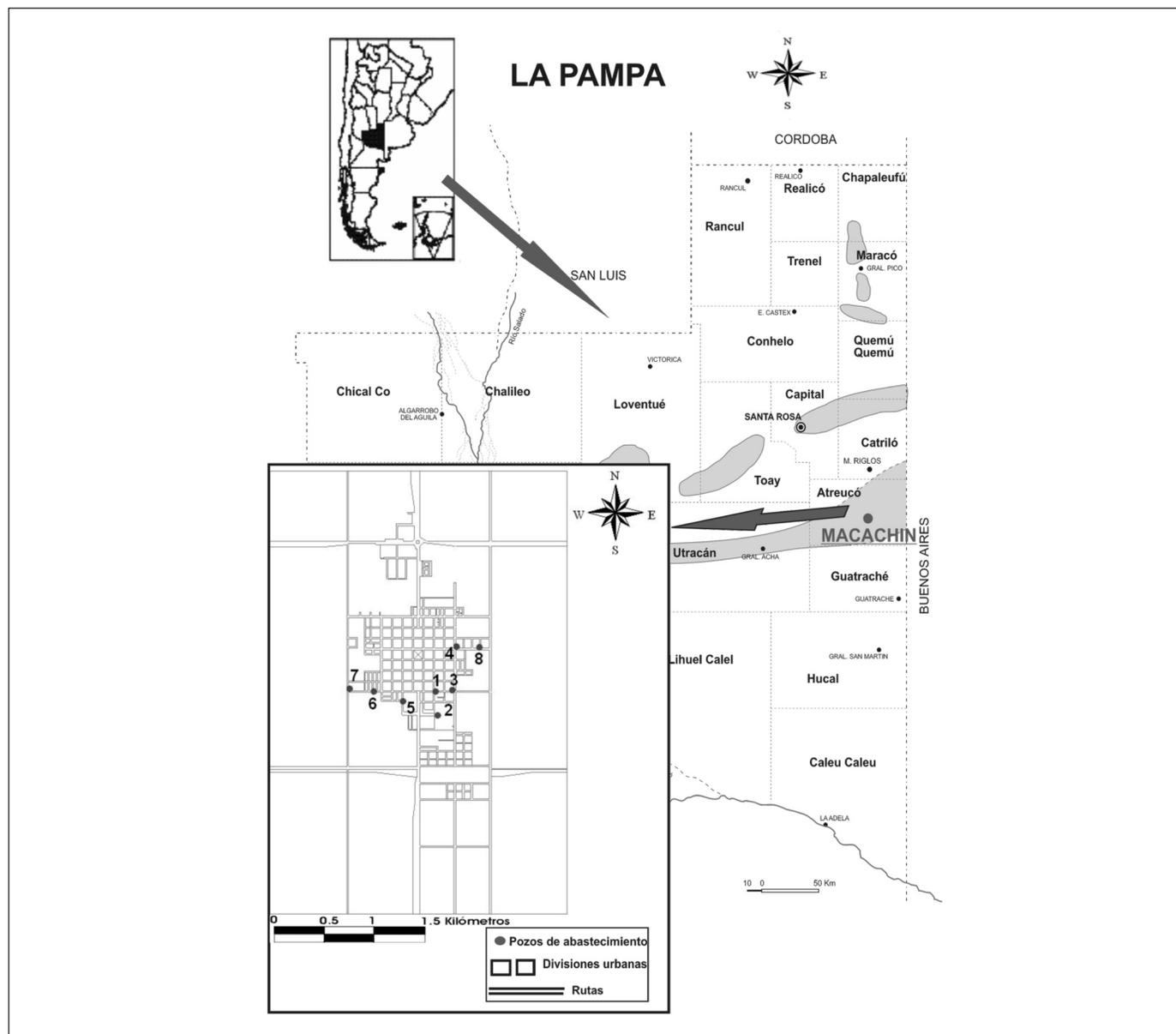


Figura 1. Ubicación del área de estudio y de los pozos de abastecimiento  
 Figure 1. Location of area of study and the wells of supply

miento extraen el agua de la "Formación Pampeana".

En la zona de estudio se encuentran 2 subsistemas hidrogeológicos: el de Acuíferos con límites indiferenciados y el de las Depresiones o Sectores de descarga (Schulz, 1995). El primero está representado por la llanura ondulada con médanos vivos; es la zona preferentemente de recarga. El segundo recibe los aportes de la primera, formándose algunos cuerpos de agua. La pendiente hidráulica en régimen natural tiene un sentido NW-SE y, teniendo en cuenta la extracción de agua para abastecimiento, el esquema del flujo cambia, así se produce un cambio en la pendiente hidráulica natural, invirtiendo el sentido del flujo, induciendo el aporte de agua desde las direcciones SW, SE y E (Giai, 2005) (Figura 2 y 3).

