UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE.

TESINA DE GRADO:

"Caracterización geoambiental en el área de Quemú Quemú con énfasis en los recursos hídricos".

AUTOR: María de los Angeles Irribarra.

DIRECTOR: Carlos Juan Schulz.

AÑO 2006.

“Esta tesis esta dedicada con todo el amor: a mis padres, por el esfuerzo y la fe que tuvieron en mí en todo momento, a mis hermanos y familia”.

ÍNDICE GENERAL

Pág

RESUMEN…… **5**

CAPITULO I…… **7**

1. INTRODUCCIÓN…… **7**

1.1. Antecedentes…… **8**

1.2. Descripción del área de estudio…… **9**

1.3. Características del servicio de agua potable…….. **11**

CAPITULO II…… **14**

2.1. CLIMATOLOGÍA…… **14**

2.1.1. Temperatura…… **14**

2.1.2. Vientos…… **14**

2.1.3. Precipitaciones…… **15**

2.2. SUELO……**17**

2.3. GEOMORFOLOGÍA…… **19**

2.4. GEOLOGÍA……**20**

2.5. HIDROGEOLOGÍA……... **21**

2.6. HIDROQUÍMICA…….. **22**

CAPITULO III…… **29**

EL NITRATO EN EL AGUA SUBTERRÁNEA…… **29**

3. Metodología…… **30**

3.1. Tareas realizadas…… **30**

3.1.1. Tareas de gabinete…… **30**

3.1.2. Tareas de campo…… .. **30**

A) Zona urbana…… **30**

B) Zona rural…… **31**

3.2. Parámetros físicos- químicos medidos en laboratorio…… **32**

3.3. Elaboración y tratamiento de los datos…… **32**

3.4. Tiempo de tránsito del contaminante en la zona no saturada……**32**

3.5. Tiempo de tránsito del contaminante en la zona saturada…… **33**

4. Resultados…… 33

4.1.1. En la zona urbana…… **33**

4.1.2. En la zona rural…… **36**

4.2. Tiempo de tránsito de los contaminantes en la zona no saturada y saturada…… **38**

CONCLUSION…….. 39

RECOMENDACIONES……... 39

AGRADECIMIENTOS…… 41

BIBLIOGRAFÍA CITADA…….. 42

ANEXO I…… 48

ANEXO II…… 53

RESUMEN

Dentro de los problemas ambientales que sufre una ciudad con respecto al consumo de los recursos naturales, se encuentra el suministro de agua potable. 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. A menudo no se tiene en cuenta que los procesos que conducen a la degradación de la calidad y a la contaminación de los sistemas acuíferos, están retardados y escondidos, y son a largo plazo.

La localidad de Quemú Quemú está ubicada en el noreste de la provincia de La Pampa; desde el punto de vista geomorfológico, el área de estudio corresponde a la llanura pampeana de modelado eólico superimpuesto, donde el acuífero freático está alojado en una secuencia sedimentaria constituida por una capa arenosa superficial de origen eólico, de espesor variable entre 3 y 15 metros, y en los sedimentos limo-arenosos con cementación calcárea de la Formación Cerro Azul, que se encuentra por debajo. Desde el punto de vista climatológico, la zona en estudio está comprendida en la denominada "Región Hídrica Subhúmeda Seca" (Cano et al, 1980), el clima es templado con una temperatura media anual de 15°C, la precipitación media anual es 737,95 mm y los vientos predominantes son del N-NE y S-SO.

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 de acuífero para prevenir el deterioro de la calidad y cantidad de agua subterránea, fundamentalmente porque la población carece de sistema de saneamiento.

Dado que no existe información suficiente sobre la calidad ambiental de los recursos hídricos en algunas localidades de la provincia de La Pampa, se consideró interesante ejecutar el presente trabajo tendiente a obtener una caracterización geológico-ambiental del territorio urbano y periurbano de Quemú Quemú, 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 en el cual se ubica el acuífero que abastece a la localidad, ubicado en el sector Noroeste próximos al pueblo y por otro lado el área urbana propiamente dicha teniendo en cuenta en este último caso exclusivamente lo relacionado con el contenido de nitratos detectados en los pozos domiciliarios.

En el año 2002 a partir de la problemática planteada por distintos vecinos de la localidad preocupados por la posible contaminación en el agua extraída de los pozos domiciliarios, en general de poca profundidad (tramo superior del acuífero freático), decidieron efectuar un relevamiento en 23 puntos del casco urbano para determinar el grado y origen de la contaminación. Posteriormente en julio del 2006 se practicó un nuevo muestreo que incluyó los 23 anteriores y se agregaron 8 pozos más tendientes a ampliar su conocimiento y especialmente sobre la evolución de los nitratos durante ese periodo de tiempo.

En función de las muestras analizadas en el año 2002 y 2006 se evidencia que el estado de las aguas subterráneas del casco urbano de Quemú Quemú es poco satisfactorio. En vista a los resultados químicos, un 67,7 % 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 en el medio natural.

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

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. Hay indicios claros y convincentes de que el mundo se enfrentará a una serie de problemas locales y regionales cada vez más graves relacionados con la cantidad y calidad del agua, en gran medida como resultado de la ausencia de medidas adecuadas de ordenación. (Schulz, 1999)

Como 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. La falta de planificación y la contaminación están causando en muchos lugares importantes problemas de salud, limitando el crecimiento económico y agrícola y causando daños a numerosos sistemas. (Schulz, 1999)

Esto supone que, sin un apoyo que contenga los fundamentos básicos, será imposible comprender las situaciones que se puedan crear y así poder tomar las decisiones necesarias y primordiales. Por eso la gestión integrada de los recursos del agua es una situación cada vez más solicitada. (Schulz, 1999)

La gestión, planificación y economía del agua son mecanismo racionales que evitan conflictos y potencian el desarrollo social y una gestión eficiente de la demanda; permiten a los sectores consumidores de agua realizar ahorros a largo plazo en los costos y estimulan tecnologías de producción conservadoras de los recursos e iniciativas de control de contaminación, que constituyen un elemento clave para la protección y mejora de las condiciones sanitarias y la situación medioambiental. (Schulz, 1999)

La ordenación de los recursos hídricos debe basarse en un enfoque integrado que tenga en cuenta una amplia gama de factores y necesidades ecológicas, económicas y sociales. Debe procurarse que en el proceso de adopción de decisiones participen todos los sectores de la sociedad.

La población es el principal factor determinante de las demandas y su evolución a largo plazo está sujeta a un grado de incertidumbre. El análisis de la estructura y dinámica demográfica se hace necesario, ya que constituye una variable importante al momento de definir todos los pronósticos en cuanto a los futuros consumos, necesidades, inversiones, proyectos, etc. (Schulz, 1997)

La demanda de agua para usos domésticos, industriales, etc, depende de las condiciones del medio, del nivel de vida de la población, gustos de la gente, clima, etc. Esto hace que a la hora de fijar la demanda, y la variación de la misma a lo largo del tiempo, sólo se pueda dar un orden de magnitud y no números exactos. Los servicios hidrológicos de cada nación, deben hacer frente al desafío, cada vez mayor, que representa la demanda creciente de agua dulce y potable por parte de la población.

En la provincia de La Pampa, el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento humano. Ello significa que el consumo provincial depende casi exclusivamente de éste recurso, que aún con limitaciones económicas coyunturales, constituye un elemento primordial para el desarrollo de la misma (Schulz, 1997).

En la mayor parte de la provincia, con excepción de su extremo oeste, los ambientes medanosos constituyen los principales reservorios de agua subterránea que se aloja en los sedimentos con un comportamiento hidráulico variable, desde netamente acuífero hasta acuitardo. En estas zonas de interés por tratarse de fuentes para el abastecimiento urbano y rural, surgen limitaciones derivadas de la calidad de sus aguas y los estudios exploratorios muestran una variabilidad significativa de la configuración química y de la presencia en distintas concentraciones de elementos perjudiciales para la salud humana. (Mariño, 2003)

La calidad del agua subterránea está mayormente en función de la composición de las formaciones geológicas por las que ha transitado y en las cuales se aloja, la recarga y el funcionamiento hidráulico. Por lo tanto es esencial evitar el deterioro causado por la sobreexplotación de los acuíferos realizando una planificación hidrológica correcta, para la cual la caracterización geológico-ambiental del área resulta fundamental.

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 excesivamente cara y técnicamente problemática (Foster et al, 1987). Por esto, la mejor práctica para un gerenciamiento que asegure la sustentabilidad del recurso, es proteger el acuífero antes de que sea contaminado (Hirata et al, 1996).

Dado que no existe información suficiente sobre la calidad ambiental de los recursos hídricos en algunas localidades de la provincia de La Pampa, se consideró interesante ejecutar el presente trabajo tendiente a obtener una caracterización geológico-ambiental del territorio urbano y periurbano de Quemú Quemú 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.

Este estudio estuvo motivado por el conocimiento de irregularidades en la calidad del agua subterránea de la localidad, resultado de análisis químicos realizados por la Cooperativa de Obras y Servicios Públicos de Quemú Quemú y de la Administración Provincial del Agua en los distintos pozos domiciliarios de la población y por iniciativa de los vecinos, que detectaron contaminación en sus pozos de extracción de agua subterránea.

1.1. Antecedentes

Los aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos del área de estudio están expuestos en los siguientes trabajos:

- El Comité de Investigación de Aguas Subterráneas (Arigos, 1970) efectuó, entre 1966 y 1969, un censo hidrogeológico de la hoja IGM 3763-3. Escala 1:100.000 (Pellegrini), cuyo extremo NO abarca parte de la localidad de Quemú-Quemú, La Pampa. Más tarde, la Administración Provincial de Agua de La Pampa realizó un estudio hidrogeológico para la provisión de agua potable (Malán y Schulz, 1988).

- Además resultan de interés los estudios que se realizaron en varias localidades vecinas como Miguel Cané (Ruiz, 1976); Malán, 1980; Malán y Miglianelli, 1982; trabajos realizados en el acuífero Pico-Dorila (Malán, 1983); Miglianelli, 1984; Malán y Schulz, 1986; Consorcio EIH y ENE-I, 1987, Consultora A. H. Risiga y Asociados, 1988; Malán, 1993; Malán, 1995; Giai y Gatto Cáceres, 1996; en la hoja IGM "La Puma" (Malán et al., 1996); Mariño y Bonorino, 1996; Dalmaso, 1998; Dalmaso et al., 1999; Malán, 1999; Castro, 2000; Dalmaso et al., 2000; Malán, 2000; Dalmaso et al., 2001; Dornes, 2001; Giai, 2001; Mariño y Dalmaso, 2003; Medus, 2003; Mariño, 2004.

1.2. Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra (Figura 1) en la localidad de Quemú Quemú, ubicada en el noreste de la Provincia de La Pampa, que constituye la cabecera del Departamento que lleva su nombre, ésta abarca una superficie de 10,5 Km², cuyo punto central aproximado (plaza principal de la localidad) posee las siguientes coordenadas: 36º03'20'' de latitud Sur y 63º33'55'' longitud Oeste.

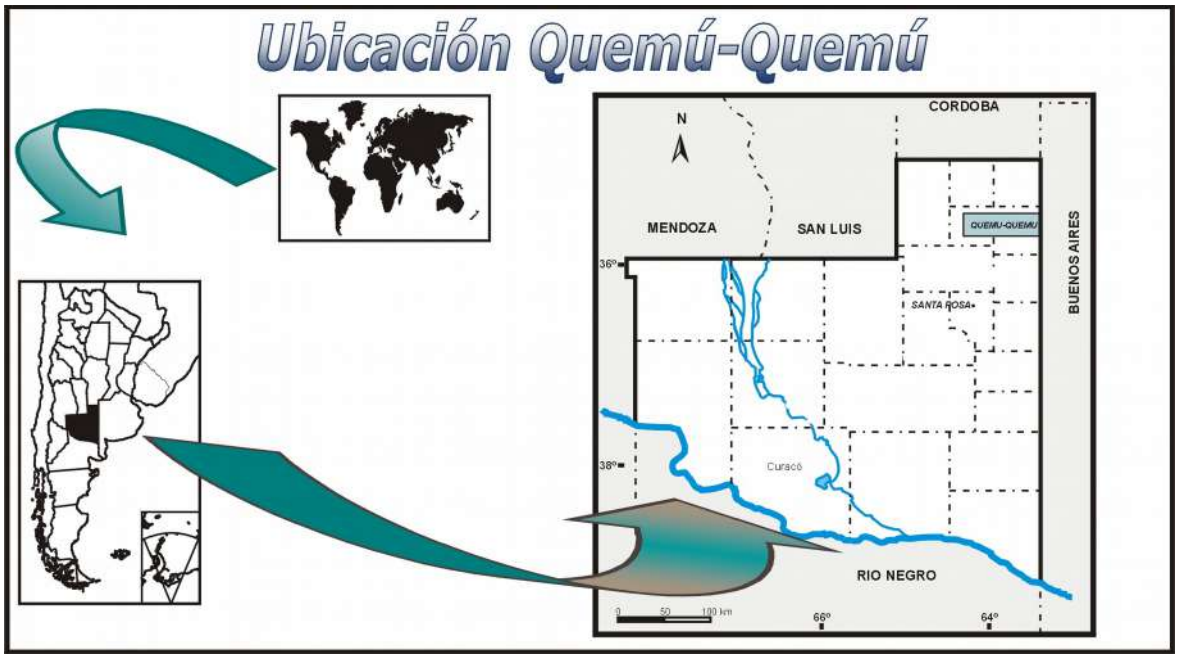


Figura 1. Mapa de la localidad de Quemú Quemú.

Por vía terrestre la localidad está comunicada con el resto del país por la Ruta Provincial N° 1, la cual empalma con las rutas nacionales N° 5, hacia el sur, y N° 188, hacia el norte, y se encuentra a 130 km de Santa Rosa, capital de la provincia de La Pampa.

La localidad de Quemú Quemú cuenta con 4.500 habitantes aproximadamente, constituyéndose en uno de los pueblos más importantes de la zona. De acuerdo con las

estadísticas, la población se incrementa a razón de 900 personas cada diez años (Schulz, 1997).

La localidad cuenta con servicio de agua potable pero no de un sistema cloacal, por lo que los pobladores vierten sus aguas residuales en fosas sépticas o pozos ciegos.

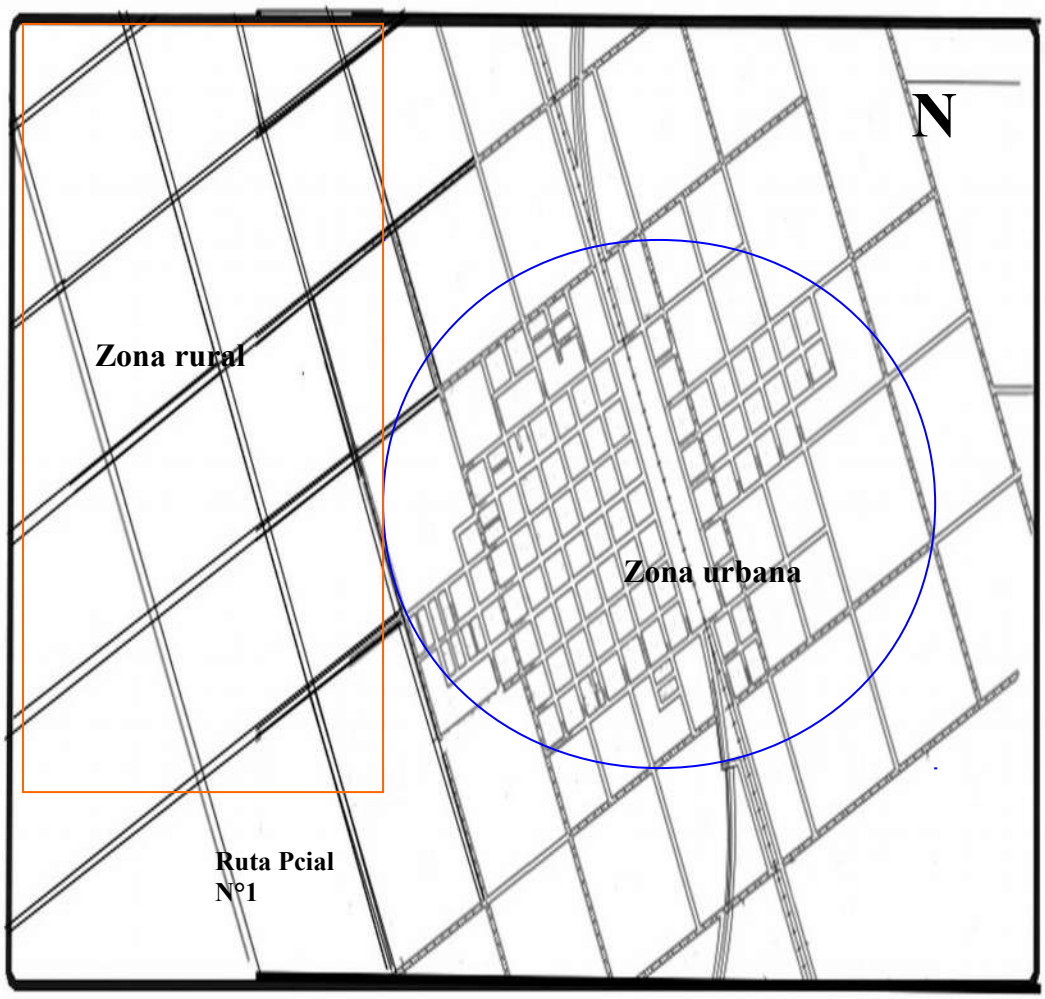


Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio.

