UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE.

TESINA DE GRADO:

"Caracterización hidrogeológica-ambiental de la zona urbana y rural de la localidad de Macachín, La Pampa, Argentina".

AUTOR: Mauro Ezequiel Holzman.

DIRECTORA: María Gabriela Dalmaso.

AÑO 2008.

Con todo el afecto dedicado a mi familia y a Fátima.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN …….…… 5
1. INTRODUCCIÓN ……..…… 7
1.1 Objetivos …… 8
1.2 Antecedentes …… 8
2. **CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO** …… 10
2.1 Clima …… 11
2.1.1 Precipitaciones …… 11
2.1.2 Temperatura …… 13
2.1.3 Evapotranspiración …… 14
2.2 Geología …….. 15
2.3 Geomorfología …….. 17
2.4 Edafología …….. 17
2.5 Hidrogeología…… 17
2.6 Caracteres hidroquímicos …… 20
2.7 Caracterización del servicio de agua potable …….. 22
3. METODOLOGIA …… 25
3.1 Tareas realizadas …… 25
3.1.1 Tareas de gabinete …… 25
3.1.2 Tareas de campo ……... 25
3.2 Parámetros físico-químicos medidos *in situ* …… 29
3.3 Parámetros físico-químicos medidos en laboratorio……..... 29
3.4 Elaboración y tratamiento de los datos …… 29
3.5 Tiempo de tránsito del contaminante en la zona no saturada 30
3.6 Tiempo de tránsito del contaminante en la zona saturada… 30
4. RESULTADOS …… 32
4.1 En la zona urbana …… 32
4.2 En la zona rural …… 37
4.3 Tiempo de tránsito de los contaminantes en la zona no sa_

turada y saturada …… 42
5. CONCLUSIONES …….. 43
6. RECOMENDACIONES ……. 44
7. AGRADECIMIENTOS …… 45
8. BIBLIOGRAFIA CITADA …….. 46
ANEXO I …… …. 51
ANEXO II …….. 56

RESUMEN

El agua es un recurso finito, vulnerable y es un elemento insustituible para la vida, que cada vez más entra en el ámbito de los bienes escasos. El acceso a los sistemas de abastecimiento de agua potable es uno de los problemas que tienen la mayoría de las ciudades y constituye una parte integral de la atención primaria de la salud. Es necesario destacar que, en general, la contaminación de las aguas subterráneas carece de un diagnóstico precoz, debido a las heterogeneidades inherentes al sistema subsuperficial que son difíciles de detectar y por lo común sólo se conoce la contaminación cuando afecta a los abastecimientos de agua, frecuentemente cuando ya es demasiado tarde

La localidad de Macachín está ubicada a la vera sur del acuífero del Valle Argentino, en la intersección de las rutas provinciales Nº 1 y Nº 18. Es la cabecera del departamento de Atreucó, provincia de La Pampa. El clima es subhúmedo a semiárido del tipo templado, con una temperatura media anual de 15.6°C, la precipitación media anual es 678,4 mm y los vientos predominantes son del N-NE y S-SW.

Desde el punto de vista geológico, el área de estudio está situada sobre la Cuenca de Macachín. El acuífero freático está alojado en una unidad litológica constituida por una capa arenosa superficial de origen eólico, de espesor variable que comúnmente oscila entre 4 y 6 metros, y en los sedimentos limo-arenosos de la Formación Pampeana, que se encuentra por debajo.

Cabe señalar que la localidad en estudio, al igual que en el resto de la provincia, el agua subterránea constituye la única fuente económica de abastecimiento de agua potable, esto implica que depende exclusivamente de este recurso que constituye un elemento esencial para la vida y el desarrollo de la región. En vista de la importancia de estos abastecimientos de agua, puede justificarse la protección del acuífero para prevenir el deterioro de la calidad y cantidad de agua subterránea.

El presente trabajo fue abordado para lograr una caracterización hidrogeológica-ambiental del territorio urbano y periurbano de Macachín, según los grados de riesgo a la contaminación del acuífero libre, que provee de agua a la misma, teniendo en cuenta la presencia de nitrato como factor condicionante de la calidad del recurso. El estudio estuvo orientado al análisis del área periurbana, especialmente se trató de cubrir el área de replanteo de las fuentes de agua potable para la localidad, ubicada al noreste de la misma. Por otro lado se estudió el área urbana propiamente dicha teniendo en cuenta lo relacionado con los contenidos de nitrato detectados en los pozos domiciliarios y en los pozos de abastecimiento.

Se realizaron 2 campañas de recolección de muestras de agua en perforaciones y en pozos barrenados, tanto de la zona urbana como de la rural. Se midió *"in situ"*: temperatura, pH y conductividad. En laboratorio se determinó conductividad eléctrica y la concentración de los iones: nitrato, nitrito y cloruro. Se calcularon parámetros estadísticos básicos de los 8 pozos en explotación correspondientes a la batería de Cooperativa de Servicios Públicos y de las perforaciones y pozos barrenados analizados. Se estimaron los tiempos de tránsito de los contaminantes en la zona no saturada y saturada.

De acuerdo a los datos obtenidos se evidencia que el estado de las aguas subterráneas del casco urbano y de la zona rural de Macachín es poco satisfactorio. En vista a los resultados químicos, el 100 % de los pozos domiciliarios muestreados poseen contenidos de nitratos que superan los niveles máximos permitidos para el consumo de agua potable, lo que indicaría una sensible modificación de origen antrópico del medio natural. Con respecto a los pozos de abastecimiento de la localidad de Macachín, se identificó un aumento significativo en las concentraciones de nitrato a partir

aproximadamente del año 1998. En el presente trabajo se sostiene que el aporte de materia orgánica al agua tiene su origen en 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 muy similares y superiores al límite permitido para consumo humano, por lo que se advierte que el mismo podría ser movilizado hacia el acuífero por el agua de infiltración.

No se observa una diferencia en las concentraciones de nitrato en la zona saturada entre la parte urbana y la rural analizada. En promedio, en las dos zonas los contenidos son similares y muy superiores al límite para consumo humano permitido por la ley. Las posibles fuentes contaminantes en la zona rural pueden ser diversas. Esta investigación sostiene que las fuentes más probables de incorporación de materia orgánica 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 como corrales no permanentes, uso de fertilizantes u otros.

Palabras claves: calidad del agua, hidroquímica, contaminación urbana y rural, fuentes de contaminación.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural, ineludible e insustituible que cada vez más entra en los dominios de los bienes escasos, fundamental para todo desarrollo socioeconómico, así como para preservar la salud de los ecosistemas. (Schulz, 1999).

El agua es un elemento esencial para los ecosistemas y para las sociedades humanas, al ser un elemento vital para la supervivencia de la biodiversidad y de las sociedades; un elemento fundamental para el desarrollo de diversas actividades económicas; un recurso natural, que por su carácter limitado, adquiere valor económico y un recurso ambiental que es patrimonio común de la sociedad, la cual además de usarlo, debe conservarlo y preservarlo.

Como en todo recurso natural, el hombre influye de manera decisiva en la modificación del mismo. La tasa de crecimiento de la utilización del agua ha sido en nuestros siglos más de dos veces superior a la del crecimiento de la población, por lo que son ya muchas las regiones que sufren una escasez crónica de agua. (Schulz, 1999). La disponibilidad de agua en calidad y cantidad adecuada es, entre los recursos naturales, el principal indicador que afecta al desarrollo humano. (Bocanegra y Benavides 2002).

Cuando se plantea desarrollar distintas actividades, potencialmente contaminantes del agua subterránea, es de suma importancia tener en cuenta las características de la zona en dónde se emplazará dicha actividad. Es necesario contar con adecuada información del sustrato para asegurar la sostenibilidad de la calidad del agua subterránea que va a ser explotada.

En el contexto latinoamericano son pocos los países de esta región que poseen algún tipo de política que asegure la protección del recurso contra la contaminación o la sobreexplotación. Tal hecho tiene mayor importancia en las zonas donde el agua subterránea constituye la única fuente de abastecimiento para todo tipo de usos y actividades del hombre. Este es, básicamente, el caso de la provincia de La Pampa, donde el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento humano, constituyendo un recurso primordial para el desarrollo de la misma.

En la mayor parte del territorio pampeano, con excepción de su extremo oeste, los ambientes medanosos constituyen los principales reservorios de agua subterránea, la que se aloja en sedimentos de características hidráulicas variables, desde netamente acuífero hasta acuitardo. En estas zonas de interés, por tratarse de fuentes que abastecen el consumo tanto urbano como rural, surgen limitaciones derivadas de la calidad de sus aguas. (Mariño, 2003)

Según Custodio (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 agricultura, ganadería, industria, etc. como así también su aptitud para consumo como agua de bebida. La calidad del agua subterránea está determinada mayormente por la composición de las formaciones geológicas por las que ha transitado, en las que se aloja, de la recarga y del funcionamiento hidráulico.

La contaminación del agua está definida como la acción y el efecto de introducir materias o energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica. Hay que tener muy en cuenta que un acuífero seriamente contaminado nunca más podrá volver a su calidad anterior ya que la recuperación de acuíferos una vez que han sido contaminados es muy costosa y técnicamente problemática. (Foster *et al*, 1987). Por esto, la mejor práctica que asegure la sustentabilidad del recurso, es proteger el acuífero antes de que sea contaminado. (Hirata *et al*, 1996).

La contaminación de las aguas subterráneas, tanto por actividades urbanas como industriales, está ligada a diversas causas que provienen fundamentalmente, de:

• Eliminación de aguas residuales: fosas sépticas, pozos ciegos, pozos de inyección, vertido de aguas residuales insuficientemente tratadas, etc.

• Almacenamiento de sustancias: rellenos de excavaciones y canteras, vertederos incontrolados, manejo inadecuado de residuos y subproductos, fangos de depuradoras, etc.

• Conducciones y transporte: alcantarillas, colectores, accidentes en el proceso de transporte y transferencia.

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 se suele poner de manifiesto a través de la presencia de altos contenidos de nitrato en el agua. (Guimerá, 1993).

1.1- Objetivos

El objetivo básico del presente trabajo es lograr una caracterización hidrogeológica-ambiental del territorio urbano y periurbano de Macachín y de la zona aledaña, según los grados de riesgo a la contaminación del acuífero libre, que provee de agua a la misma, teniendo en cuenta la presencia de nitrato como factor condicionante de la calidad del recurso.

Se pretende suministrar información para la planificación y gestión ambiental del área, además de datos de interés para los organismos dedicados al suministro del agua, al sanitarismo, y la prevención para la salud de la población.

1.2- Antecedentes

En lo que respecta a la recarga del acuífero en la zona de Macachín, se puede considerar el trabajo de Giai, S. y Castro, E., 1996. En cuanto a la hidrogeología del lugar se pueden mencionar a Salso, H. J., 1966, referido a la Cuenca de Macachín y Salso, H. J., 1965, acerca de la perforación “Macachín Nº 1”. A las características de las perforaciones de la localidad refieren los trabajos de Malán, J. M., 1981, sobre la construcción del pozo de explotación Nº 4 de Macachín; Malán, J. M., 1998, referido a tres nuevos pozos de explotación para el servicio de agua potable de Macachín; Malán, J. M., 1983, que nos brinda un panorama general del servicio de agua potable de la localidad de Macachín y Tullio, J., 1988, referido a la construcción de los pozos Nº 5 y Nº 6.

Como proyecto de ordenamiento urbano en la localidad de Macachín se puede mencionar a Dieser, J., 2002.

Con respecto a la aptitud del agua subterránea de la zona de estudio para consumo humano se pueden destacar tres trabajos: Cavalié, 1979; Castro y Tullio, 1990 y Schulz *et al.* 1999, 2002.

Los estudios que abordan la contaminación de aguas subterráneas por actividades antrópicas integran la mayor parte de la bibliografía. Se pueden mencionar, entre otros, los trabajos de Saracho *et al*., 2004, en la ciudad de Catamarca; Auge y Nagy, 1996, en el Gran La Plata y Barranquero *et al.*, 2006, en la ciudad de Tandil. Específicamente en la provincia de La Pampa algunos de los trabajos llevados a cabo corresponden a Dalmaso *et al*., 1999 y 2000, en el acuífero de General Pico y Dalmaso *et al*., 2007 en la localidad de Catriló; Fernández y Mariño, 2002, en este caso enfocado a la zona rural del Valle Argentino;

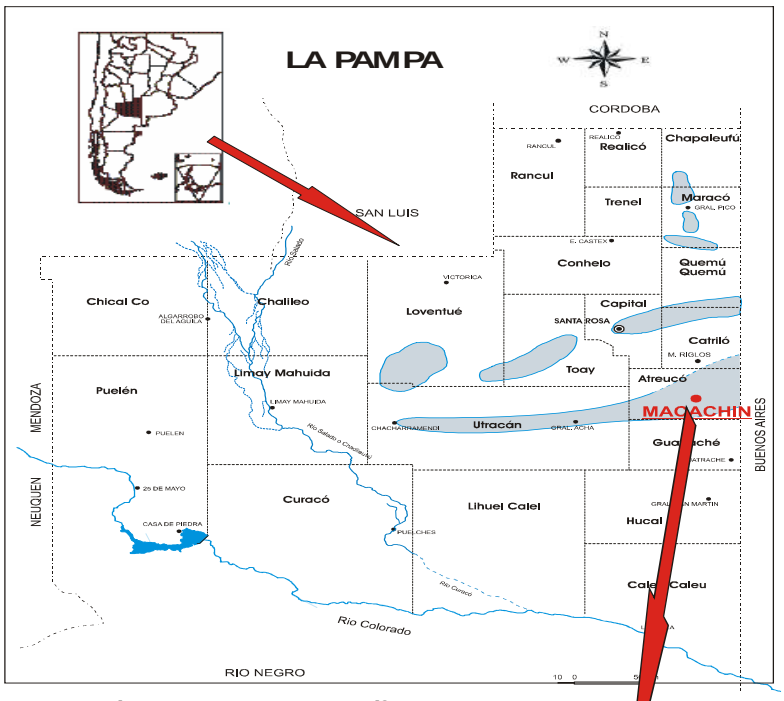
Camilletti y Dalmaso, 2005, en Santa Rosa y zona de influencia; Iribarra, 2006, enfocado en la contaminación por nitrato en la localidad de Catriló. Como trabajos a destacar realizados en la localidad de Macachín, caben mencionar el de Peroni, 2006, referente a la vulnerabilidad del acuífero y Giai, S., 2005, sobre el replanteo de Fuentes de Agua Potable de Macachín.

2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la zona urbana de la localidad de Macachín y la zona rural aledaña. La localidad de Macachín se encuentra ubicada a la vera sur del acuífero del Valle Argentino, al sur-este de la ciudad de Santa Rosa, Capital de la Provincia de La Pampa, Argentina, en la intersección de las rutas provinciales Nº 1 y Nº 18, situándose en el contexto de la llanura ondulada central. Es la cabecera del departamento Atreucó y una de las localidades más importantes de la zona. El Inventario de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa (Cano et al., 1980) incluye a esta localidad en la región oriental de dicha provincia, en el extremo sur de la Unidad Cartográfica de la Planicie Medanosa con Médanos Vivos. Cuenta con una población estimada de 5014 hab. (Dirección de Estadística y Censos, Pcia. de La Pampa, 2006) en una superficie de 100 ha, incluyendo el casco urbano y la periferia.

La zona es netamente productora de materias primas, tanto agrícolas como ganaderas. La actividad industrial actualmente comprende: a) la Planta Industrial C.I.B.A. S.A., procesadora de sal (Dos Anclas), b) una Planta productora de lácteos (Don Felipe), c) un Molino Harinero y d) la Planta Extractora de miel, perteneciente a la Cooperativa de Obras y Servicios Públicos de Macachín.

La localidad posee agua corriente desde 1970 y cloacas desde el año 2002. Sólo el **40%** de la población se encuentra conectada a este último servicio, el 60% restante usa pozos sépticos para sus efluentes. Aunque no para consumo, aún en la actualidad parte de la población utiliza pozos de agua domiciliarios para usos tales como el riego.



Ubicación de los principales acuíferos de la provincia de La Pampa.

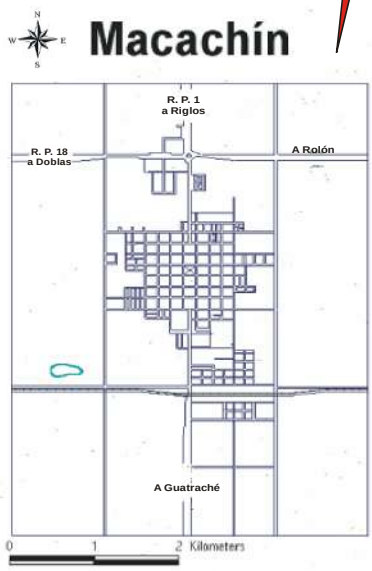


Figura 1: Ubicación del área de estudio

2.1. Clima

El clima es subhúmedo a semiárido del tipo templado, con temperaturas medias anuales de 15.6°C, para el período 1941/2008, con una media máxima mensual de 23,8 ºC en enero y una media mínima mensual de 7,3 ºC en julio, con un promedio de 17 heladas anuales en la zona (Servicio Meteorológico Nacional). Las mismas ocurren desde finales de abril a finales de octubre aproximadamente, con una variabilidad entre 20 y 25 días, lo que lleva a que los cultivos de cosecha sean riesgosos. Los vientos predominantes son del N-NE y S-SW. (Cano *et al.*, 1980).

La pluviometría anual media es de 678,4 mm/año (1921-2008), con una tendencia a ser marzo el mes más lluvioso y julio el mes más seco. Esta es la única fuente de aportes para los acuíferos.

2.1.1. Precipitaciones

En la figura 2 se presentan las precipitaciones anuales ocurridas en esta localidad desde el año 1921 al 2008. En la serie de datos analizados se nota una clara tendencia positiva debida fundamentalmente a la ocurrencia de un ciclo de años húmedos a partir de 1976, que se mantuvo hasta el 2001. Los datos pluviométricos fueron suministrados por la Administración Provincial del Agua de La Pampa.