Según Custodio y Llamas (1983), la calidad del agua se puede definir en base a la composición y el conocimiento de los efectos que puede causar cada uno de los elementos que contiene, o el conjunto de todos ellos, pudiendo así clasificarla como apta para las diferentes actividades desarrolladas por el hombre, como así también su aptitud para consumo como agua de bebida. Por otro lado, la contaminación del

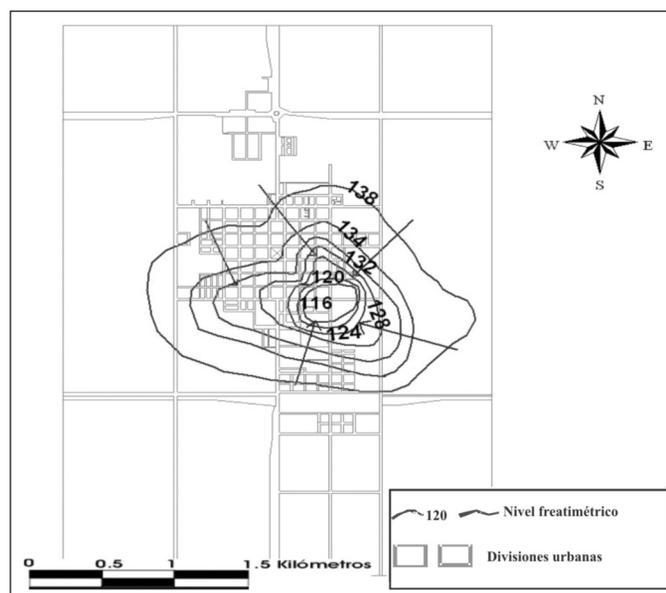


Figura 3. Mapa freático considerando los pozos de explotación (Giai, 2005)

Figure 3. Freatic map considering the perforations of supply (Giai, 2005)

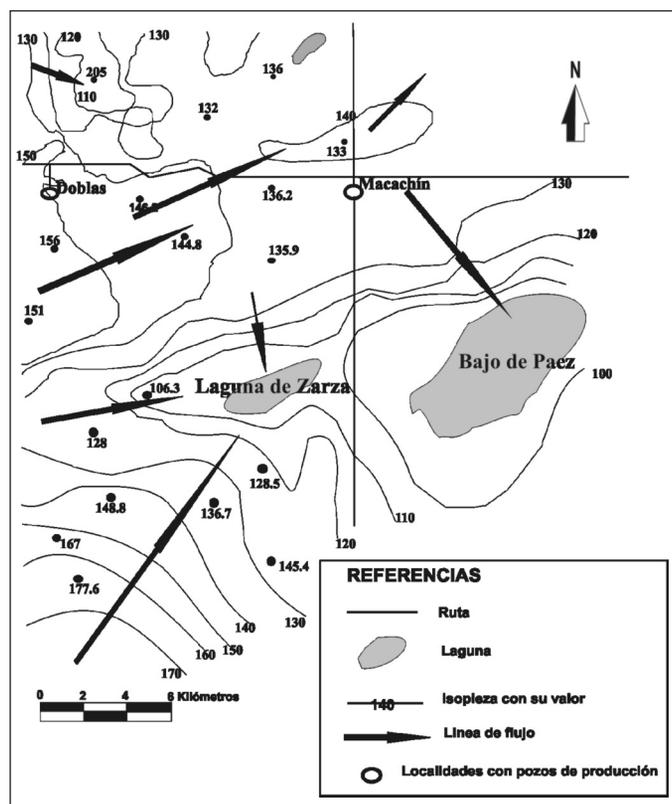


Figura 2. Mapa piezométrico regional (modificado de Schulz, 1995)

Figure 2. Regional piezometric map (modified of Schulz, 1995)

agua está definida como la acción y el efecto de introducir materias o energía, o inducirle condiciones que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

La contaminación por la infiltración de aguas con elevados contenidos de materia orgánica se traduce en una problemática que afecta en alto grado a todos aquellos acuíferos freáticos cercanos a la superficie y de alta vulnerabilidad. Este fenómeno suele ponerse de manifiesto a través de la presencia de altos contenidos de nitrato en el agua (Guimerá, 1993). La contaminación puede resultar cuando el exceso de nitrógeno, fundamentalmente como nitrato, se encuentra presente en el agua de infiltración, ya que este ión es altamente soluble y además muy estable (Guimerá, 1993). La presencia de N amoniacal indica, generalmente, que se ha producido una reciente descomposición de la materia orgánica e indica la proximidad de la fuente contaminante (Martínez *et al.*, 1993). Si se encuentra nitrato es una indicación de que ha habido infiltración y oxidación eficaz al atravesar el terreno y ha transcurrido un tiempo mayor desde el inicio de la contaminación.

El objetivo del trabajo es caracterizar la contaminación del acuífero libre que abastece de agua a la localidad de Macachín, considerando la presencia de nitrato como factor condicionante de la calidad del recurso.

## Metodología

Primeramente se recopiló y analizó la información básica y con ella se diseñó una red de muestreo, seleccionando una superficie de 10 km<sup>2</sup>. En sucesivas campañas se recolectaron muestras de agua, tanto de la zona urbana como rural. En esta última se trató de cubrir el área de replanteo de las fuentes de agua potable para la localidad, propuesta por Giai en 2005, ubicada al noreste de la zona urbana. Las muestras se almacenaron en botellas de polietileno de 1 litro de capacidad, sin burbujas de aire y resguardadas de la luz hasta su llegada al laboratorio. "In situ" se midió pH, conductividad eléctrica y temperatura; en laboratorio, conductividad y la presencia de nitrato, nitrito y cloruro. En todos los casos se utilizaron técnicas analíticas convencionales estandarizadas (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

## Zona urbana

Se muestrearon 6 perforaciones domiciliarias y en tres de ellas se realizaron pozos con barreno (Figura 4). En éstos se midió la profundidad del nivel freático, se tomaron muestras de agua de la parte superior del acuífero y de sedimentos de la zona no saturada a intervalos de 1 m. En las perforaciones preexistentes no se pudo medir la profundidad de los niveles freáticos por tratarse de bombas con la boca de pozo sellada.