El área en estudio está inserta en una provincia cuya economía depende en gran parte del sector primario (Agrícola y Ganadero). El Departamento se caracteriza por contar principalmente, con sistemas ganaderos o ganaderos-agrícolas de producción con preponderancia de cultivos forrajeros anuales y perennes, aunque existen áreas menores mayoritariamente agrícolas.

1.3. Características del servicio de agua potable.

La red de agua potable en la localidad de Quemú-Quemú es uno de los primeros servicios de la Provincia de La Pampa; este sistema consiste en dispositivos de extracción, conducción y distribución de agua subterránea que fue proyectada por el Ing. Carlos Oppezzo en 1966 y construido por el estado provincial, luego fue concesionado por medio de un convenio a la Cooperativa de usuarios (COSYPRO) quien a partir de entonces se encarga del funcionamiento y mantenimiento, realizando sucesivas modificaciones y ampliaciones de la red de distribución, como así también reemplazando pozos de producción e incorporando nuevos. En la actualidad se cuenta con 12 pozos de extracción, 9 de los cuales se encuentran en producción y los restantes 3 están fuera de servicio dado que el agua fue desmejorando su calidad y por ende su aptitud para el consumo humano.

La captación del agua se realiza mediante la explotación del acuífero que abarca una superficie de 216 km². Si bien el área acuífera es extensa, la producción de agua potable, mediante pozos de explotación, se circunscribe a un sector de 5 km², ubicado en las inmediaciones de la localidad, este sector aloja una reserva de agua cuantitativamente significativa y de buena calidad para el consumo humano (Schulz, 1997).

Una vez captada por los pozos, el agua es bombeada a una cisterna que tiene una capacidad de 360 mil litros y posee dos bombas elevadoras que conducen el fluido a un tanque elevado. Este tanque tiene una capacidad de 100 mil litros y la finalidad es darle presión a la red, ya que desde aquí se distribuye el agua potable a la población.

La Cooperativa realiza el control de la calidad del agua en sus distintas etapas. Cada tres meses se realizan análisis físico-químicos y bacteriológicos en cada uno de los pozos de extracción, en la salida del tanque elevado y en terminales de la red de distribución.

El servicio de agua potable de la Cooperativa atiende en la actualidad un total de 1420 conexiones domiciliarias, lo que implica un 95% del total de la población. Sólo en 578, un 40,7% del total, se produce el cobro de acuerdo al consumo domiciliario excedente a los 9 m³/mes. El resto, abona un cargo fijo independientemente de lo que consuma, lo que trae aparejado grandes excesos, fundamentalmente en épocas de elevada temperatura (Schulz, 1997).

En la tabla 1 que muestra los consumos mensuales para el período 2001-2004, se observa una mayor demanda para el mes de enero, con un consumo de unos 27.434 m³/mes y para junio 20.588 m³/mes, siendo éste, el mes de menor consumo.

Tabla 1. Consumos mensuales para el período 2001-2004 (Fuente Cosypro).

MSES/AÑOS	2001 m3	2002 m3	2003 m3	2004 m3
ENERO	27437 m3	27864 m3	27428 m3	27019 m3
FEBRERO	23286 m3	23647 m3	22487 m3	23723 m3
MARZO	23370 m3	22273 m3	23246 m3	24590 m3
ABRIL	20685 m3	20128 m3	19896 m3	22032 m3
MAYO	19552 m3	20092 m3	20308 m3	23684 m3
JUNIO	18936 m3	19590 m3	20337 m3	23490 m3
JULIO	20259 m3	20495 m3	21415 m3	24044 m3
AGOSTO	21255 m3	21263 m3	21945 m3	24364 m3
SEPTIEMBRE	21145 m3	20497 m3	23832 m3	25656 m3
OCTUBRE	19155 m3	21493 m3	25989 m3	22212 m3
NOVIEMBRE	23538 m3	22173 m3	24484 m3	23398 m3
DICIEMBRE	25961 m3	23977 m3	24894 m3	24944 m3
TOTALES	**264579 m3**	**263492 m3**	**276261 m3**	**289157 m3**

En el gráfico de la Figura 3 se observa que el consumo de agua ha ido aumentando, gradualmente en especial en el período marzo-octubre y más notable durante 2004.

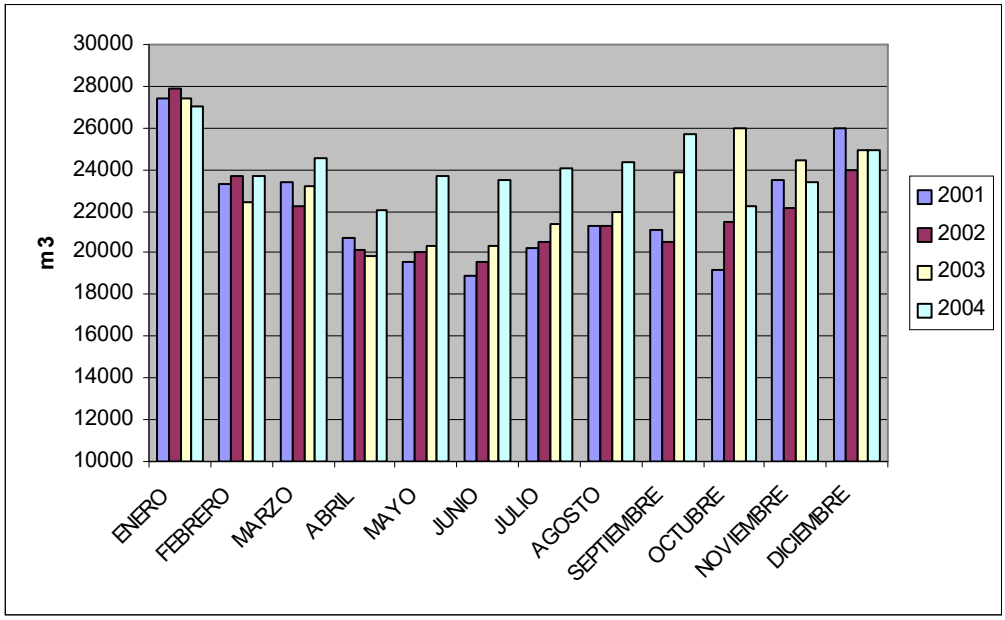


Figura 3. Consumos anuales período 2001-2004 (Fuente Cosypro).

La captación de agua se realiza mediante 9 pozos de bombeo, ubicados sobre el sector norte de la localidad, en cercanías de la Ruta Provincial N° 1. (Ver anexo I, figura 1). De estas bombas, tres son automáticas y seis a reloj, realizándose un descanso periódico de

los motores de acuerdo al consumo. Las características de cada perforación se detallan en tabla 2.

Tabla 2 Diseño y parámetros hidráulicos de los pozos de explotación.

Pozos	Profundidad (m)	Filtros (m)	N.E. (m)	N.D (m)	Depresión (m)	Caudal (m^3)	Horas
IV	20,5	12,5-18,5	2,95	10,54	7,54	12	12
V	22	15-21	3,10	11,34	9,24	12	12
VI	24	17-23	5,12	11,94	6,82	12	12
VII	22	15-21	3,12	11,05	7,93	12	12
VIII	24	16-22	1,96	13,19	11,93	12	12
IX	24	16-22	3,66	15,60	11,94	12	12
X	24	16-22	3,21	11,21	8	12	12
XI	23	17-23	6,40	17,20	10,80	12	12
XII	23,5	17,5-23,5	4,40	16,75	12,35	12	12

CAPITULO II

2.1. CLIMATOLOGIA

El clima es uno de los factores que más influye en el modelado del paisaje, en las características del suelo, la fisonomía de la vegetación y el potencial de la región, esta acción puede ser física, química o biológica; el conocimiento del clima es fundamental para la toma de decisión de los planteos de desarrollo de un área.

2. 1. 1. Temperatura.

La localidad de Quemú Quemú está comprendida en la denominada "Región Hídrica Subhúmeda Seca" (Cano et al, 1980). El clima es templado con una temperatura media anual de 15 °C, siendo la máxima media de 22,7°C para el mes de enero y lo que respecta el mes de julio la mínima media es 8,9°C correspondientes al período 1961-2000. (Estación Experimental Agropecuaria Anguil). (Figura 2.1). Debido a la carencia de datos de la localidad, se tuvieron en cuenta las temperaturas del campo anexo del INTA de General Pico, ya que por su proximidad no es esperable una variación significativa.

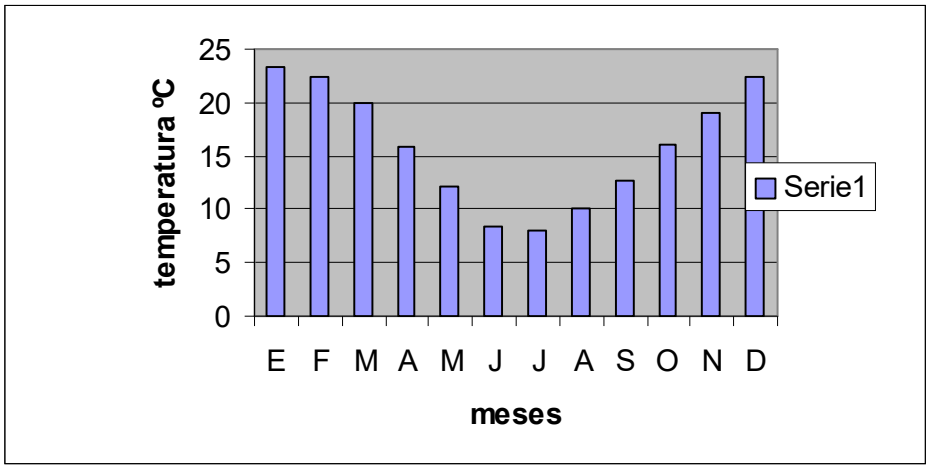


Figura 2.1. Temperatura media mensual registrada para el período 1961-2000.

2.1.2. Vientos.

Los vientos predominantes son del N-NE y S-SO. Esta circulación de las masas de aire corresponde al accionar de dos anticiclones que la gobiernan. En General Pico alcanzan una velocidad promedio anual de 14 km/h. Esta subregión es la más susceptible a la erosión eólica, fundamentalmente por el tipo de suelo y por las características de las explotaciones rurales (alto porcentaje de agricultura de cosecha). El período de mayor intensidad de los vientos se extiende desde Septiembre a Diciembre. (Figura 2.2)

RÉGIMEN DE VIENTOS DE GENERAL PICO + (1953-1960)*
FRECUENCIA DE LAS DIRECCIONES EN ESCALA DE 1.000 y VELOCIDAD MEDIA POR DIRECCIONES EN KM/HORA

DIRECCIONES	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		CALMA
MESES	f	vm	f	vm	f	vm	f	vm	f	vm	f	vm	f	vm	f	vm	
Enero	175	16	191	15	72	14	81	15	115	18	99	18	44	15	95	16	128
Febrero	210	17	181	14	73	14	81	16	101	18	80	18	28	14	80	16	166
Marzo	162	16	241	14	90	13	97	13	85	16	67	16	22	14	43	12	193
Abril	131	16	241	14	36	11	73	15	77	15	118	18	33	12	87	13	204
Mayo	139	15	215	14	51	11	49	12	73	14	96	16	42	9	80	14	255
Junio	105	12	149	14	74	9	38	10	87	12	96	15	61	14	69	13	321
Julio	120	16	176	14	38	12	55	16	95	17	99	18	75	16	104	15	238
Agosto	165	18	158	16	53	12	80	14	108	16	113	18	48	14	72	15	203
Setiembre	140	18	220	16	67	12	86	14	112	18	106	19	35	14	42	12	192
Octubre	127	19	221	16	96	13	125	14	108	15	84	18	22	12	55	18	162
Noviembre	133	16	237	17	99	12	68	13	94	18	99	19	34	12	82	14	154
Diciembre	148	19	184	17	89	13	80	17	122	19	101	19	41	14	79	17	156
ANUAL	146	16	201	15	70	12	76	14	99	16	96	18	40	13	74	15	198

* Estadísticas Climatológicas del S.M.N.

Figura 2.2. Régimen de vientos de General Pico (1953-1960). (Cano et al., 1980)

2.1.3. Precipitaciones.

La pluviometría media anual para Quemú-Quemú correspondiente al período 1921-2004 es de 737,95mm. La estación más seca es el invierno y por el contrario el período más húmedo es primavera y verano.

Durante los últimos 30 años, las precipitaciones se han incrementado en 250 mm anuales respecto a la media observada durante el periodo 1921-1970, superando a la evapotranspiración y generando un incremento en el almacenamiento superficial y subsuperficial de la región (Jensen et al., 2000).

Ese nuevo escenario hidrológico comienza generando lagunas en correspondencia con las depresiones locales. El nivel de estos cuerpos aumenta progresivamente hasta llegar a una cota tal que el agua desborda hacia las depresiones vecinas, generando una descarga hacia aguas abajo que se conoce como “desborde de bajos”. En el área de estudio el agua se acumula en la depresión topográfica natural ubicada en dirección oeste-sudoeste de la localidad de Quemú-Quemú (Jensen et al., 2000).

La figura 2.3 muestra los resultados de un balance mensual realizado en la localidad de General Pico (Bellini Saibene et al., 2000). La metodología de resolución es la propuesta por Thornthwaite y Mather (1955), el intervalo de aplicación (1961-1998) fue seleccionado por ser el de mayor aporte de agua de este siglo (Jensen et al., 2000) y el valor máximo de almacenaje de agua (capacidad de campo) se fijó en 200 mm.

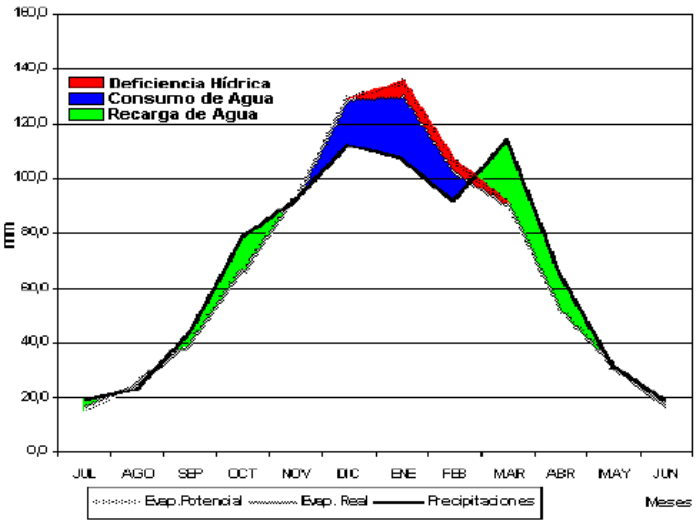


Figura 2.3. Balance Hídrico (Bellini Saibene et al., 2000).

Del análisis de la figura 2.3 surge que existen dos períodos de almacenamiento de agua en el suelo. Uno de ellos se da entre septiembre y mediado de noviembre mientras que el comprendido entre el mes de marzo y mayo, es el más importante.

Por las condiciones geológicas, la mayor tasa de recarga es captada en las zonas elevadas (médanos) y la descarga se produce en las depresiones, evidenciada periódicamente por la presencia de importantes espejos de agua producto del incremento pluviométrico de los últimos 15 años. La profundidad del nivel freático determinada en 3 freatímetros existentes oscila actualmente entre 1 y 3,3 metros de profundidad.

Un registro histórico (1986/2002) de cada uno de los pozos (Figura 2.4) muestra una fluctuación máxima del orden de 2 metros, dentro de un rango de profundidad que va de 1,50 metros (piezómetro 2) a casi 6 m.b.b.p (piezómetro 1).