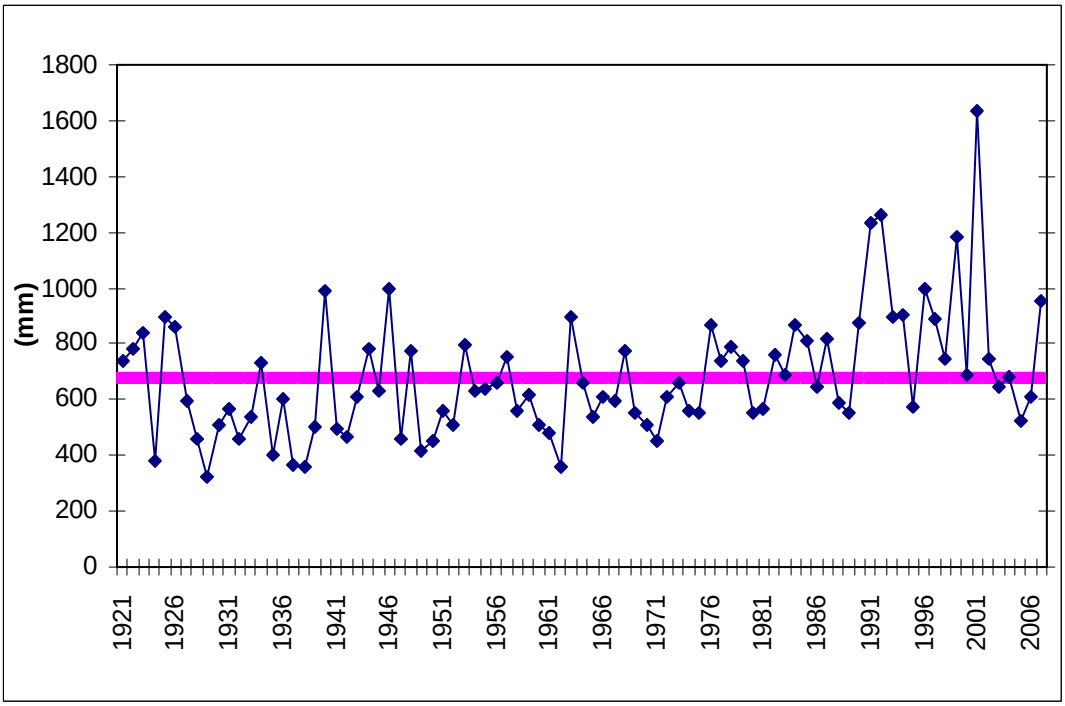


Figura 2: Precipitaciones anuales en Macachín (1921-2008).

En la figura 3 se presenta el histograma de precipitaciones medias mensuales de Macachín; en el mismo puede visualizarse claramente la ocurrencia de inviernos secos y veranos húmedos, siendo marzo el mes con mayores precipitaciones y julio el mes más seco.

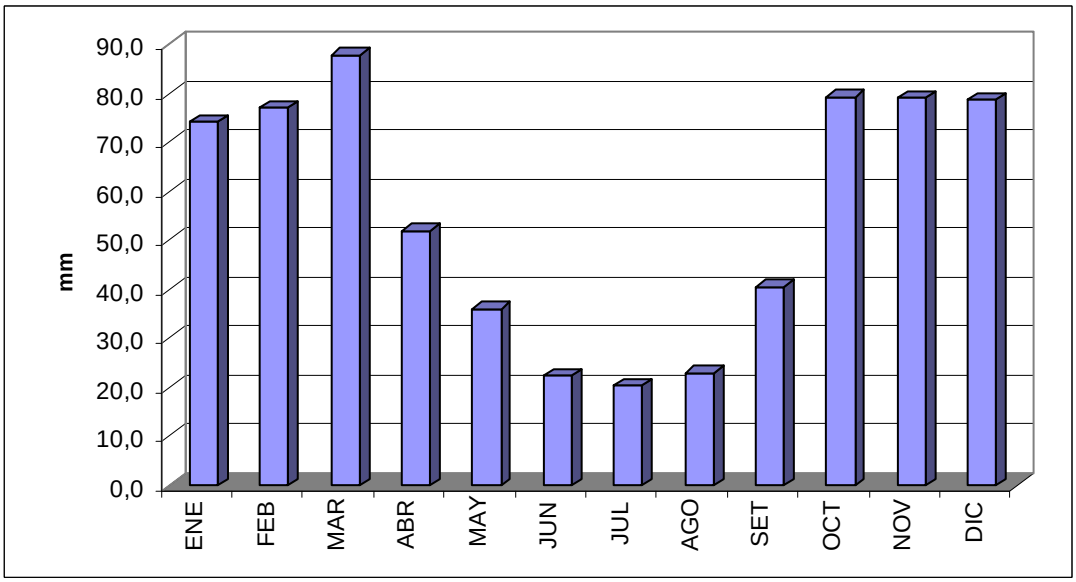


Figura 3: Precipitaciones medias mensuales en Macachín (1921-2008)

Por carecer de datos de niveles freatimétricos de la zona urbana se tomaron los aportados por la Planta Industrial C.I.B.A. S.A., correspondientes al piezómetro Nº 11, uno de los utilizados para monitorear la dinámica de la laguna de la que extraen la sal. La misma se ubica a 12 km al sudeste del casco urbano. Si bien el suelo de la zona de la laguna es más limoso que en la parte urbana, se espera que la evolución de los niveles freáticos con respecto a la de las precipitaciones sea similar en los dos sitios. Además, se seleccionó a ése piezómetro por ser el más alejado de la laguna, aproximadamente 500 metros al sudoeste, con lo cual se minimiza el efecto de la misma en los niveles freáticos.

Un registro histórico (1994/2008) del piezómetro Nº 11 (Figura 4) muestra una fluctuación máxima del orden de 2,8 metros, dentro de un rango de profundidad que va de 0,44 metros a 3,24 m.b.b.p.

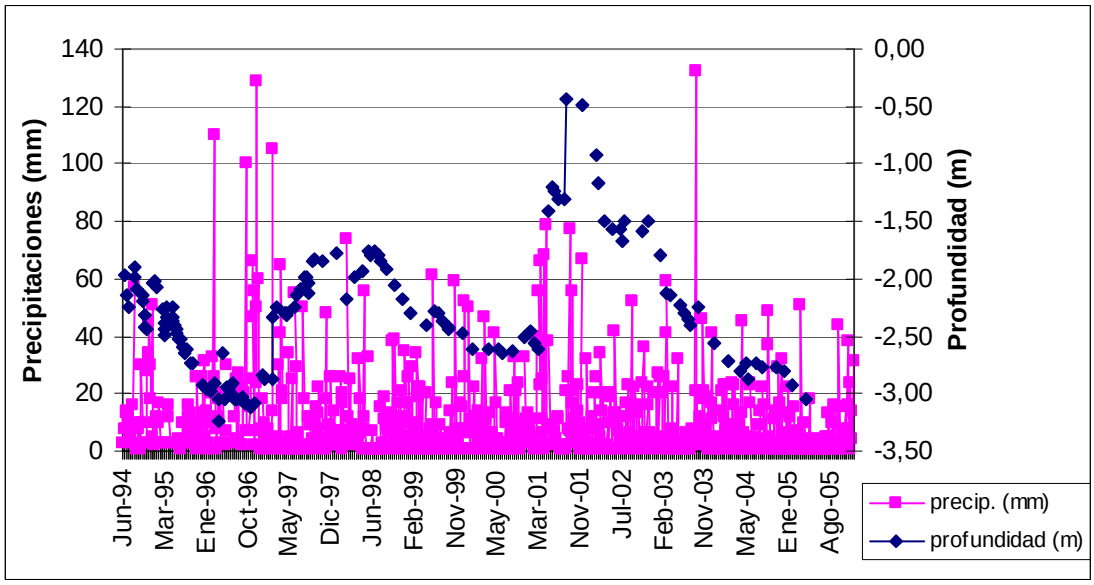


Figura 4: Evolución pluviométrica y freatimétrica para Salinas Grandes (1994-2008)

La figura 4 sintetiza que:

- En general, las fluctuaciones del nivel freático muestran una cierta correspondencia con la marcha anual de las precipitaciones.

- Los períodos de ascensos se registran durante 1994, entre mediados de 1997 hasta julio-agosto de 1998 y desde mediados de 2001 hasta marzo-abril de 2003. Estos episodios se corresponden con años donde las precipitaciones superan los 900 ó 1000 mm anuales.

- Los mayores descensos se producen desde principios de 1995 hasta principios de 1997, desde finales de 1998 hasta finales de 1999 y desde mediados de 2003 a mediados de 2004, debido a las bajas precipitaciones que rondan los 500 mm anuales. Como consecuencia de esto, la cantidad de agua que llega al acuífero es menor que en otros periodos, lo que produce un descenso en el nivel freático.

- Los periodos en los cuales el nivel freático se mantiene relativamente constante son los comprendidos entre finales de 1999 y mediados de 2001, y desde mediados de 2004 a la actualidad, aunque en este último la tendencia general es de descenso.

2.1.2. Temperatura

Macachín tiene una temperatura media anual de 15.6 ºC para el período 1941-2008, con una media máxima de 23.8 que corresponde al mes de enero y una media mínima mensual de 7.3 ºC en julio (Servicio Meteorológico Nacional). En la figura 5 se representan gráficamente las temperaturas medias mensuales correspondientes a la serie 1992-2008. Dado el régimen de precipitaciones y temperaturas, la localidad cuenta con inviernos secos y fríos y veranos húmedos y calurosos.

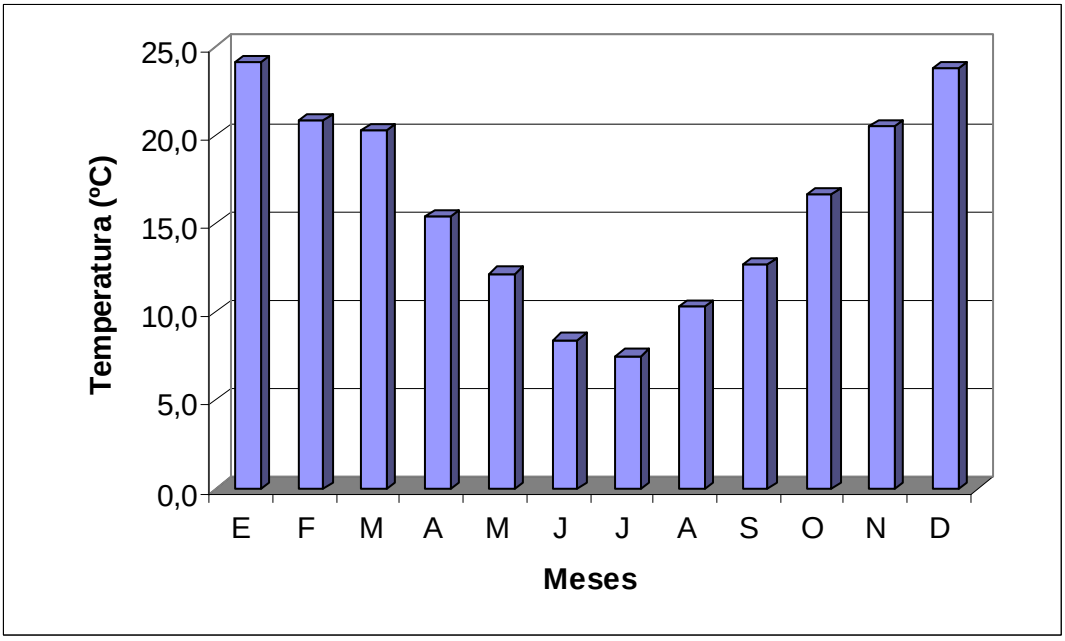


Figura 5: Temperaturas medias mensuales en Macachín (1992-2008)

2.1.3. Evapotranspiración

La evapotranspiración potencial para el área de estudio fue calculada con el método de Thornthwaite a partir de los datos de temperatura de Salinas Grandes brindados por CIBA S.A para el período de los años 1992-2008.

El disponer tan sólo de datos climáticos de temperaturas ha condicionado el cálculo de la evapotranspiración potencial mediante el método de Thornthwaite, según la relación:

$$ETP = 16\left(\frac{10t}{I}\right)^{a} \times K$$

donde la ETP esta dada en mm/mes, t es la temperatura media en °C del periodo para el cual se considera la ETP (diaria o mensual), I es el índice de calor anual que es igual a Σi, siendo i el índice de calor mensual, calculado para cada mes según la expresión:

$$i = \left(\frac{t'}{5}\right)^{1.514}$$

siendo t' la temperatura media mensual en °C. El coeficiente a es función del índice de calor anual y viene dado por:

$$a = 675 \times 10^{-9}\, I^{3} - 771 \times 10^{-7}\, I^{2} + 1792 \times 10^{-5}\, I + 0.49239$$

y el coeficiente K es un coeficiente de corrección que es función de la latitud y del mes para el cual se calcula la ETP,

$$K = \frac{N}{12}\frac{d}{30}$$

Este método tiene en cuenta la temperatura media mensual obtenida a partir de las medias diarias, la duración real del mes y el número máximo de horas de sol, según la latitud del lugar.

Evap.	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Poten.	168	105	101	55	34	16	14	27	42	77	115	161	**915**
Real	80	60	61	42	27	15	12	21	31	54	84	88	**575**

Tabla 1. Evapotranspiración potencial y real media en mm. Período de 1992-2008.

En Macachín, la evapotranspiración potencial climática tiene una media anual de 915 mm. La máxima ocurre en enero con un valor de 168 mm/mes, mientras que la mínima se presenta en el mes de julio con 14 mm/mes. En la tabla 1 se presenta un resumen de los resultados por periodos y en la figura 6, la relación entre la precipitación y la evapotranspiración potencial de Macachín resuelta con la metodología propuesta por

Thornthwaite y Mather (1955). El intervalo analizado (1992-2008) fue seleccionado por ser el único donde se cuenta con datos del lugar.

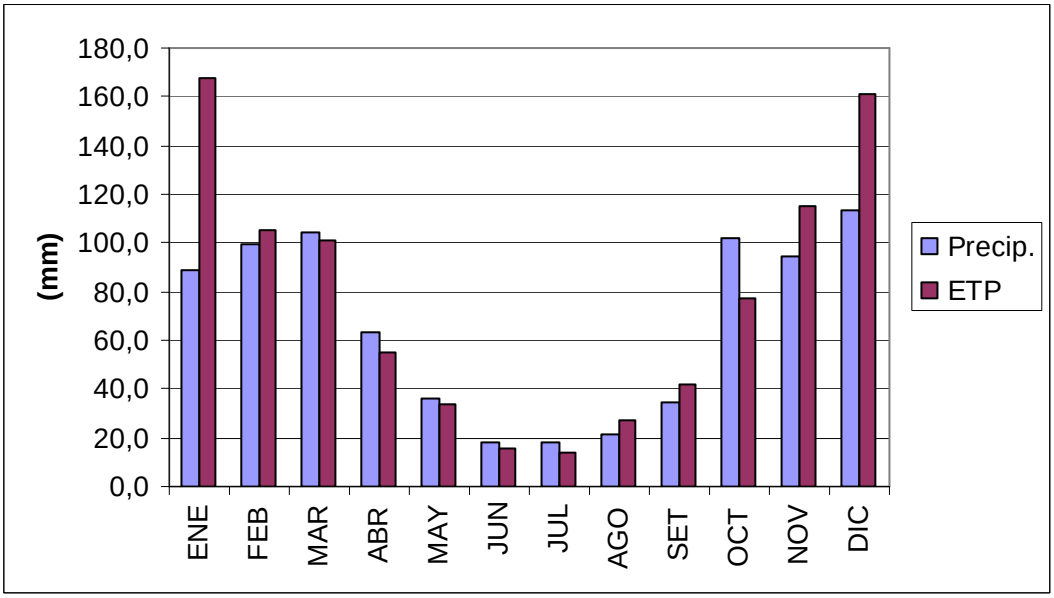


Figura 6: Precipitación y evapotranspiración potencial medias mensuales. Periodo 1992-2008

Del análisis de la figura 6 surge que la precipitación supera a la evapotranspiración potencial básicamente en otoño-invierno y en octubre. En esos meses se generaría un excedente, parte del cual puede constituir parte de la recarga del acuífero.

2.2. Geología

En la Cuenca de Macachín, donde se sitúa la localidad homónima, se ha inferido que el basamento se encuentra a 4-5 km de profundidad (Salso, 1966). A los efectos de este trabajo son de interés tres unidades litológicas que afloran en la zona, por ser las que alojan al acuífero estudiado, en las que se produce la infiltración, recarga y circulación. La más antigua de ellas es la que Salso (1966) denominara de manera informal ¨Formación Pampeana¨. En general está compuesta por arenas muy finas, limosas, castañas, de carácter acuitardo, que suelen culminar en las partes elevadas con un encostramiento calcáreo. Desde el punto de vista hidrogeológico, constituye la roca almacén de un acuífero multicapa.

Le siguen hacia arriba depósitos de arenas eólicas recientes que, según los datos de los pozos de explotación Nº 5 (bis), 7 y 8, varían entre 5 y 7 mts. de espesor. Esto concuerda con lo aseverado por (Giai y Tullio, 1998), ya que sostienen que el espesor de estas arenas está entre decímetros y 15 m, siendo lo más común de 4 a 6 metros. Acerca de la posición estratigráfica de estas arenas, por correlación con acumulaciones semejantes en la zona de Toay, puede ubicárselas en el Pleistoceno final (Zetti, 1964).

Finalmente pueden mencionarse los sedimentos contenidos en las depresiones, los que son portadores de sales solubles y material clástico con granometría desde arenas a arcillas.

La Tabla 2 sintetiza la estratigrafía tanto formacional como litológica presente en la zona (Terraza et al., 1981).

Edad	Formación	Litología
Reciente		
Holoceno Superior	Formación Valle de Maracó	Areniscas grises producto de la erosión de las márgenes superiores de los valles y sobre todo la meseta o planicie pampeana
Pleistoceno Superior-Holoceno Medio	Formación Junín	Arenas finas, de carácter suelto
Pleistoceno Medio-Sup.	Formación Padre Buodo	Arenas eólicas, sin estratificación visible
Plioceno-Pleistoceno	Formación Pampa	Limolitas y areniscas muy finas limosas, ambas en el límite entre sedimentos y sedimentitas(Cerro Azul)
Mioceno Superior	Formación Macachín	Areniscas gruesas a conglomeradas con matriz arenosa y cemento arcilloso y encima una granulometría fina a muy fina de coloración verdosa, con intercalaciones de materiales piroclásticos
Mioceno Inferior	Formación Abramo	Limolitas y areniscas finas de color pardo rojizo con intercalaciones de pequeñas lentes de arcilita
Pérmico	Formación Arata	
Precámbrico y Paleozoico Inferior	Basamento	

Tabla 2. Cuadro estratigráfico de la zona de estudio.

En la tabla 3 se presenta una simplificación de la descripción litológica de un pozo profundo realizado por Salso (1966, modificado), que ilustra acerca del perfil litológico subyacente.

Edad	Profundidad (en metros)	Litología predominante
Cuaternario	0.00- 5.4	Arena muy fina, limosa, levemente calcárea, parda rojiza.
Plioceno superior	5.4- 10.47	1ª capa de agua; arena gruesa a fina, parda clara, concreciones calcáreas y ferruginosas, con yeso cristalizado.
	10.47- 16.55	Arenisca fina a mediana, parda clara, concreciones calcáreas, yeso cristalizado
	16.55- 147.27	Limo arenoso y arcilloso, pardos claros a rojizos, poco consolidado.
Mioceno	147.27- 176.68	Limo arcilloso a muy arcilloso, calcáreo, pardusco con tonos verdes
	176.68- 219.39	Arcilla pardusca poco calcárea, con intercalaciones limosas y poco yeso cristalizado.
	219.39- 221.69	2ª capa de agua; arena blanca, muy fina.
	221.69- 231.20	Tufita arenosa, arcillita rojiza y gris verdosa, algo de arenisca muy fina y yeso cristalizado.
	231.20- 234.20	3ª capa de agua; Arena fina, limosa, parda, con pequeños fragmentos de calcáreo y yeso cristalizado.
	234.20- 254.81	Arcilla limosa, parda, calcárea y yeso cristalizado; arena limosa.
	254.81- 309.53	Arena limosa, algo arcillosa; pequeños trozos de calcáreo y yeso cristalizado.
	309.53- 332.73	Limolita arcillosa, gris pardusca, con abundante calcáreo.
	332.73- 378.54	Arena gruesa, gris verdosa, con trozos de arcilla verde.

