



FACULTAD DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES



**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y  
NATURALES**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA**

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS  
NATURALES Y MEDIO AMBIENTE.

**“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA  
SUBTERRÁNEA EN UNA ZONA URBANA Y PERIURBANA A GENERAL  
ACHA, LA PAMPA”.**

**ANA CARLA CUFRE**

**SANTA ROSA (LA PAMPA)**

**ARGENTINA**

**-2011-**

## **PREFACIO**

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en la Cátedra de Hidrología Ambiental dependiendo del Departamento de Recursos Naturales, durante el período comprendido entre el 12 de Marzo de 2010 y el 2 de Diciembre de 2010, bajo la dirección de Schulz Carlos Juan y bajo la codirección de Dalmaso María Gabriela.

### **Agradecimientos**

En primer lugar quiero agradecer al Dr. Carlos Schulz, director de este trabajo, por su ayuda en la confección del plan de trabajo, supervisión durante el desarrollo y posterior corrección del texto.

Igualmente mi agradecimiento a la Lic. Gabriela Dalmaso, co-directora del trabajo, por su apoyo, orientación crucial para el desarrollo de esta tesis y supervisión durante el desarrollo.

También mi agradecimiento especial a mi familia y amigos por el incondicional apoyo durante toda la carrera.

Mi gratitud al laboratorio de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNLPam, en la persona de Mariana Espíndola.

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

26 de Abril de 2011

.....

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

## RESUMEN

El presente trabajo fue realizado con el objetivo de evaluar la contaminación del agua subterránea en el territorio urbano y periurbano a General Acha, según los grados de vulnerabilidad y riesgo a la contaminación del acuífero, teniendo en cuenta la presencia de nitrato como factor condicionante de la calidad del recurso.

Se realizaron 3 campañas de recolección de muestras de agua en perforaciones. Además, se tomaron muestras de dos cuerpos de agua superficial. En la primera campaña se midió “*in situ*”: temperatura, pH y conductividad. En laboratorio se determinó conductividad eléctrica y la concentración de los iones: nitrato, nitrito y cloruro. Se estimaron vulnerabilidad a la contaminación, riesgo a la contaminación y los tiempos de tránsito de los contaminantes en la zona no saturada y saturada.

De acuerdo a los datos obtenidos se evidencia que el estado de las aguas subterráneas es satisfactorio. En vista a los resultados químicos, el 96,5 % de los pozos domiciliarios muestreados poseen contenidos de nitratos que no superan los niveles máximos permitidos para el consumo de agua potable. Con respecto a las muestras tomadas de los cuerpos de agua superficiales, ambos arrojaron valor muy por encima de los niveles permitidos.

Se concluye que no se evidencia contaminación del agua subterránea de las perforaciones pero que es necesario proponer medidas correctivas, preventivas y mitigatorias para evitar el deterioro de la calidad del agua por las diferentes fuentes de contaminación identificadas en el área.

# ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	- 1 -
1.1. Objetivos .....	1
1.2. Antecedentes .....	2
CAPITULO II: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	3
2.1. Clima.....	3
2.1.1. Precipitaciones .....	4
2.1.2. Temperatura .....	5
2.1.3. Evapotranspiración.....	5
2.2. Geología.....	7
2.3. Geomorfología .....	9
2.4. Edafología .....	10
2.5. Hidrogeología .....	11
2.6. Caracteres hidroquímicos .....	15
CAPITULO III: EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN .....	18
3.1. Aspectos teóricos .....	18
3.1.1. Contaminación .....	18
3.1.2. Elementos contaminantes.....	18
3.1.3. Tratamiento de efluentes .....	20
3.1.4. Vulnerabilidad a la contaminación.....	21
3.1.5. Riesgo a la contaminación.....	22
3.2. Actividades potencialmente contaminantes en el área de estudio .....	22
CAPITULO IV: METODOLOGÍA .....	25
4.1. Tareas de Gabinete.....	25
4.2. Tareas de Campo .....	25
4.3. Etapa de Laboratorio.....	27
4.4. Etapa de Gabinete Final .....	27
4.4.1. Elaboración y tratamiento de los datos. ....	27
4.4.2. Vulnerabilidad a la contaminación.....	28
4.4.3. Tiempo de tránsito del contaminante en la zona no saturada:.....	29
4.4.4. Tiempo de tránsito del contaminante en la zona saturada:.....	29
4.4.5. Determinación del Riesgo de Contaminación.....	30
CAPITULO V: RESULTADOS .....	31
5.1. Zona Urbana .....	31
5.2. Zona Peri-Urbana.....	32
5.3. Vulnerabilidad a la contaminación: .....	37
5.3.1. DRASTIC.....	37
5.3.2. GOD .....	39
5.4. Tiempo de tránsito del contaminante en la zona no saturada y saturada .....	40
5.5. Riesgo de Contaminación .....	40
CAPITULO VI: DISCUSIÓN.....	41
CAPITULO VII: CONCLUSIÓN .....	42
BIBLIOGRAFÍA CITADA .....	44
ANEXO I.....	49
ANEXO II .....	51
ANEXO III .....	60

# CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento esencial para la vida y si bien constituye el líquido más abundante en la Tierra, solo una pequeña porción de esta es dulce, es decir aquella que sostiene la vida de los ecosistemas y de las sociedades humanas.

Según Schulz (1999), 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. Por lo que la disponibilidad de agua en calidad y cantidad adecuada es, entre los recursos naturales, el principal indicador que afecta al desarrollo humano (Bocanegra y Benavides, 2002).