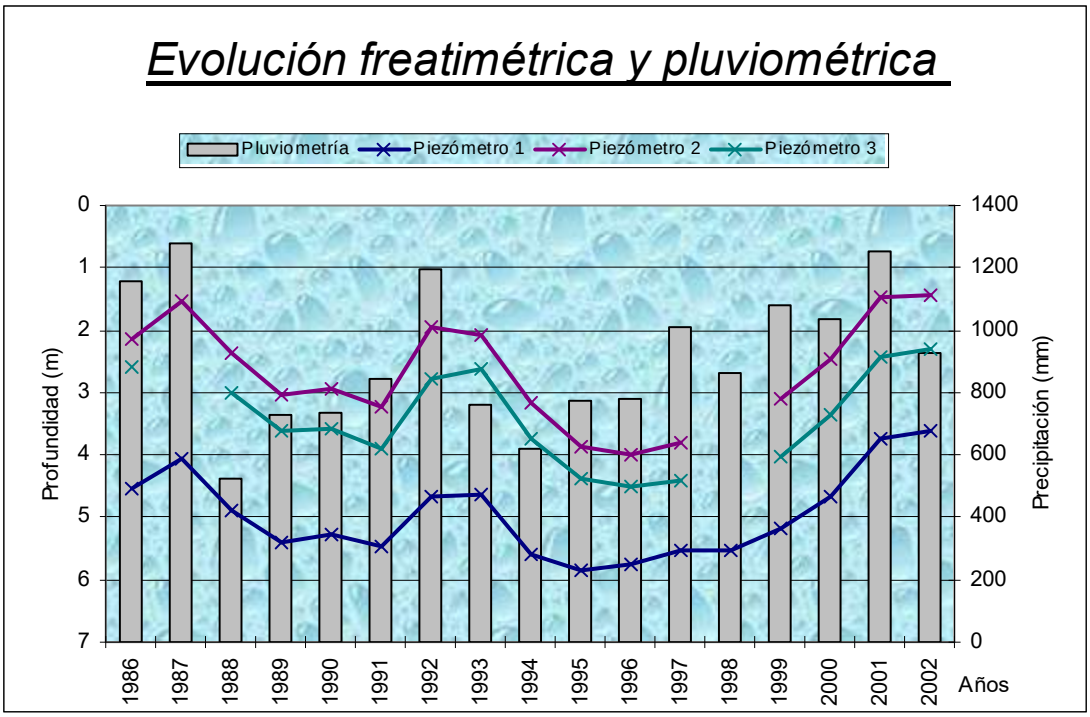


Figura 2.4. Variación del nivel freático y su relación con las precipitaciones.

En la figura se puede observar lo siguiente:

- Las fluctuaciones del nivel freático son similares en los tres piezómetros, dichas variaciones dependen de la magnitud de las precipitaciones.

- Los períodos de ascensos se registran durante 1987, entre mediados de 1991 hasta 1993 y desde comienzos de 1998 hasta el 2002. Estos episodios se corresponden con años donde las precipitaciones superan los 1000 mm anuales.

- Los mayores descensos se producen desde finales de 1987 hasta 1991 y desde 1993 hasta comienzos de 1995, debido a las bajas precipitaciones que no superan los 800 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.

- Luego se registra un lapso que abarca lo que resta de año 1995 hasta la mitad del año 1998, en el cual el nivel freático se mantiene constante.

2.2. SUELO

Desde el punto de vista edafológico (Cano et al, 1980), el área de estudio está ubicada dentro de la Unidad Cartográfica denominada "Planicie medanosa ondulada". Los suelos se han clasificado como: "Haplustoles énticos, familia arenosa, mixta, térmica", estimándose en 80% de la superficie de la Unidad; y "Ustipsamment típico, familia silícea, térmica" el resto. Ambos tiene poca evolución genética y su material parental son arenas con textura franca-arenosa fina de deposición reciente, que poseen buen drenaje. Otros suelos

incluidos en el sector, son los que se encuentran en los bajos, con tenores variables de sales (Cano et al, 1980).

Los suelos de esta Unidad integran una asociación presentando un sencillo perfil de tipo A-AC-C. Los carbonatos aumentan en profundidad, excepcionalmente pueden reconocerse algunos suelos libres de carbonatos de calcio pulverulento y en concreciones en todo el perfil. (Figura 2.5)

El suelo superficial (capa arable) tiene buen espesor con alto contenido de materia orgánica, reuniendo las exigencias de epipedón mólico. Los suelos de la planicie con tosca tienen permeabilidad rápida, son excesivamente drenados y están asociados a médanos más o menos planos y estabilizados, que en su mayoría se aran. No hay diferencia entre las cúspides y los bajos de las ondulaciones de este relieve en cuanto desarrollo genético y características morfológicas del perfil.

Las limitaciones de estos suelos son las que derivan de la textura del material parental y del clima, tales como la baja capacidad de retención de la humedad, sequías estacionales y erosión eólica atribuída al laboreo y pastoreo excesivos.

La vegetación principal es la cultivada y está asociada con vegetación natural representada por comunidades halófitas en la zona de las lagunas y sammófilas en las áreas medanosas no cultivadas (Cano et al, 1980).

La zona comprendida dentro del clima subhúmedo seco presenta la posibilidad de practicar agricultura de secano, pero bajo un sistema de manejo de suelo que favorezca la conservación del agua.

La elección de los cultivos esta restringida, siendo moderados los riesgos de disminución de los rendimientos o pérdidas de cosecha por sequía.

La agricultura frecuentemente alterna con la explotación ganadera intensiva, basadas en pasturas artificiales como alfalfa, sorgo, centeno, cebada, avena, agropiro, trébol de olor, cebadilla, etc., y en menor escala sobre pasturas naturales. Una especie que adquirió gran importancia y difusión para hacienda de cría y como excelente recurso para fijar suelos erosionables, es el pasto llorón.

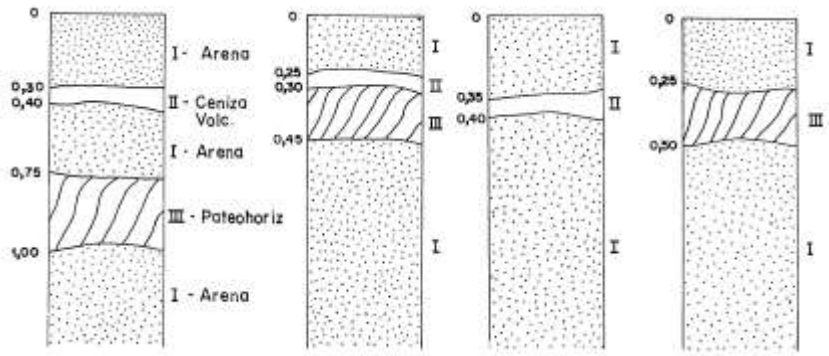


Figura 2.5. Perfil esquemático de suelo en el sector de Quemu Quemu. (Cano et al., 1980)

2.3. GEOMORFOLOGÍA

La región en estudio (Figura 2.6) se encuentra comprendida en la "Subregión de las Planicies Medanosas" (Cano et al, 1980), o en la "Llanura Pampeana de Modelado Eólico Superimpuesto" (Calmes, 1996). Los procesos morfogénicos que actuaron en esta subregión, fueron fundamentalmente hídricos (de escurrimiento difuso) y eólicos (de acumulación-deflación). Los primeros elaboraron una superficie calcárea con pendiente regional al Este, sobre ella el viento acumuló un manto arenoso de espesor variable. El dominio se compone de campos de médanos (sin orientación preferencial) y llanuras arenosas. La sucesión de éstos se da cada tres o cuatro km, sin presentar límites claros. Los médanos son en su mayoría fijos, aunque es posible encontrar algunos vivos. En las posiciones más deprimidas se encuentran cubetas de deflación o depresiones y sectores plano-cóncavos o cóncavos que colectan las aguas de lluvias y a su vez constituyen áreas de descarga. Los espesores del manto arenoso varían entre 3 y 15 metros (Figura 2.7.1 y 2.7.2).

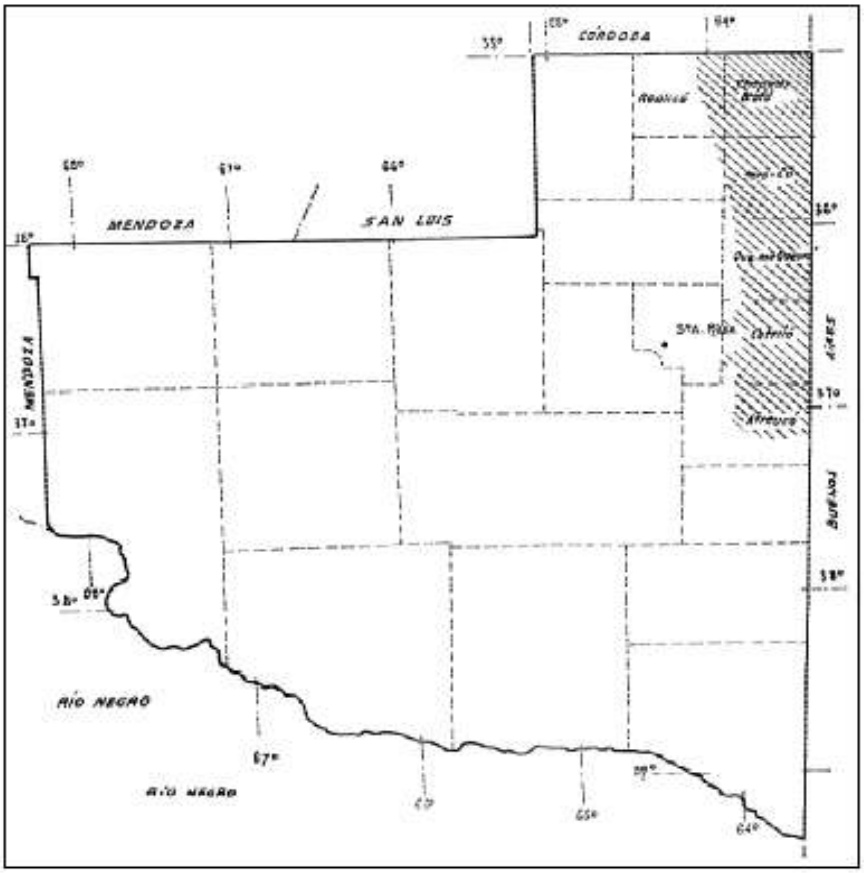


Figura 2.6. Ubicación geográfica de la subregión de las planicies medanosas. (Cano et al., 1980).

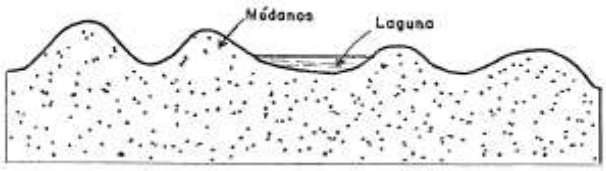


Figura 2.7.1. Perfil esquemático de suelo en el sectorde Quemú Quemú (Cano et al., 1980).

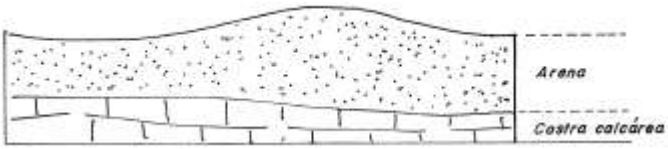


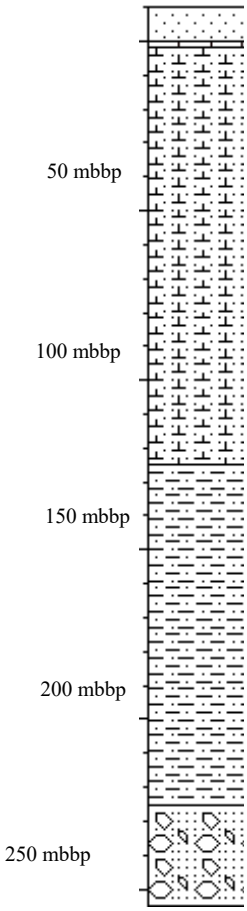
Figura 2.7.2. Corte esquemático que muestra las características del relieve y litología.

2.4. GEOLOGÍA

El cuadro hidroestratigráfico de la figura 2.8 sintetiza la secuencia según Giai et al., 1996, sobre la base de datos de una perforación ubicada en la localidad de General Pico. Desde el punto de vista hidrogeológico resultan más relevantes los dos niveles superiores, por ser portadores del acuífero estudiado.

La columna estratigráfica consiste en una capa arenosa superficial de origen eólico, que podría asignarse al Holoceno y cuyo espesor es variable desde 15 metros en las zonas medanosas hasta 2 o 3 metros en las depresiones, constituida por arenas finas con abundante vidrio volcánico en la parte superior y por arenas gruesas a medianas, en parte sabulíticas, hacia la base de la secuencia (Malán, 1983). La capa arenosa eólica corresponde a una unidad morfosedimentaria que cubre algo más de la cuarta parte del territorio provincial (Calmes, 1996) y formaría parte del denominado "Mar de Arena Pampeano" (Iriondo, 1993). Por debajo los sedimentos están reemplazados por una capa de materiales cementada por carbonato de calcio (tosca), que llega a tener dos metros de espesor. Subyacen a esta capa los sedimentos loéssicos de la Formación Cerro Azul (Linares et al, 1980) de edad Huayqueriense (Mioceno superior). Dicha edad se la asigna Goin et al., (2000) a los niveles portadores de marsupiales fósiles. Esta formación está constituida en sus niveles superiores por arenas muy finas y limosas y hacia la base la granulometría se vuelve más limosa hasta limo-arcillosa, lo que determina una fuerte anisotropía vertical. La depositación de dicha secuencia sedimentaria comenzó con depósitos lacustres, por encima se acumularon los sedimentos continentales de origen eólico y finalmente en los niveles superiores se desarrollan algunos cursos fluviales (Visconti et al., 1996).

Entre las denominaciones informales más conocidas que recibió esta formación cabe citar las de "Formación Pampeano" (Stappenbeck, 1926, Salso, 1966) y "Formación Pampa" (Giai, 1975).



Edad	Litología	Hidrogeología
Holoceno	Arenas eólicas	Acuífero
Mioceno superior (Fm. Cerro Azul)	Arenas finas a limosas con intercalaciones limoarcillosas	Acuitardo
Mioceno Inferior	Arcillas verdes y castañas. Arenas gruesas y medianas con intercalaciones de arcillas grises	Acuicludo a acuitardo en algunos niveles
Triásico	Areniscas cuarzosas	Acuífero

Figura 2.8. Cuadro hidroestatigráfico (Mariño, 2003).

2.5. HIDROGEOLOGÍA

Desde el punto de vista hidrogeológico resultan más relevantes los dos niveles superiores, por ser portadores del acuífero estudiado.

La columna geológica del lugar, remitida a sus términos superiores, esquemáticamente consiste en una capa arenosa superficial con variable desarrollo vertical, que oscila entre los 3 y 15 metros, conformada por sedimentos de evidente origen eólico, sueltos, algo cementados por carbonato de calcio hacia la base, que podría correlacionarse con la llamada formación Junín de la provincia de Buenos Aires. Por su granulometría y escaso grado de consolidación constituye un buen terreno acuífero a la vez que actúa como elemento de captación y almacenamiento importante de los excedentes hídricos. Por debajo aparece una capa que se caracteriza por presentar una granulometría más fina constituida por arenas finas a limosas con intercalaciones limoarcillosas que otorgan a la columna hidroestatigráfica un carácter predominantemente acuitardo.

Ambas secciones conforman, cuando están saturadas, un acuífero multiunitario, ya que entre ellas no hay niveles menos permeables, que hidráulicamente se comporta como libre con drenaje diferido.

Los parámetros hidráulicos del acuífero alojado en la Formación Cerro Azul fueron determinados en la mayoría de los casos por ensayos de recuperación en pozos de bombeo. Para el primer tramo del acuífero ensayado (hasta 18 metros de profundidad) la transmisividad osciló entre 94 y 204 m^2/día, en tanto que para una profundidad de 26 metros el valor medio alcanzaría a 200 m^2/día. (Malán et al., 1988).

2.6. HIDROQUÍMICA

El agua subterránea adquiere su composición química de una variedad de fuentes, aumentando la disolución y suspensión de constituyentes, por contacto con gases, líquidos y sólidos que encuentra durante el pasaje del ciclo hidrológico. Desde que desciende y entra en contacto con el suelo y subsuelo, interacciona determinando distintos ambientes geoquímicos en los que se encuentran los elementos que la constituyen (Galindo et al, 1999).

La lluvia local representa la única fuente de entrada de agua al sistema acuífero aquí considerado. Su composición, conjuntamente con el polvo atmosférico caracterizarán el agua de infiltración. Su consideración adquiere mayor relevancia si se tienen en cuenta además los efectos de la disolución y lixiviación en el perfil no saturado, además de una recarga directa debido a la existencia de una cubierta arenosa de significativa importancia. Esta investigación considera que la presencia de iones NO^{3}- que exceden los límites de potabilidad será pura y exclusivamente de origen antrópico.

En el presente capítulo se realizó un análisis de las particularidades hidroquímicas que caracterizan el área acuífera ubicado en la zona aledaña al Noroeste de la localidad dentro de la cual se ubica la zona de explotación y que sirve de abastecimiento a la población.

Las características hidroquímicas del acuífero pueden representarse a través de muestras de 7 pozos que integran la batería de producción de la COSYPRO, obtenidas durante el período 1995-2003. En la tabla 2.1, se resumen los valores máximos, mínimos y medios. A partir de estos datos podemos inferir que:

- Los valores de **pH** registrados fueron entre 8.37 en el pozo N° 4 y 7.77 en el pozo N°6.