## Zona rural

En el muestreo se utilizaron 7 perforaciones de la periferia urbana y además se realizaron 3 pozos barrenados (Figura 4). En éstos se procedió de la misma forma que en la parte urbana.

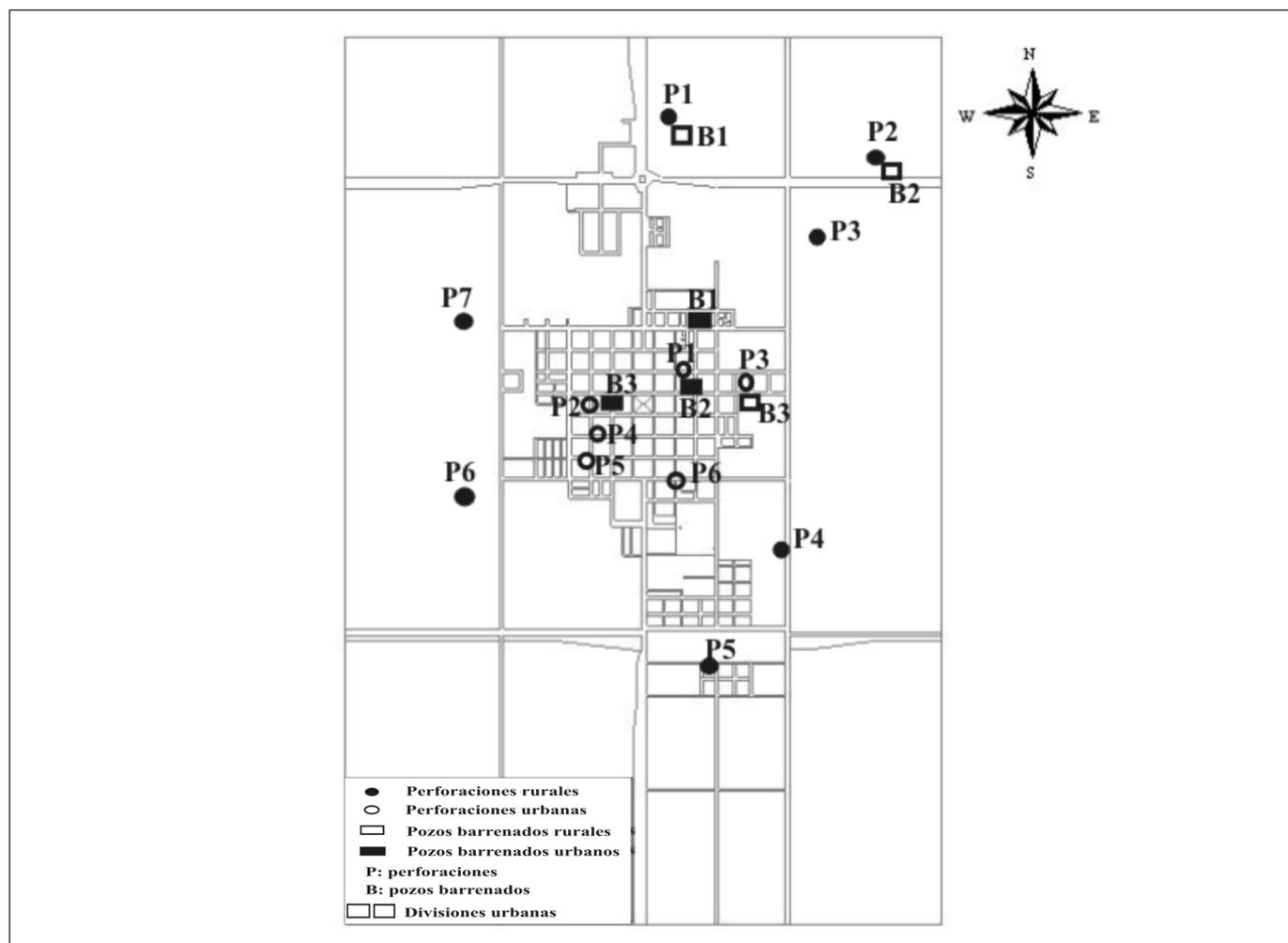


Figura 4. Ubicación de los sitios de muestreo  
 Figure 4. Location of the places of sampling

Las muestras obtenidas de la parte superior del acuífero se dejaron en reposo dentro de los bidones hasta lograr que precipiten las partículas finas y así poder obtener el líquido sobrenadante lo más limpio posible. Luego se pasó el agua a través de filtros Whatman N°42, utilizando carbón activado para lograr una decoloración completa.