El valor de las aguas subterráneas como fuente de suministro de agua potable ha influenciado en el aumento del interés para la detección y control de su contaminación. Generalmente se carece de un diagnóstico precoz del deterioro, debido a las heterogeneidades inherentes al sistema sub-superficial 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 (Dalmaso *et al.*, 2007). En la mayor parte de la provincia de La Pampa, 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 de la presencia en distintas concentraciones de elementos perjudiciales para la salud humana (Mariño, 2003).

Es necesario hacer una distinción de la calidad natural de un agua y la calidad afectada por las actividades humanas, es decir, de aquella sometida a contaminación de origen antrópico. Según Custodio (1983) la calidad del agua se puede definir en base a la composición y el conocimiento de los efectos que puede causar cada uno de los elementos que contiene, o el conjunto de todos ellos, pudiendo así clasificarla como apta para las diferentes actividades desarrolladas por el hombre, como agricultura, ganadería, industria, etc. como así también su aptitud para consumo como agua de bebida. La calidad del agua subterránea está 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. Teniendo en cuenta la definición de Auge (2006), el concepto de contaminación se incluye a todo proceso que genere un deterioro apreciable en la calidad física, química y/o biológica del agua subterránea. Generalmente la contaminación deriva de acciones artificiales (polución), aunque a veces tiene origen natural, y en otras, si bien se observa una génesis natural, es inducida artificialmente.

## **1.1. Objetivos**

El principal objetivo de este trabajo es identificar aquellas actividades que por distintas causas estén o puedan estar afectando la calidad del agua subterránea en el área de estudio. Se pretende suministrar las bases para la elaboración de alternativas de gestión y monitoreo por parte de los organismos pertinentes para un mejor tratamiento de estos temas.

### *Objetivos específicos*

- a) identificar las posibles fuentes existentes de contaminación dentro del área de estudio que puedan afectar el acuífero del cual se abastece a la población.
- b) determinar la calidad del agua de las perforaciones domiciliarias en las zonas aledañas a las fuentes de contaminación encontradas, para poder determinar su incidencia en el agua subterránea.
- c) determinar la vulnerabilidad/es a la contaminación del agua subterránea dentro del área de estudio mediante distintos métodos, así como la correspondiente al riesgo a la contaminación.

## **1.2. Antecedentes**

Los aspectos geológicos y geomorfológicos de la región están expuestos en los siguientes trabajos: “Documentos para el estudio geológico de la provincia de La Pampa” (Calmes y Tullio, 1980), “Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa” (Cano *et al.*, 1980), “Geología de la provincia de La Pampa, República Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas” (Linares *et al.*, 1980), Geología de los valles de Utracán, Quehué y Chapalcó, provincia de La Pampa (Terraza *et al.*, 1981) y “Bosquejo Geomorfológico de La Provincia de La Pampa” (Calmels, 1996).

Las características climatológicas, edafológicas, flora y vegetación son descriptas en el “Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa” (Cano *et al.*, 1980).

En lo que respecta a estudios hidrogeológicos e hidroquímicos del área, se pueden mencionar, entre otros, a Cavalie (1985), Tullio (1987), Castro y Tullio (1990), Schulz (2005), Schulz *et al.* (1998 a y b), Schulz y Vives (2010).

En cuanto a los estudios referentes a la calidad del agua subterránea para consumo humano y la contaminación de los recursos hídricos por actividades antrópicas se pueden mencionar, entre otros, los trabajos de Blarasin *et al.* (1995), Bonorino *et al.* (1999), Bocanegra y Benavides (2002), Peluso *et al.* (2003 a y b) y Auge (2006). Específicamente en la provincia de La Pampa algunos de los trabajos llevados a cabo corresponden a Dalmaso (1998), Dalmaso *et al.* (1999, 2000, 2001 y 2007), Schulz *et al.* (1999 y 2001), Fernández y Mariño (2002), Camilletti y Dalmaso (2005), Peroni (2005), Iribarra (2006), Ceccani Olave *et al.* (2007), Holzman (2008), Holzman *et al.* (2009).

## CAPITULO II: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio (Figura 1) comprende la zona urbana y periurbana noroeste a la ciudad de General Acha. Ésta se encuentra ubicada en el área centro-este de la provincia de La Pampa, en una zona de transición entre la región subhúmeda y la región semiárida, límite norte de la Patagonia, entre las coordenadas geográficas  $37^{\circ} 22' 60''$  de latitud Sur y  $64^{\circ} 35' 60''$  longitud Oeste, tomando como punto central aproximado la plaza principal de la localidad. Ubicada sobre la Ruta Nacional N° 152, pertenece al departamento Utracán y es cabecera del mismo. Considerado como el tercer municipio en importancia provincial, se constituye como uno de los principales centros económico-social, con posibilidad de desarrollo principalmente ganadero, agrícola e industrial, con las consecuentes perturbaciones al medio natural en general y al agua subterránea en particular. La actividad industrial actualmente comprende: Durlock S.A., Frigorífico General Acha S.A. y Planta extractora de miel (Co.Se.Ga.).

Cuenta con una población estimada de 12.536 habitantes y un total de aproximadamente 3.628 hogares y viviendas (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2001).

La ciudad posee servicio de agua potable desde 1905, el cual desde 1960 es aportado por la Cooperativa de Sevicios Públicos de General Acha Ltda. (Co.Se.Ga) y aunque no para consumo, aún en la actualidad parte de la población utiliza pozos de agua domiciliarios para usos tales como el riego. En cuanto al sistema de saneamiento cloacal, es llevado a cabo desde Septiembre del año 1999 por parte del Ente de Sanidad Ambiental de General Acha (EMSAGA). Cabe señalar que existen hasta la fecha 2.400 conectados aproximadamente a este último servicio, por tanto el 33.85 % restante de las viviendas utiliza pozo sépticos para sus efluentes.