- En relación con el **residuo seco** los valores muestran una variación entre 666 mg/l en el pozo N°4 y 325.5 mg/l en el pozo N°6.

- Respecto a los valores de **conductividad eléctrica**, éstos varían entre 1565 µs/cm y 399 µs/cm, registrándose el máximo en el pozo N°8 y el mínimo en el pozo N°6

- Lo que se refiere a los valores de **alcalinidad**, en el pozo N°4 se registra el valor máximo con 410 mg/l y el mínimo 200 mg/l en el pozo N°6.

- Considerando los valores de **dureza**, estos varía entre 154 mg/l y 78 mg/l, el valor máximo se registró en el pozo N°7 y el mínimo en el pozo N°8.

- Con respecto a los iones mayoritarios, la concentración de **cloruros** está comprendida entre 12 y 36 mg/l registrándose los valores máximos en el pozo N°8 y el mínimo en el pozo N°9. Los contenidos en **sodio** fluctúan entre184 y 57.5 mg/l, observándose el máximo en el pozo N°8 y el mínimo en el pozo N°6. Los **sulfatos** tienen una concentración comprendida entre los 62 mg/l (pozo N°4) y los 36.5 mg/l (pozo N°6). Los tenores de **magnesio** están comprendidos entre 10.7 y 18.5, el mayor valor se registró en el pozo N°7 y el mínimo en el pozo N°8. En cuanto a los **nitratos**, los valores fluctúan entre 14,2 y 26 mg/l. Los contenidos máximos se observan en el pozo N°4 y el mínimo en el pozo N°8.

- En lo que se refiere a los oligoelementos, la concentración de **flúor** varía entre 0.91 y 2.86 mg/l, teniendo el valor máximo en el pozo N°4 y el mínimo en el pozo N°6. El contenido de **arsénico** varía entre 0.11 y 0.04 mg/l, registrándose la máxima en el pozo N°5 y el mínimo en el pozo N°6.

Tabla 2.1. Valores medios de la composición química de 7 pozos de abastecimiento de Quemu Quemu correspondiente al periodo 1995-2003 y promedios generales del grupo de pozos considerados.

POZOS	Residuo Seco	Conduct.	ph	cl-	so4--	alcal.	CO3H-	dureza	Na+	Ca++	Mg++	Fe+3	No3-	No2-	F-	As
	mg/l	mmh/cm		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
4	666	814.5	8.37	22	62	410	382	106	150	20	13.6	S/D	26	S/D	2.86	0.1
5	559	693.5	8.2	16	53	381	368	102	138	20.8	13.1	S/D	16.2	S/D	2.61	0.11
6	325.5	399	7.77	16	36.5	200	200	140	57.5	31.2	13.4	S/D	17	S/D	0.91	0.04
7	526.5	663	7.99	20	55.5	310	310	154	80.5	24.6	18.45	S/D	15	S/D	1.3	0
8	617.5	1565	8.26	36	49	392	374	78	184	15.2	10.7	S/D	14.2	S/D	2.17	0.08
9	390.5	495	8.06	12	39.9	242	238	88	S/D	17.7	10.8	S/D	18.5	S/D	1.33	0.04
10	332.5	459.5	7.97	14	39	222	232	102	80.5	16	15.1	S/D	21.7	S/D	1.4	0.04
max	666	1565	8.37	36	62	410	382	154	184	31.2	18.5	S/D	26	S/D	2.9	0.1
min	325.5	399	7.77	12	36.5	200	200	78	57.5	15.2	10.7	S/D	14	S/D	0.9	0
media	488.2	727	8.08	19.4	47.8	308	300	110	115	20.7	13.6	S/D	18.4	S/D	1.8	0.06

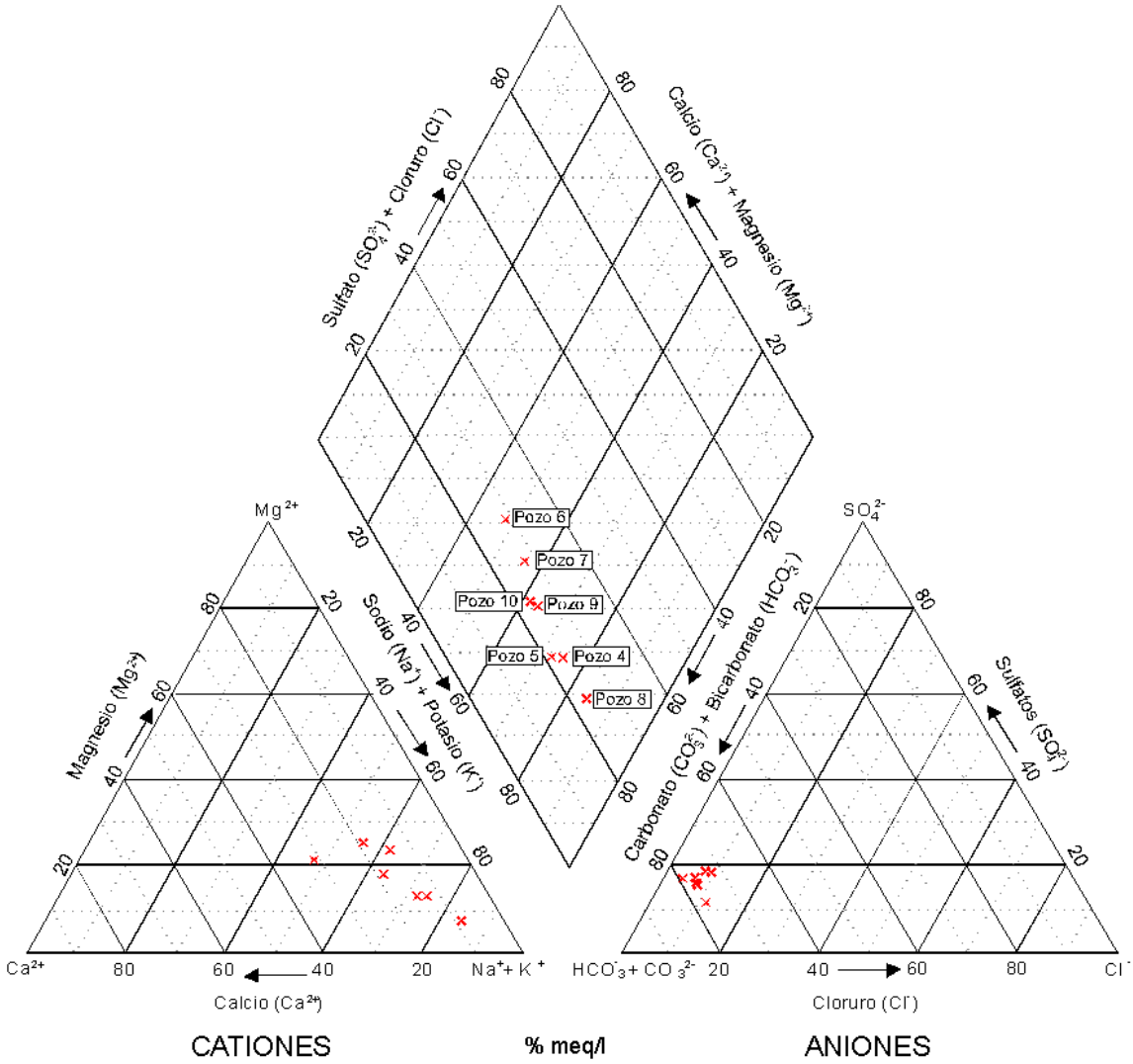


Figura 2.9. Diagrama de Piper de 7 pozos de la batería de producción de COSYPRO.

En el diagrama de Piper (Figura 2.9) se observa que las muestras corresponden a la facies bicarbonatada sódicas.

Según estudios realizados (Schulz, 1997) en general las áreas de recarga se caracterizan por valores de salinidad entre 300 y 1000 mg/l, de dureza entre 70 y 200 mg/l, de cloruro de 8 a 100 mg/l y de flúor 0,9 a 3 mg/l.

El agua subterránea de mejor calidad se encuentra en el Noreste y Oeste de la localidad que corresponde al área de recarga del acuífero.

En las áreas de descarga, principalmente en la región Suroeste de la localidad se produce un incremento de la salinidad, también se nota un pequeño aumento en la dureza.

Verticalmente, hasta aproximadamente los 26 metros de profundidad, los valores de flúor son adecuados para el consumo humano, pero por debajo de esta profundidad las concentraciones aumentan, sucediendo lo mismo con los tenores de arsénico y salinidad.

La evolución de la calidad química de agua de suministro de la localidad de Quemu Quemu correspondientes a los pozos de explotación se encuentran detallados en el Anexo II, tablas 8, 9, 10, 11, 12 , 13 y 14.

Para establecer la calidad del agua para consumo humano de las muestras, se tomaron como valores de referencia los límites adoptados por la Administración Provincial del Agua de La Pampa (Ley N°1027 del año 1980) y el Código Alimentario Argentino (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Comparación de los promedios generales de los grupos de pozos considerados para el periodo 1995-2003 según el Código Alimentario Argentino del año 2001 y la Ley número 1.027 con su decreto reglamentario Nº 943 de la Provincia de La Pampa del año 1981.

PARAMETRO	LEY Nº 1027. VALORES GUIA (EN MG/L)	CODIGO ALIMENTARIO	MAXIMA DE LA MEDIA MUESTREADA	MINIMA DE LA MEDIA MUESTREADA	MEDIA DEL GRUPO DE POZOS MUESTRADO
RESIDUO SECO	2000	500	666	325.5	488.2
CLORUROS	700	MÁX 350	36	12	19.4
SULFATOS	300	MÁX 400	62	36.5	47.8
BICARBONATOS	30-400		382	200	300
DUREZA	200	MAX 400	154	47	110
SODIO	200	150	184	57.5	115
NITRATO	45	MÁX 45	26	14	18.4
NITRITO	Hasta 0.1	MÁX 10	S/D	S/D	S/D
FLUOR	1.2-1.8	0.7-1.2	2.9	0.9	1.8
ARSENICO	0.15-0.18	MÁX 0.05	0.1	0.05	0.06
HIERRO	Hasta 0.1	MÁX 0.3	S/D	S/D	S/D
PH	6.5-9.2	6.5-8.5	8.37	7.77	8.08

Casillero vacío significa que no se estableció límite para ese parámetro..

Estas guías se basan en dos criterios separados, su importancia para la salud (efecto tóxico, carcinogénico, mutagénico) que es de primera prioridad, y los aspectos organolépticos o estáticos (sabor, color, olor) que son de importancia secundaria, siempre que se garantice que el consumidor aceptará el agua y no acudirá a una fuente aparentemente mejor, pero de mayor riesgo para la salud pública (Foster et al, 1987).

A partir de la comparación entre la calidad del agua determinada y los parámetros de potabilidad adoptados, se sintetiza que la concentración de flúor y arsénico muestreado en algunos pozos supera los límites adoptados por la Ley N° 1027; lo que se atenuaría en combinar pozos de distinta calidad (como se ve en la última columna de la tabla 2.2) para obtener un agua que esté dentro de los límites para consumo humano.

Analizando las figuras que representan la evolución temporal de la concentración de arsénico (fig. 2.10), de flúor (fig. 2.11), de nitratos (fig.2.12), de cloruros (fig.2.13) y de residuo seco (fig. 2.14), se puede decir que para el arsénico y el flúor existe un grupo de pozos (7, 9 y 10), ubicados en el sector noreste, que poseen valores netamente inferiores al establecido por la ley N°1027, en los restantes pozos, los valores se encuentran alrededor de 0,10 mg/l para el caso del arsénico y 2,5-3,2 mg/l para el flúor que a diferencia del arsénico presenta una ligera tendencia positiva. Si analizamos el contenido de residuo seco para el período mencionado, presenta una ligera tendencia ascendente pero que no altera el carácter de la calidad del agua para consumo humano y lo que respecta a los cloruros, en general no presentan variaciones apreciables salvo el pozo N° 8.

En cuanto al ión nitrato, se puede observar que en los 7 pozos de abastecimiento de agua potable para el período analizado (1995-2003) se mantienen valores promedios de 17 mg/l.

Se dedica un capítulo aparte para la concentración de nitratos por ser este un elemento indicador de contaminación utilizado en esta investigación.

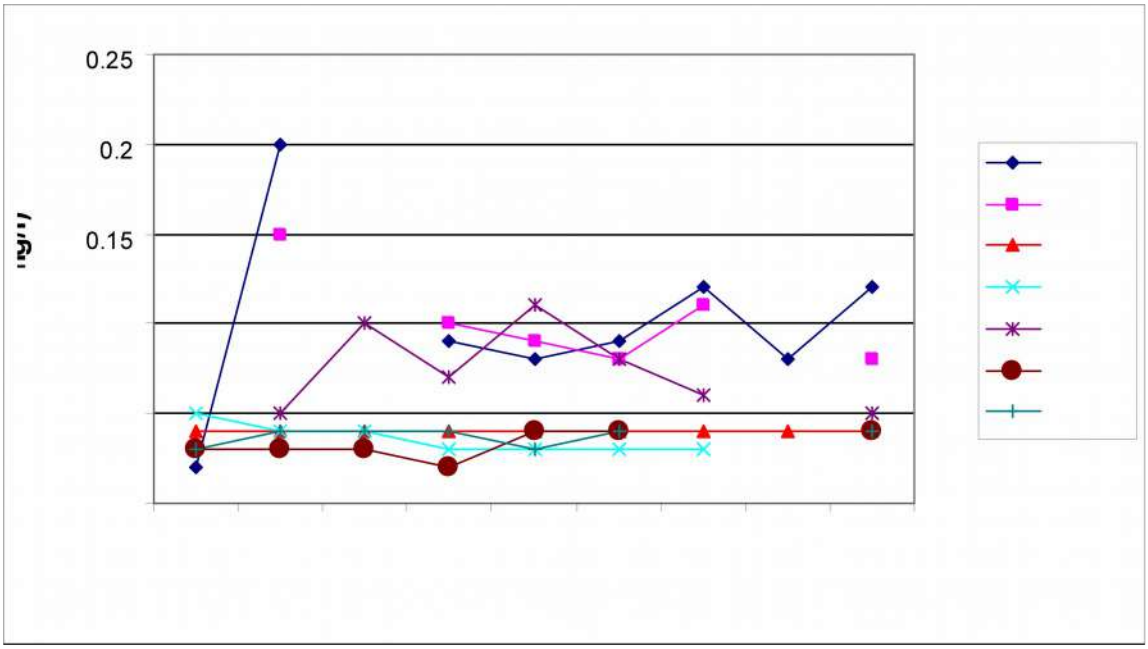


Figura 2.10. Evolución temporal de la concentración de arsénico. Serie 1995-2003.