	378.54- 406.14	4ª capa de agua; arena gruesa, yeso y en menor proporción calcáreo
	406.14- 417.82	Arcilla arenosa a arena arcillosa, parduscas, calcárea y yeso cristalizado.
	417.82- 451.60	5ª capa de agua; arena parda rosada verdosa y parda rojiza, abundante yeso cristalizado y escaso calcáreo.
	451.60- 607.99	Arcilla parda, mezcla de limos rojos y verdes y fino agregado cristalino de yeso

Tabla 3: esquema litológico simplificado de un pozo profundo (modificado de Salso, 1966)

2.3. Geomorfología

Las características geomorfológicas de la zona permiten incluirla en la Subregión de las Planicies o en la Llanura Pampeana de modelado eólico Superimpuesto. (Calmels, 1996).

Los procesos morfogenéticos que actuaron en esta subregión fueron fundamentalmente hídricos (de escurrimiento difuso) y eólicos (de acumulación-deflación).

En cuanto al relieve se encuentran ondulaciones arenosas de médanos aislados, con apreciable cantidad de médanos vivos. El relieve es de suavemente ondulado a medanoso. Intercaladas entre esas ondulaciones existen planicies arenosas de aproximadamente 3 a 4 km de ancho. Hay frecuentes áreas deprimidas con lagunas temporarias.

Litológicamente, el área está constituida superficialmente por sedimentos arenosos, cuya potencia es variable (3 a 6 m). Dentro de estos materiales se encuentran capas de ceniza volcánica, suelos enterrados y paleohorizontes. (Cano *et al.*, 1980).

2.4. Edafología

Desde el punto de vista edafológico (Cano *et al.*, 1980), el área de estudio está ubicada dentro de la Unidad Cartográfica denominada “Planicie medanosa con médanos vivos”, que abarca parte de la zona de los suelos más productivos de la provincia. Sus limitaciones son las normales para suelos de áreas semiáridas, como regular capacidad de retención de la humedad, erosión eólica y sequías estacionales.

Sus suelos tienen poca evolución genética, donde básicamente se puede observar un sencillo perfil del tipo A-AC-C. Se trata de perfiles edáficos de escaso desarrollo con unos 5 a 9 mts. de arena. Están naturalmente poco estructurados; el horizonte superficial ha perdido parte de su espesor.

Los suelos dominantes han sido clasificados como Haplustol éntico, familia arenosa, mixta, térmica, en fase severamente erosionada y Ustipsamente típico, familia silícea, térmica, en fase severamente erosionada (Cano *et al.*, 1980). El mal manejo de los suelos y el sobrepastoreo han acelerado este proceso erosivo natural causado por las sequías y los fuertes vientos. Así se han originado montículos y médanos en campos dedicados al cultivo.

El uso primordial actual de la tierra es la ganadería de invernada (en menor grado cría y recría) y los cultivos de cosecha.

2.5. Hidrogeología

Las características hidrogeológicas generales del Valle Argentino responden a las condiciones morfológicas o de relieve local (Schulz, 1995). En el mismo se pueden diferenciar 4 subsistemas hidrogeológicos con particularidades propias. Específicamente en la zona de Macachín se encuentran en 2 de ellos: el de Acuíferos con límites indiferenciados y el de las Depresiones o Sectores de descarga.

- **Área con acuíferos indiferenciados**: En el extremo oriental del sistema, el Valle comienza a ensancharse perdiendo altitud las terrazas limitantes del mismo, principalmente en la parte

norte, constituyéndose en una llanura ondulada con médanos. Esta unidad es una prolongación del cordón medanoso central, al que se asemeja en los materiales, particularidades morfológicas del perfil de sus suelos y también en los parámetros hidráulicos. Unos valores orientativos de los parámetros hidráulicos de este subsistema son los arrojados por (Schulz, 1995), que para la parte medanosa de Padre Buodo (formada por arenas finas a medias) la Transmisividad es 95.17 m^2/día; el Coeficiente de Almacenamiento, 0.07 y la Permeabilidad, 21.3 m/día. La alta permeabilidad de la cubierta arenosa hace que el agua de lluvia tenga poco tiempo de exposición en superficie y se infiltre rápidamente, por lo que es poco probable que se llegue a evaporar. El nivel freático se encuentra en las arenas superiores, pero existe continuidad hidráulica con los de más abajo (Giai, 2005).

- **Depresiones o sectores de descarga**: a los laterales del cordón medanoso central, se reciben los aportes de la descarga del mismo, que actúa como zona de recarga, con la formación de algunos cuerpos de agua. Para el pozo de explotación Nº 6, donde los filtros se ubican de 27 a 36 m de profundidad, la Transmisividad es de 26.547 m^2/día (Tullio, 1988) y para el pozo Nº 4, cuyos filtros se ubican desde los 21.7 a los 27.7 m de profundidad, la Transmisividad es de 8.2 m2/día y la Permeabilidad, de 0.27 m/día (Malán, 1981)

Regionalmente se puede apreciar un escurrimiento hacia el este, sureste y noreste, lo cual demuestra que la recarga opera en coincidencia con el cordón medanoso central. (Giai y Tullio, 1998). La zona de conducción coincide con el casco urbano y la zona de descarga se encuentra al sudeste de la localidad en el llamado “Bajo de Paez” o al sudoeste, en la “Laguna de Zarza”. Este esquema general de flujo subterráneo se puede apreciar en el mapa de isopiezas presentado a continuación en la figura 7.

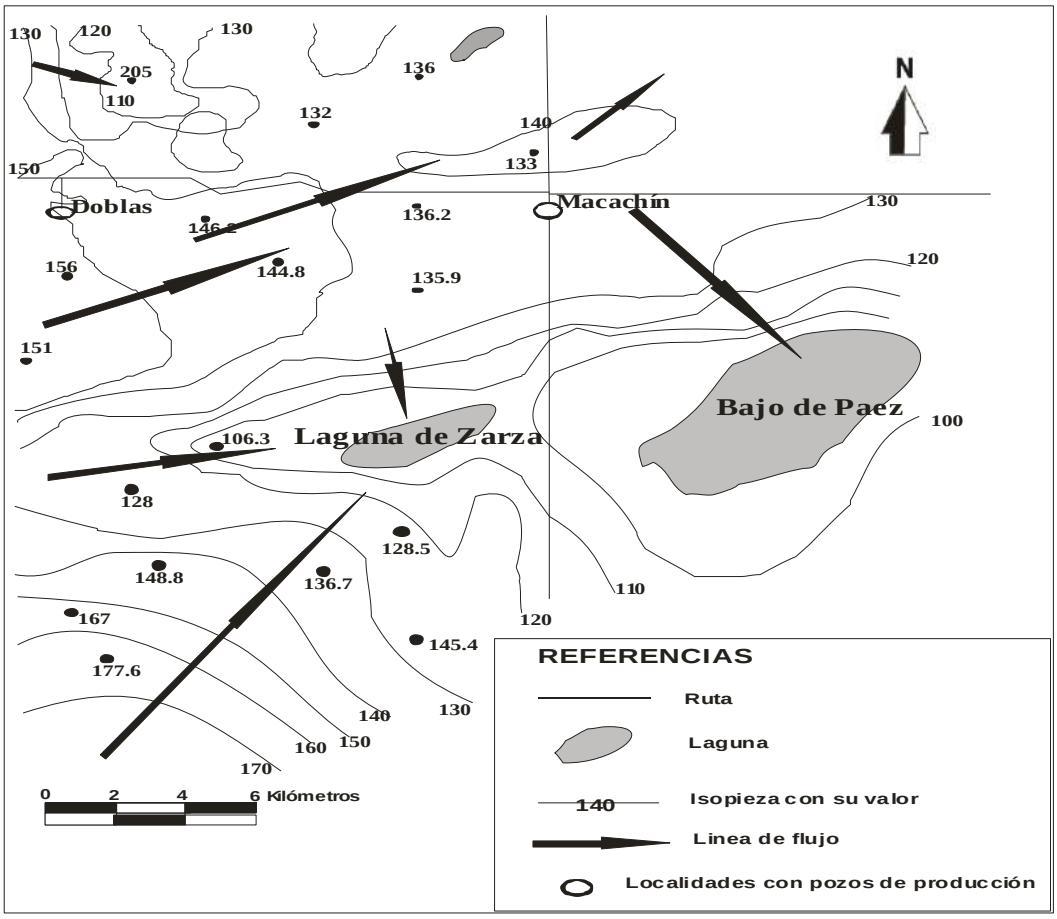


Figura 7: Mapa de isopiezas regional (modificado de Schulz, 1995).

Del análisis hidráulico del sistema localmente y en detalle, tomando los ocho pozos de abastecimiento realizados por la Administración Provincial del Agua, se puede decir que la

zona de estudio presenta dos situaciones diferentes con respecto a la dirección del flujo, como se muestra en los mapas piezométricos de las figuras 8 y 9. En condiciones naturales la pendiente hidráulica tiene un sentido NW hacia el SE y, teniendo en cuenta la extracción de agua para abastecimiento, el esquema del flujo cambia. Así los conos de depresión generados por la actividad de las bombas producen un cambio en la pendiente hidráulica natural hacia los pozos N° 1 y N° 2, invirtiendo el sentido del flujo, induciendo el aporte de agua desde las direcciones SW, SE y E (Giai, 2005).

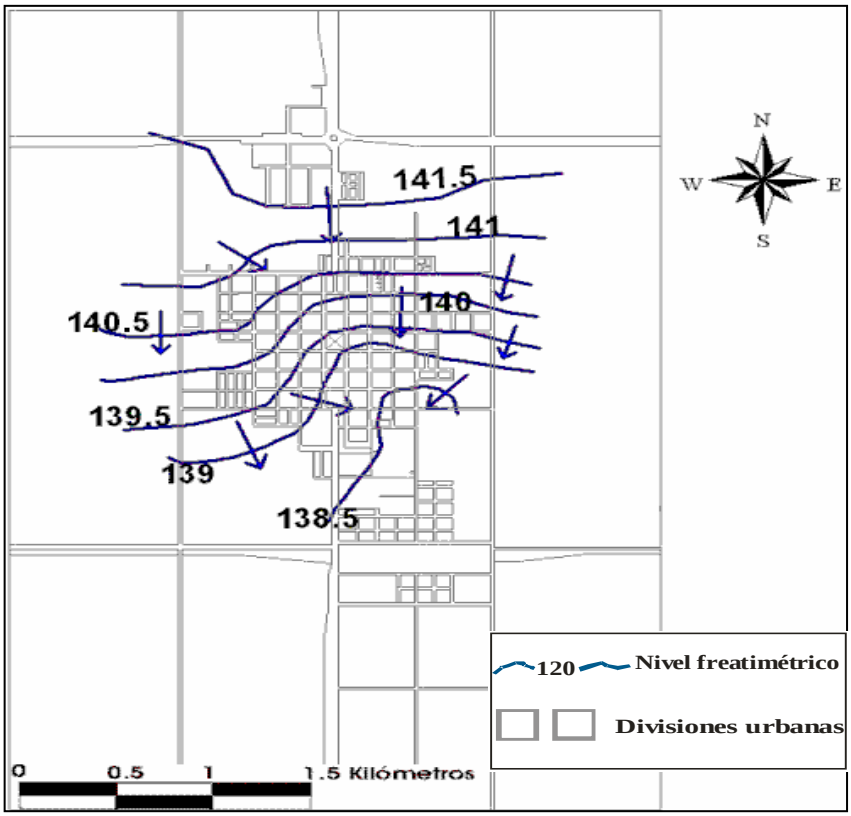


Figura 8: Mapa freático en condiciones naturales (Giai, 2005).

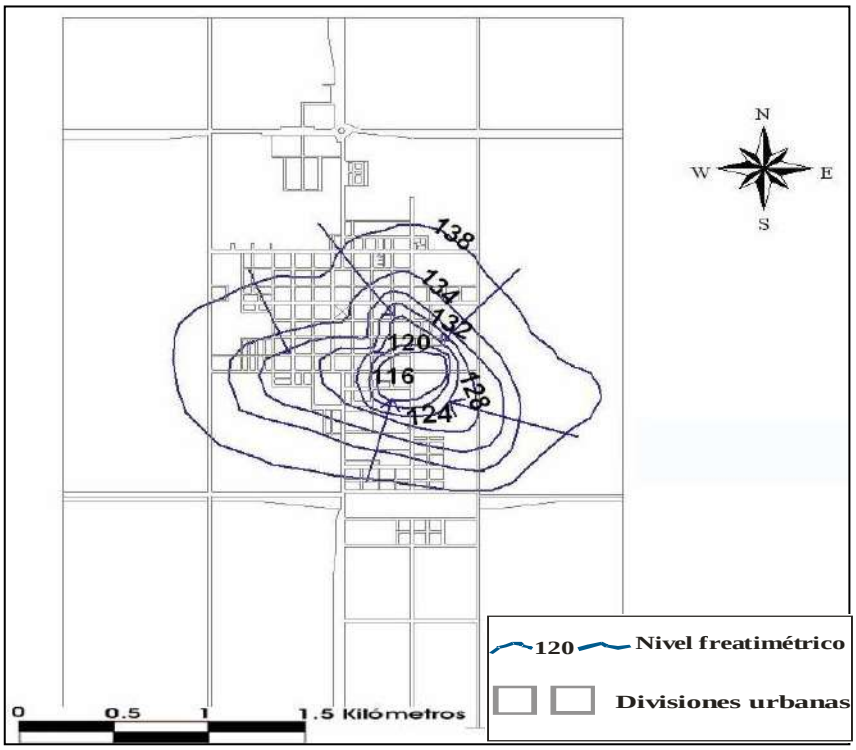


Figura 9: Mapa freático considerando la batería de pozos (Giai, 2005).

2.6. Caracteres hidroquímicos

La caracterización hidroquímica del agua subterránea del sector oriental del Valle Argentino fue realizada por (Mariño *et al*, 2002). Estos autores sostienen que el agua subterránea presenta una diversidad de tipos químicos, pero el 58% de las muestras analizadas en ese trabajo se agrupan en dos: a) el tipo I (26%) que incluye aguas bicarbonatadas mixtas o sódicas y b) el tipo II (32%) que comprende aguas con similar configuración catiónica, pero cuya concentración en cloruros aumenta hasta equiparar o superar levemente a la de bicarbonatos. Mientras que el tipo I se distribuye en el sector comprendido entre General Acha y Padre Buodo, el II lo hace entre esta última localidad y el límite con Buenos Aires.

Desde Doblas hasta el límite con la provincia de Buenos Aires, la calidad del agua en general está dentro de la potabilidad hasta los 60 metros de profundidad, a partir de la cual presenta variaciones locales. (Giai y Tullio, 1998).

Para el área de estudio, se realizó la caracterización de agua extraída de los distintos pozos de abastecimiento de la localidad con datos químicos del año 2007, por ser los que contaban con la determinación de Sodio en laboratorio. Para ello se utilizó el programa Aquachem (Calmbash, 1997). No se contó con datos de los pozos 1 y 5 por estar en desuso.

Como resultado se obtuvo que el agua en los pozos los pozos 2, 4, 6, 7 y 8 es preferentemente bicarbonatada sódica. El agua del pozo N° 3 resultó clorurada bicarbonatada sódica. La caracterización hidroquímica del agua de los 6 pozos estudiados se encuentra resumida en la figura 10 a través del gráfico de Piper.

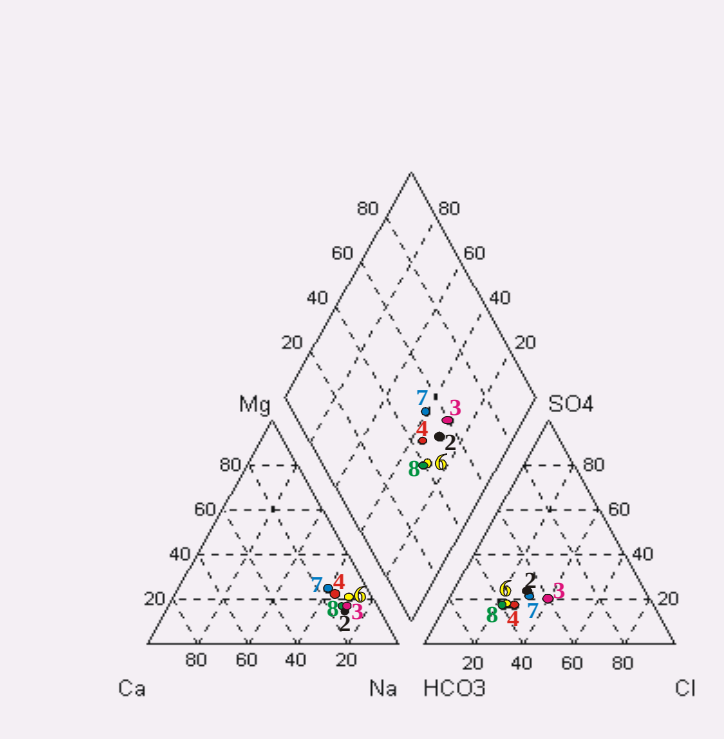


Figura 10: Diagrama de Piper del agua subterránea. Datos 2007, A.P.A.

En la figura 11 se representan los 6 pozos caracterizados hidroquímicamente a través de los diagramas de Stiff.

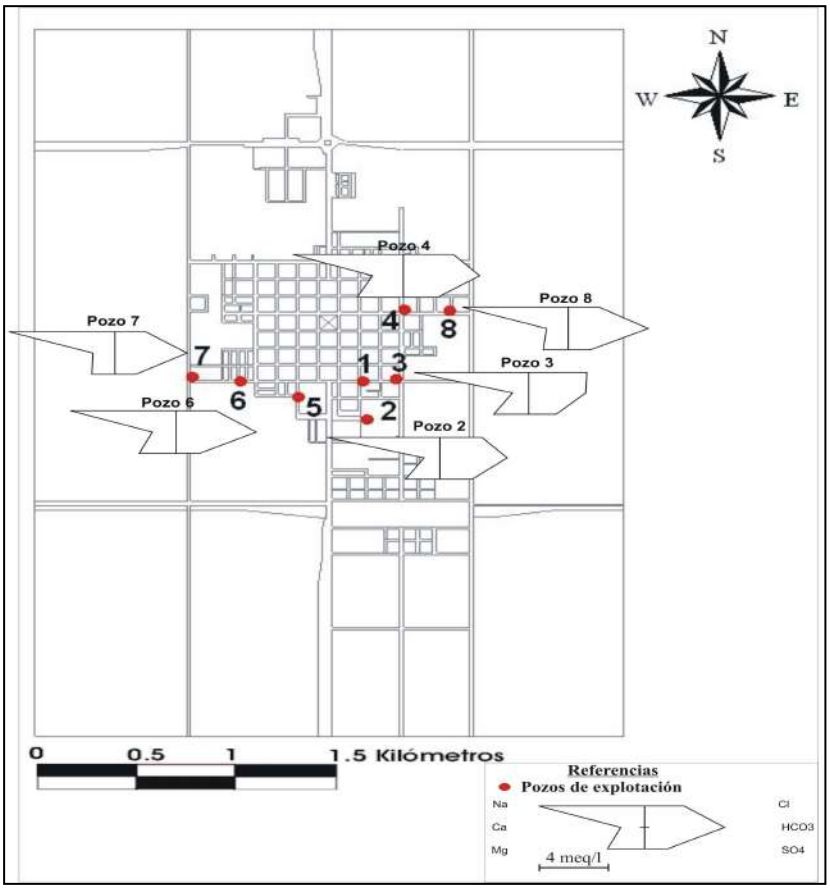


Figura 11: Diagramas de Stiff del agua subterránea. Datos 2007, A.P.A.