Figura 1. Ubicación del área de estudio

### 2.1. Clima

El clima es subhúmedo a semiárido del tipo templado, con temperaturas medias anuales de  $14^{\circ}\text{C}$ , para el período 1976/1995, con una media máxima mensual de  $22^{\circ}\text{C}$  en Enero y una media mínima mensual de  $6^{\circ}\text{C}$  en Julio (INTA General Acha). La zona comprendida por el valle Argentino es de características más frías que el resto. A través del mismo se produce una canalización del aire frío que al ser más denso se desplaza

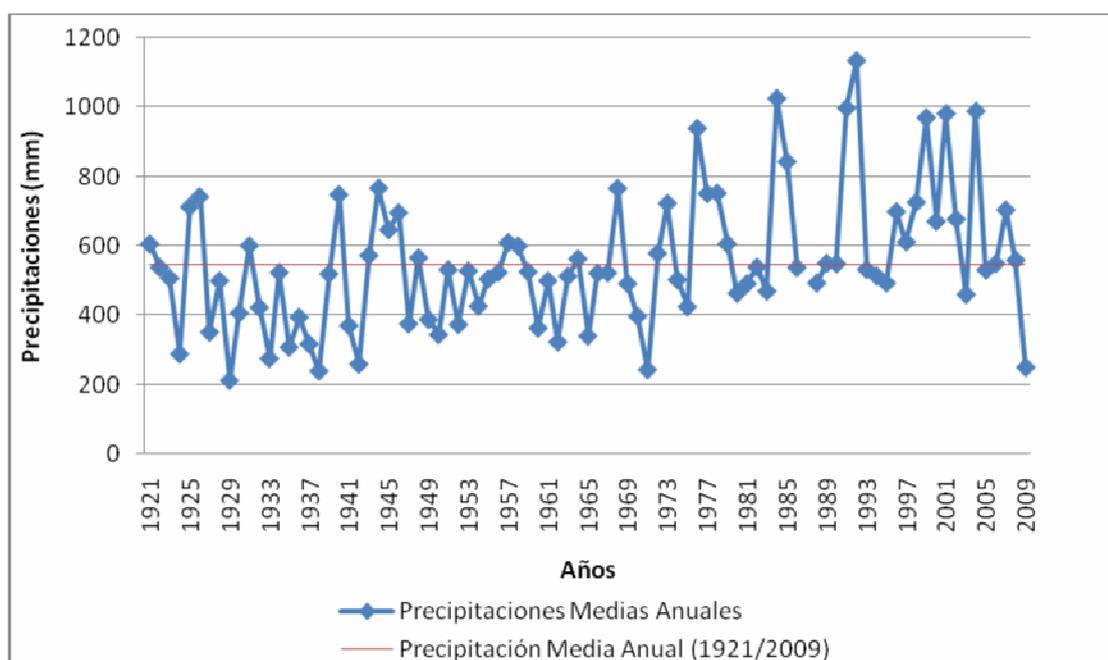
por los lugares más bajos, produciéndose una diferencia en la fecha media de ocurrencia de heladas, adelantándose la primera y atrasándose la última (Cano *et al.*, 1980).

Los vientos predominantes son del N-NE y S-SW, donde la velocidad promedio anual es de 10 a 11 km/h, teniendo importancia en la acción erosiva entre Agosto y Diciembre. En la época estival, el mismo contribuye al aumento de la deficiencia hídrica pues aumenta la evapotranspiración.

La pluviometría anual media es de 548 mm/año (1921-2009), con una tendencia a ser Marzo el mes más lluvioso y Julio el mes más seco.

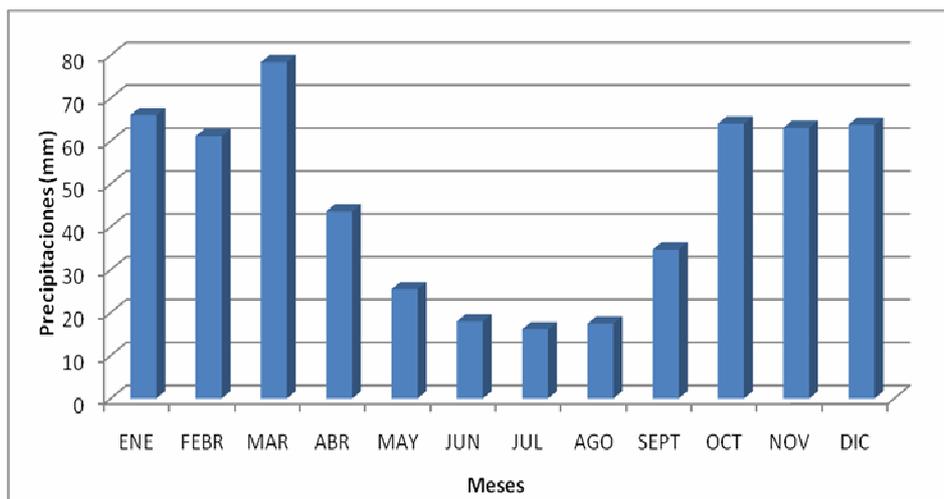
### 2.1.1. Precipitaciones

Los datos pluviométricos fueron suministrados por INTA General Acha. En la Figura 2 se presentan las precipitaciones anuales ocurridas en esta localidad desde el año 1921 al 2009. Teniendo en cuenta que la precipitación media es de 548 mm/año, se puede observar que al comienzo del período analizado las precipitaciones se encuentran generalmente por debajo de la media. Aproximadamente en el año 1970 y hasta el 2001 se puede observar un aumento en las precipitaciones con respecto a la media, lo cual se puede traducir como una etapa de años húmedos. A partir de este momento hasta el año 2009, las precipitaciones comenzaron a disminuir nuevamente.