Al igual que en la zona urbana, el método de obtención de agua intersticial a partir de muestras de material de la zona no saturada consistió en aplicar una técnica de dilución (Candela, 1993). Ésta se basa en suponer que la totalidad de las sales presentes en el agua del suelo se precipitan durante un secado en estufa y se disuelven nuevamente al agregar agua desionizada (Guimerá, 1993). Si bien esto no se cumple para el caso de bicarbonatos y carbonatos, se utilizó este método para poder analizar nitrato. La suspensión formada se agitó durante una hora y media a 150-180 r.p.m y luego se procedió a separar el agua mediante filtrado y centrifugado. Las concentraciones iónicas del extracto se calcularon teniendo en cuenta la humedad inicial y la proporción de dilución.

“In situ” la conductividad se determinó por conductimetría directa, con un conductímetro modelo 3-Start de marca Orion. El pH se determinó por potenciometría directa empleando un pHmetro modelo CT II de marca Altronics. La temperatura se determinó por termometría directa utilizando el medidor de conductividad y temperatura modelo 3-Start de marca

Orion. En laboratorio, las determinaciones analíticas se efectuaron mediante técnicas convencionales estandarizadas (APHA, AWWA, WPCF, 1992) y se consideraron el ión cloruro, nitrato, nitrito y conductividad.

Por otro lado se calcularon parámetros estadísticos básicos (media, mínimos y máximos) de los 8 pozos en explotación y de las perforaciones analizadas.

## Resultados

### Zona urbana

Los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino y la Ley N° 1027 son, en el agua destinada a consumo humano, 45 mg/L para nitrato y 0.1 mg/L para nitrito.

### Zona no saturada

Para conocer las concentraciones de nitrato en la zona no saturada se realizaron tres pozos barrenados (B1, B2 y B3) dentro del área urbana (Figura 4). Los perfiles de concentraciones se muestran en la Figura 5.

En los perfiles de los 3 pozos barrenados se encon-

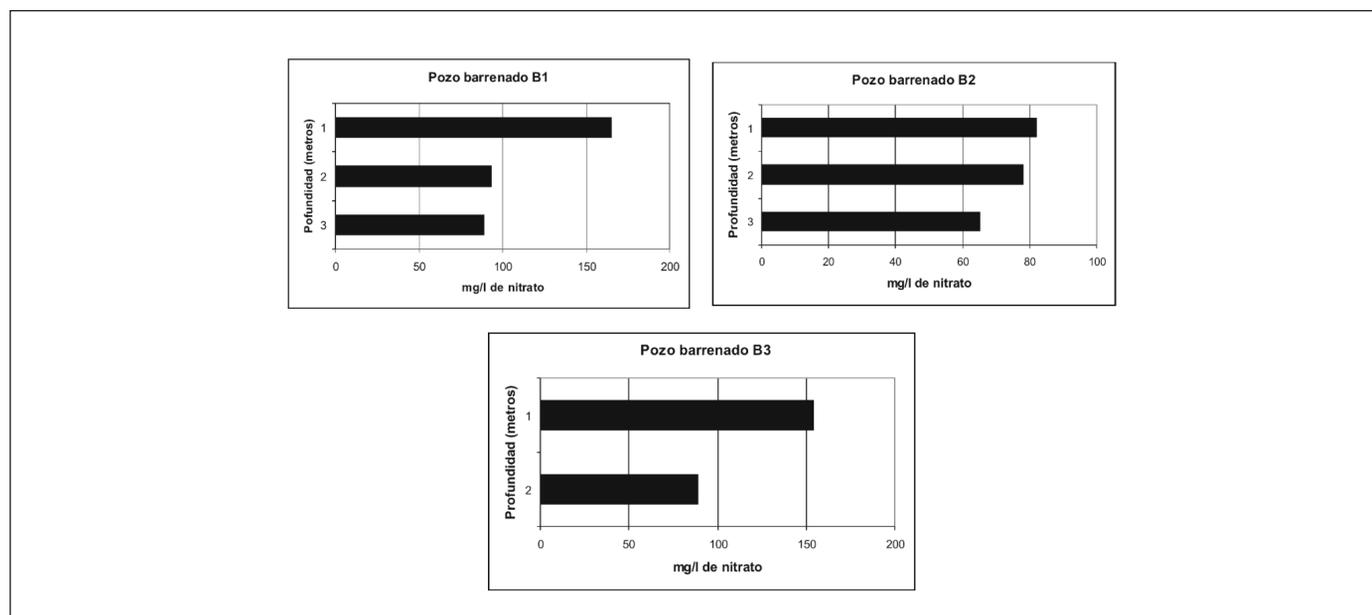


Figura 5. Perfiles de concentraciones de nitrato de pozos barrenados en zona urbana  
Figure 5. Profiles of concentrations of nitrate of wells drilled in urban zone

traron concentraciones de nitrato que en todos los casos superan el límite de 45 mg/L. Esto muestra que hay altas concentraciones en la zona no saturada disponibles para que eventualmente sean lixiviados por el agua de infiltración, con la consecuente afectación del acuífero. El promedio de concentraciones de nitrato en la zona no saturada fue de 101,9 mg/L.

*Zona saturada*

En la tabla 1 se presentan los resultados de los análisis de muestras de las seis perforaciones domiciliarias consideradas.

La tabla 1 indica que el 100% de las perforaciones analizadas poseían aguas no aptas para el consumo humano debido al alto contenido en nitrato. El 83,3% de las muestras tenían concentraciones de nitrato superiores a 90 mg/L. El mínimo tenor registrado superó los 45 mg/L y el máximo fue cuatro veces superior a ese límite.