En cuanto a los mapas de isocontenidos, específicamente en el extremo sudeste de Macachín se ubica una zona en la que el residuo seco (Fig. 12) y el cloruro (Fig.13) alcanzan concentraciones mayores con respecto al común de la zona. (Giai, 2005).

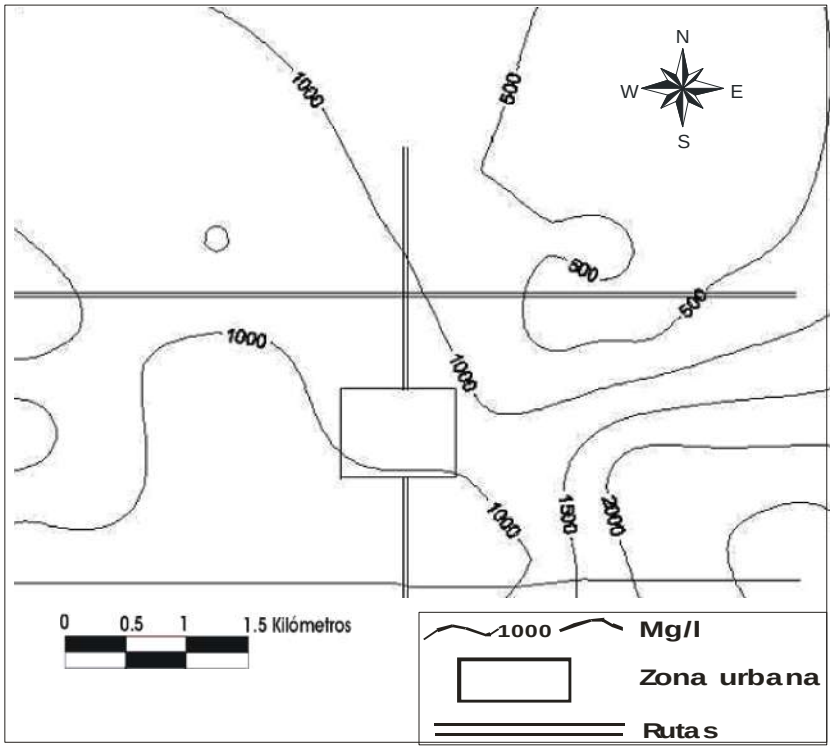


Figura 12: Mapa de residuo seco (Giai, 2005)

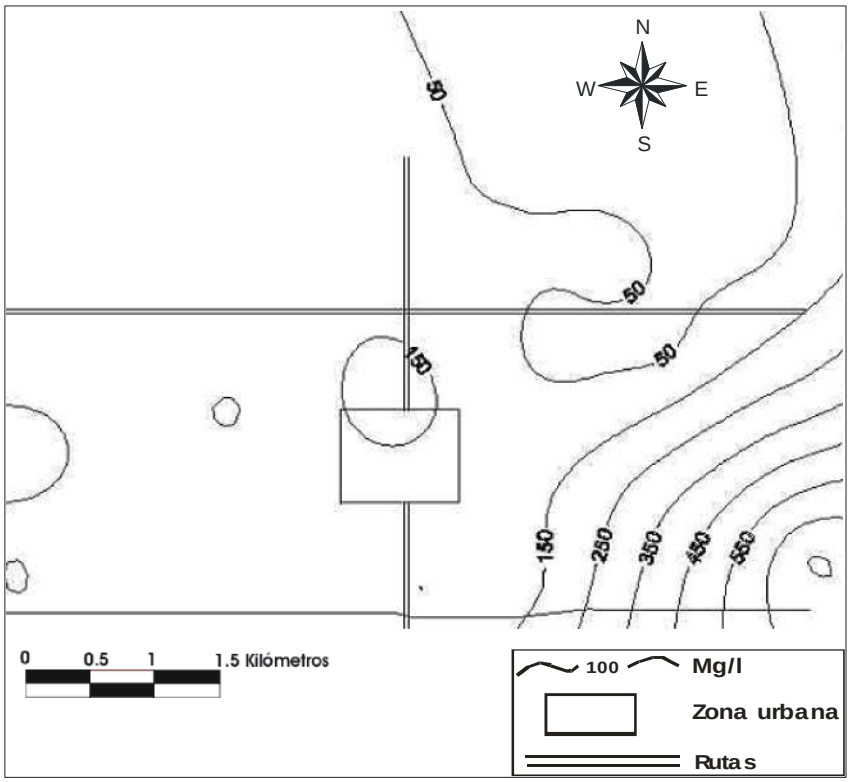


Figura 13: Mapa de cloruros (Giai, 2005)

2.7. Caracterización del servicio de agua potable

La localidad de Macachín cuenta con servicio de provisión de agua potable desde 1970. El mismo está a cargo de la "Cooperativa de Servicios Públicos de Macachín Ltda.", conformada en 1969, quien se encarga del funcionamiento y mantenimiento, realizando también sucesivas modificaciones y ampliaciones en la red de distribución. En la actualidad se cuenta con 8 pozos de extracción, de entre 28 y 45 m de profundidad, distribuidos en la zona urbana y suburbana de la localidad. (Figura 14). De esos 8 pozos, el Nº 1 y el Nº 5 se encuentran en desuso por los elevados tenores de nitrato y de salinidad que brindan.

Las cañerías de impulsión tienen diámetros variables entre 63 mm y 160 mm, y acceden, previa desinfección al tanque de almacenamiento, de una capacidad de reserva de 75 m^3 y 15 m de altura. Además cuenta con una cisterna de 500 m^3 de capacidad ubicada al pie del tanque y con 2 bombas de 90 m^3/h de capacidad de elevación.

Al agua del tanque o cisterna se le realiza una cloración permanente de tipo electromecánico, con controles diarios de la concentración de este elemento.

La red de distribución consta de cañerías de diámetro entre 200 mm (desde el tanque hasta la bifurcación a red) y 50 mm (diámetro mínimo de cañerías secundarias, instaladas desde la construcción del servicio). Según datos aportados por APA, para 2005, la cantidad de conexiones era de un total de 1812, todas contaban con medidor, cubriendo al 100% de la población.

La Cooperativa de servicios públicos cuenta con una planta de ósmosis inversa, con la cual provee de agua tratada a la población a bajo costo. La población tiene la opción de pasar a buscar el agua por el local de la cooperativa o bien de recibirla en su domicilio con un costo adicional. La planta de ósmosis produce 660 l/h, aproximadamente tres horas por día, dependiendo de la demanda. Esta agua tratada es mezclada con la de la cisterna en una proporción de 90% y un 10% de la segunda. Esta proporción varía según la calidad del agua

del tanque. Cabe destacar que con ese nivel de producción de la planta de ósmosis inversa, no se estaría brindando agua de adecuada calidad a toda la población.

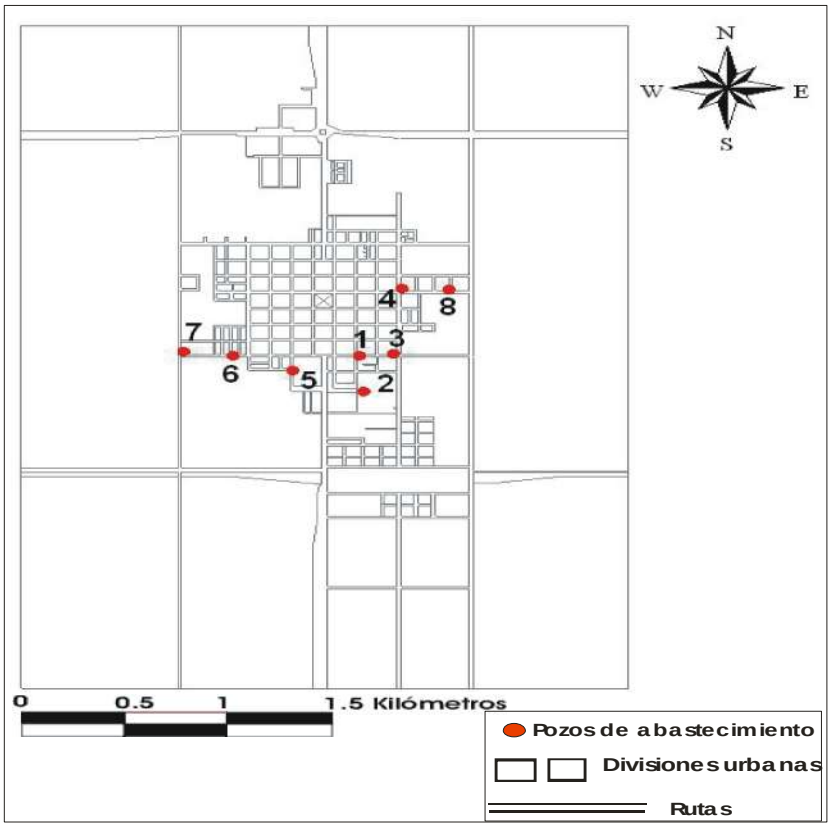


Figura 14: Ubicación de los pozos de abastecimiento.

EL NITRATO EN EL AGUA SUBTERRÁNEA

El nitrógeno es ciclado y reciclado en el ambiente en una serie de procesos conocidos como “ciclo del nitrógeno”.

El nitrógeno es el elemento predominante en el aire atmosférico (representando del 78 al 80%) y un componente importante de la biósfera e hidrósfera. El nitrógeno atmosférico se incorpora al tejido vegetal y al suelo a través de un proceso llamado fijación. Ésta consiste en la transformación del nitrógeno atmosférico en otras formas oxidadas y reducidas que pasan al suelo y es producida en forma natural por bacterias, o industrialmente.

Los suelos naturales sólo aportan una fracción moderada del nitrato que necesitan las plantas, ya que el 90 % del nitrógeno de ellos se encuentra en forma orgánica, no asimilable. El nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+), son las formas de nitrógeno asimilables. El nitrógeno orgánico del suelo se transforma en amonio mediante un proceso llamado amonificación. El amonio se transforma fácilmente a nitrato, siendo éste el que presenta una mayor proporción, dentro de la fracción del nitrógeno mineral. Esta transformación se trata de un proceso de oxidación llamado nitrificación y que puede ser dividido en dos etapas: la primera consiste en el pasaje de amonio a nitrito por acción de las bacterias nitrosomonas, y la segunda es la oxidación de nitrito a nitrato por acción de las bacterias nitrobacter. Otras fuentes de procedencia natural del nitrato en el suelo se deben también al aporte de agua de lluvia y también, aunque este aspecto no sea del todo relevante, el aporte de suelos antiguos con nitrógeno.

Evidentemente, existen otras fuentes de aporte como las artificiales o que tienen que ver con la actividad antrópica, tales como la agricultura. El aporte de nitrato en los suelos bajo agricultura puede provenir tanto de la mineralización del nitrógeno orgánico (humus, estiércol, etc.) como del agregado de fertilizantes nitrogenados como los que son a base de abonos, sulfato de amonio o urea. Otra fuente antrópica rural pueden ser las excretas de ganado. Una fuente de origen natural puede ser los aportes desde suelos cubiertos por leguminosas, las cuales aportan nitrógeno al suelo a través del proceso de fijación. Fugas de redes de saneamiento urbano, fosas sépticas y en menor grado los vertidos industriales, entre otras, pueden ser algunas de las fuentes de contaminación en la parte urbana. En los centros urbanos o suburbanos carentes de servicios cloacales, los nitratos derivan de la degradación de la materia orgánica, mayormente de origen fecal. Los pozos ciegos o negros domiciliarios en los que se vierten los desechos fecales son fuentes principales de emisión. (Auge, 2001).

Las pérdidas de nitrógeno desde el suelo pueden incluir la desnitrificación (reducción de nitrato en nitrito y éste en nitrógeno molecular atmosférico) y la volatilización de amonio. (Custodio, 1983).

La contaminación del agua subterránea 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. Los suelos saturados presentan condiciones reductoras haciendo que gran parte de los nitratos que se lixivian pase al estado gaseoso como N_2 (Guimerá, 1993), sin embargo este proceso generalmente es muy localizado y la tendencia es que en condiciones normales los excedentes se movilicen por la zona no saturada hacia el acuífero freático. Además, los suelos de zonas templadas en general se caracterizan por la presencia de arcillas con cargas negativas en su superficie. Esto determina que los iones de carga positiva como el calcio, potasio, magnesio y amonio sean atraídos hacia la superficie de las arcillas, pero los iones de carga negativa, tales como el nitrato y el cloruro, sean repelidos y transportados por el agua. (Martínez, 1994).

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 (Martinez *et al*., 1993). Si se encuentra nitrato en lugar de amonio 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 contenido de nitrato en aguas subsuperficiales no contaminadas rara vez llega a 5,0 mg/l y a menudo es menor a 1,0 mg/l (Duarte y Maine, 1998).

La contaminación por nitrato se ha convertido en una de las principales causas de deterioro del agua subterránea tanto en países desarrollados como en los que están en vías de desarrollo. Se presenta tanto en ámbitos provistos de servicios sanitarios como en aquellos que carecen de dicho servicio; en pequeñas ciudades o poblados y en las megalópolis; en las comarcas rurales y en los emplazamientos industriales. (Auge M., 2001). La provincia de La Pampa no escapa a esta realidad, ya que muchas de sus localidades tienen afectadas sus fuentes de aguas potables por este tipo de contaminación.

En lo que refiere a su accionar en la salud humana, una vez incorporado al cuerpo la transformación del nitrato a nitrito sólo puede efectuarse bajo la acción de una enzima, la nitratoreductasa, presente en la flora de la cavidad bucal donde el pH entre 6 y 6,4 es favorable a la transformación de nitrato en nitrito.

El nitrito es tóxico, ya que transforma la hemoglobina presente en los glóbulos rojos en una molécula que ya no es capaz de desempeñar el papel de pigmento respiratorio, la metahemoglobina, provocando una intoxicación mortal por envenenamiento de la sangre llamada metahemoglobinemia (Fritsch y Saint Blanquat, 1985; Addiscott et. al., 1991; Appelo y Postma, 1993) que afecta principalmente a los lactantes menores de 1 año (síndrome de “bebes azules”). Un hombre sano posee cerca de un 0,8 % de metahemoglobina. Los síntomas de intoxicación, coloración de la piel y mucosas que evoluciona a tintes arcillosos, grisáceos y negruzcos son perceptibles cuando llega al 10%. Más allá del 60 % aparecen trastornos neurológicos pudiendo llegar a ser mortal por encima de un 70 %. Los casos mortales son bastantes raros en el hombre que está dotado de mecanismos de defensa eficaces.

La Organización Mundial de la Salud fija en 50 mg/l el valor guía de la concentración de nitrato en agua de bebida, exclusivamente para prevenir la Metahemoglobinemia, siendo la población más vulnerable los lactantes menores a tres meses alimentados con biberón, aunque se han notificado casos en algunas poblaciones adultas. (Saracho et al., 2004). El Código Alimentario Argentino fija un valor guía de la concentración de nitrato en agua de bebida en 45 mg/l y de 0.10 mg/l para nitrito.

3. METODOLOGÍA

3.1. Tareas realizadas.

3.1.1. Tareas de gabinete.

a) Se recopiló y analizó la información básica (cartográfica, meteorológica, geológica, geomorfológica e hidrogeológica).

b) Se confeccionó un mapa base y se diseñó una red de muestreo.

3.1.2. Tareas de campo

De un relevamiento expeditivo del entorno de la localidad y de la información obtenida en el lugar, se seleccionó un área de estudio con una superficie de 10 km². En sucesivas campañas se procedió a la recolección de muestras de agua, tanto de la zona urbana como rural, de forma tal de abarcar la mayor extensión de la zona urbana, mientras que en la zona rural 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. Una vez obtenidas 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. Las determinaciones físico-químicas que se realizaron "in situ" son ph, conductividad eléctrica y temperatura. Posteriormente, las muestras colectadas se enviaron a laboratorio para determinar su conductividad y la presencia de los iones nitrato, nitrito y cloruro. En todos los casos se utilizaron técnicas analíticas convencionales estandarizadas (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

A) "Zona urbana".

Para realizar el muestreo en la zona urbana se utilizaron 6 perforaciones domiciliarias y además en tres de ellas se realizaron 3 pozos con barreno (Fig. 15). En cada uno de esos tres puntos seleccionados se midió la profundidad del nivel freático, se tomaron las muestras de agua de la parte superior del acuífero, y en la zona no saturada se hicieron barrenos manuales, tomando muestras de sedimentos de esta zona a intervalos de 1 m. En el caso de las perforaciones no se pudo medir la profundidad de los niveles freáticos por tratarse de bombas con la boca de pozo sellada. Las muestras de sedimentos se colocaron en bolsas de nylon y las de agua en bidones, luego se rotularon con sus correspondientes nombres y fueron analizadas en laboratorio. Las muestras de la parte superior del acuífero se dejaron en reposo dentro de los bidones hasta lograr que precipiten las partículas finas y así lograr un líquido sobrenadante lo más limpio posible, capaz de ser analizado. (Ver Anexo I).

La profundidad de los pozos hechos con barreno oscila aproximadamente entre 3.20 y 3.30 metros, el de mayor profundidad corresponde al pozo denominado B2, del cual se obtuvieron tres muestras de la zona no saturada y una muestra de agua en la zona saturada a los 3,30 m de profundidad. En el pozo B1 se tomaron tres muestras de la zona no saturada y una en la zona saturada a 3,20 m de profundidad. En B3 se tomaron dos muestras de la zona no saturada y una de la zona saturada a una profundidad de 3.20 m.

Las profundidades de los niveles freáticos de los barrenados se muestran en la tabla 4.

Sitio de muestreo	B1	B2	B3
Zona no saturada	1,00	1,00	1,00
	2,00	2,00	2,00
	3,00	3,00	
Nivel freático	3,05	3.10	3,00
Zona saturada	3,20	3.30	3,20

Tabla 4: Denominación del sitio de muestreo y profundidad de las muestras.
(Los valores son profundidades en metros bbp)

B) “Zona rural”.