**Figura 2. Precipitaciones anuales en General Acha (1921-2009)**

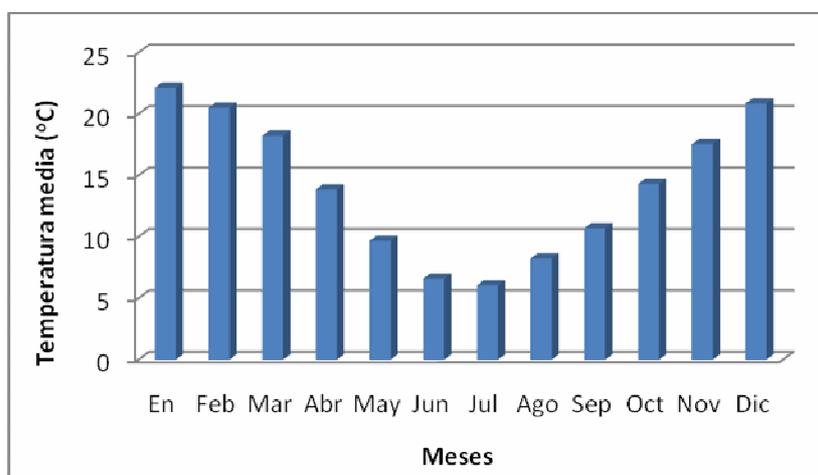
En la Figura 3 se presenta el histograma de precipitaciones medias mensuales de la ciudad de General Acha. En este se puede diferenciar claramente la ocurrencia de inviernos secos y veranos húmedos, siendo Marzo el mes con mayores precipitaciones y Julio el mes mas seco.



**Figura 3. Precipitaciones medias mensuales de General Acha (1921-2009)**

### 2.1.2. Temperatura

General Acha tiene una temperatura media anual de 14 °C para el período 1976/1995, con una media máxima de 22 °C que corresponde al mes de Enero y una media mínima mensual de 6 °C en Julio (INTA General Acha). En la Figura 4 se representan gráficamente las temperaturas medias mensuales correspondientes a la serie 1976/1995. Dado el régimen de precipitaciones y temperaturas, la localidad cuenta con inviernos secos y fríos y veranos húmedos y calurosos.



**Figura 4. Temperaturas Medias Mensuales (1976/1995)**

### 2.1.3. Evapotranspiración

La evapotranspiración potencial (ETP) para el área de estudio fue calculada mediante el método propuesto por Thornthwaite en el año 1948 y la evapotranspiración real (ETR) de acuerdo al método propuesto por Turc en el año 1954, ya que es un método sencillo basado en la temperatura y la precipitación. La determinación se realizó a partir de los datos de temperatura brindados por INTA General Acha para el período 1976-1995, por ser el único donde se cuenta con datos del lugar (Tabla 1).

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

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

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

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

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

$$a = 675 \cdot 10^{-9} I^3 - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} I + 0,49239$$

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

$$K = \frac{N d}{1230}$$

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

El cálculo de la evapotranspiración real se realizó mediante en método propuesto por Turc, el cual plantea:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Donde:

P: precipitación en mm/año

L:  $300 + 25 t + 0,05 t^2$

t: temperatura media anual en °C

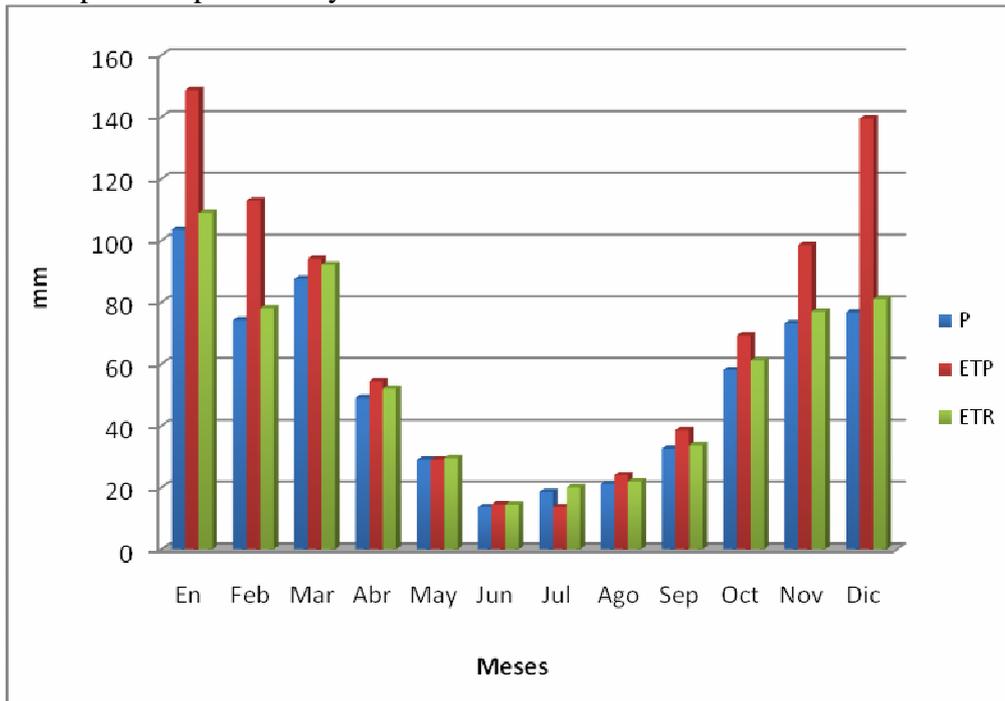
Los cálculos realizados se encuentran en el Anexo I.