Las concentraciones de nitrito en ningún caso superaron el límite permitido, lo que indicaría que ocurrió un proceso de oxidación hacia nitrato, por lo que la contaminación no sería reciente o esa oxidación fue muy rápida. En todos los sitios de muestreo de la zona urbana, salvo en el caso de la perforación P3, se encontraba un pozo ciego próximo a ellos. En general, la distancia de separación no era mayor a 15-20 m. En la perforación P1, esa distancia era de 7 metros y se trataba de un pozo ciego propiamente dicho. En P2, esa distancia era de 4 metros a un pozo ciego donde se depositan los residuos líquidos de

una cocina domiciliaria y de 12 m a un pozo ciego propiamente dicho. Otro indicador de contaminación es el aumento de la salinidad (en este caso medida indirectamente a través de la conductividad) en aquellas muestras que presentan tenores elevados de nitrato (Blarasin *et al.*, 1999). Aunque los datos son escasos, la figura 6 muestra que la relación entre las concentraciones de nitrato y la conductividad es estrecha.

La relación se debería a un decrecimiento de la tasa de infiltración eficaz en la zona urbana y al aporte de nitrato por parte de pozos ciegos. Por la profundidad a la que éstos se encuentran, se estima que pueden penetrar en el acuífero freático en la zona urbana.

Esta relación sería más estrecha en aquellos periodos en que las precipitaciones superan la media, lo que produciría un ascenso de los niveles freáticos. En la figura 7 se muestra la relación entre las precipitaciones y los niveles freáticos en Salinas Grandes. Se eligió este sitio, ubicado a 10 km aproximadamente de Macachín, por ser el único cercano con registros freatimétricos. En ella se aprecia un aumento de dichos niveles en 1997-1998 y 2001. La evolución de tenores de nitrato de los 8 pozos de explotación desde 1979 a 2008 y su relación con las precipitaciones se muestra en la figura 8. Entre los años 1997 y 1998 comenzó una tendencia creciente en las concentraciones de nitrato en la mayor parte de los pozos de explotación, sobre todo en los pozos 1, 2, 4, 5 y 7 y se observa un pico en el año 2001. Con algunas oscilaciones, las altas concentraciones se mantuvieron hasta la actualidad. El comienzo de este aumento

Sitio de muestreo	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Cloruro (mg/L)	Conductividad (µs/cm)
P1	168	0.032	20	843
P2	116	0.012	61.2	676
P3	54	0.013	14.3	333
P4	184	0.042	195.2	1102
P5	129	0.02	107	563
P6	102	0.051	204	809
<b>Promedio</b>	<b>125.5</b>	<b>0.028</b>	<b>100.3</b>	<b>721</b>
<b>Mínimo</b>	<b>54</b>	<b>0.012</b>	<b>14.3</b>	<b>333</b>
<b>Máximo</b>	<b>184</b>	<b>0.051</b>	<b>204</b>	<b>1456</b>
<b>Desvío estándar</b>	<b>46.9</b>	<b>0.016</b>	<b>83.8</b>	<b>262.8</b>

Tabla 1. Concentraciones de nitrato, nitrito y cloruro de las perforaciones muestreadas en la zona urbana de Macachín, correspondientes a septiembre de 2008

Table 1. Concentrations of nitrate, nitrite and chloride of the perforations sampled in the urban zone of Macachín, correspondents to September, 2008

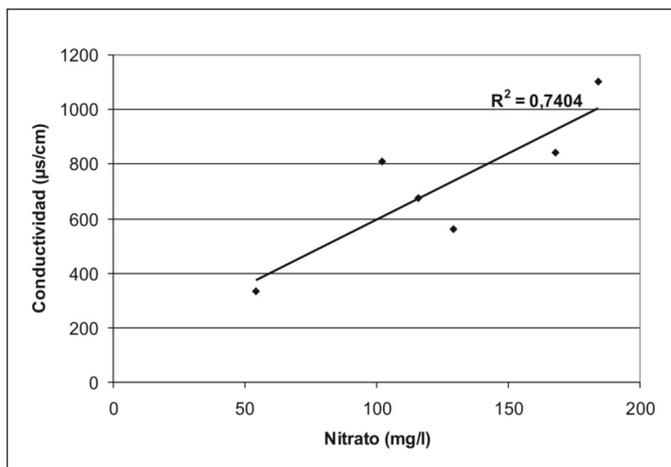


Figura 6. Relación entre las concentraciones de nitrato y las conductividades en zona urbana  
 Figure 6. Relation between the concentrations of nitrate and the conductivities in urban zone

En algunos de los pozos barrenados las concentraciones de nitrato aumentan y en otros disminuyen con la profundidad, pero en todos los casos superan los 45 mg/l. El promedio de concentraciones de nitrato en la zona no saturada fue de 89,3 mg/l.

### Zona saturada

Las concentraciones correspondientes a las siete perforaciones se muestran en la tabla 2.

Del total de las muestras extraídas, el 71,4% mostró concentraciones superiores a 45 mg/L. El 57% de las muestras superó los 90 mg/L. El promedio de concentraciones de nitrato fue muy similar al de la parte urbana. En el caso de los tenores de nitrito, ningún valor superó el límite permitido. Con respecto a la conductividad, se puede apreciar una relación notablemente más baja entre ésta y los tenores de nitrato que en la zona urbana (Figura 10).

coincide aproximadamente con la inundación de 1997-1998 y el posterior pico, con las altas precipitaciones de 2000-2001.