Para realizar el muestreo en la zona rural se utilizaron 7 perforaciones preexistentes de quintas de la periferia urbana y además se realizaron tres pozos barrenados (Fig. 15). En cada uno de esos tres pozos, como en la zona urbana, se midió el nivel freático, se tomaron muestras de agua de la parte superior del acuífero y se muestreó la zona no saturada. Las muestras se trataron de la misma manera que se mencionó anteriormente. (Ver Anexo I)

La profundidad de los pozos barrenados oscila aproximadamente entre 1.70 y 4,10 metros, el de mayor profundidad corresponde al barrenado que se encuentra junto al pozo de explotación Nº 8, denominado B3, del cual se obtuvieron tres muestras de la zona no saturada y una muestra de agua en la zona saturada a los 4.10 m de profundidad. En el pozo barrenado denominado B2, ubicado a la vera de la ruta 18, se tomó una muestra de la zona no saturada y una de la zona saturada a 1,70 m ya que el nivel freático estaba a 1,40 m de profundidad; esta profundidad difiere tanto de las otras dos por tratarse de un área de depresión topográfica. El otro pozo barrenado es el denominado B1, donde se tomaron dos muestras de la zona no saturada y una de la zona saturada a los 3.10 m de profundidad, pues el nivel freático se encontraba a 2,95 m de profundidad.

Las profundidades de los niveles freáticos de los pozos barrenados se muestran en la tabla 5.

Sitio de muestreo	B1	B2	B3
Zona no saturada	1,00	1,00	1,00
	2,00		2,00
			3,00
Nivel freático	2,95	1,40	3,95
Zona saturada	3,10	1,70	4,10

Tabla 5: Denominación del sitio de muestreo y profundidad de las muestras.
(Los valores son profundidades en metros bbp)

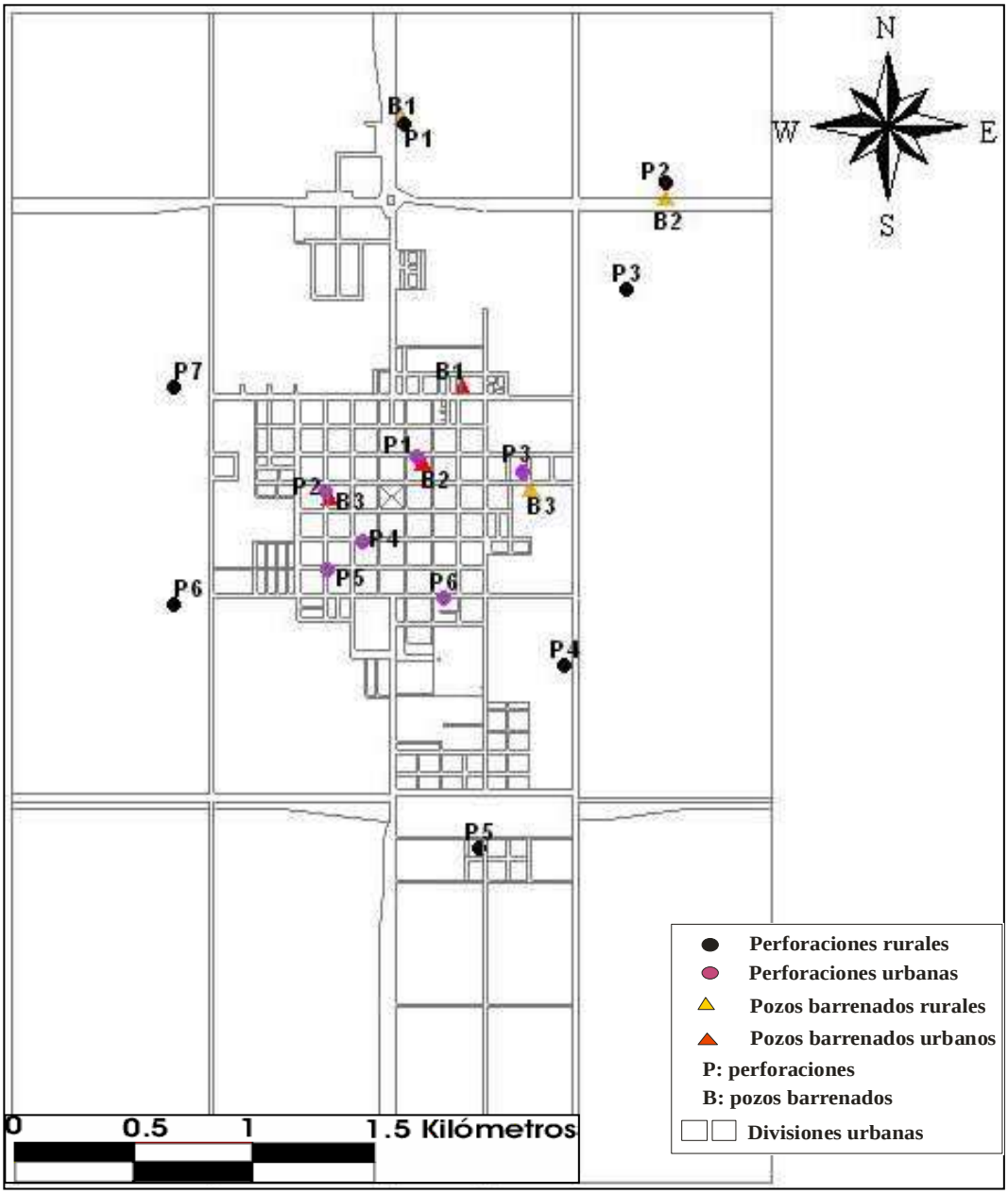


Figura 15: Ubicación de los sitios de muestreo.

Una vez en el laboratorio, las muestras de agua obtenidas de la parte superior del acuífero se dejaron en reposo dentro de los bidones hasta lograr que precipiten las partículas finas y de esta manera 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, aunque puede que no se preserven estrictamente las concentraciones originales (Guimerá, 1993). La suspensión formada se agitó durante una hora y media a 150-180 r.p.m y después de un tiempo de reposo 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 (5 partes de agua cada parte de sólido, en peso).

3.2. Parámetros físico-químicos medidos *in situ*.

Conductividad, pH y temperatura. 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.

3.3. Parámetros físico-químicos medidos en laboratorio.

Las determinaciones analíticas se efectuaron en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNLPam mediante técnicas convencionales estandarizadas (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

Cloruro. Se determinó en medio neutro con una solución de nitrato de plata en presencia de cromato de potasio. El final de la reacción se detectó por la formación del color rojizo característico del cromato de plata. Se calculó la concentración de cloruro a partir del volumen consumido de solución de nitrato de plata.

Conductividad. La medida de conductividad indica la concentración aproximada total de constituyentes ionizados en el agua. Está íntimamente relacionada con la suma de cationes y aniones determinados químicamente, y por ello, relacionada con el total de iones disueltos.

La conductividad eléctrica se ha definido como la inversa de la resistencia específica, que es la resistencia de una muestra de electrolito de 1 cm de longitud y $1cm^2$ de sección, a una temperatura definida. La unidad de la conductividad específica es por lo tanto, 1 ohm/cm y por razones prácticas, se utiliza el milimho o micromho.

La conductividad se determinó en forma sencilla, mediante una celda de conductividad y un puente de Wheastone común, refiriendo el sistema a una misma temperatura y a una solución de conductividad conocida.

Nitrato. El cadmio metálico reduce el nitrato presente en la muestra a nitrito, el cual reacciona en medio ácido con ácido sulfanílico para formar una sal intermedia coloreada. Se midió la adsorvancia a 410 *nm* en un espectrofotómetro UV-Visible, marca HACH.

Nitrito. El nitrito presente en la muestra reacciona con ácido sulfanílico para formar una sal intermedia., la cual al reaccionar con ácido cromotrópico produce un complejo, cuyo color es directamente proporcional a la cantidad de nitrito presente. La intensidad de coloración se midió en un espectrofotómetro UV-Visible, marca HACH.

3.4. Elaboración y tratamiento de los datos.

En esta etapa del trabajo se utilizaron los programas MICROSOFT EXCEL. XP

para el tratamiento estadístico y para la gráfica de los datos hidroquímicos. Se calcularon parámetros estadísticos básicos (media, mínimos y máximos) de los 8 pozos en explotación correspondientes a la batería de Cooperativa de Servicios Públicos y de las perforaciones analizadas. Con el fin de apreciar los principales rasgos hidroquímicos y de dichos pozos se confeccionó un diagrama de Pipper. Para la preparación de gráficos y figuras se utilizaron los programas COREL DRAW 11, ARC VIEW 3.1, MICROSOFT PAINT. XP y el programa Aquachem (Calmbash, 1997).

3.5. Tiempo de tránsito del contaminante en la zona no saturada:

El cálculo del tiempo de tránsito del contaminante en la zona no saturada se obtuvo de la expresión usada por Martínez *et al.* (1993).

$$t = \frac{H.\ mh}{R}$$

Siendo:

t = tiempo de tránsito del contaminante en la zona no saturada.
H = espesor no saturado.
mh = contenido de humedad.
R = recarga en el lugar (infiltración eficaz).

El espesor no saturado se obtuvo haciendo un promedio de las profundidades del nivel del agua medidas en los pozos barrenados y en las perforaciones en que se pudieron medir, cuyo valor fue de 2,90 metros. El contenido de humedad utilizado fue de 9 % (Schulz, 2004).Como valor de infiltración eficaz, se tomó 100 mm (Giai, 2005).

3.6. Tiempo de tránsito del contaminante en la zona saturada:

El cálculo del tiempo de tránsito del contaminante en la zona saturada fue calculado mediante la expresión usada por Martínez *et al.* (1993).

$$T = \frac{d.\ m}{k.\ i}$$

Donde:

T = tiempo de tránsito del contaminante en la zona saturada.
d = distancia horizontal
m = porosidad efectiva
k = permeabilidad.
i = gradiente hidráulico.

Para realizar el cálculo del tiempo de tránsito del contaminante para el acuífero alojado en la cubierta arenosa, se asumió un valor aproximado de porosidad igual a 8% (Schulz, 2004). Se asumió una permeabilidad aproximada de 21.3 m/día, valor dado por (Schulz, 2004) para un ambiente de arena fina a media en Padre Buodo. Lo mismo se hizo para el acuífero desarrollado en el nivel areno-limoso inferior que posee una permeabilidad de 0.27 m/día (Malán, 1981), para la porosidad se tomó 3% (Schulz, 2004). Para el gradiente hidráulico se consideraron dos escenarios: el primero, en el que los pozos del servicio de agua potable no extraen agua, cuyo valor de gradiente es de 0.001; en tanto que en el segundo caso se tuvieron en cuenta los niveles dinámicos de la batería de pozos, con lo cual el valor de gradiente aumenta considerablemente hasta 0.016 (Giai, 2005).

4. RESULTADOS

4.1. En la zona urbana.

En el siguiente cuadro podemos observar los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino y la Ley N° 1027 con su Decreto Reglamentario N° 943 de la Provincia de La Pampa del año 1981, referidos a la concentración de nitritos y nitratos en el agua destinada a consumo humano.

Nitratos	45 mg/L
Nitritos	0,10 mg/l

Con el fin de conocer las concentraciones de nitrato en la zona no saturada se realizaron tres pozos barrenados (B1, B2 y B3) dentro del área urbana (Fig. 15). Con los resultados de los análisis químicos (Tabla 4 de Anexo II) se elaboraron los perfiles de concentraciones para cada uno de ellos (Figura 16).

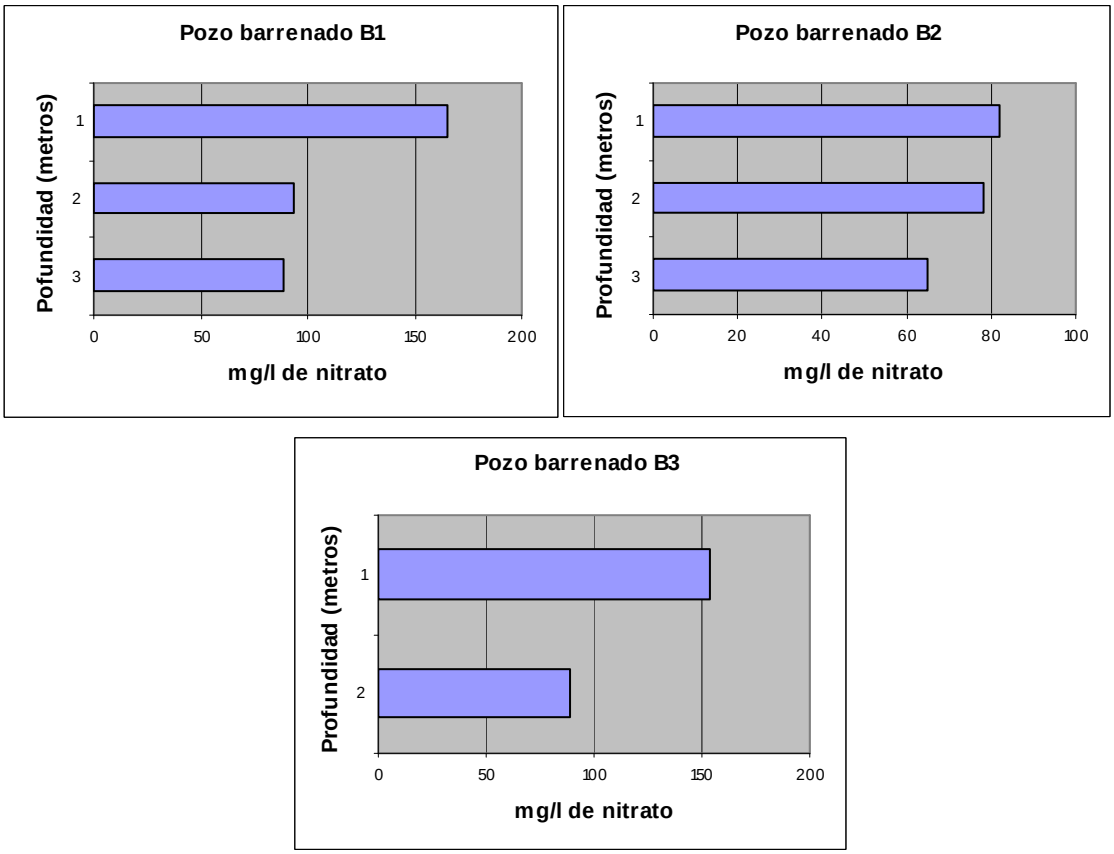


Figura 16: Perfiles de concentraciones de nitrato de los pozos barrenados en la zona urbana.

En el caso del perfil del pozo barrenado B1 los tenores de nitrato decrecen con la profundidad, encontrándose valores que en todos los casos superan el límite de 45 mg/l.

En el pozo barrenado B2 los tenores de nitrato decrecen levemente con la profundidad, aunque con valores que exceden el límite recomendado para consumo humano.

En el barrenado B3 la concentración de nitrato es mayor en la parte superior de

la zona no saturada, encontrándose valores en todo el perfil superiores a 45 mg/l

Estos resultados muestran que hay altas concentraciones de nitrato en la zona no saturada disponibles para que eventualmente sean lixiviados por el agua de infiltración, con la consecuente afectación del acuífero. El hecho de que disminuyan con la profundidad es difícil de explicar con la información disponible. Estos hechos seguramente se deban a una situación específica del sitio de muestreo.

El promedio de concentraciones de nitrato en la zona no saturada fue de 101,9 mg/l.

Para el estudio de la zona saturada se tomaron muestras de seis perforaciones domiciliarias. Los resultados de sus análisis se muestran en la tabla 6.

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

Tabla 6: Concentraciones de nitrato, nitrito y cloruro de las perforaciones muestreadas en el casco urbano de Macachín correspondientes a septiembre de 2008.
(Valores en color rojo: exceden los valores máximos permitidos por la Legislación vigente)

Como se aprecia en la tabla anterior, el análisis del agua indica que el 100% de las mismas no son aptas para el consumo humano debido al contenido en nitrato por encima del límite permitido por el Código Alimentario Argentino (68/2007 y 196/2007) y la Ley número 1.027 con su decreto reglamentario Nº 943 de la Provincia de La Pampa del año 1981. El 83,3% de las mismas mostró concentraciones de nitrato superiores a 90mg/l.

El mínimo tenor de nitrato registrado supera los 45 mg/l y el máximo es cuatro veces superior a ese límite. El desvío estándar es levemente inferior al de la zona rural.

Las concentraciones de nitrito en ningún caso superan el límite permitido, lo que indica que ocurre un proceso de oxidación hacia nitrato, que es un indicio de que la contaminación no es reciente.

En todos los sitios de muestreo de lo 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 metros. Específicamente en el caso de la perforación P1, esa distancia era de 7 metros y se trataba de un pozo ciego propiamente dicho. En el caso de la perforación P2, esa distancia era de apenas 4 metros a un pozo ciego donde se depositan solamente los residuos líquidos de una cocina domiciliaria y de 12 metros a un pozo ciego propiamente dicho.

Otro indicador importante 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 la cantidad de datos es baja, en la figura 17 se puede ver que la relación entre las concentraciones de nitrato y la conductividad es estrecha, mostrando un valor de R^2 de 74%.

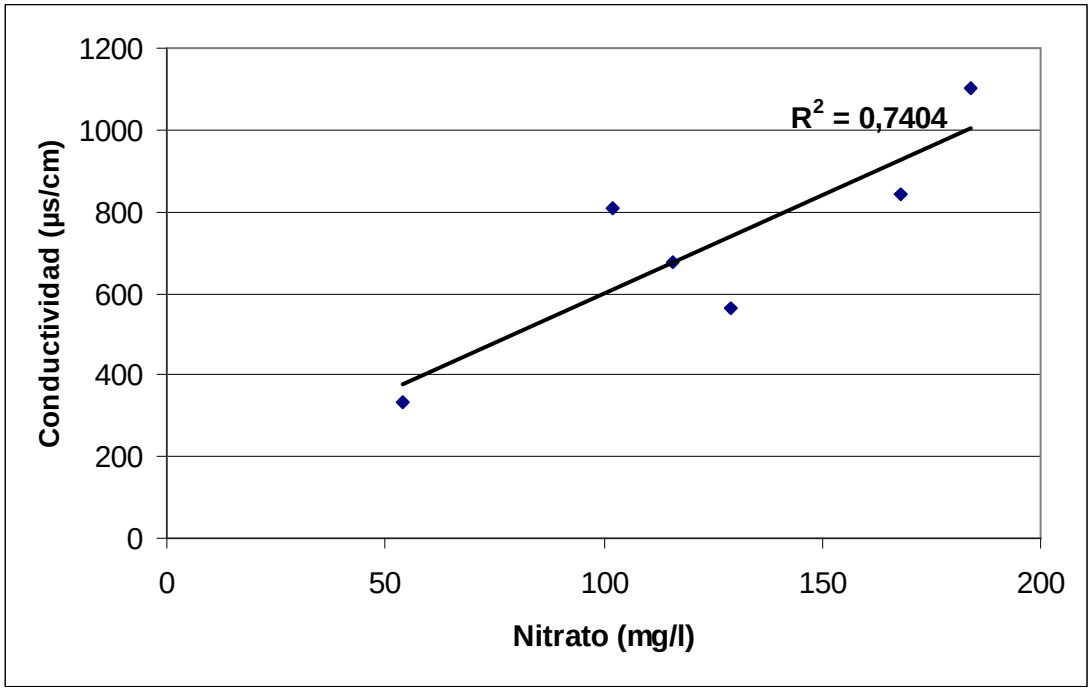


Figura 17: Relación entre las concentraciones de nitrato y la conductividad en la zona urbana.