Meses	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
<b>ETP</b>	149	113	94	54	29	15	14	24	39	69	98	139	<b>837</b>
<b>ETR</b>	109	78	92	52	30	14	20	22	34	61	77	81	<b>670</b>

**Tabla 1. Evapotranspiración Potencial y Real media en mm. Período 1976/1995**

Del análisis de la tabla anterior, podemos concluir que para la ciudad de General Acha, la evapotranspiración potencial climática tiene una media anual de 837 mm. La máxima ocurre en el mes de Enero con un valor de 149 mm/mes, mientras que la mínima se presenta en el mes de Julio con 14 mm/mes.

En la Figura 5 se puede observar la relación entre la precipitación, la evapotranspiración potencial y real del área de estudio.

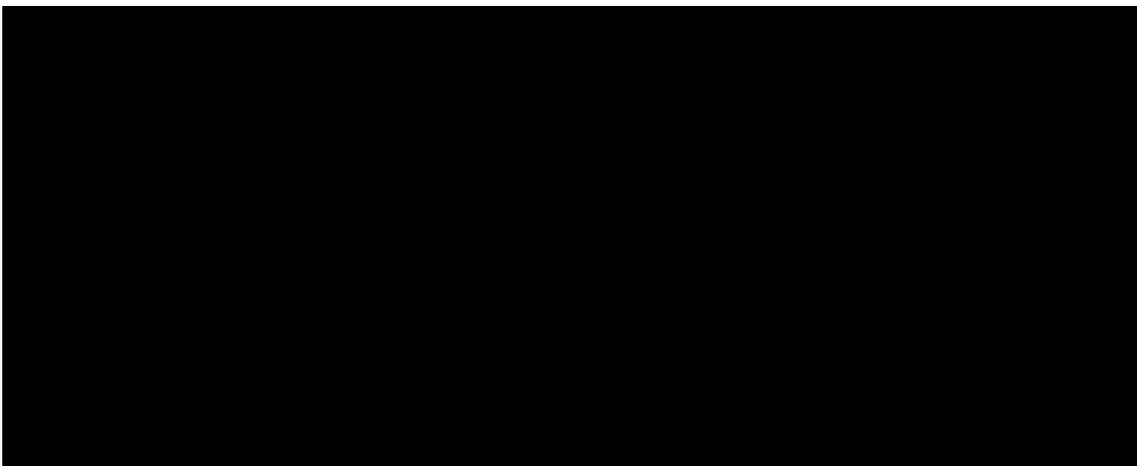


**Figura 5. Relación entre Precipitación y Evapotranspiración Potencial y Real. (Período 1976/1995)**

En la figura anterior se puede observar que la Evapotranspiración Potencial es muy superior a la Evapotranspiración Real y a la precipitación en los meses de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero, lo que implica un déficit importante. Durante el resto del año, los valores de estos tres parámetros son muy similares. Solo en el mes de Julio la precipitación supera a la evapotranspiración potencial, donde se generaría un excedente que puede constituir parte de la recarga del acuífero.

## 2.2. Geología

Según Schulz (2005), la estratigrafía presente en la zona se puede sintetizar en la Tabla 2.



**Tabla 2. Geología (Modificado de Schulz, 2005)**

En Schulz (2005) se realizaron 3 perfiles geológicos transversales y un perfil longitudinal que abarca todo el eje del Valle Argentino (Figura 6).

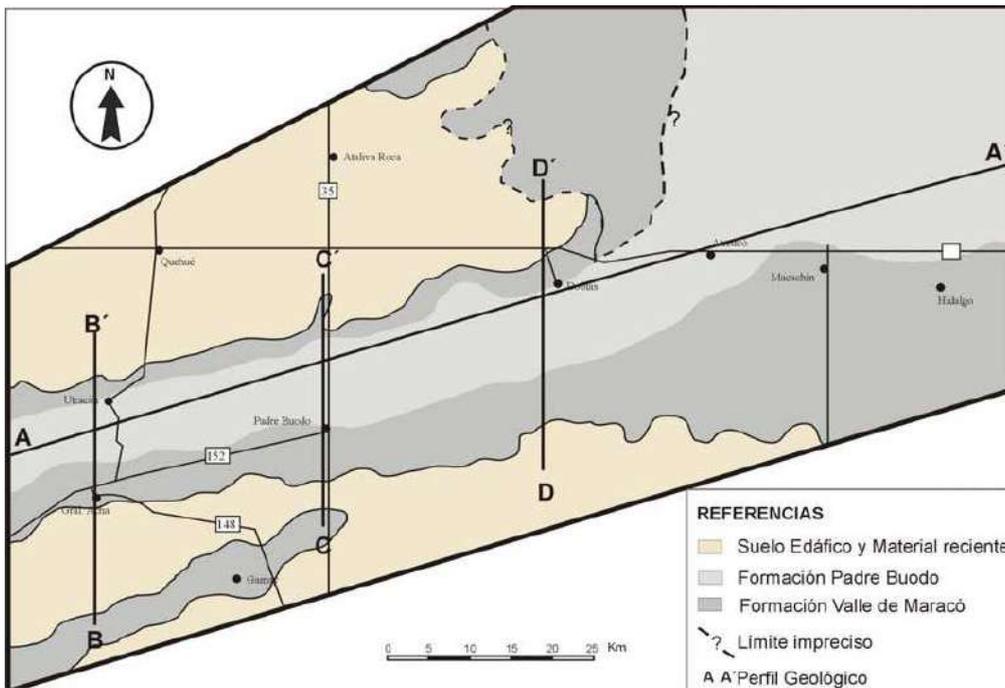


Figura 6. Mapa geológico preliminar y ubicaciones de perfiles geológicos (Schulz, 2005)