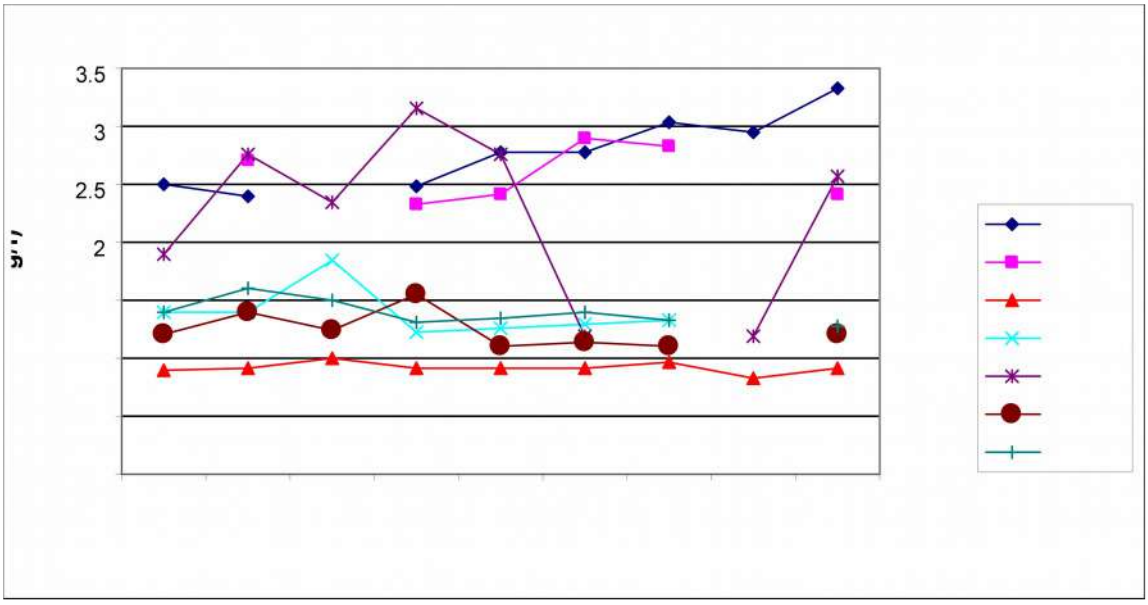


Figura 2.11. Evolución temporal de la concentración de Flúor. Serie 1995-2003

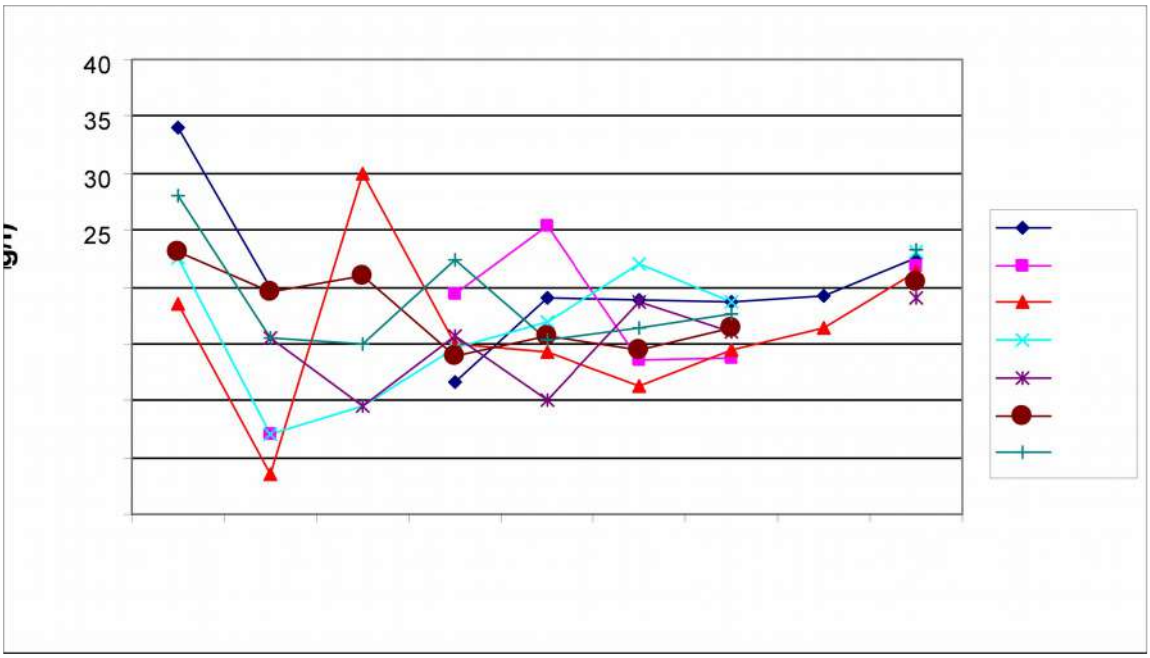


Figura 2.12. Evolución temporal de la concentración de Nitratos. Serie 1995-2003

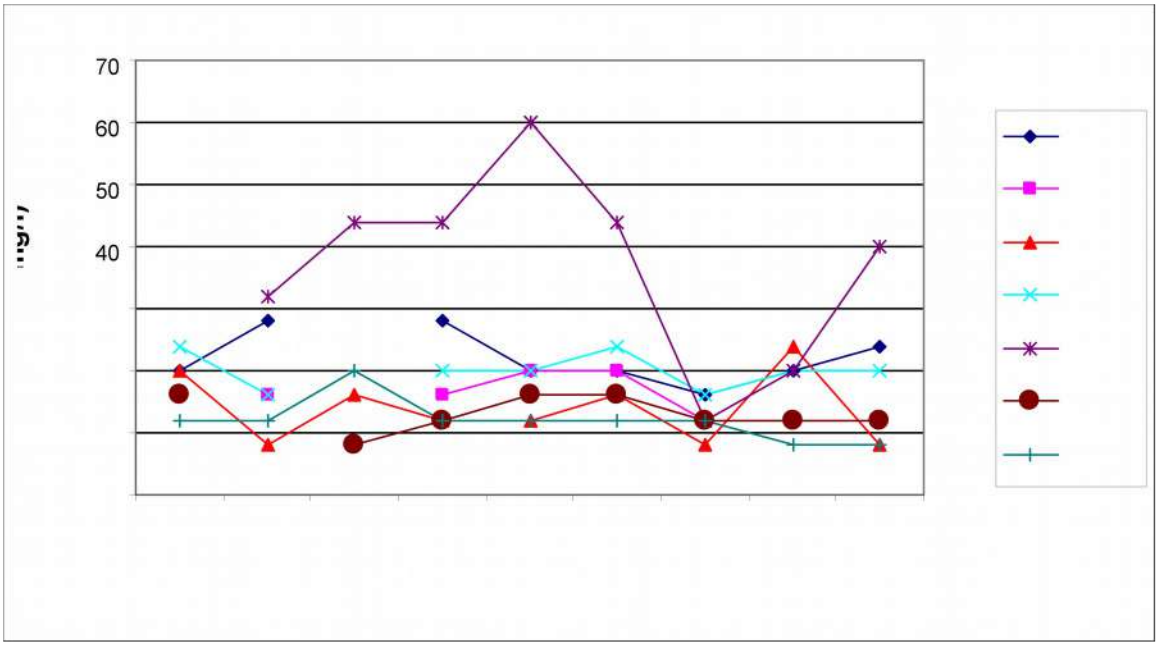


Figura 2.13. Evolución temporal del contenido de Cloruros. Serie 1995-2003

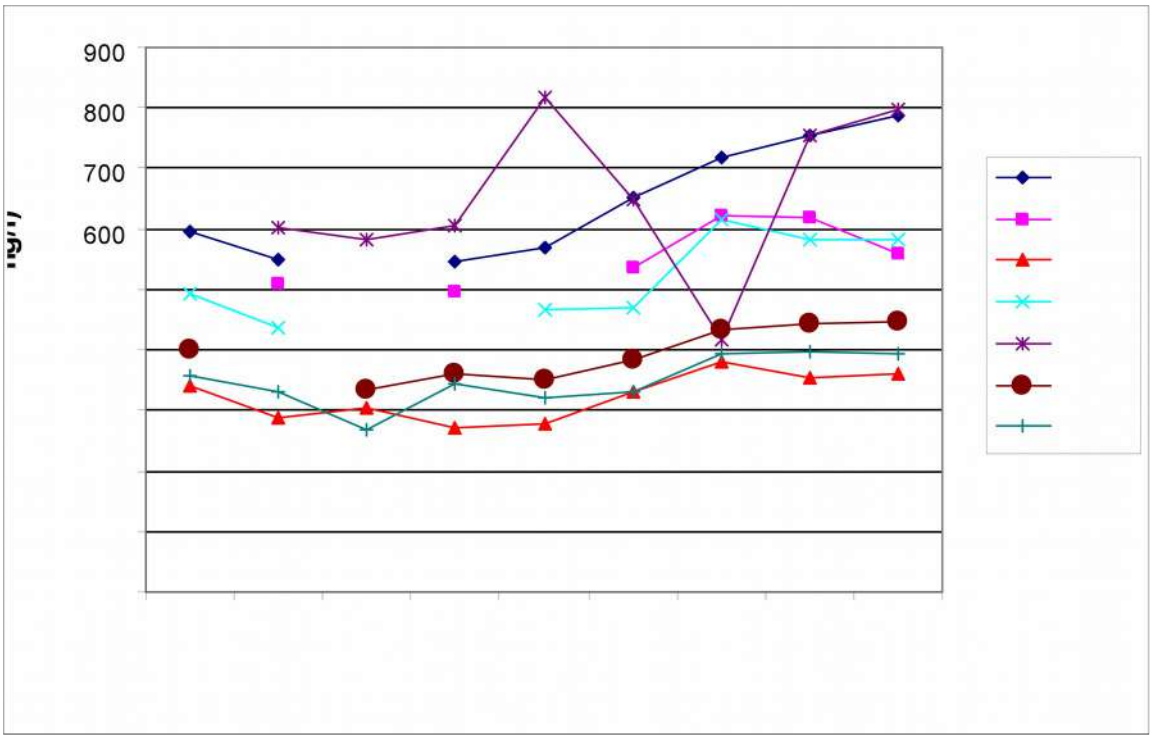


Figura 2.14. Evolución temporal del contenido de Residuo Seco. Serie 1995-2003.

CAPITULO III

EL NITRATO EN EL AGUA SUBTERRÁNEA

Marco Teórico:

El nitrógeno, en su forma elemental (N_2), es el componente más abundante de la atmósfera representando un 78% de su composición. En los seres vivos también se presenta como uno de los elementos más abundantes, ya sea en formas oxidadas o reducidas.

Aunque el nitrógeno es muy abundante en la atmósfera, es muy poco aprovechado en su forma elemental. La fijación del nitrógeno, o sea la transformación del nitrógeno atmosférico en otras formas oxidadas y reducidas, es producida en forma natural por bacterias, o industrialmente.

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); luego al pasar el agua a través del suelo las bacterias nitrosomas lo convierten en nitritos que finalmente pasan a nitratos mediante las bacterias *nitrobacter* (Blarasin et. al., 1995). Si se encuentran nitratos en lugar de amonio es una indicación de que ha habido infiltración y oxidación eficaz al atravesar el terreno (Lopez Vera y Sanchez de las Matas, 1975).

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).

El nitrato en el agua subterránea puede derivar de varias fuentes puntuales y no puntuales, tales como uso de fertilizantes en agricultura, residuos líquidos y sólidos urbanos e industriales, desechos de animales, descargas de líquidos cloacales a través de fosas sépticas y oxidación de materia orgánica en los suelos. (Custodio y Llamas, 1976; Freeze y Cherry, 1979; Fetter, 1980; Lopez Vera, 1981; Domenico y Schwartz, 1990; Nash et. al., 1991; Appelo y Postma, 1993; Soliman et al., 1998).

Los nitratos constituyen el primer eslabón de una cadena de transformaciones biológicas que devienen en la formación de compuestos tóxicos en el organismo. El ión nitrato es muy estable, poco reactivo (puede desempeñarse como oxidante o reductor). (Custodio y Llamas, 1976; Freeze y Cherry, 1979). Buena parte de los nitratos que consumen los seres vivos es absorbida a nivel del intestino delgado y por último eliminado por vía urinaria. En los medios biológicos la transformación de los nitratos a nitritos 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 nitratos en nitritos.

Los *nitritos* son tóxicos, ya que transforman 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 acerca 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. Por una parte la acidez gástrica limita la actividad reductora de la flora estomacal lo que permite que los nitratos sean absorbidos en gran parte. Los nitritos por otra parte, pueden ser oxidados a nitratos en el organismo por catalasas. Por último existen tres sistemas enzimáticos que regeneran la hemoglobina a partir de metahemoglobina (Fritch y Saint Blanquat, 1985).

Por otra parte, diversos estudios han asociado altas concentraciones de nitritos y la capacidad de metabolizar y formar compuestos cancerígenos, por ejemplo las nitrosaminas (Estudio FAO, 1981; Fritch y Saint Blanquat, 1985; Domenico y Schwartz, 1990; Addiscot et. al., 1991; Pacheco y Cabrera, 1997).

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 diseño 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 10,5 km². En sucesivas campañas se procedió a la recolección de muestras. En primer término se colectaron en la zona urbana y en otra campaña, se muestreo la batería de pozos de la COSYPRO que abastece a la localidad. Una vez obtenidas las muestras se almacenaron en botellas de polietileno de 1 litro de capacidad, sin burbuja de aire y resguardadas de la luz hasta su llegada al laboratorio.

A) "Zona urbana".

En el año 2002 a partir de la problemática planteada por distintos vecinos de la población de Quemú Quemú, preocupados por la posible contaminación en el agua extraída de los pozos domiciliarios en general de poca profundidad (tramo superior del acuífero freático) decidieron efectuar un relevamiento en 23 puntos del casco urbano para determinar el grado y origen de la contaminación. Una vez obtenidas las muestras se determinó:

a) Concentración de nitrato y nitrito.
b) Conductividad eléctrica

Posteriormente en julio del 2006 se practicó un nuevo muestreo que incluyó los 23 pozos anteriores y se agregaron 8 pozos tendientes a ampliar su conocimiento en especial la evolución de los nitratos durante el período (2002-2006). Dichas muestras fueron tomadas por alumnas del Instituto Amadeo Jacques de Quemú Quemú. (2002). (Anexo I, figura 2 y 3)

B) "Zona rural".

Para verificar el comportamiento de los nitratos en la zona no saturada y el techo del acuífero se realizó en noviembre de 2004, un muestreo de la parte superior de la zona saturada en tres pozos (QQF1, QQF2 Y QQF3) barrenados manualmente, ubicados en las proximidades de los piezómetros N° 1, 2 y 3 de la red que opera COSYPRO. (Anexo I, figura 4)

En cada uno de estos pozos se obtuvieron muestras de sedimento de la zona no saturada, a intervalos de 1 m y muestras de agua de la parte superior del acuífero. Las muestras de sedimentos se colocaron en bolsas de nailon y las de agua en bidones, luego se rotularon con sus correspondientes nombres para evitar confusión y poder ser analizadas en el laboratorio. Dichos análisis se encuentran detallados en las tablas 2, 3, 4 y 5 del Anexo II

La profundidad de los pozos barrenados oscila aproximadamente entre 1 y 3 metros, el de mayor profundidad corresponde al pozo que se encuentra junto al piezómetro N°3, denominado QQF3, del cual se obtuvieron tres muestras de la zona no saturada y una muestra de agua en la zona saturada a los 3,25 m de profundidad. El barreno realizado contiguo al piezómetro N° 2, recibió el nombre de QQF2 y se obtuvieron dos muestras de sedimentos y una muestra de agua que se extrajo a la profundidad de 2,65 metros. El otro pozo barrenado conocido como QQF1 fue realizado a unos 200 metros al noreste del piezómetro N° 1 del cual no se consiguió muestra de la zona no saturada, debido a que el nivel freático se encontró a 1,05 de profundidad por hallarse dicho piezómetro en una depresión.

Tabla 3.1. Denominación del sitio de muestreo y profundidad de las muestras de agua.

Sitio de muestreo	QQF1	QQF2	QQF3
Zona no saturada		1,00	1,00
		2,00	2,00
			3,00
Nivel freático	1,05	2,60	3,20
Zona saturada	1,10	2,65	3,25

Los valores son profundidades en metros b.b.p.

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.

El método de obtención de agua intersticial a partir de muestras de material de la zona no saturada consiste 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). Las técnicas analíticas (A.P.H.A, A.W.W.A. y W.P.C.F, 1992) utilizadas para determinar los diferentes parámetros de las muestras de agua obtenidas, se detallan en la tabla 1 del Anexo II.

3.2. Parámetros físico- químico medidos en laboratorio.

En la tabla 1 del anexo II, se encuentran detalladas las técnicas analíticas que se utilizaron para determinar los parámetros de las muestras de agua en la zona no saturada y de la parte superior del acuífero.

3.3. Elaboración y tratamiento de los datos.

En esta etapa del trabajo se utilizaron los programas MICROSOFT EXCEL.97 para el tratamiento estadístico de los datos hidroquímicos, se calcularon parámetros estadísticos básicos (media, mínimos y máximos) de 7 pozos de explotación correspondientes a la batería de Cosypro. Con el fin de apreciar los principales rasgos hidroquímicos y de dichos pozos se confeccionó un diagrama de Piper. El programa COREL DRAW10 se utilizó para la preparación de gráficos y figuras.

3.4. 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).

El espesor no saturado se obtuvo de la medición de la profundidad del nivel del agua en un pozo barrenado ubicado en las proximidades del piezómetro 3 (QQF3) cuyo valor fue de 3,20 metros. El contenido de humedad utilizado de 11 % es el dado por Malán (1983) para el nivel arenoso del acuífero de General Pico, que es similar desde el punto de vista hidroestratigráfico. La infiltración eficaz (79,94 mm) se obtuvo por el método de variación del nivel freático (Arroyo, 2005).

3.5. 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.

k = permeabilidad.

i = gradiente hidráulico.

Se calculó el tiempo de tránsito del contaminante para el acuífero alojado en la cubierta arenosa que tiene una porosidad del 11 %, una permeabilidad de 10 m/día y un gradiente hidráulico de 2.5×10^{-3} (Malán, comunicación personal).

4. Resultados.

4.1.1. 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, en cuanto, a la concentración de nitritos y nitratos en el agua destinada a consumo humano.

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

Tabla 4.1. Concentraciones de nitratos y nitritos de los pozos de bombeadores muestreados en el casco urbano de Quemú Quemú correspondiente a noviembre de 2002 y julio de 2006.