### Zona rural

#### Zona no saturada

En la zona no saturada se tomaron muestras del material en tres puntos (B1, B2 y B3) (Figura 4). Los perfiles de concentraciones de nitrato se muestran en la Figura 9.

### Conclusiones

En la zona urbana existen factores altamente contaminantes como son los efluentes domiciliarios, los que sumados a niveles freáticos someros determinan un elevado grado de contaminación. El 100% de los pozos domiciliarios muestreados poseen contenidos de nitrato que superan los niveles máximos permitidos por la legislación vigente para consumo de agua potable. En los pozos de explotación se identificó un aumento significativo en las concentraciones de nitrato a partir aproximadamente del año 1998. En la zona urbana, la contaminación del acuífero se debería al

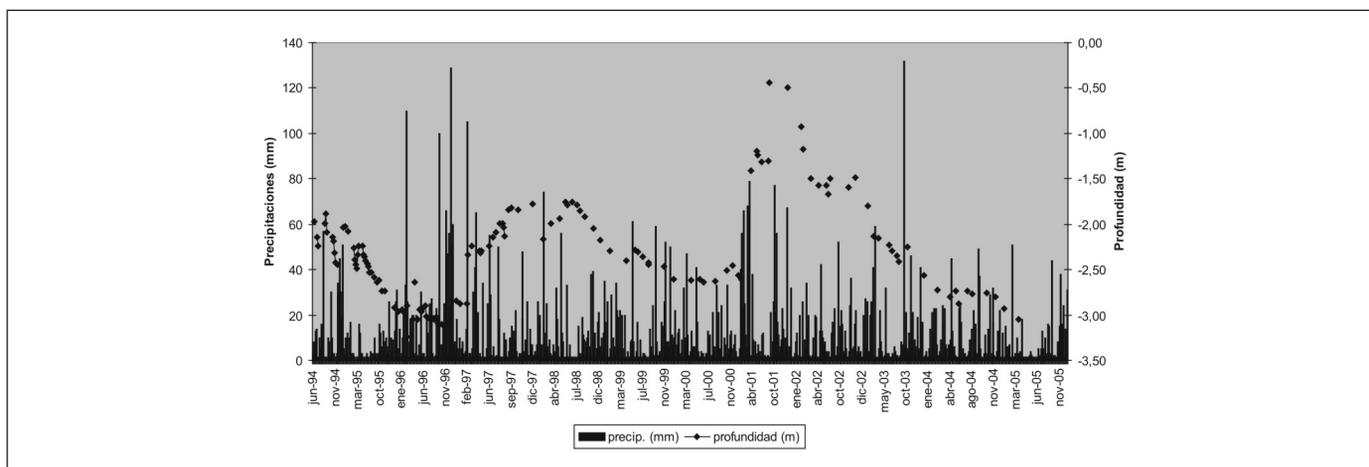


Figura 7. Relación entre precipitaciones y niveles piezométricos para Salinas Grandes (1994-2008)  
 Figure 7. Relation between rainfalls and piezometric levels for Salinas Grandes (1994-2008)