En el perfil B-B' (Figura 7) a la altura de la ciudad de General Acha, los estudios geofísicos, corroborados por algunas perforaciones, ubican al basamento a una profundidad aproximada de 200 metros. Por encima se encuentra una gruesa capa sedimentaria correspondiente a la Formación Pampeano de aproximadamente 190 metros de espesor predominando mayoritariamente un limo arenoso, casi sin intercalaciones calcáreas ni arcillosas. Culminando el perfil tenemos al cordón medaneso central de la Formación Padre Buodo con arenas finas, mediana y muy poco de gruesas. El espesor promedio no supera los 10 metros.

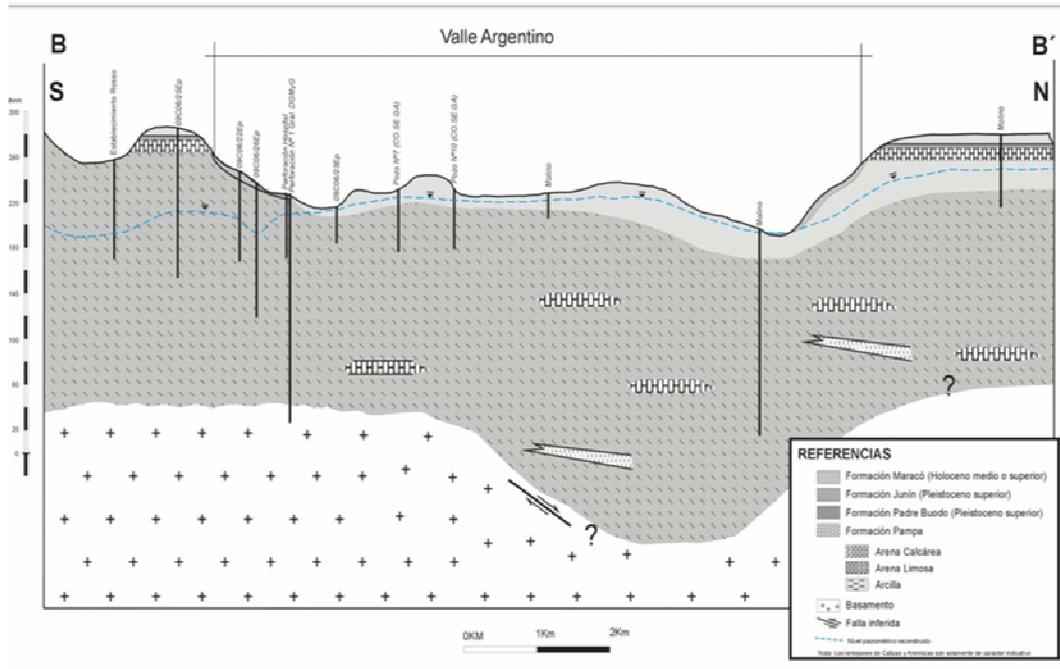


Figura 7. Perfil B-B' (Schulz, 2005)

### 2.3. Geomorfología

La ciudad de General Acha se encuentra situada en la unidad geomorfológica denominada Valle Argentino, la cuál se extiende desde el sector centro-este de la provincia de La Pampa, a lo largo de aproximadamente 200 km en la dirección este-oeste. Se trata de una depresión de un ancho inicial que varía entre 3 y 5 km, en el sector más occidental, pasando a tener de 8 a 11 km en la zona central coincidente con la ciudad de General Acha y alcanzando un ancho máximo de 18 km en la zona más oriental.

La característica morfológica principal de la zona es la presencia de un cordón medanoso central que la divide. En virtud de ello se conforman dos surcos laterales, conocidos localmente como los Valles de General Acha al Sur, y Valle de Utracán al Norte. Ambos valles están parcialmente ocupados por lagunas que constituyen la zona de descarga que dependiendo del ciclo hidrológico se pueden encontrar secas. Es importante destacar que en ocasiones el nivel freático asciende por encima del nivel del suelo, y en muchas ocasiones constituyéndose en permanentes (Schulz, 2005).

En esta región actuaron con intensidad los procesos morfogenéticos de acción hídrica concentrada, elaborando un sistema de valles dispuestos en forma de abanico. Posteriormente la acción eólica acumuló en el fondo de éstos importantes volúmenes de arena (Cano *et al.*, 1980).

Según Schulz (2005), con respecto al relieve, podemos decir que existen mesetas, pendientes, valles y cordones medanosos, que se hallan dispuestos en forma de abanico. Las mesetas son planas a suavemente onduladas, encontrándose en algunas de ellas pequeñas depresiones. Las planicies que separan el Valle están coronadas por una capa de carbonato de calcio (tosca) sumamente dura y recubiertas por un fino manto arenoso y que, debido a su resistencia a los procesos erosivos ha permitido modelar este típico relieve. Es de destacar las distintas construcciones de las paredes laterales del valle, por un lado la pared sur presenta mayores irregularidades, posiblemente debido a una menor resistencia de los mantos de tosca del lugar que permitieron una mayor erosión que se transformó en cañadones o incisiones orientados hacia los niveles más bajos del Valle y dio lugar a la formación de lagunas, salitrales o cursos de agua temporarios siguiendo la pendiente longitudinal del Valle. Por otro lado, también se ubica el cordón medanoso central, de gran valor desde el punto de vista hidrogeológico, por ser receptor de las precipitaciones y constituirse en la única zona de recarga del acuífero. Por último tenemos a una material areno limoso (Formación Pampa) que en general se corresponden con zonas de descarga de los niveles freáticos. Estos sectores se alinean en forma paralela al cordón medanoso central y en muchos casos formas grandes lagunas o salitrales.