Esta relación seguramente se debe a que: en la zona urbana ocurre un proceso generalizado de impermeabilización, básicamente por las construcciones y por el asfalto, lo que disminuye la dilución por un decrecimiento de la tasa de infiltración eficaz. A esto se le suma la extracción de agua por parte de los pozos de explotación y de perforaciones domiciliarias y el aporte de nitrato por parte de pozos ciegos.

Con respecto a los pozos ciegos de toda la localidad, los mismos tienen una profundidad aproximada de 3-4 metros, según información verbal de vecinos, por lo que se estima que los mismos pueden penetrar o estar próximos al techo del acuífero freático en la zona urbana. Esta relación sería más estrecha, en aquellos periodos de precipitaciones que superan la media (Figura 2), lo que produciría un ascenso de los niveles freáticos, básicamente en 1997-1998 y 2001 (Figura 4).

Los resultados históricos de los análisis de nitrato de los 8 pozos de explotación brindados por A.P.A, desde 1979 a 2008 se muestran en la tabla 1 del Anexo II y en la figura 18, su evolución. Se puede apreciar que 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 un pico en el año 2001. Con algunas oscilaciones, esas altas concentraciones se mantuvieron hasta la actualidad. El comienzo de este aumento coincide con la inundación de 1997-1998 y el posterior pico, con las altas precipitaciones de 2000-2001.

Se puede entender que hasta 1997 los niveles freáticos posiblemente se ubicaban por debajo de la base de los pozos ciegos o estaban en contacto solamente por la base de los segundos, por lo que la contaminación ocurría básicamente por el lixiviado de los contaminantes desde los pozos ciegos. En cambio en 1997-1998, y posteriormente en 2000-2001, los niveles freáticos ascendieron notablemente, inclusive hasta la superficie

en muchos lugares de la localidad, superando el “techo” de los pozos ciegos, por lo que el proceso de contaminación fue mucho más significativo. Una vez ocurrida la acumulación de la pluma contaminante en la parte superior del acuífero, el movimiento del agua extiende y traslada la contaminación en el sentido del flujo. La extensión en profundidad de la contaminación puede ser muy importante cerca de los pozos de explotación o de las perforaciones domiciliarias, pues allí la fluctuación de los niveles es máxima.

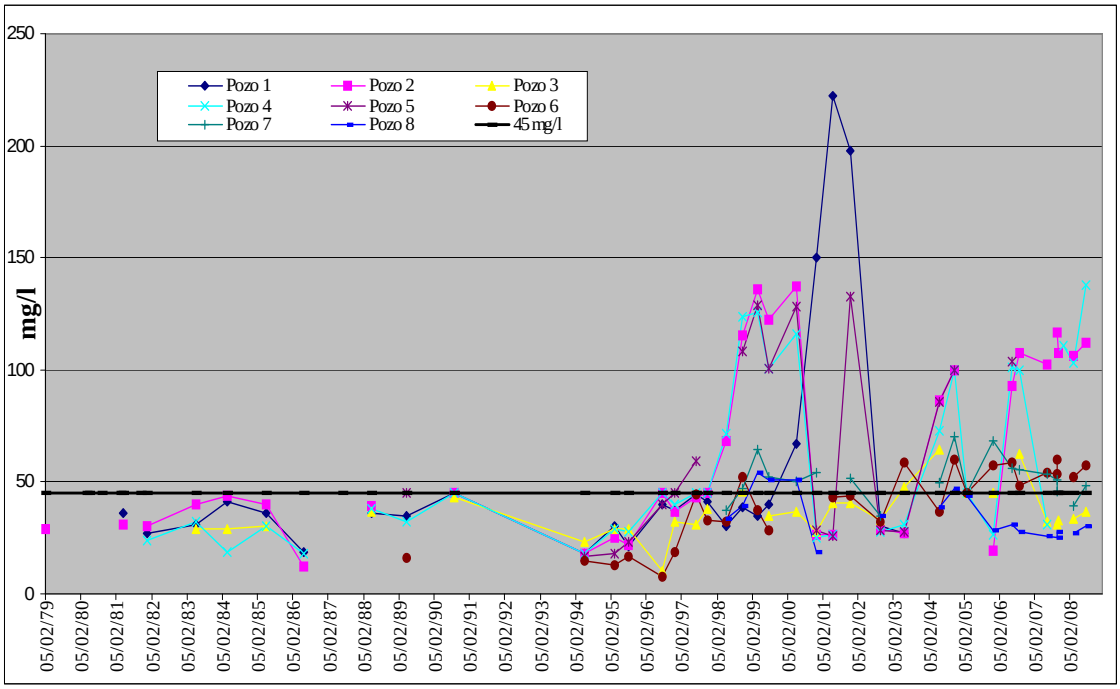


Figura 18: Evolución histórica de las concentraciones de nitrato en los pozos de explotación de Macachín. (1979-2008)

En relación a las concentraciones del ión cloruro (Tabla 2 de Anexo II), el comportamiento es similar al del nitrato, con una tendencia creciente que tiene inicio aproximadamente en 1992 (Fig 19). Debería considerarse para la totalidad de la batería de pozos el impacto en la calidad del agua, producto de un eventual sobrebombeo, lo que se traduciría en un aumento de la salinidad. En la figura 20, donde la salinidad se expresa como residuo seco, se puede apreciar una tendencia creciente en la misma que comienza en 1992, con un notable aumento a partir de 1997-1998. (Tabla 3 de anexo II).

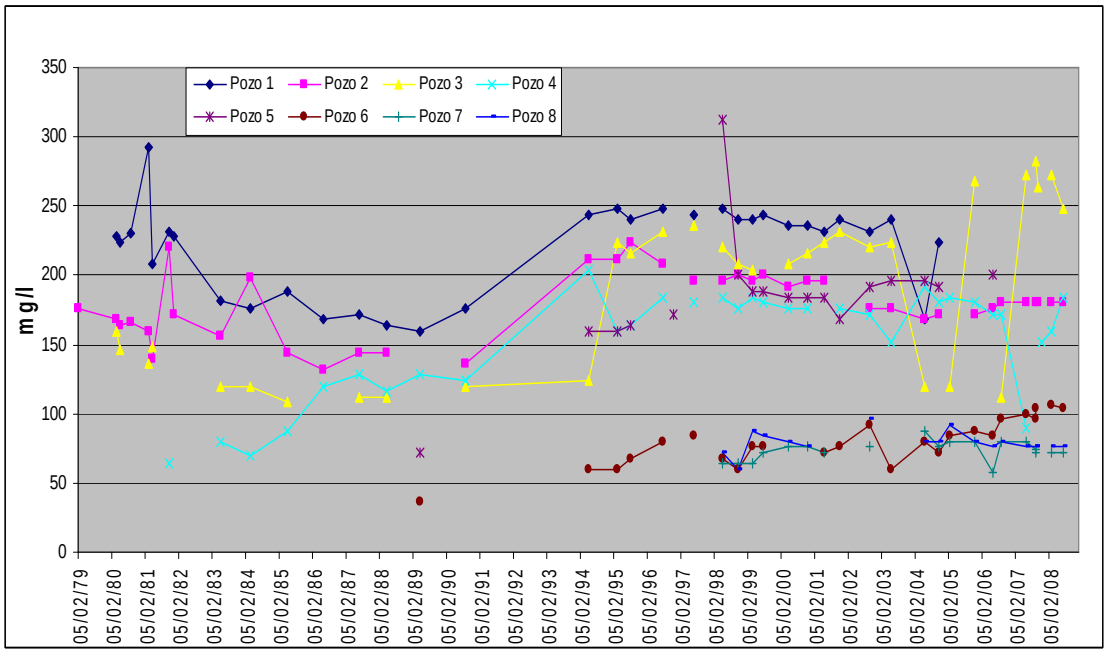


Figura 19: Evolución histórica de las concentraciones de cloruro en los pozos de explotación de Macachín. (1979-2008)

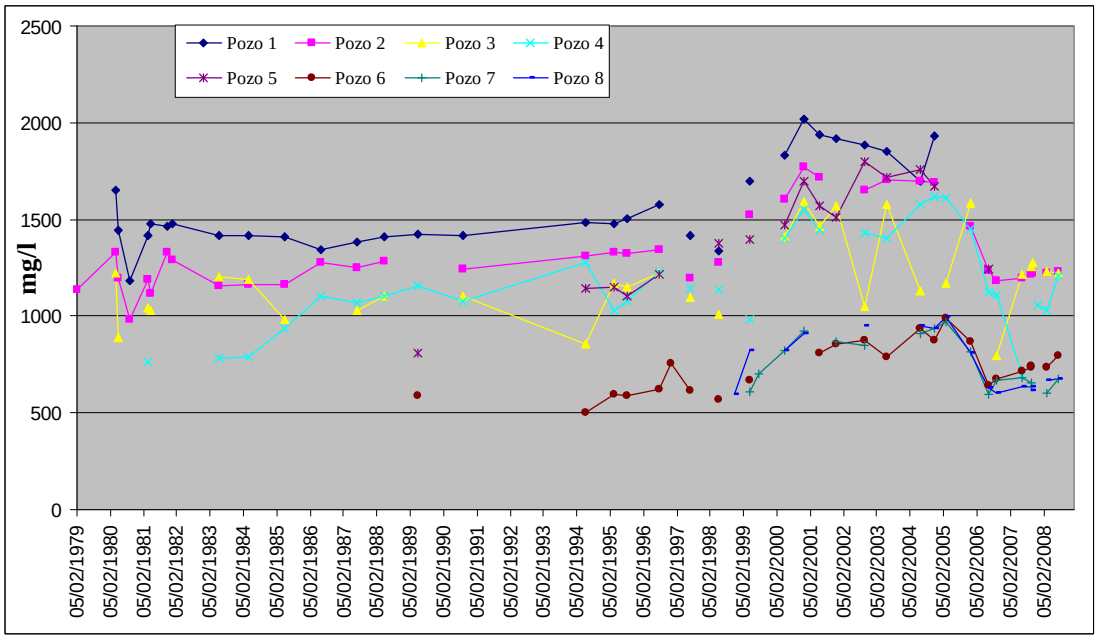


Figura 20: Evolución histórica del residuo seco en los pozos de explotación de Macachín. (1979-2008)

Para conocer si la pluma contaminante de nitrato se aloja, en la actualidad, en la parte superior del acuífero libre o si se ha desplazado hacia abajo, se compararon las concentraciones de las perforaciones analizadas con las del agua superficial obtenida de los pozos barrenados más cercanos a las mismas (Fig. 21). En el caso de la zona urbana se representan 2 puntos, pues en el pozo barrenado B1 no se analizó una perforación cercana que sirva de comparación. En P1, según información verbal del propietario, la profundidad de la perforación es de 26 metros. Para P2, la profundidad es de 32 metros.

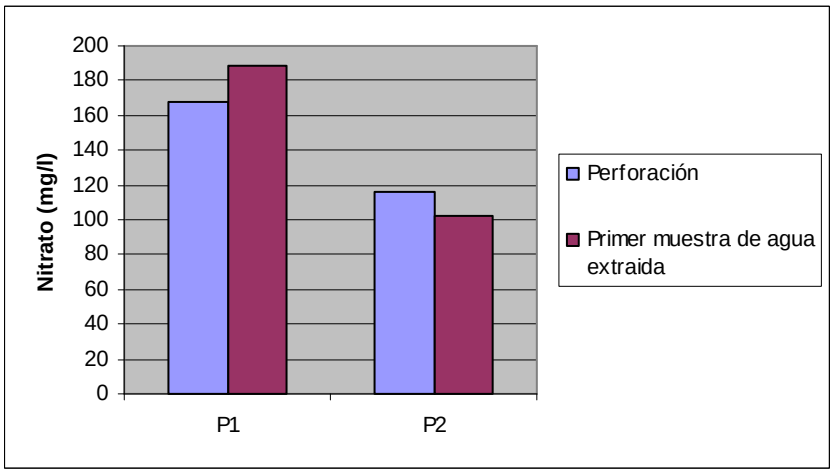


Figura 21: Distribución de nitrato en la parte superior del acuífero en la zona urbana.

Se observa que, aunque solamente se cuenta con dos puntos de comparación, no hay diferencia aparente en la distribución vertical de nitrato en la parte superior del acuífero, pues sus concentraciones son altas en los dos puntos analizados verticalmente.

De todo lo expuesto anteriormente se puede decir que la calidad de las aguas subterráneas del casco urbano de Macachín, respecto de la presencia de nitrato, es deficiente, dado que casi la totalidad de las concentraciones de éste son superiores a las máximas permitidas por el Código Alimentario Argentino (982/94) y la Ley número 1.027 con su decreto reglamentario Nº 943 de la Provincia de La Pampa del año 1981.

Cabe aclarar que los altos contenidos de nitrato comprobados en las 6 perforaciones domiciliarias (de poca profundidad), corresponden a muestras tomadas de la parte superior del acuífero. Éstas son muy vulnerables a la contaminación si las comparamos con los pozos de explotación cuyas profundidades son mayores, es decir, que el espesor de la zona saturada es mayor en los segundos. No obstante, como se puede ver en la tabla 1 del Anexo II, hay pozos que muestran un promedio histórico de tenores de nitrato altos (pozos 1, 2, 4, 5, 7), superiores al límite permitido, y con valores máximos muy altos, como en el caso del pozo 1.

4.2. En la zona rural.

En la zona no saturada se tomaron muestras del material en tres puntos (B1, B2 y B3) dentro del área de recarga del acuífero. Con los resultados de los análisis químicos (Tabla 4 de Anexo II) se elaboró un perfil de concentraciones para cada uno de los pozos barrenados (Figura 22).

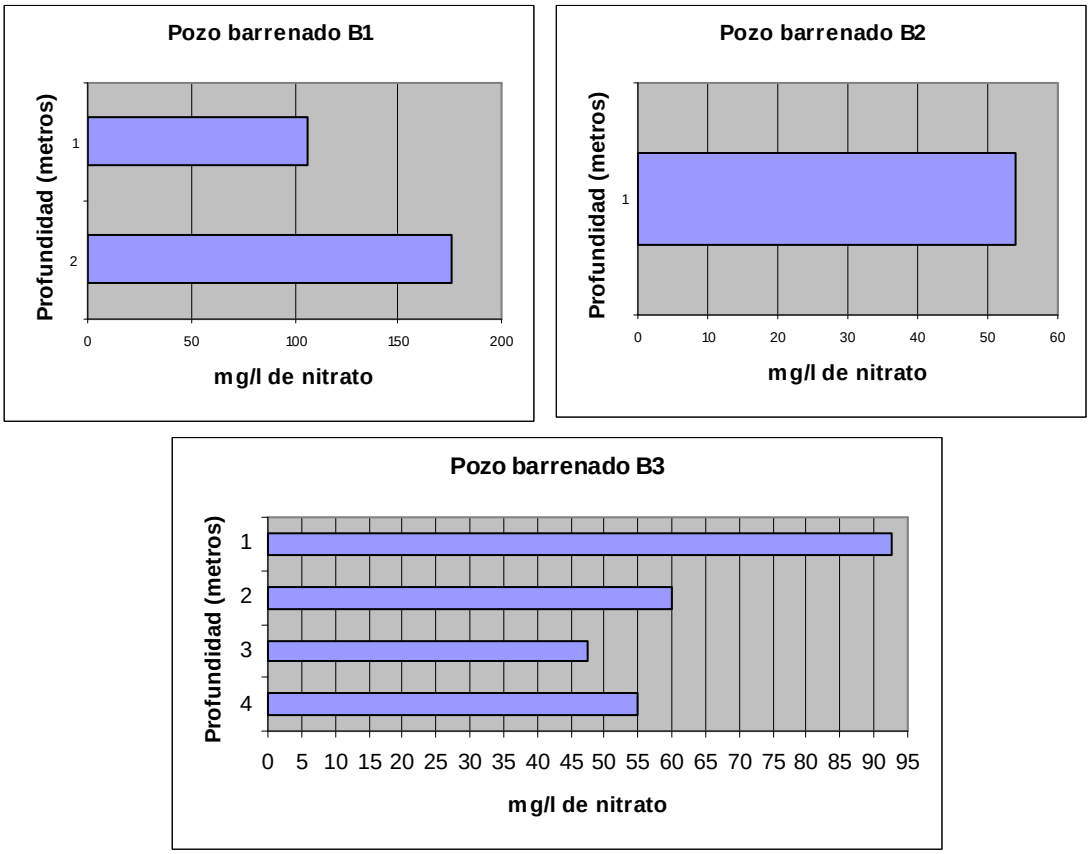


Figura 22: Perfiles de concentraciones de nitrato de los pozos barrenados en la zona rural.

En el caso del perfil del pozo barrenado B1 los tenores de nitrato aumentan con la profundidad, encontrándose valores que en todos los casos superan ampliamente el límite de 45 mg/l.

En el pozo barrenado B2 la concentración de nitrato excede el límite recomendado para consumo humano.

En el barrenado B3 la concentración de nitrato es mayor en la parte superior de la zona no saturada, encontrándose valores en todo el perfil superiores a 45 mg/l

Estos resultados muestran que hay altas concentraciones de nitrato en la zona no saturada disponibles para que eventualmente sean lixiviados por el agua de infiltración, con la consecuente afectación del acuífero. Al igual que en la zona urbana, el distinto comportamiento de las concentraciones a distintas profundidades es difícil de explicar con la información disponible.

El promedio de concentraciones de nitrato en la zona no saturada fue de 89,3 mg/l.

Para el estudio de la zona saturada se analizaron muestras de siete perforaciones, cuyos resultados se muestran en la tabla siguiente.

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

Tabla 7: Concentraciones de nitrato, nitrito y cloruro de las perforaciones muestreadas en la zona rural de Macachín correspondientes a septiembre de 2008.
(Valores en color rojo: exceden los valores máximos permitidos por la Legislación vigente)

El análisis físico-químico del agua indica que, del total de las muestras extraídas, el 71,4 % muestran concentraciones que son superiores a las máximas permitidas por el Código Alimentario Argentino (982/94) y la Ley número 1.027 con su decreto reglamentario Nº 943 de la Provincia de La Pampa del año 1981. El 57 % de las muestras superó los 90 mg/l.

Un caso puntual que escapa a la generalidad de la zona rural considerada, fue la muestra tomada en el molino del señor Nuñez (a 10 metros de P1), cuya profundidad es de aproximadamente diez metros y ubicado a tres metros de un corral de vacas. La concentración de nitrato de esta muestra fue de 348 mg/l y no se tuvo en cuenta para el cálculo de los parámetros estadísticos por lo mencionado anteriormente, aunque no deja de ser una fuente contaminante de importancia en el caso de que futuros pozos de explotación se ubiquen cerca de ella.