N° MUESTRA 2002	Nitratos (ppm)	Nitritos (ppm)	N° MUESTRA 2006	Nitratos (ppm)	Nitritos (ppm)
1	81,40	0,019	**1**	27,60	0,207
2	64,50	0,076	**2**	46,00	0,033
3	11,50	0,037	**3**	13,70	0,023
4	101	1,61	**4**	192,80	3,79
5	77,20	4,0	**5**	32	0,021
6	18,60	0,159	**6**	71	3,785
7	12,6	0,017	**7**	50,80	0,789
8	97,90	0,020	**8**	48,10	0,010
9	35,50	0,506	**9**	13,80	0,019
10	68	2,00	**10**	98,60	0,033
11	14,30	0,020	**11**	71,60	0,054
12	132	0,049	**12**	132	0,049
13	11,20	0,136	**13**	112,60	0,718
14	46,10	0,211	**14**	143,60	1,47
15	85,50	0,363	**15**	141,60	0,527
16	64	0,022	**16**	14,90	0,116
17	92,5	0,800	**17**	82	0,735
18	69	1,625	**18**	47,50	0,568
19	95	0,033	**19**	66,80	0,042
20	13,90	0,015	**20**	23,70	0,012
21	44,80	0,092	**21**	78,30	0,271
22	58,00	0,023	**22**	18	0,012
23	3,80	0,018	**23**	27,90	0,012
			24	219,80	0,116
			25	21	0,026
			26	151,40	0,038
			27	193,60	0,133
			28	40,30	2,375
			29	16,60	0,0135
			30	85,70	0,9825
			31	57,30	0,822

Valores de color rojo: exceden los valores máximos permitidos por la legislación vigente.

Comparando los resultados de los análisis realizados en el año 2002 con los correspondientes al 2006, podemos decir que:

- De las primeras 23 muestras, 12 pozos han aumentado su concentración de nitratos (Por ej. Los pozos 3, 4, 6) es decir un 52 % y el resto han disminuido (Por ej. Pozos 1, 2).

- De las 31 muestras efectuadas en el año 2006, 21 superan los 45 mg/l (límite establecido por la ley N°1027), lo que representa un 67,7%. De los 8 pozos que se agregaron, 5 superan el valor máximo tolerable para consumo humano.

- En cuanto a los valores de nitritos, si consideramos las primeras 23 muestras, 12 han aumentado su concentración (52%) por ejemplo los pozos 1, 4, 6; y el resto han disminuido, como es el caso de los pozos 2, 5, 9 y 10.

- De los 31 pozos muestreados en el año 2006, 16 están por encima de 0,10 mg/l, lo que equivale a un 51%. De los 8 pozos que se agregaron 5 superan el valor máximo establecido para consumo de agua potable.

De todo lo expuesto anteriormente se puede decir que el estado de las aguas subterráneas del casco urbano de Quemú Quemú, respecto de la presencia de nitritos y nitratos, es poco satisfactorio dado que la concentración de estos es superior 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 nitratos comprobados en los 31 pozos domiciliarios (de muy poca profundidad), corresponden a muestras tomadas de la parte superior del acuífero. Siendo éstos muy vulnerables a la contaminación si los comparamos con los pozos de explotación cuyas profundidades son mayores, es decir que el espesor de la zona no saturada es mayor en la zona rural que en el casco urbano y permite que el contaminante tenga más tiempo de contacto con el medio, sometiéndolo a los procesos de atenuación por un lapso de tiempo más prolongado; no olvidemos que tanto el espesor como el tipo de material de la zona no saturada son dos factores muy importantes a la hora de tener en cuenta el tiempo que, demora el contaminante en recorrer el camino desde la superficie del suelo hasta llegar al acuífero.

A través de registros piezométricos de pozos ubicados en las inmediaciones del pueblo se advierten profundidades mínimas y máximas entre 1,5-6 metros con un claro descenso en el período 2002-2005 en el orden de los 2 metros para los tres registros (Figura 4.1). Con respecto a los pozos ciegos de la localidad (cuya profundidad estaría alrededor de los 4 metros según información verbal de vecinos) y tomando como referencia la cercanía a los freatímetros considerados se estima que el fondo de los mismos podrían penetrar o estar próximos al acuífero freático en la zona urbana. Esta relación sería más estrecha, en aquellos periodos de precipitaciones que superan la media (Figura 2.4). Con respecto al comportamiento de los niveles piezométricos en el periodo 2002-2005 se advierte (Figura 4.1) un importante descenso a partir del 2002 que se mantiene con cierto grado de estabilización hasta el 2005.

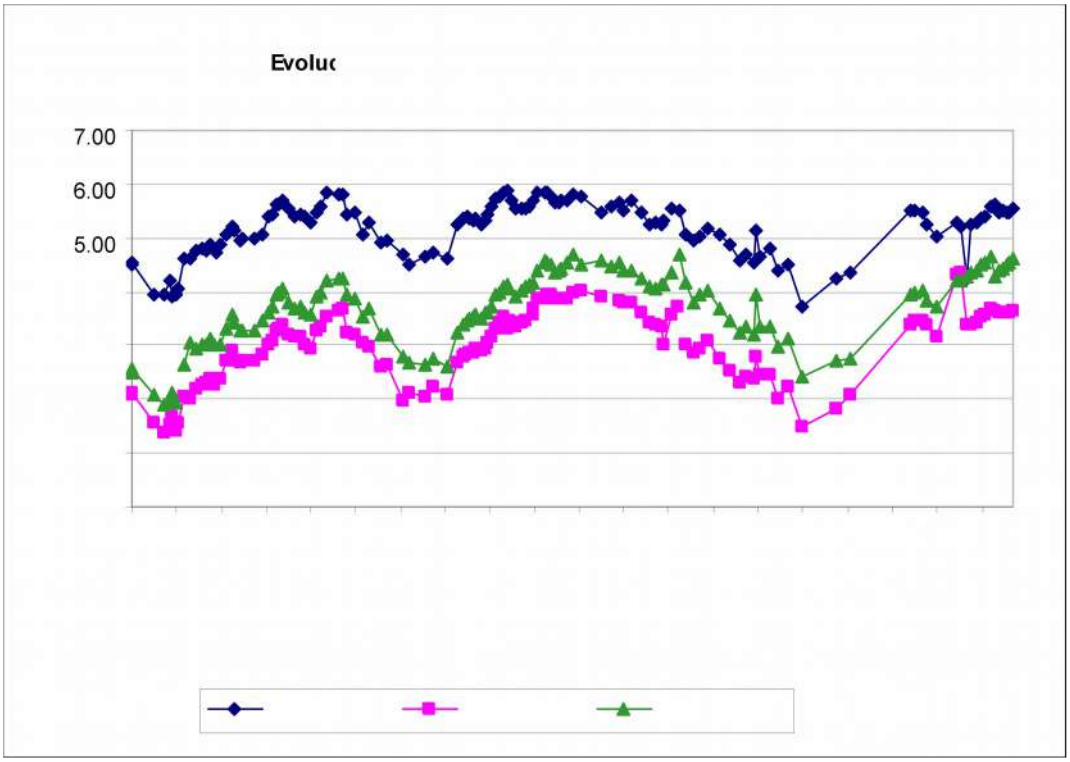


Figura 4.1. Evolución de los piezómetros de Quemú Quemú correspondiente al periodo 1986-2005

4.1.2 En la zona rural.

Como ya se expresó, se tomaron muestras del material de la zona no saturada en dos puntos (QQF2 y QQF3) dentro del área de recarga del acuífero, a fin de calcular la concentración de nitrato a distinta profundidades. En el pozo QQF1, donde el nivel freático se ubica a escasa profundidad de la superficie, no se pudo obtener muestras representativas del contenido de nitrato en la zona no saturada. Con los resultados de los análisis se elaboró un perfil (Figura 4.2) de concentraciones en la zona no saturada, para los sitios antes mencionados.

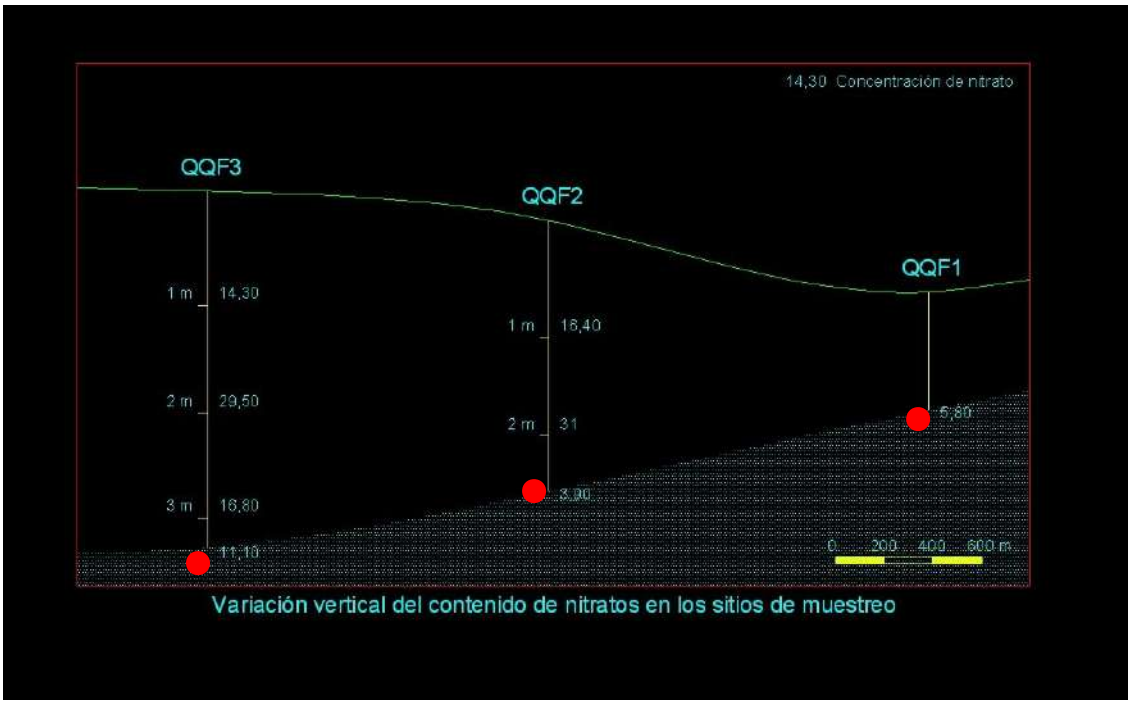


Figura 4.2. Variación vertical de nitratos en los sitios de muestreo.

Referencia.
14,30 Concentración de nitratos (mg/l) en la ZNS
● 11,10 Concentración de nitratos (mg/l) en la ZS

El perfil del pozo QQF3 muestra que la concentración de nitratos aumenta desde 14,30 mg/l en el primer metro de profundidad hasta 29,50 mg/l, a 2 metros b.b.p. Esto se debe a que la magnitud del flujo descendente disminuye al atravesar la zona de raíces debido a la evapotranspiración y en consecuencia se produce un aumento en la concentración de los nitratos. Pero a los tres metros de profundidad, el contenido de nitrato disminuye hasta 16,80 mg/l.

En la parte superior de la zona saturada se registra un descenso en la concentración de nitratos. La ausencia de registros históricos es un elemento desfavorable a la hora de buscar una interpretación para este hecho, ya que se recomienda un muestreo de al menos dos o tres años (Custodio, 1993; Edmunds y Gaye, 1994).

En el pozo QQF2 se observa que las concentraciones de nitratos en el primer metro del perfil alcanzan a 16,40 mg/l, continúan aumentando hasta los 2 metros de profundidad (31 mg/l) y a partir de allí disminuye a 3,9m/l en la parte superior del acuífero.

Como conclusión podemos ver que los valores obtenidos de los piezómetros 1, 2 y 3 se encuentran muy por de bajo de los valores guías para consumo humano, caso contrario es lo que sucede en la zona urbana en donde la mayoría de los pozos domiciliarios las concentraciones de nitratos superan los 45 mg/l.

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

Se calculó el tiempo de tránsito en la zona no saturada que resultó de 4,4 años y la tabla 4.2 muestra los tiempos de tránsito en la zona saturada obtenidos para distintas distancias en la sección arenosa:

Tabla (4.2). Tiempo de tránsito del contaminante en la zona saturada

DISTANCIA (en metros)	100	500	1000
TIEMPO (años)	1,2	6,00	12,00

De los resultados obtenidos de la tabla 4.2 podemos decir que, de un potencial evento de contaminación en el 2002 se habría distribuido algo menos de 500 m hasta el presente y que el tiempo transcurrido es suficiente incluso si tenemos en cuenta que el vertido superficial haya alcanzado el nivel freático que se encuentra en los 3,20 metros de profundidad.

CONCLUSION

En función de lo expuesto anteriormente, el medio físico puede darle cierto grado de protección a los acuíferos, ya que oficia de purificador del agua contaminada cuando ésta percola a través de la zona no saturada y cuando viaja a través del acuífero. El grado de atenuación que el ambiente físico puede efectuar determina el potencial relativo con que el acuífero se contamina.

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 sumados a niveles freáticos someros que determinan un efecto contaminante significativo y de progresivo incremento en la mayoría de los pozos muestreados.

En vista a los análisis químicos de muestras de agua subterránea realizados en el casco urbano de Quemu Quemu en el año 2002 y comparando los obtenidos en el año 2006, sí se puede apreciar un incremento en la concentración de nitratos y nitritos lo que indica una sensible modificación de origen antrópico en el medio natural; cabe destacar que el 52% de los pozos domiciliarios muestreados en el 2002 y el 67,7% de los pozos analizados en el año 2006 poseen contenidos de nitratos que supera los niveles máximos permitidos por la ley.

Adicionalmente, al analizar la evolución de la calidad del agua de las perforaciones que abastecen de agua potable a la población de Quemu Quemu no se identificó ningún aumento significativo en las concentraciones de nitratos, como así tampoco en los demás elementos químicos responsables de la potabilidad del agua. Esto se ve corroborado por los valores bajos detectados en los piezómetros que se encuentran fuera del casco urbano.

Al analizar las posibles causas del aumento de nitratos en el agua subterránea 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 infiltración, producen contaminación. Esta investigación sostiene que este aporte de materia orgánica al agua se debe a la infiltración de los desechos domiciliarios dispuestos en pozos ciegos y posterior contacto y dilución con el agua del acuífero circundante.

Si bien en los últimos años las precipitaciones han disminuido y la concentración de nitratos ha aumentado, este trabajo sostiene que el incremento estaría dado por un mayor consumo de agua potable por parte de la población, lo que generaría una mayor carga en los pozos ciegos.

RECOMENDACIONES

La contaminación con nitratos de los pozos domiciliarios de Quemu Quemu es un problema que requiere una rápida intervención, la cual implica altos costos económicos y un período de tiempo. Pero mientras más tiempo 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.

- Implementar un sistema de saneamiento y redes de desagües.

- Restringir el uso de pozos domiciliarios para consumo de agua potable.

- Realizar tareas educativas y de difusión del problema hacia la comunidad.

- Contemplar perímetros de protección de 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. Estas acciones y normativas servirán como elemento a considerar a los efectos de regular el crecimiento poblacional dentro de un marco general de ordenamiento territorial.

AGRADECIMIENTOS.

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todos a aquellos que de alguna manera ayudaron en la realización de este trabajo.

Al Dr. Carlos Juan Schulz director del trabajo, por su entera predisposición, paciencia y su apoyo en la realización de dicha tesis.

A la Dirección de Aguas de La Pampa, COSYPRO y al Instituto Amadeo Jacques de Quemú Quemú por brindarme la información necesaria para el desarrollo de dicha tesis.

Al Laboratorio "La Pampa Agrícola", especialmente a Gabriela Dalmaso por su desinteresado apoyo.

A la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de La Pampa por su apoyo económico.

Al señor Jorge Rodríguez por su cooperación en las tareas de campo.

Al Dr. Eduardo Mariño y la Licenciada Carina Arroyo siempre predispuestos a ayudarme en los momentos requeridos.

A Juliana Guarrochena y Andrea Figueruelo, a la familia Diaz, especialmente Nahuel y Julio Cesar por su apoyo incondicional que me brindaron en todo momento.

BIBLIOGRAFIA CITADA.

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

Allison, G. B., Gee, G. W. y Tyler, S. W., 1994. Vadose –zone techniques for estimating groundwater recharge in arid and semiarid regions. Soil Sci Soc A M j Hydrol 119:1-20.

A.P.H.A, A.W.W.A. y W.P.C.F, 1992. Standard methods for the examination of water and waste water, 18ª ed., 1134 p, Washintong.

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

Arigós, E., 1970. Informe técnico hidrogeológico de la provincia de La Pampa. Comité de Investigación de Aguas Subterráneas, La Plata, 70 p (inédito).

Arroyo, C., 2005. Estimación de la recarga en el sector de explotación del acuífero que abastece a la localidad de Quemú Quemú, Provincia de La Pampa. Tesina de grado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UNLPam, 51 p.

Bellini Saibene, Y.,Casagrande, G., Caviglia, J., Colazo, R., Lorda, H., Roberto, Z. y Sipowicz, A., 2002. Evaluación de pérdidas económicas por efecto de las inundaciones, en el norte de la provincia de la pampa. EEA INTA Anguil "Ing.Agr.Guillermo Covas".