A continuación se describe en la Tabla 3 un análisis sedimentológico realizado en una perforación en la ciudad de General Acha (Schulz, 2005).

0 a 0,25 m	Arena fina- pardo grisácea- tosca.
0,25 a 1 m	Tosca dura pardo- blancuzca arenosa.
1 a 1,50 m	Calcárea blanco rosado- arenoso.
1,50 a 2,35 m	Arena fina- pardo rosada- fragmentos calcáreos.
2,35 a 3,5 m	Arena pardo- rojiza- fina- partes calcáreas.
3,5 a 4,45 m	Arenisca pardo- rojizo- fina- partes calcáreas.
4,45 a 14,1 m	Arenisca pardo rojiza- partes calcáreas.
14,1 a 17 m	Arenisca arcillosa- fina pardo rojiza clara calcárea.

17 a 24,3 m	Arenisca arcillosa pardo rojiza muy calcárea.
24,3 a 28,7 m	Arenisca arcillosa fina calcárea pardo rojiza.
28,7 a 37,4 m	Arena calcárea fina a muy fina pardo rojiza oscura.
37,4 a 38,05 m	Arcilla arenosa pardo rosada oscura- tosca dura.
38,05 a 40 m	Arena fina pardo rojizo- tosca dura.
40 a 45,2 m	Arenisca fina friablepardo rojiza.
45,2 a 49,7 m	Arenisca fina calcáreapardo rojiza- tosca dura.
49,7 a 53,3 m	Arena pardo rojiza fina calcárea arcillosa.
53,3 a 54,3 m	Arenisca pardo rojiza clara fina.
54,3 a 54,45 m	Arenisca fina pardo rojiza arcillosa calcárea.
54,45 a 55,5 m	Arenisca fina rojiza clara arcillosa calcárea.
55,5 a 59,5 m	Arenisca pardo rojiza fina- partes calcáreas- friable.
59,5 a 65,9 m	Arenisca pardo rojiza fina calcárea dura.
65,9 a 68 m	Arcilla pardo rosada clara arenosa calcárea.
68 a 72,6 m	Arenisca pardo rojiza fina friable arcillosa.
72,6 a 75,1 m	Idem anterior pardo rosada.
75,1 a 79,2 m	Arenisca pardo rosada fina calcárea.
79,2 a 80 m	Arenisca pardo rosada fina muy arcillosa calcárea.
80 a 81,9 m	Arenisca fina pardo rosada muy arcillosa calcárea.
81,9 a 82,7 m	Arenisca fina pardo rosada muy calcárea arcillosa.
82,7 a 85,8 m	Arenisca fina pardo rosada calcárea.
85,8 a 87,75 m	Arenisca pardo amarillenta arcillosa calcárea.
87,75 a 89,95 m	Arena fina pardo rosada arcillosa calcárea.
89,95 a 92,4 m	Arena fina pardo rojiza calcárea.

**Tabla 3. Análisis sedimentológico de una perforación en General Acha (Schulz, 2005)**

## **2.4. Edafología**

Según el “Inventario Integrado de Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa” (Cano *et al.*, 1980) la zona estudiada se encuentra dentro de la Subregión de las mesetas y valles, en la cual se distinguen seis unidades cartográficas donde a la ciudad de General Acha la podemos encontrar en la unidad de los médanos y valles transversales, donde los suelos no presentan organización edafogenética ya que su desarrollo es incipiente. La textura es arenosa fina con 5% de arcilla y 6% de limo hasta los 2 metros aproximadamente, a partir del metro aparece 0,5% de gravilla (más de 2 mm de diámetro).

En los cordones medanosos encontramos Torripsamente ústico, familia silícea, térmica, poseen poco espesor y textura arenosa a arenosa franca y estructura débil. Tiene un simple perfil C1-C2, libre de calcáreo, excesivamente drenado y susceptible a la erosión eólica. La capa de agua se encuentra entre los 2-11 m pero más comúnmente a los 8 metros de profundidad. El uso que se les da es para pastoreo.

En los valles dominan los Calciustoles típicos y Haplustoles ácuicos, familia arenosa, silícea, térmica, propensos a la salinización. Son suelos con buen contenido en materia orgánica dentro de los 0,25 m y aparece a continuación un horizonte con alto contenido en calcáreo secundario en concreciones y en la masa. Tienen permeabilidad excesiva, con peligro a la erosión eólica. La capa freática se encuentra entre los 3-7 m, siendo más frecuente a los 5 metros. Se incluyen otros suelos menores: Haplustoles énticos localizados en los planos del valle; Torripsamentos ústicos próximos a las

pendientes y Haplustoles arídicos en fase salina cuando se encuentran cercanos a las lagunas. Se utilizan preferentemente para pasturas.

En las áreas influenciadas por lagunas se dan Salortides acuólicos, familia arenosa, silícica, térmica. Tienen la capa de agua alta y muy salada, no aprovechable por las plantas (se considera que hay aridez fisiológica). Otros suelos son Salortides típicos como los anteriores pero más secos, con la capa de agua por debajo del metro se usan para ganadería extensiva a base de pasturas naturales.