En relación a la perforación P3, la concentración baja de nitrato se explicaría fundamentalmente porque se ubica en la zona netamente de recarga, donde se produce un efecto de dilución debido a una mayor tasa de infiltración eficaz. Sin embargo, el bajo contenido de la perforación P7 es difícil de explicar pues, si la comparamos con P6, las dos son aguas de zonas de conducción por el contenido de cloruro, pero los contenidos de nitrato son muy distintos. Debe señalarse que al momento de realizar los trabajos de campo, en P6 no fue posible identificar una fuente de contaminación visible.

En la zona rural la concentración mínima de nitrato registrada es levemente inferior al límite permitido para consumo humano y el máximo registrado es levemente superior al de la urbana y cinco veces mayor al límite permitido. El promedio de concentraciones de nitrato es muy similar al de la parte urbana y el desvío estándar, levemente mayor.

En el caso de los tenores de nitrito, ningún valor superó el límite permitido. Esto indica que, aunque aún en la actualidad hay fuentes de contaminación activas como, por ejemplo, corrales permanentes de animales, hay un proceso de oxidación hacia nitrato.

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 (Fig. 23). El valor de R^2 es de 15%. Esa estrecha relación en la parte urbana, no verificada en la zona rural, indica

que el nitrato y la salinidad tendrían el mismo origen, los pozos ciegos, pues éstos son fuente de materia orgánica y de sales.

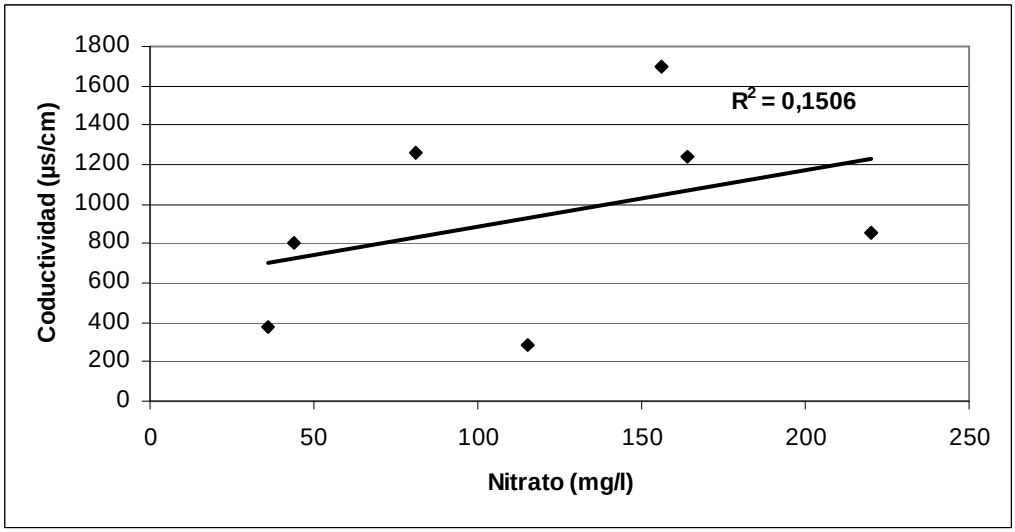


Figura 23: Relación entre las concentraciones de nitrato y la conductividad en la zona rural

Teniendo en cuenta que en Argentina se utiliza en general un valor máximo de nitrato recomendable de 45 mg/l y tolerable de 90 mg/l (Minghinelli, 1995), se elaboró el mapa presentado en la figura Nº 24, donde se pueden apreciar la ubicación de todas las perforaciones muestreadas con la categorización de las mismas según las concentraciones de nitrato.

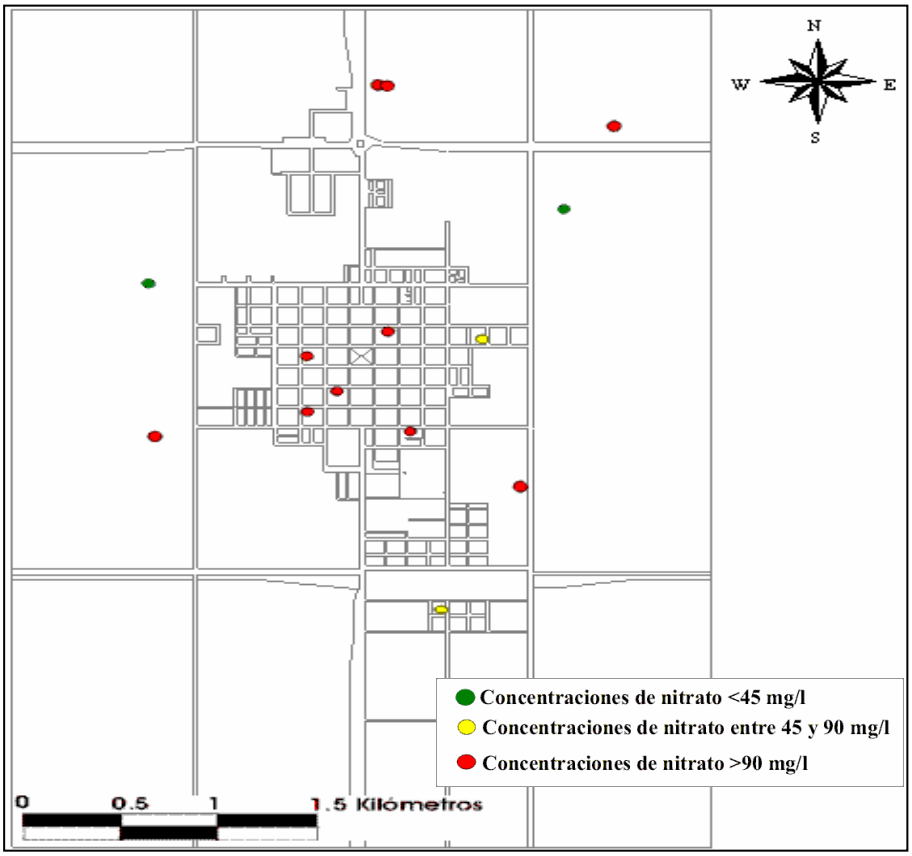


Figura 24: Categorización de las perforaciones muestreadas según las concentraciones de nitrato encontradas.

En la figura 25 se muestra un mapa con la categorización según los tenores de nitrato de las perforaciones analizadas y de los 6 pozos de explotación usados en la actualidad por la Cooperativa de Servicios Públicos de Macachín. En los pozos de explotación se consideró el análisis de mediados del mes de julio de 2008 por ser el más reciente a la fecha de muestreo del presente trabajo. Los datos fueron brindados por A.P.A. Se aprecia que de un total de 20 puntos analizados, solamente 4 no superan el límite de tenores de nitrato permitido para consumo humano.

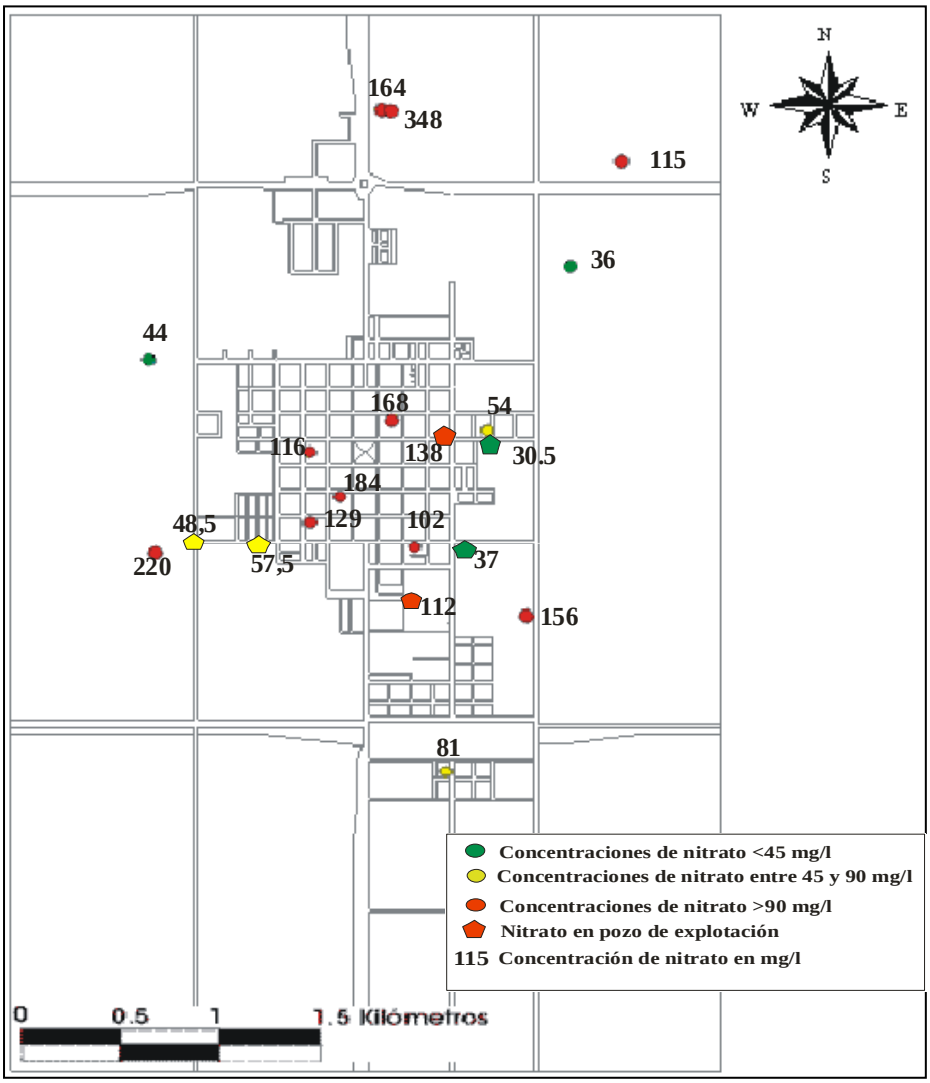


Figura 25: Categorización de las perforaciones muestreadas según las concentraciones de nitrato encontradas y de los pozos de explotación.

Para conocer la distribución vertical de la pluma contaminante de nitrato en la parte superior del acuífero, se tomaron la perforación P1 y el pozo de explotación 8. En este último, la concentración de nitrato considerada fue la del análisis del día 15/07/2008 por ser la más cercana a la fecha de la toma de muestras (Fig. 26). No se tuvo en cuenta el pozo barrenado B2 por estar algo alejado de la perforación más cercana (P2) y estar ubicado en una depresión topográfica, por lo que se espera que los procesos de recarga sean distintos. Según información verbal del propietario, en P1 la profundidad de la perforación es de 20 metros. En el pozo 8 la profundidad del final de

la perforación es de 38,40 metros y los filtros se ubican entre los 16,40 y 38,40 metros (Malán, 1998).

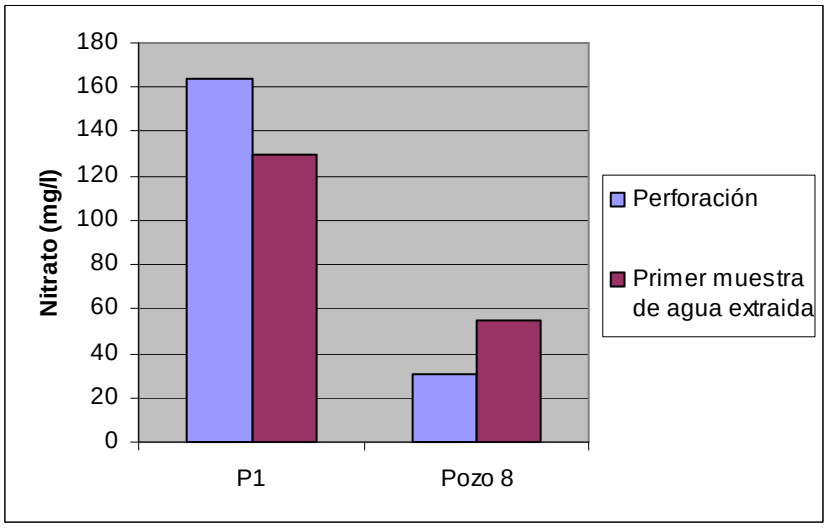


Figura 26: Distribución de nitrato la parte superior del acuífero en la zona rural.

Aunque solamente se cuenta con dos puntos de análisis, no se observan diferencias en la distribución vertical de nitrato en la parte del acuífero analizada.

De lo expuesto anteriormente se puede decir que la calidad de las aguas subterráneas de la zona rural o de la periferia de Macachín, respecto de la presencia de nitrato, es deficiente, dado que casi la totalidad de las concentraciones encontradas de éste son superiores a las máximas permitidas por el Código Alimentario Argentino (982/94) y la Ley número 1.027 con su decreto reglamentario Nº 943 de la Provincia de La Pampa del año 1981.

4.3 Tiempo de tránsito de los contaminantes en la zona no saturada y saturada.

A efectos de disponer de órdenes de magnitud respecto al tiempo de tránsito se calculó el mismo para la zona no saturada, que resultó de 2,6 años. En las tablas 8 y 9 se indican los tiempos de tránsito en la zona saturada obtenidos para distintas distancias en la sección arenosa y areno-limosa con y sin bombeo:

Distancia (en metros)		**100**	**500**	**1000**
Tiempo (años)	**Sección arenosa**	**1**	**5,1**	**10,3**
	Sección areno-limosa	**30,4**	**152**	**304**

Tabla 8: Tiempo de tránsito del contaminante en la zona saturada con los pozos de abastecimiento no extrayendo agua.

Distancia (en metros)		100	500	1000
Tiempo (años)	Sección arenosa	0,064	0,32	0,64
	Sección areno-limosa	1,9	9,5	19

Tabla 9: Tiempo de tránsito del contaminante en la zona saturada con los pozos de abastecimiento extrayendo agua.

Como la zona no saturada del área de estudio está compuesta por materiales con una elevada permeabilidad, la contaminación no tarda mucho en manifestarse y la atenuación natural no es muy significativa. Teniendo en cuenta los tiempos de tránsito de los contaminantes calculados, los contaminantes de fuentes urbanas se manifestarían en los pozos de explotación en un tiempo relativamente corto. Si consideramos una distancia de separación de 500 metros entre los pozos de explotación y esas fuentes, el contaminante tardaría aproximadamente 10 años en manifestarse. Es esperable que aunque la cobertura del sistema cloacal sea de 100% en un futuro cercano, la contaminación puede seguir manifestándose por 10 ó 20 años más aproximadamente.

5. CONCLUSIONES

Como resultado de esta investigación se pudo demostrar que en el caso de 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.

Observando los análisis químicos de muestras de agua subterránea tomadas en el casco urbano de Macachín, se pueden apreciar tenores altos de nitrato, lo que indica una sensible modificación de origen antrópico del medio natural. Cabe destacar que el 100% de los pozos domiciliarios muestreados poseen contenidos de nitrato que superan los niveles máximos permitidos por la legislación vigente. Además, no se observa una diferencia aparente en los tenores de nitrato a distintas profundidades del acuífero libre, en todos los casos analizados eran superiores al límite permitido por la ley.

Al analizar la evolución de la calidad del agua de las perforaciones que abastecen de agua potable a la población de Macachín, se identificó un aumento significativo en las concentraciones de nitrato a partir aproximadamente del año 1998.

Al considerar las posibles causas del aumento de nitratos en el agua subterránea en la zona urbana, se llegó a la conclusión que la contaminación del acuífero es debida al aporte antrópico de compuestos orgánicos al suelo, los que mediante los procesos de lixiviación, producen contaminación. Esta investigación sostiene que este aporte de materia orgánica al agua tendría su origen en 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. En promedio, en los dos casos son aproximadamente el doble del límite permitido por la ley.

No se observa una diferencia en las concentraciones de nitrato en la zona saturada entre la parte urbana y la rural analizada. Los promedios en las dos zonas son similares y muy superiores al límite para consumo humano permitido por la ley. Las posibles fuentes contaminantes en la zona rural pueden ser diversas. Esta investigación sostiene que las fuentes más probables de incorporación de materia orgánica 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 como corrales no permanentes, uso de fertilizantes u otros, de igual forma para conocer si la contaminación es puntual o general.

Sería recomendable llevar a cabo una investigación para lograr entender el proceso por el cual el nitrato ingresa a considerables profundidades de la zona saturada.

6. RECOMENDACIONES

La contaminación con el ión nitrato de los pozos domiciliarios y de explotación de Macachín es un problema que requiere una rápida intervención, la cual implica altos costos económicos y un período de tiempo. No obstante, mientras más se tarde en la toma de decisiones al respecto, más difícil y costosa resultará la solución. Las recomendaciones que surgen de esta investigación son:

- Establecer una red de monitoreo de la calidad de agua en el sector del casco urbano, complementada con monitoreos en la zona de recarga del sector rural.

- Ampliar la cobertura del servicio cloacal.

- Restringir el uso de pozos domiciliarios para abastecimiento.

- Realizar tareas educativas y de difusión del problema hacia la comunidad, tendiendo a una gestión participativa del problema.

- Contemplar perímetros de protección para los pozos de explotación de agua potable, como así también establecer las herramientas legales necesarias para instalar áreas de reservas en aquellos sectores con condiciones acuíferas apropiadas de uso actual y/o futuro para abastecimiento de la población, fundamentalmente en el sector de replanteo de las fuentes de abastecimiento, ubicadas al noreste de la localidad. Estas acciones y normativas servirán como elemento a considerar a los efectos de regular el crecimiento poblacional y las actividades agrícola-ganaderas dentro de un marco general de ordenamiento territorial.

7. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a la Lic. María Gabriela Dalmaso, directora de este trabajo, por su ayuda en la confección del plan de trabajo, supervisión durante el desarrollo y posterior corrección del texto.

Igualmente mi agradecimiento al Dr. Eduardo E. Mariño, asistente del trabajo, por su apoyo, orientación crucial para el desarrollo de esta tesis e inestimable ayuda en las tareas de manejo de software.

Un reconocimiento para el Lic. Jorge Tullio, por sus valiosas sugerencias para mejorar este trabajo, lo mismo que por facilitar el acceso a la documentación de interés de la biblioteca de A.P.A.

También mi agradecimiento especial a mi familia, especialmente a mi padre por colaborar en el trabajo de campo de toma de muestras y a Fátima.

Mi gratitud al laboratorio de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNLPam.

El presente estudio ha sido posible gracias al apoyo financiero de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNLPam.

8. BIBLIOGRAFÍA CITADA

Addiscott.T. M., Whitmore y Powlson, D. S., 1991. Farming, Fertilizers and the Nitrate Problem. C.A.B. International, Wallingford, Oxon. United Kingdom.170p.

Appelo, C.A. J. y D. Postma, 1993. Geochimistry, Groundwater and Pollution. Ed. Balkema, Rotterdam, 536 p.

Calmbash, Copyright 1997. Aquachem, Aqueous Geochemical Data Analysis and Plotting. Lukas. Waterloo Hydrogeologic. Version 3.7

Auge, M. y Ma. I. Nagy, 1996. "Origen y evolución de los nitratos en el suelo y el agua subterránea de La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina". 3er Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, San Luis de Potosí, México, Memorias, tema 1, p. 1-12.

Auge, Miguel, 2001. Vulnerabilidad del Agua Subterránea a la Contaminacíon con Nitratos, Ejemplo de un Acuífero Semiconfinado en Argentina. I Seminario-taller. Protección de Acuíferos Frente a la Contaminación: Metodologías. Talca, Méjico.