Blarasin, M., Cabrera, A., Villegas, C., Frigerio, C., Bettera, S. 1995. Contaminación del agua subterránea destinada a consumo humano. Cuenca del Arroyo del Bañado, Río Cuarto, Córdoba. Diagn´sticos y pautas de control y ordenamiento. I Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenamiento del Territorio. Tomo I: 23-41. Río Cuarto, Córdoba.

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

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., Fernandez, R., Hevia, J. C., Lea Plaza, D., Maldonado Pinedo, H., Martinez, M. A., Montes y Peña Zubiate, C. A., 1980. Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa-Clima, Geomorfología, Suelo y Vegetación. INTA-Gobierno de La Pampa- UNLPam. Santa Rosa. 493 p.

Castro, E., 2000. Estudio geoeléctrico e hidrogeológico para riego complementario Estancia La Pampita. Administración Provincial del Agua, Santa Rosa (inédito).

Código Alimentario Argentino, Capítulo XII, Art 982/94. Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificada.

Consorcio EIH y ENE-I, 1987. Estudio Integral para el Saneamiento Urbano y Suburbano de la ciudad de General Pico. Administración Provincial del Agua, Tomo 1, Santa Rosa. (Inédito)

Consultora A.H. Risiga y Asociados, 1988. Estudio para ajustar el conocimiento hidrogeológico del acuífero Pico-Dorila y el funcionamiento hidráulico de la batería de pozos que abastecerán al servicio de agua potable de la ciudad de General Pico. Informe Final. Ministerio de Obras y Servicios Públicos, Tomos 1 a 9, Santa Rosa. (Inédito)

Custodio, E. y Llamas, M., 1976. Hidrológia subterránea, Tomo 1, Ediciones Omega, Barcelona, 2359p.

Custodio, E., 1993. Apuntes del curso de Hidroquimica, Aspectos Aplicados. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Barcelona.

Dalmaso, M.G., 1998. "Hidrogeología ambiental del sector nororiental de la ciudad de General Pico, provincia de La Pampa". Trabajo presentado ante la cátedra Geología de Campo para culminar los estudios universitarios de la Lic. en Geología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam, 82 p.

Dalmaso, M.G., Martinez, D. y Mariño, E., 1999. "Contaminación por Efluentes de la Industria Frigorífica: el caso del acuífero arenoso de General Pico". II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Dr. Alfredo Tineo, Inst. Superior de Correlación Geológica, CONICET, Fac. de Cs. Naturales e Int. Miguel Lillo Universidad Nacional de Tucumán (Editores). Serie Correlación Geológica N113 ISSN 1514-4186. "Hidrología Subterránea":178-187, Santa Fé.

Dalmaso, M.G, Mariño, E. y Malán, J., 2000. "Calidad del agua subterránea en el área urbana de General Pico, provincia de La Pampa, República Argentina". I Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. ABAS- AIH-UNESCO. Trabajo Nº202 (CD), 9 p, Fortaleza, Brasil.

Dalmaso, M.G., E. Mariño; Martínez, D. y Cerón, J.C., 2001. "Consideraciones sobre la hidroquímica del agua subterránea de General Pico (La Pampa, Argentina)". V Simposio sobre el agua en Andalucía. SIAGA 2001, 217-224 Almería, España.

Domenico, P.A. y Schwartz, P.A., 1990. Physical and chemical hidrology. Jonh Willey & Sons Inc., Singapore, 814 p.

Dornes, P. F. y Schulz, C. J., 2001. Determinación de la recarga en la región de La Pampa Central, Argentina. En A. Medina, J. Carrera y Vives (Eds.): Serie Hidrogeoquímica y Aguas Subterráneas. Tomo I, 614-622, Inst. Tecnológico Geominero, Madrid.

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.

Edmunds, E. y Gaye, C., 1994. Estimating the spatial variability of groundwater recharge in the Sahel using chloride. J Hydrol, 156: 47-59.

Estudio FAO; Riego y Drenaje, 1980. Contaminación de las aguas subterráneas: tecnología, economía y gestión. Proyecto FAO/PNUD/ Gobierno de España. Roma. 169 p.

Fetter, C. W.Jr., 1980. Applied Hidrogeology. Charles E. Merrill Publishing Company. Columbus, Ohio.488p.

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.

Foster, S.S.D., Ventura, M. e Hirata, R., 1987. Contaminación de las Aguas Subterráneas: Un enfoque de la Situación en América Latina y el Caribe en Relación con el Suministro de Agua Potable. OMS/OPS-HPE/CEPIS.

Freeze, R.A. y J.A. Cherry., 1979. Groundwater. Prentice may Inc., Englewood Cliffs, New Jersy. 604p.

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

Galindo, G., Herrero, M. A., Flores., Fernandez Turiel., 1999. Correlación de metales trazas en aguas subterráneas someras en la cuenca del Río Salado, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Serie de Correlación Geológica, N° 13, pág 251-261.

Giai, S. B., 1975. Plan de investigación de aguas subterráneas. Dirección de Aguas Subterráneas, 40 p, Santa Rosa (inédito).

Giai, S. B. y Gatto Cáceres, R. O., 1996. Ajuste de un modelo para registros freatimétricos mensuales en General Pico-La Pampa. IV Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Acta 2: 221-227, La Plata.

Giai, S. B., 2001. Situación al 12/11/01 de los niveles freáticos de Quemú Quemú, Provincia de La Pampa, Administración Provincial del Agua, Santa Rosa (inédito).

Giai, S. B., 2001. Situación por inundaciones, perforaciones para deprimir, red de monitoreo. Administración Provincial del Agua, Santa Rosa (inédito).

Goin, F., Montalvo, I. C. y Visconti, G., 2000. Los marsupiales (Mammalia) del Mioceno superior de la Formación Cerro Azul (provincia de La Pampa, Argentina). Estudios Geológicos, No. 56(1-2), p 101-126.

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.

Instituto Amadeo Jacques, 2002. Protección de los pozos de extracción frente a posibles fuentes de contaminación. Quemú Quemú (Inédito)

Iriondo, M., 1993. El Mar de Arena Pampeano. Museo Provincial de Ciencias Antropológicas, Informe interno PID-CONICET, Santa Fe (inédito).

Jensen, R., Marazzi M., Savioli, J., Brea, J. y Tavecchio, H., 2000. Diagnóstico de inundación en la región noreste de la Provincia de La Pampa, Argentina. Gobierno de la Provincia de La Pampa.

Ley 1027/80 y **Decreto N° 193/81** Reglamentario estableciendo el régimen de interés público provincial para asegurar la conservación y uso racional de las fuentes de agua potable. Ministerio de Obras Públicas, APA. Dirección General de SAPASA.

Linares, E., Llambías, E. J. y Latorre, C. O., 1980. Geología de la provincia de La Pampa, República Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas. Asociación Geológica Argentina, Revista XXXV: 87-146.

Lopez Vera, F. y Sanchez De Las Mata., 1975. Impacto de la contaminación producida por los vertidos de residuos sólidos urbanos sobre las aguas subterráneas en los alrededores de Madrid. I Simposio Nacional de Hidrología. Tomo II: 1046-1063. Valencia, España.

Lopez Vera, F., 1981. Contaminación por compuestos nitrogenados de origen múltiple, de las aguas subterráneas de Madrid. Jornadas sobre análisis y evolución de la contaminación de las aguas subterráneas en España. Actas: 137-141. Barcelona.

Malán, J. M., 1980. Resumen sobre los principales aspectos geohidrológicos en el área Pico- Dorila y sus adyacencias, con determinación de las posibilidades de explotación de sus acuíferos para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de General Pico. Administración Provincial del Agua, Santa Rosa (Inédito).

Malán, J. M. y Miglianelli, C., 1982. Informe preliminar sobre las principales características geohidrológicas del acuífero Trilí y sus posibilidades de explotación. Administración provincial del Agua, Dirección de Recursos Hídricos, Santa Rosa (Inédito).

Malán, J. M., 1983. "Estudio hidrogeológico para el abastecimiento de agua potable a la localidad de General Pico, departamento Maracó, provincia de La Pampa. Informe Preliminar". Coloquio de Hidrología de Grandes Llanuras, Actas III: 1449-1457, Olavarría.

Malán, J. M. y Schulz, C. J., 1986. Informe sobre cuatro pozos de explotación en Quemú Quemú. Administración Provincial del Agua, Santa Rosa, (inédito).

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

Malán, J. M., 1993. Informe pozo para Patagonia Citrus. Administración Provincial del Agua, Santa Rosa (inédito).

Malán, J. M., 1993. Informe de tres nuevos pozos de explotación de Quemú Quemú. Administración Provincial del Agua, Santa Rosa (inédito).

Malán, J. M., Mariño, E. y Casagrande, G., 1993. Aplicación de distintos métodos para la estimación de la infiltración eficaz en áreas medanosas. V Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Actas II: 51-54, Santa Rosa.

Malán, J. M., 1995. Estudios hidrogeológicos en el área Trilí – La Puma. Resultados y propuestas de ampliación. Administración Provincial del Agua, Santa Rosa (inédito).

Malán, J.M., Pires, M. y Bartel, A., 1996. Contribución al conocimiento geohidrológico de la hoja La Puma 3563-32-2. VI Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Actas: 405-408, Santa Rosa.

Malán, J. M., 1999. Características y resultados de nuevos pozos de explotación. Administración Provincial del Agua, Santa Rosa (inédito).

Malán, J. M., 2000. Estudio Geohidrológico con fines de riego complementario en el Establecimiento La Tremolina. Administración Provincial del Agua, Santa Rosa (inédito).

Mariño, E. E. y Bonorino, A. G., 1996. Estimación de la recarga en un acuífero en ambiente medanoso a partir de mediciones periódicas del nivel freático. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas IV: 405-408. Buenos Aires.

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.

Mariño, E. E. y Dalmaso, M. G., 2003. Análisis de la información básica para la gestión del acuífero que abastece a General Pico, La Pampa, Argentina. Memorias del III Congreso Argentino de Hidrogeología y I Seminario Hispano – Latinoamericano sobre temas actuales en hidrologia subterránea, Tomo 1: 209-218, Rosario.

Mariño, E. E., 2004. La interpretación hidroquímica como herramienta en la estimación de la recarga del acuífero de General Pico, La Pampa, Argentina. Cuadernos del CURIHAM, 10:57-63.

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

Medus, M. L., 2003. El arsénico, presencia y variabilidad en el acuífero General Pico-Dorila. Teseian de grado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. U.N.L.Pam. 80p.

Miglianelli, C. H., 1982. Informe sobre perforaciones de exploración realizadas para mejorar el servicio de agua potable a Miguel Cané. Administración Provincial del Agua, Dirección de Recursos Hídricos, Santa Rosa, (Inédito).

Miglianelli, C. H., 1984. Informe sobre perforaciones de explotación realizadas en la localidad de Miguel Cané. Administración Provincial del Agua, Dirección de Recursos Hídricos, Santa Rosa, (Inédito).

Nash, R.G., Helling, C.S., Ragane, S.E. y Leslie, A., 1991. Groundwater Residue Sampling. Cap. I. Nash y Leslie (eds.). Design American Chemical Society Symposium serie 465, Wasihington D.C., USA. 296 P.

Pacheco, J.A. y Cabrera, A.S., 1997. Groundwater Contamination by nitrates en the Yucatán Peninsula. Hidrogeology Journal, 5 (2):47-53.

Peroni, M. I., 2006. Estudio de la vulnerabilidad y calidad del agua del acuífero que abastece a la localidad de Macachin, La Pampa, 2005. Tesina de grado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UNLPam. 89 p.

Ruiz, E. J., 1976. Estudios de fuentes de Miguel Cané. Dirección general del S.A.P.S.A Ministerio de obras Públicas de La Pampa. Santa Rosa (Inédito).

Salso, J., 1966. La cuenca de Macachín, provincia de La Pampa. Asociación Geológica Argentina, Revista, XXI (2): 107-117.

Schöeller, H. J., **1962.** Les eaux souterraines. Ed. Masson, 642 p, Paris.

Schulz, C. J., 1997. Plan de optimización del servicio de agua potable. 1 parte: Evaluación de Recurso. Informe interno COSYPRO. Quemú Quemú (Inédito).

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

Soliman, M. M, P. E. Lamoreaux, B. A. Memon, F. A. Asad y J. W. Lamoreaux, 1998. Enviromental Hidrology. Lewis Publishers (eds.) Press LLC, Boca Ratón, USA. 385p.

Stappenbeck, R., 1926. Geologies and grundwasserkunde der Pampa. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 512 p, Stuttgart.

Thornthwaite, C. W. y Mather, J. R., 1955. The water balance. Drexel Institute of Technology. Publications in Climatology, VIII (1):104 p, New Jersey.

Tullio, J., 1996. Perforación en el Club Deportivo Argentino. Quemú Quemú. Administración Provincial del Agua, Santa Rosa (inédito).

Visconti, G., Montalvo, C. I., Cardonatto, M. C. y Pugener, L. A., 1996. Análisis sedimentológico e interpretación paleoambiental de la Formación Cerro Azul (Mioceno tardío) en el valle Argentino, provincia de La Pampa. IV Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Comunicaciones: 86-88, Santa Rosa.

ANEXOS I

Figura 1. Ubicación de los pozos de explotación de agua potable correspondientes a Cosypro

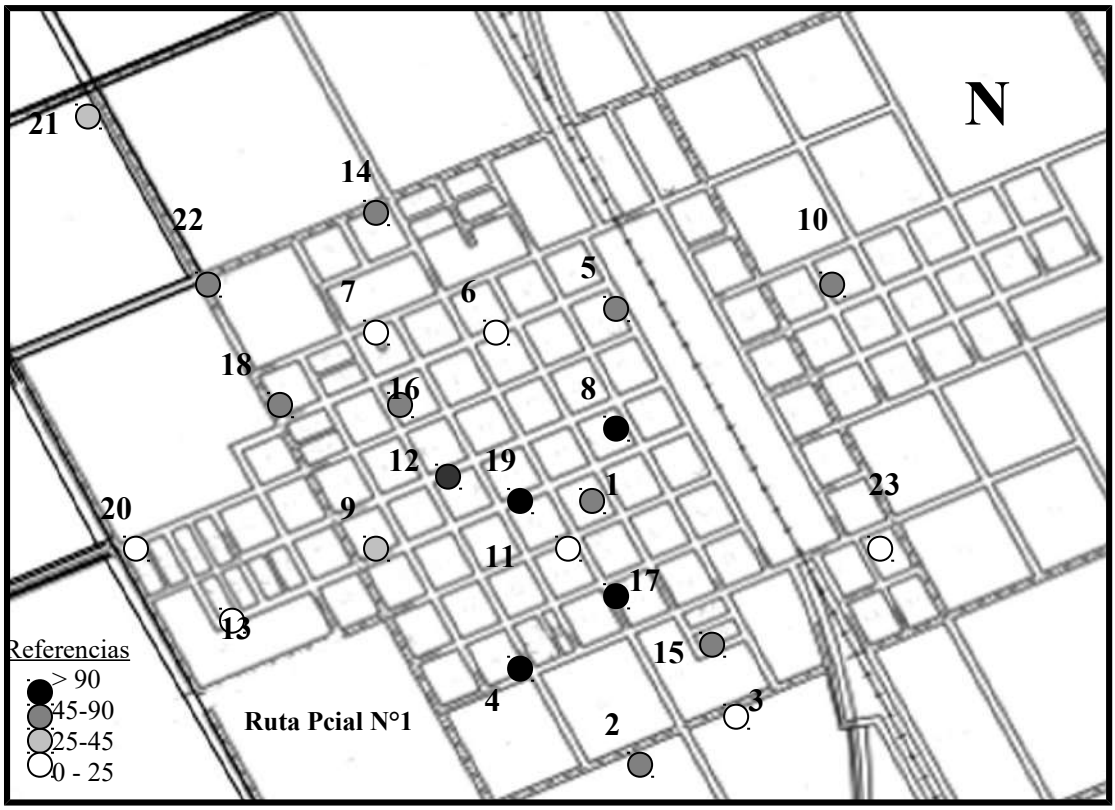


Figura 2. Contenido en nitratos de las aguas subterráneas del casco urbano de Quemu Quemu correspondiente al año 2002

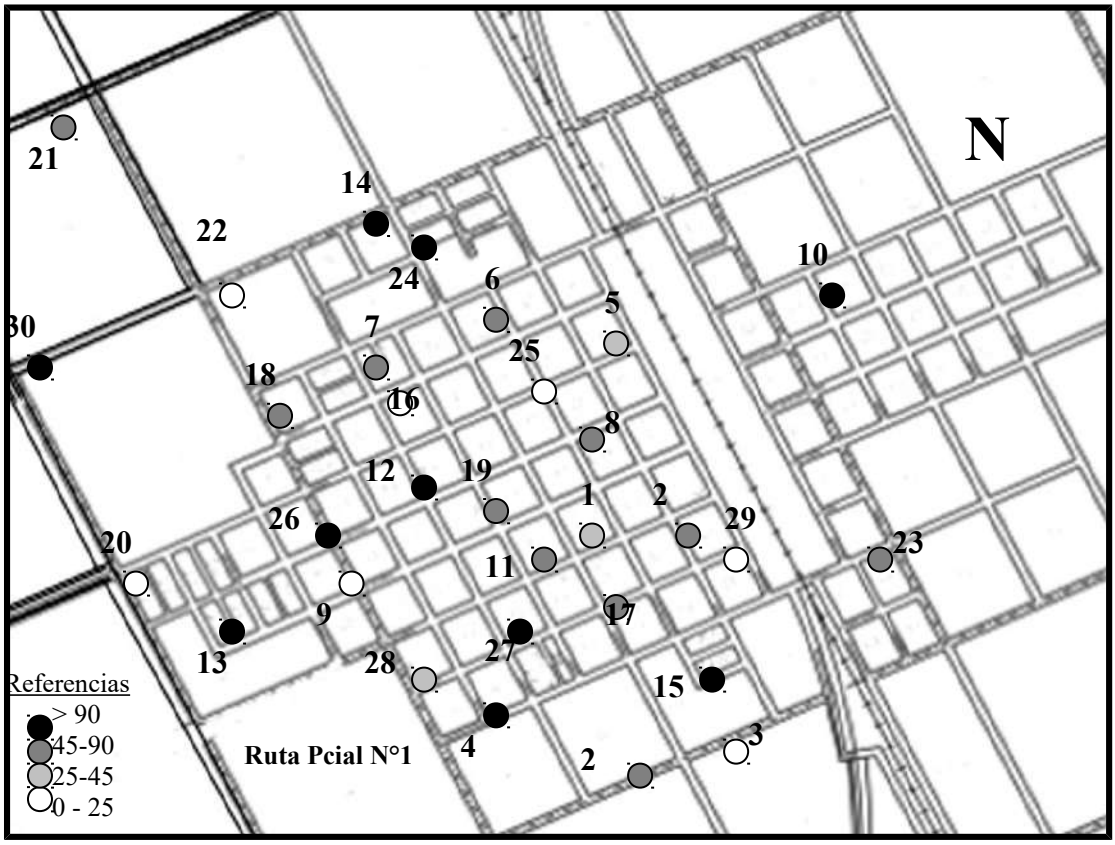


Figura 3. Contenido en nitratos de las aguas subterráneas del casco urbano de Quemu Quemu correspondiente al año 2006.