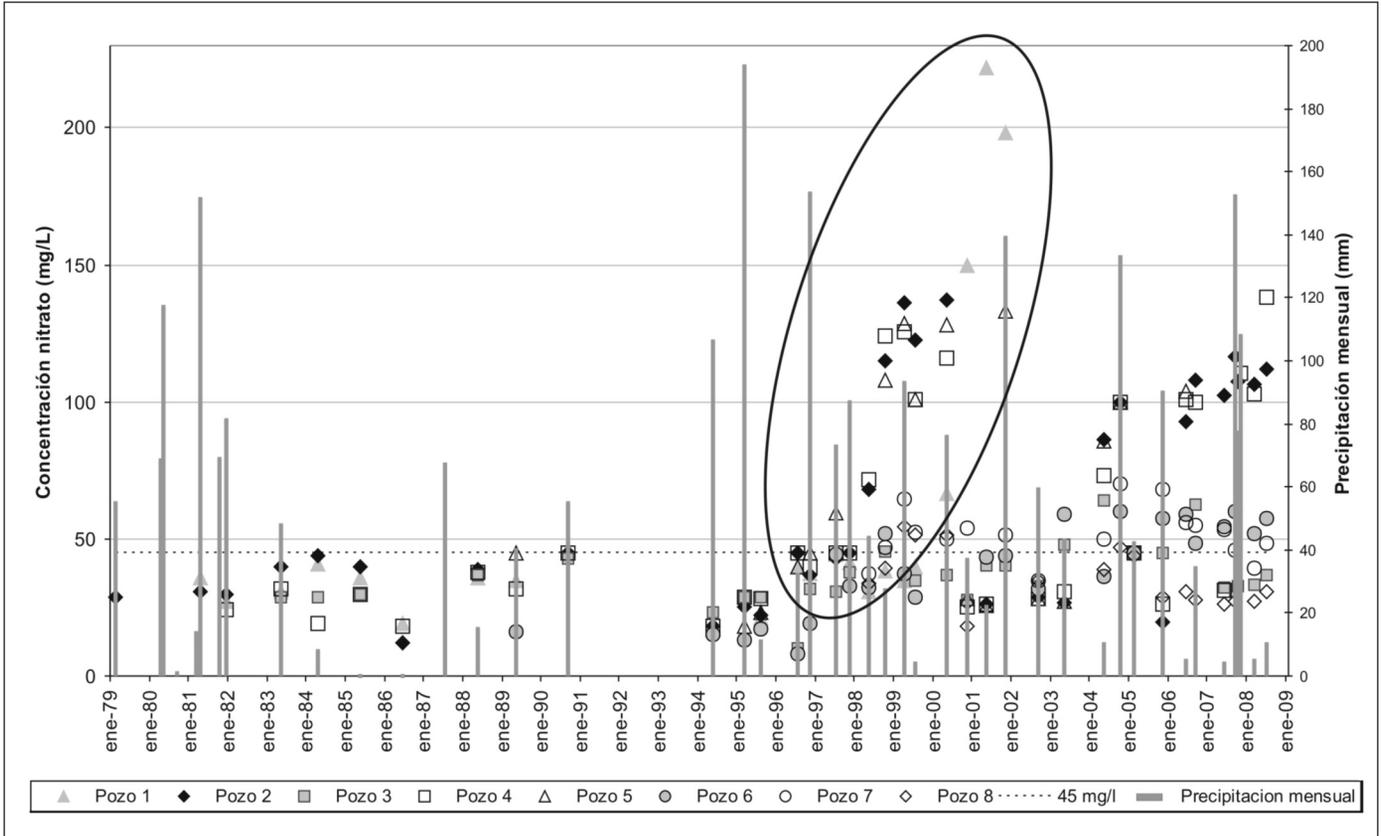


Figura 8. Evolución de las concentraciones de nitrato en los pozos de explotación de Macachín (1979-2008) y su relación con las precipitaciones (Datos brindados por Administración Provincial del Agua)  
 Figure 8. Evolution of the concentrations of nitrate in the perforations of supply of Macachín (1979-2008) and its relation with the rainfalls (Information offered by Administración Provincial del Agua)

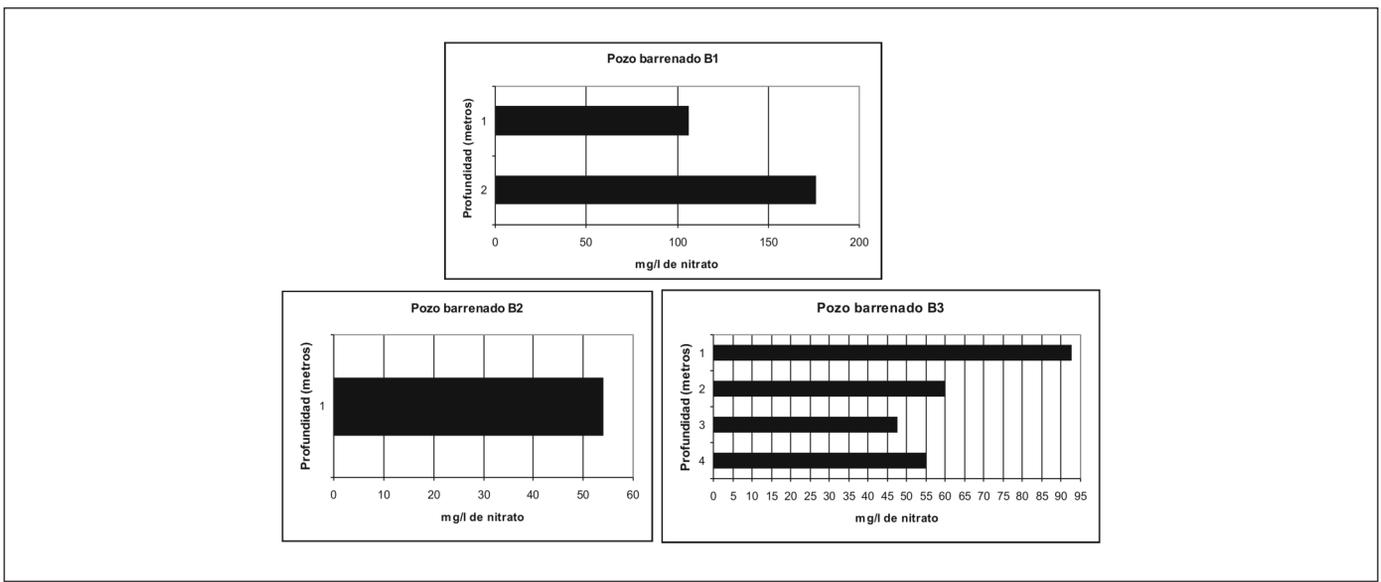


Figura 9. Perfiles de concentraciones de nitrato de los pozos barrenados en la zona rural  
 Figure 9. Profiles of concentrations of nitrate of wells drilled in rural zone