Barranquero, R., A. Ruiz de Galarreta y R. Banda Noriega, 2006. "Evaluación de nitratos en los pozos de explotación en la ciudad de Tandil, Buenos Aires, Argentina. VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Asunción (versión en CD).

Blarasin, et al., 1999. Evaluación Ambiental del impacto de sistemas de saneamiento domiciliarios sobre el agua subterránea en el barrio San Martín, ciudad de Rio Cuarto, prov. de Córdoba. Serie de Correlación Geológica. Nº 13, p: 177-186. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Bocanegra, E. y P. Benavidez, 2002. "Agua y Salud para el Desarrollo Humano". XXXII Congreso AIH y VI ALHSUD, Mar del Plata.

Calmels, A. P., 1996. Bosquejo Geomorfológico de la Provincia de La Pampa. UNLPam. Santa Rosa. 106 p.

Camilletti, C. y M. Dalmaso, 2005. "Exploración estadística de las concentraciones de nitratos en Santa Rosa (L.P.) y zona de influencia. I Congreso Pampeano del Agua, Santa Rosa, La Pampa (en prensa).

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

Cano, E., G. Casagrande, H. A. Conti, B. Fernández, R. Hevia, J. C. Zalazar Lea Plaza, D. Maldonado Pinedo, H. Martínez, M. A. Montes y C. A. Peña Zubiate, 1980. Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la provincia de La Pampa. INTA-Gobierno de La Pampa-UNLPam, 493 p, Santa Rosa.

Castro, E., Schulz, C. J., 1999. Presencia de Fluor, Arsénico y otros oligoelementos en las aguas para consumo humano de La Pampa. Jornadas Médicas Patagónicas. Biblioteca de la Dirección Provincial de Aguas, 13 p, Santa Rosa, La Pampa. Est. 25, ej. 107.

Castro, E. y J. O. Tullio, 1990. Acuífero Valle Argentino (Síntesis Preliminar). Administración Provincial del Agua, Santa Rosa (Inédito).

Cavalie, C., 1979. "Estudio hidrogeológico para la provisión de agua subterránea potable a la ciudad de Santa Rosa. Acuíferos Santa Rosa – Anguil, Santa Rosa – Toay. Informe inédito, Administración Provincial de Agua.

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

Dalmaso, M.G., D. E. Martínez y E. E. Mariño, 1999. "Contaminación por efluentes de la industria frigorífica: El caso del acuífero arenoso de General Pico". II Congreso de Hidrología Subterránea. Ed.: Tineo A. en "Hidrología Subterránea", UNT, Serie de correlación Geológica.

Dalmaso, M. G., E. E. Mariño y J.M. Malán, **2000.** "Calidad del agua subterránea en el área urbana de General Pico, provincia de La Pampa, República Argentina". 1º Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas, Fortaleza (versión en CD).

Dalmaso, M. G., E. E Mariño y J. Tullio, 2007. "Análisis de la calidad del agua de pozos de provisión a la localidad de Catriló, La Pampa, Argentina". V Congreso Argentino de Hidrogeología, III Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea, Paraná, 16 al 19 de octubre de 2007. Actas: 81-90

Deladino, L., 2002. Hidrología del sector norte de la provincia de La Pampa, Argentina. Biblioteca de la Dirección Provincial de Aguas. Santa Rosa, La Pampa.

Dieser, J., 2002. Proyecto de Ordenamiento Urbano para la Localidad de Macachín, en el Marco del Programa de Ordenamiento Urbano, Convenio con la UNLP (La Plata).

Dirección de Estadísticas y Censos, 2006. Publicaciones anuales. Gobierno de La Pampa. Santa Rosa. Inédito.

Duarte, M. V. y Maine, M.A., 1998. Determinación de nitratos en aguas. XVII Congreso Nacional de Agua, II Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. Anales, V: 260-270. Santa Fe.

Fernández, Ma. A. y E. E. Mariño, 2002. "Evaluación de los contenidos de nitratos en los alrededores de General Acha, La Pampa, Argentina" Actas XXXII Congreso de Aguas Subterráneas. En Groundwater and Human Development". Eds.: Bocanegra, E., Martínez, D., y Massone, H. Mar del Plata, Argentina.

Foster, S. S. D., 1987. Fundamental concepts in Acuifer Vulnerability Pollution Risk and Protection Strategy. Proceedings of International Conference: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants. Noordwijk, Paises Bajos.

Fritsch, P y De Saint Blanquat, G., 1985. La contaminación por los nitratos. Mundo científico, 5 (52):1172-1181.

Giai, S. y Castro, E., 1996. Estimación de la Recarga Directa en Médanos de Macachín (La Pampa)-Argentina. Biblioteca de la Dirección Provincial de Aguas. Santa Rosa, La Pampa, Argentina, 12 p.

Giai, S. y J. O. Tullio, 1998. Características de los principales acuíferos de la Provincia de La Pampa. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Medio Ambiente. Nº 12, p: 51-68. Buenos Aires, Argentina.

Giai, S., 2005. Informe e Informe complementario del replanteo de fuentes de agua potable de Macachín. Dirección Provincial del Agua, Gobierno de La Pampa. Inédito.

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

Hirata, R.C.A y Reboucas, A.C., 1996. Técnicas y Estrategias para la Protección de los Recursos Hídricos Subterráneos. En 3° Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea., Potosí, México.

Iribarra, M., 2006. Caracterización geoambiental en el área de Quemú Quemú con énfasis en los recursos hídricos. Tesina de Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa.

Malán, J. M., 1981. Informe sobre la construcción del pozo de explotación Nº 4 para el abastecimiento de agua potable a Macachín. Biblioteca de la Dirección Provincial de Aguas. Santa Rosa, La Pampa, Argentina. Est. 9, ej. 87.

Malán, J. M., 1983. Servicio de agua potable a la localidad de Macachín. Biblioteca de la Dirección Provincial de Aguas. Santa Rosa, La Pampa. Est. 16, ej. 66.

Malán, J. M., 1983. Estudio hidrogeológico para abastecimiento de agua potable de la ciudad de General Pico, departamento Maracó, provincia de La Pampa. Informe preliminar. Coloquio Internacional sobre hidrogeología de grandes llanuras. Actas III: 1449-1473. Olavaria, Buenos Aires.

Malán, J. M., 1998. Informe de los tres nuevos pozos de explotación para el servicio de agua potable de Macachín. Biblioteca de la Dirección Provincial de Aguas. Santa Rosa, La Pampa. Est. 20, ej. 104.

Mariño, E., Schulz, C. J. y otros, 2002. Hidroquímica subterránea del sector oriental del Valle Argentino. Biblioteca de la Dirección Provincial de Aguas. Santa Rosa, La Pampa.

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 en Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. 142 p.

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 Pueyrredon (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. Actas VI: 311-31. Mendoza

Martínez, D. E., 1994. "Contaminación por prácticas agrícolas y medidas preventivas y legislativas". Jornadas sobre contaminación, sobreexplotación y legislación de recursos hídricos subterráneos. Santa Rosa (La Pampa).

Minghinelli, L. F., 1995. Geohidrología del acuífero freático en la cuenca de los Arroyos Martín y Carnaval (Partido de La Plata). Evaluación del impacto ambiental y carga contaminante. Informe Final Beca de Estudio CIC, 193 pp. (inédito). La Plata.

Normas APHA, AWWA, WPCF, 1992. "Métodos Normalizados Para Análisis de Aguas Potables y Residuales". Ed. Diaz de Santos (Madrid) España.

Peroni, M. I., 2005. Estudio de la vulnerabilidad y calidad del agua del acuífero que abastece a la Localidad de Macachín, La Pampa. Tesina de Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa.

Salso, J. H., 1965. Apreciación preliminar acerca de las perforaciones "Macachín Nº1" y "Abramo Nº 2". Biblioteca de la Dirección Provincial de Aguas. Santa Rosa, La Pampa, Argentina. Est. 9, ej. 33.

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

Saracho, M., L. Segura, P. Moyano, N. Rodríguez, **2004**. "Variación espacio-temporal de la concentración de nitratos en el agua subterránea de la ciudad capital, Provincia de Catamarca".

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.

Schulz, C. J., 1999. Apuntes de Hidrología Ambiental. Universidad de La Pampa. Facultad De Ciencias Exactas y Naturales. Primera Edición: 1999.

Schulz, C. J., M. A. Fernandez, E. C. Castro, 2002. Los nitratos y su evolución en el acuífero que provee de agua potable a General Acha, La Pampa, Argentina. Biblioteca de la Dirección Provincial de Aguas. Santa Rosa, La Pampa.

Schulz, C.J., 2004. Estudio Hidrogeológico del Aéra Central del Valle Argentino, La Pampa, Argentina. Elaboración de una Propuesta de Gestión de los Recursos Hídricos. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

Servicio Meteorológico Nacional. http://www.meteofa.mil.ar.

Terraza, J. C., Cruz, C y Sbrocco, J. 1981. Geología de los Valles de Utracán, Quehue y Chapalcó. VII Congreso Geológico Argentino, San Luis, Actas III: pp. 183-192.

Tullio, J., 1988. Informe sobre la construcción de los pozos Nº 5 y Nº 6 e Informe del pozo de exploración en el sitio del pozo Nº 5. Biblioteca de la Dirección Provincial de Aguas. Santa Rosa, La Pampa. Est. 24, ej. 92.

Umazano, M. y otros, 2002. Variación espacio-temporal de las precipitaciones en la provincia de La Pampa. Biblioteca de la Dirección Provincial de Aguas. Santa Rosa, La Pampa. Est. 32, ej. 41.

Zetti, J., 1964. El hallazgo de un Megatheiídae en el Médano Invasor del SW de Toay, Provincia de La Pampa. Ameghiniana, III, 9, p257-265. Buenos Aires, Argentina.

ANEXO I

Extracción de muestras en la Zona no Saturada y del primer agua del acuífero a través del barrenado en la zona urbana (B1).

Extracción de la muestra del primer agua del acuífero en la zona urbana.

Continuación.

Medición del nivel freático con la zonda freatimétrica

Almacenamiento de las muestras.

Continuación.

Extracción de muestras de la Zona no Saturada y del primer agua del acuífero en la zona rural (B1).

Ambiente rural que rodea al pozo barrenado B1

Continuación.

Extracción de muestras en el pozo barrenado B2 de la zona rural.

Extracción de la muestra de la Zona no Saturada en B2.

Ambiente rural que rodea al pozo barrenado B2.

Extracción de muestras en el pozo barrenado B3 de la zona rural.

Continuación.

ANEXO II

Fecha	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 5	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8
05/02/79		29,00						
03/04/80								
03/05/80								
04/09/80								
18/03/81								
22/04/81	36,00	31,00						
22/10/81								
19/12/81	27,00	30,00		24,00				
13/05/83	31,00	40,00	29,00	32,00				
01/04/84	41,00	44,00	29,00	19,00				
01/05/85	36,00	40,00	30,00	30,00				
01/06/86	19,00	12,00		18,00				
01/07/87								
01/05/88	36,00	39,00	37,00	38,00				
01/05/89	35,00			32,00	45,00	16,00		
01/09/90	45,00	45,00	43,00	45,00				
15/05/94	18,00	18,00	23,00	18,00	17,00	15,00		
13/03/95	30,00	25,00	29,00	29,00	18,00	13,00		
08/08/95	21,00	22,00	29,00	28,00	23,00	17,00		
23/07/96	40,00	45,00	10	45,00	40,00	8		
25/11/96	37,5	37	32	40,00	45	19		
01/07/97	44,5	43	31	45	59,6	44,5		
05/11/97	41,5	45	38	45		33		
11/05/98	30,6	68		71,6		32,4	37,2	33,60
29/10/98	38,4	115,2	45,6	124	108	52	46,8	39,2
06/04/99	35	136		125,6	128,8	37,2	64,4	54,4
26/07/99	40	122,4	34,8	100,8	100,8	28,6	52,4	51,2
02/05/00	66,8	137	36,8	116	128		50	51,2
27/11/00	150	26,6	27,6	25,2	28,4		54	18,4
21/05/01	222	26,2	40,4	26,4	25,8	43,2		
13/11/01	198		40,4		133	44	51,6	
25/09/02	30,2	28,8	33	28	28,2	32	35	35
20/05/03	27,2	26,8	48	30,8	27,4	58,8		
19/05/04		86,20	64,20	73,00	85,80	36,50	49,70	38,70
25/10/04	100,00	100,00		100,00	100,00	60,00	70,00	47,00
28/02/05			45,00	45,00		45,00	45,00	44,00
28/11/05		19,50	45,10	26,30		57,50	68,10	28,60
12/06/06		92,70		101,00	103,70	58,80	55,90	31,00
05/09/06		107,70	62,30	99,90		48,60	55,10	27,70
12/06/07		102,50	32,50	31,10		54,40	53,70	26,00
20/09/07						53,70	51,20	25,10
25/09/07		116,60	31,00			60,20	45,70	27,40
10/10/07		107,30	33,00					
28/11/07				110,70				
04/03/08		106,30	33,30	103,00		52,10	39,40	27,00
15/07/08		112,10	37,00	138,20		57,50	48,50	30,60
Promedio	54,69	62,37	36,21	57,78	65,55	39,93	51,25	35,34
Máximo	222	137	64,2	138,2	133	60,2	70	54,4
Mínimo	18	12	10	18	17	8	35	18,4

Tabla 1: Evolución de la concentración del ión Nitrato en los pozos de abastecimiento de Macachín (Valores en color rojo: exceden los valores máximos permitidos por la legislación vigente)

Fecha	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 5	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8
05/02/79		176						
03/04/80	228	168	160					
03/05/80	224	164	146					
04/09/80	230	166						
18/03/81	292	160	136					
22/04/81	208	140	148					
22/10/81	232	220		64				
19/12/81	228	172						
13/05/83	182	156	120	80				
01/04/84	176	198	120	70				
01/05/85	188	144	108	88				
01/06/86	168	132		120				
01/07/87	172	144	112	128				
01/05/88	164	144	112	116				
01/05/89	160			128	72	36		
01/09/90	176	136	120	124				
15/05/94	244	212	124	204	160	60		
13/03/95	248	212	224	160	160	60		
08/08/95	240	224	216	164	164	68		
23/07/96	248	208	232	184		80		
25/11/1996					172			
01/07/97	244	196	236	180		84		
05/11/97								
11/05/98	248	196	220	184	312	68	64	72
29/10/98	240	200	208	176	200	60	64	60
06/04/99	240	196	204	184	188	76	64	88
26/07/99	244	200		180	188	76	72	84
02/05/00	236	192	208	176	184		76	80
27/11/00	236	196	216	176	184		76	76
21/05/01	232	196	224		184	72	72	
13/11/01	240		232	176	168	76		
25/09/02	232	176	220	172	192	92	76	96
20/05/03	240	176	224	152	196	60		
19/05/04	168	168	120	192	196	80	88	80
25/10/04	224	172		180	192	72	76	80
28/02/05			120	184		84	80	92
28/11/05		172	268	180		88	80	80
12/06/06		176		172	200	84	58	76
05/09/06		180	112	172		96	80	80
12/06/07		180	272	90		100	80	76
20/09/07						96	74	76
25/09/07		180	282			104	72	76
10/10/07		180	264					
28/11/07				152				
04/03/08		180	272	160		106	72	76
15/07/08		180	248	184		104	72	76
Promedio	219,8	178,7	188,7	153,1	184,0	79,3	73,5	79,1
Máximo	292,0	224,0	282,0	204,0	312,0	106,0	88,0	96,0
Mínimo	160,0	132,0	108,0	64,0	72,0	36,0	58,0	60,0

Tabla 2: Evolución de la concentración del ión Cloruro en los pozos de abastecimiento de Macachín

Fecha	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 5	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8
05/02/79		1136						
03/04/80	1651	1333	1221					
03/05/80	1445	1195	890					
04/09/80	1180	980						
18/03/81	1419	1187	1041	765				
22/04/81	1479	1118	1032					
22/10/81	1462	1333						
19/12/81	1479	1290						
13/05/83	1415	1159	1200	780				
01/04/84	1420	1160	1190	790				
01/05/85	1413	1166	983	933				
01/06/86	1346	1276		1105				
01/07/87	1385	1249	1029	1068				
01/05/88	1408	1283	1105	1100				
01/05/89	1421			1156	812	589		
01/09/90	1420	1245	1106	1077				
15/05/94	1482	1311	855	1276	1140	499		
13/03/95	1476	1330	1173	1030	1150	596		
08/08/95	1505	1323	1151	1076	1100	586		
23/07/96	1577	1346	1224	1231	1217	619		
25/11/96						756		
01/07/97	1417	1194	1093	1142		618		
05/11/97								
11/05/98	1334	1277	1010	1134	1379	569		
29/10/98								598
06/04/99	1697	1527		981	1399	668	606	822
26/07/99							703	
02/05/00	1832	1607	1410	1401	1473		822	824
27/11/00	2020	1769	1589	1553	1697		925	907
21/05/01	1939	1715	1464	1446	1571	806		
13/11/01	1921		1571		1508	853	866	
25/09/02	1886	1654	1051	1428	1800	879	852	952
20/05/03	1850	1706	1580	1401	1715	787		
19/05/04	1697	1697	1131	1580	1760	934	907	952
25/10/04	1931	1688		1616	1670	876	934	934
28/02/05			1167	1613		990	967	998
28/11/05		1467	1584	1451		866	814	806
12/06/06		1234		1120	1245	644	592	630
05/09/06		1185	797	1111		677	671	601
12/06/07		1195	1216	697		717	679	636
20/09/07						736	658	634
25/09/07		1218	1254			742	638	615
10/10/07		1224	1280					
28/11/07				1055				
04/03/08		1221	1233	1029		736	599	670
15/07/08		1231	1223	1209		797	677	676
Promedio	1563,57	1330,51	1194	1180,75	1426,07	727,591	775,6	779,214
Máximo	2020	1769	1589	1616	1800	990	967	998
Mínimo	1180	980	855	697	812	499	592	598

Tabla 3: Evolución del contenido de Residuo Seco en los pozos de abastecimiento de Macachín

Zona rural		
	B1	
	Prof. (m)	Nitrato (mg/l)
	1	106
	2	176
primer muestra en Z.S.	3,1	130
	B2	
	Prof. (m)	Nitrato (mg/l)
	1	54
primer muestra en Z.S.	1,7	11
	B3	
	Prof. (m)	Nitrato (mg/l)
	1	92,5
	2	60
	3	47,5
primer muestra en Z.S.	4,1	55
	Promedio en Z.N.S.	89,33
Zona urbana		
	B1	
	Prof. (m)	Nitrato (mg/l)
	1	165
	2	93
	3	89
primer muestra en Z.S.	3,2	140
	B2	
	Prof. (m)	Nitrato (mg/l)
	1	82
	2	78
	3	65
primer muestra en Z.S.	3,3	188
	B3	
	Prof. (m)	Nitrato (mg/l)
	1	154
	2	89
primer muestra en Z.S.	3,2	102
	Promedio en Z.N.S.	93,6

Tabla 4: Concentraciones de nitrato en la zona no saturada y en la parte superior de la saturada del sector rural y urbano.