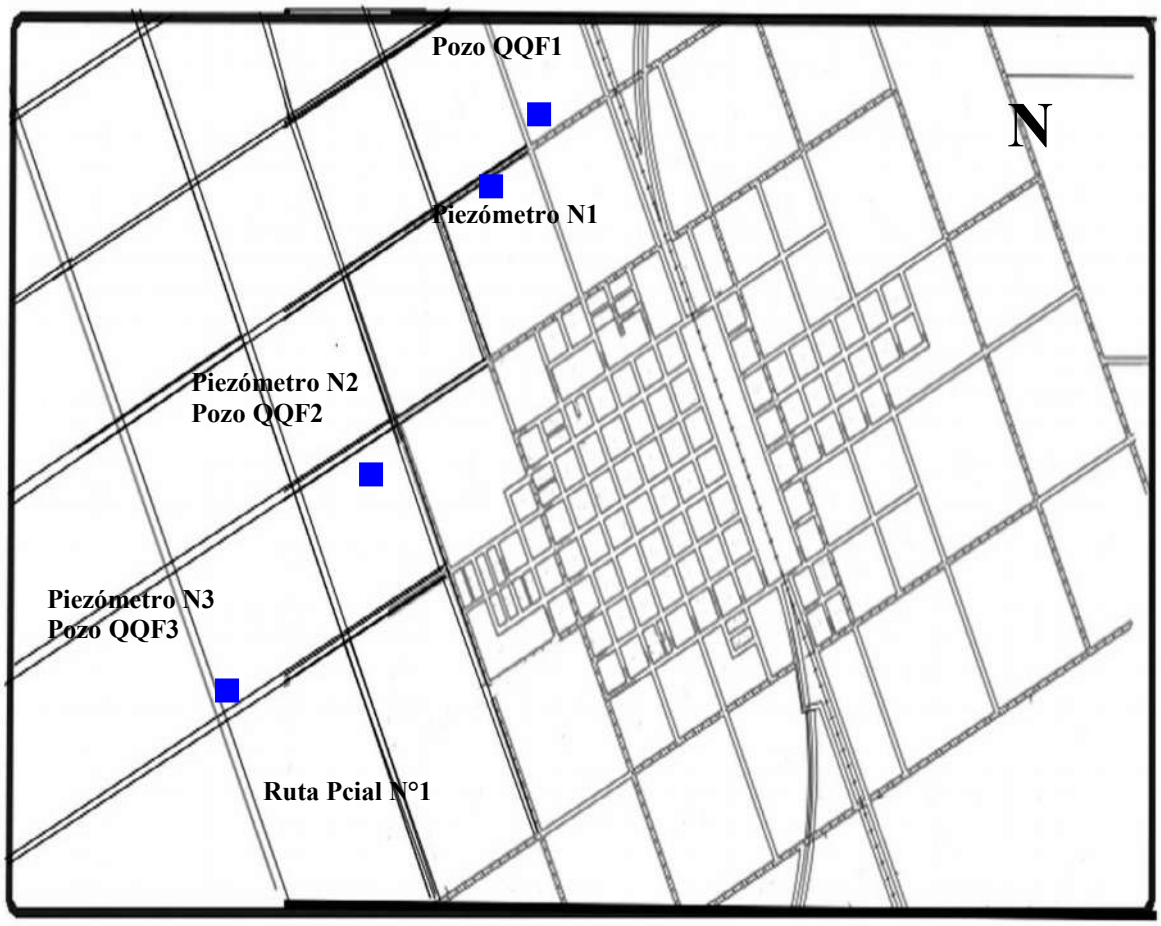


Figura 4. Ubicación de los piezómetros con sus correspondientes muestras realizadas en noviembre del 2004.

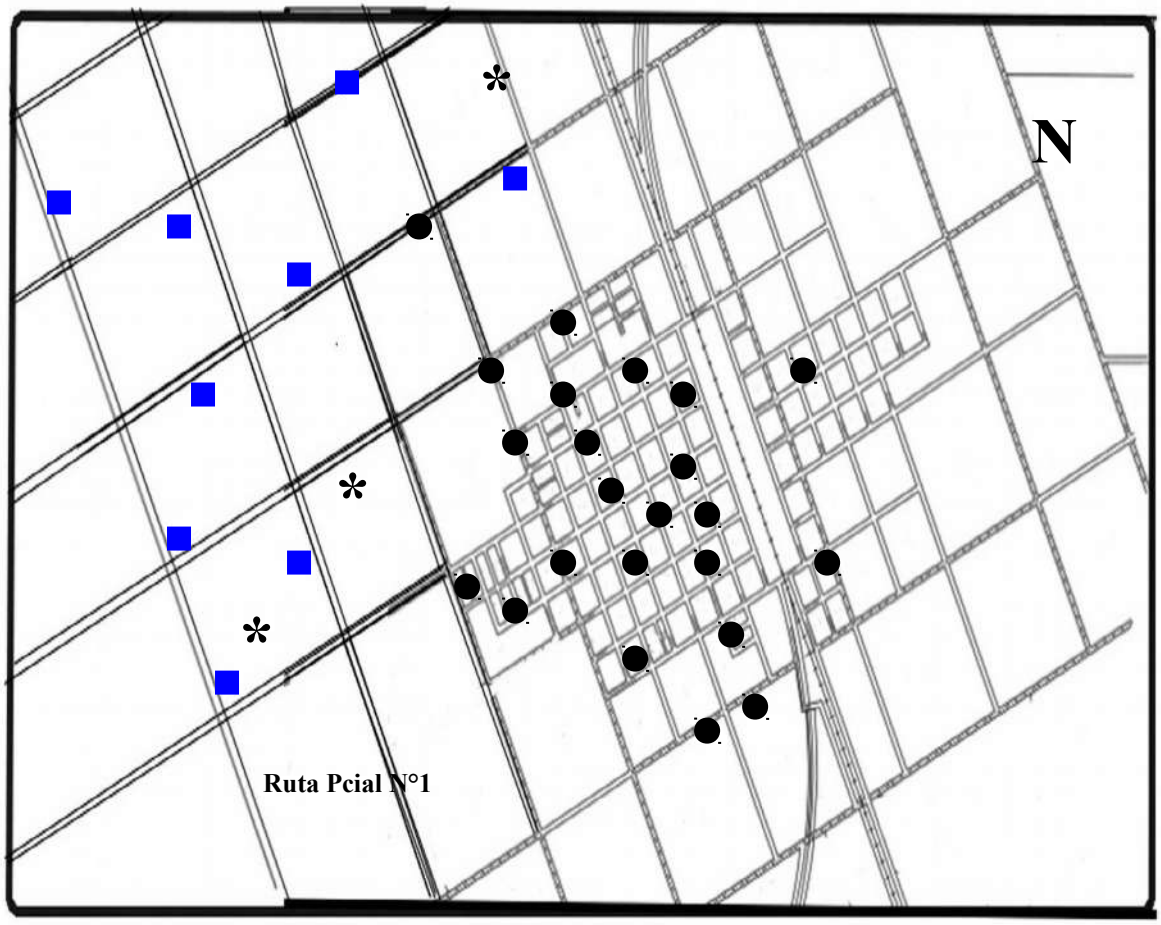


Figura 5. Ubicación de los puntos que se evaluaron para determinar el contenido de nitratos en la localidad de Quemu Quemu

REFERENCIAS

■ Pozos de explotación de agua potable.

● Muestras de Pozos domiciliarios.

✻ Piezómetros.

ANEXO II

Tabla 1. Técnicas analíticas utilizadas para los parámetros determinados en las muestras de agua de la zona no saturada y de la parte superior del acuífero.

Parámetro	**Técnica analítica**
Residuo seco	Evaporación a 105ºC (método gravimétrico).
Alcalinidad	Titulación colorimétrica, utilizando una solución de ácido sulfúrico como valorante y como indicadores fenolftaleina para TA (alcalinidad debida a carbonatos) y verde de bromocresol para TAC (alcalinidad debida a carbonatos y bicarbonatos).
Dureza	Método complexométrico con EDTA, utilizando calcon carboxílico como indicador.
Cloruro	Determinación volumétrica en medio neutro con una solución de nitrato de plata en presencia de cromato potásico, detectándose el final de la reacción por la formación de cromato de plata.
Sulfato	Método espectrofotométrico Sulfa Ver 4 basado en la formación de un precipitado de sulfato de bario. Este se mantiene en suspensión por la acción de un agente estabilizador contenido en el reactivo y la intensidad de la turbidez formada es proporcional a la cantidad de sulfato presente en la muestra.
Calcio	Método complexométrico (EDTA). Se utilizó como indicador negro de eriocromo (NET). Se calculó la concentración del ión calcio teniendo en cuenta el volumen consumido de solución EDTA .
Magnesio	Cálculo por diferencia, una vez conocido el volumen de EDTA consumido en la determinación de la dureza y del calcio.
Sodio	Eléctrodo de ión específico
Potasio	Determinación espectrofotométrica con agregado de tetrafenilborato de sodio y obtención de tetrafenilborato de potasio, un compuesto blanco insoluble cuya intensidad de coloración es proporcional a la concentración de potasio.
Nitrato	Determinación espectrofotométrica basada en la obtención de un complejo coloreado resultante de la reacción del nitrato con ácido sulfanílico en medio ácido.
Nitrito	Método basado en la obtención un complejo coloreado (resultante del agregado de ácido sulfanílico, en medio clorhídrico y en presencia de amonio y fenol) cuya intensidad de coloración es proporcional a la concentración de iones nitrito.
Fluoruro	Método colorimétrico SPANDS basado en la reacción entre fluoruros y una laca coloreada de zirconio. Dicha laca se disocia para dar un anión complejo incoloro (ZrF_6^{-2}) y un colorante que se torna más pálido al aumentar el contenido de fluoruro.
Arsénico	Determinación colorimétrica por el método del dietilditiocarbamato de plata. Este reactivo forma con el arsénico, previamente reducido en un aparato especial de destilación, un complejo de color rojo que puede leerse en un espectrofotómetro.

Tabla 2. Análisis físico químico de las muestras de la zona no saturada.

ANÁLISIS FISICO QUIMICO

Muestra N°	Valores Máximos Normales (mg/l)		1	2	3	4	5
Referencias	Ley N°1027	CAA	QQ F2 1 mt	QQ F2 2 mt	QQ F3 1 mt	QQ F3 2 mt	QQ F3 3 mt
Conductividad (uS/cm)	*	*	106	170	75,2	72,30	32,40
Sales totales (mg/l)	2000	1500	73,80	117,00	52,9	50,60	22,60
Nitratos (mg/l)	45	45	16,40	31,00	14,30	29,50	16,80
Cloruros (mg/l)	700	Máx. 350	5,20	7,80	2,10	3,60	1,70

Observaciones: Ensayo de agitación de las muestras 24 hs con agitador de Kline a 180 rpm, posterior centrifugado y análisis del sobrenadante.

Tabla 3. Análisis Físico Químico de la parte superior del acuífero del pozo QQF1.

Análisis Físico Químico

Determinación		Valores Obtenidos (ppm= mg/l)
Conductividad	1	1400
pH		8.00
Residuo Seco (105 ºC)	2	980
Alcalinidad de Carbonatos	3	0,00
Alcalinidad de Bicarbonatos	3	660,00
Alcalinidad de Hidróxidos	3	0,00
Alcalinidad total	3	660,00
DurezaTotal	3	200
Cloruros	4	6,0
Sulfatos	4	40,0
Calcio	4	80,0
Magnesio	4	29,0
Potasio	4	26,40
Sodio	4	127,0
Flúor	4	3,22
Arsénico	4	**
Nitratos	5	5,8
Nitritos	6	0,050
Amonio	7	0,00
Turbiedad (UTN)		**

1: Micro-mho/cm; 2: ppm; 3: ppm$CaCO_3$; 4: ppm ion; 5: ppm NO_3; 6: ppm NO_2; 7: ppm NH_4

SILVIA B. STAGNIOTTI

Tabla 4. Análisis Físico Químico de la parte superior del acuífero del pozo QQF2.

Análisis Físico Químico

Determinación		Valores Obtenidos (ppm= mg/l)
Conductividad	1	615
pH		7.67
Residuo Seco (105 ºC)	2	430
Alcalinidad de Carbonatos	3	0,00
Alcalinidad de Bicarbonatos	3	297
Alcalinidad de Hidróxidos	3	0,00
Alcalinidad total	3	297
DurezaTotal	3	118
Cloruros	4	6,0
Sulfatos	4	8,0
Calcio	4	47,2
Magnesio	4	17,0
Potasio	4	16,8
Sodio	4	31,0
Flúor	4	0,98
Arsénico	4	**
Nitratos	5	3,9
Nitritos	6	0,027
Amonio	7	0,00
Turbiedad (UTN)		**

1: Micro-mho/cm; 2: ppm; 3: ppm$CaCO_3$; 4: ppm ion; 5: ppm NO_3; 6: ppm NO_2; 7: ppm NH_4

Tabla 5. Análisis Físico Químico de la parte superior del acuífero del pozo QQF3.

Análisis Físico Químico

Determinación		Valores Obtenidos (ppm= mg/l)
Conductividad	1	450
pH		7,50
Residuo Seco (105 ºC)	2	315
Alcalinidad de Carbonatos	3	0,00
Alcalinidad de Bicarbonatos	3	180
Alcalinidad de Hidróxidos	3	0,00
Alcalinidad total	3	180
DurezaTotal	3	100
Cloruros	4	15,9
Sulfatos	4	20,0
Calcio	4	40,0
Magnesio	4	14,6
Potasio	4	11,20
Sodio	4	17,0
Flúor	4	0,76
Arsénico	4	**
Nitratos	5	11,1
Nitritos	6	0,115
Amonio	7	0,08
Turbiedad (UTN)		**

1: Micro-mho/cm; 2: ppm; 3: ppm$CaCO_3$; 4: ppm ion; 5: ppm NO_3; 6: ppm NO_2; 7: ppm NH_4

Tabla 6. Valores guía según la Ley número 1.027 con su decreto reglamentario Nº 943 de la Provincia de La Pampa del año 1981.

PARAMETRO	LEY Nº 1027. VALORES GUIA (EN MG/L)
RESIDUO SECO	2000
CLORUROS	700
SULFATOS	300
BICARBONATOS	30-400
DUREZA	200
SODIO	.....(1)
NITRATO	45
NITRITO	Hasta 0,1
FLUOR	1,2-1,8
ARSENICO	0,15-0,18
HIERRO	Hasta 0,1
PH	6.5-9.2

(1) Según OMS, valor guía: 200 mg/l.