Sitio de muestreo	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Cloruro (mg/L)	Coductividad (µs/cm)
P1	164	0.072	187.6	1242
P2	115	0.014	35	284
P3	36	0.011	18	379
P4	156	0.028	190	1694
P5	81	0.010	114	1256
P6	220	0.013	83	851
P7	44	0.016	75	805
<b>Promedio</b>	<b>116.6</b>	<b>0.023</b>	<b>100.37</b>	<b>930,1</b>
<b>Mínimo</b>	<b>36</b>	<b>0.01</b>	<b>18</b>	<b>284</b>
<b>Máximo</b>	<b>220</b>	<b>0.072</b>	<b>190</b>	<b>1694</b>
<b>Desvío estándar</b>	<b>67.7</b>	<b>0.022</b>	<b>68.1</b>	<b>505</b>

Tabla 2. Concentraciones de nitrato, nitrito y cloruro de las perforaciones muestreadas en la zona rural de Macachín, correspondientes a septiembre de 2008

Table 2. Concentrations of nitrate, nitrite and chloride of the perforations sampled in the rural zone of Macachín, correspondents to September, 2008

aporte antrópico de compuestos orgánicos al suelo; sostenemos que su origen sería la descomposición de los desechos domiciliarios dispuestos en pozos ciegos y posterior contacto y dilución con el agua del acuífero circundante. Tanto en la zona urbana como en la rural las concentraciones de nitrato en el perfil de la zona no saturada son altas y muy similares, por lo que se advierte que los mismos podrían ser movilizados hacia el acuífero por el agua de infiltración.

No se observan diferencias en las concentraciones

de nitrato en la zona saturada entre la parte urbana y la rural analizada. Las fuentes más probables de incorporación de materia orgánica en esta última serían los corrales permanentes de animales, fundamentalmente bovinos y porcinos. No obstante, sería necesario abordar un estudio más profundo del medio rural para identificar otras fuentes contaminantes.

### Referencias

APHA, AWWA y WPCF 1992. *Standard methods for the examination of water and waste water*, 18ª ed. Washington, 134 pp.

Blarasin et al. 1999. Evaluación Ambiental del impacto de sistemas de saneamiento domiciliarios sobre el agua subterránea en el barrio San Martín, ciudad de Río Cuarto, prov. de Córdoba. *Serie de Correlación Geológica*, 13, 177-186.

Candela, L. 1993. Toma de muestras de agua: solución del suelo y succión con cápsulas de cerámica. En: Candela L. y Varela M. (Eds.). *La zona no saturada y la contaminación de las aguas subterráneas. Teoría, medición y modelos*. CIMNIE, Barcelona, 111-125.

Custodio, E. y Llamas M.R. 1983. *Hidrología subterránea*, 2ª ed. Omega, Barcelona, 2359 p.

Giai, S. y Tullio J.O. 1998. Características de los principales acuíferos de la Provincia de La Pampa. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Medio Ambiente*, 12, 51-68.

Giai, S. 2005. *Informe de los trabajos realizados en Macachín*. Dirección Provincial del Agua, Gobierno de La Pampa. Inédito.

Guimerá, J. 1993. Metodología de estudio de la contamina-

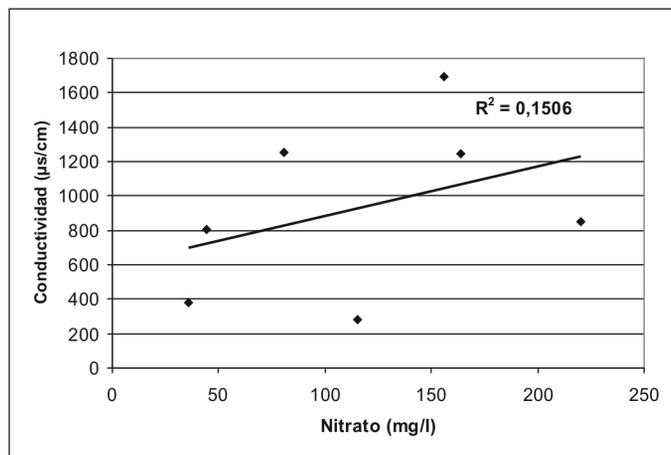


Figura 10. Relación entre las concentraciones de nitrato y las conductividades en zona rural

Figure 10. Relation between the concentrations of nitrate and the conductivities in rural zone

ción de acuíferos por nitratos. Aplicación al acuífero del Maresme. En: Candela L. y Varela M. (Eds.). *La zona no saturada y la contaminación de las aguas subterráneas. Teoría, medición y modelos*. CIMNIE, Barcelona, 197-218.

Martinez, D.E., Bocanegra, E., Massone, H.E., Fajardo, D., Del Rio, J.L., Cionchi, J.L. 1993. Los residuos sólidos domiciliarios del Partido de General Pueyrredón (provincia de Buenos Aires) desde una perspectiva geológico-ambiental. Parte II: Deterioro de las aguas subterráneas debido al lixiviado de los sitios de disposición final.

*XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, 6, 311-331.

Salso, J.H. 1966. *La cuenca de Macachín*. Nota preliminar. Servicio de Agua Subterránea, Instituto Nacional de Geología y Minería. Inédito.

Schulz, C. 1995. *Hidrogeología del ambiente central del Valle Argentino, Provincia de La Pampa, con énfasis en la dinámica del acuífero libre*. Informe preliminar. Departamento de Geografía, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa, La Pampa. Inédito.

Recibido: junio 2009

Revisado: agosto 2009

Aceptado: agosto 2009

Publicado: diciembre 2009