## **2.5. Hidrogeología**

Las características hidrogeológicas del Valle Argentino responden a las condiciones morfológicas o de relieve local, donde podemos diferenciar 4 subsistemas hidrogeológicos con particularidades propias (Schulz, 2005). Para el área de estudio podemos diferenciar dos de ellos:

**Cordón medanoso central:** Se ubica al norte de la ciudad y sin duda constituye el área más importante del Valle, no solo por la extensión que ocupa, sino también por la calidad de sus aguas. Abarca toda la superficie medanosa central con un ancho promedio de unos 10 km a lo largo del valle. Este cordón se apoya, al comienzo del Valle sobre el basamento cristalino o algún resto del pampeano que logró resistir a la erosión para luego hacerlo directamente sobre esta formación loessica. Los acuíferos en esta área son de excelente calidad para todo uso y de él se suministra a distintas poblaciones que se encuentran dentro del valle.

El cordón medanoso central, cerca de General Acha, posee un espesor saturado de 150 mts. Los volúmenes de extracción son sumamente importantes alcanzando en algunos casos 20 a 25 m<sup>3</sup>/h, aunque con medios no convencionales (trincheras), se han llegado a extraer hasta 90 m<sup>3</sup>/h.

La alta permeabilidad de la cubierta arenosa hace que el agua de lluvia tenga poco tiempo de exposición en superficie y se infiltre rápidamente por lo que es poco probable que se llegue a evaporar.

**Depresiones o sectores de descarga:** En forma paralela al cordón medanoso central, se advierten en sus bordes laterales, dos sectores de descarga que reciben los aportes de la descarga del cordón medanoso central lo que lo lleva a tener un alto grado de salinización.

Son amplias depresiones que colectan toda la descarga de la capa freática y además el agua de lluvia. También es de destacar la presencia de surgentes a lo largo de las depresiones con calidad y cantidad de agua variada, y constituye una fuente alternativa de suma importancia para el consumo del ganado.

Desde el nivel freático hasta el basamento se encuentra un único acuífero multicapa (Giai y Tullio, 1998). En la Figura 8 se puede observar el mapa piezométrico regional (modificado) propuesto por Schulz (2005), teniendo en cuenta la influencia de los bombeos de los pozos que abastecen a las distintas localidades. De este último se puede concluir que existe un flujo regional siguiendo el sentido longitudinal del Valle Suroeste-Noreste. También se puede observar que las cotas piezométricas más altas corresponden en general a la zona medanosa, coincidiendo con el área de máxima recarga y las descargas locales hacia las depresiones constituyéndose en bajos salinos que actúan como zonas de evaporación. Además se puede distinguir una divisoria de agua transversal al eje longitudinal del Valle en las cercanías de General Acha. En la Figura 9 se puede observar el mapa piezométrico para una zona más acotada.

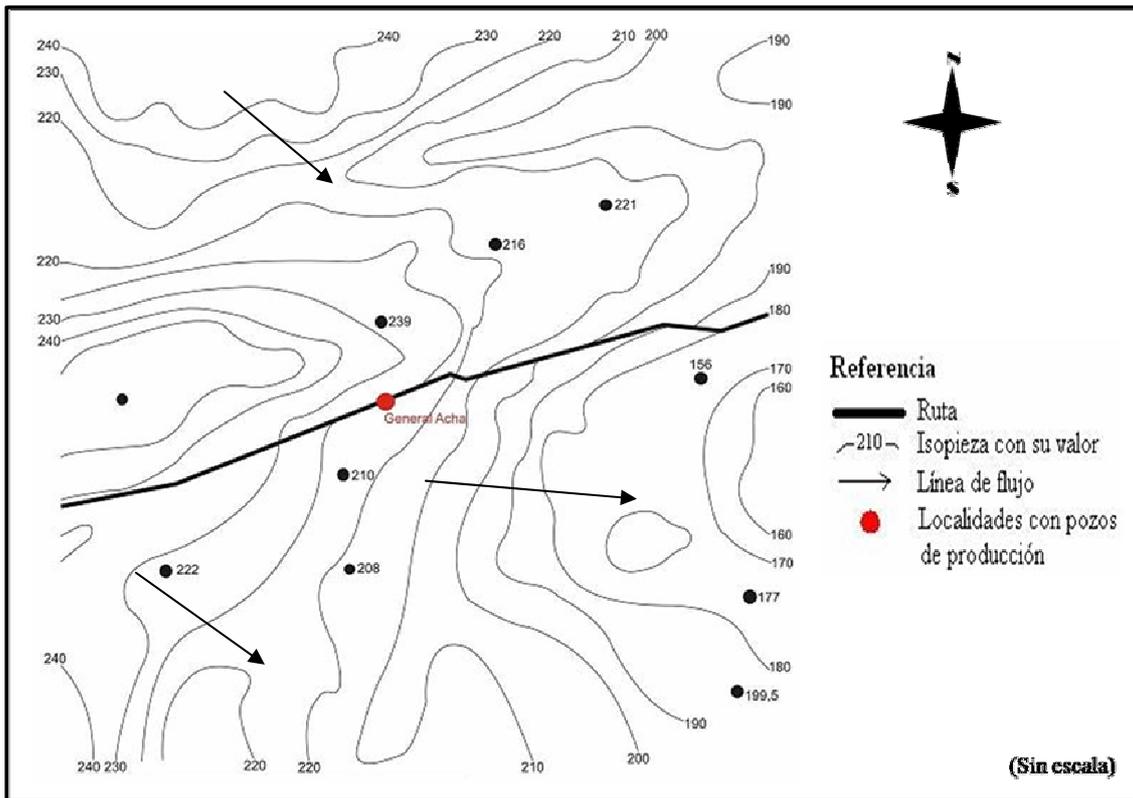
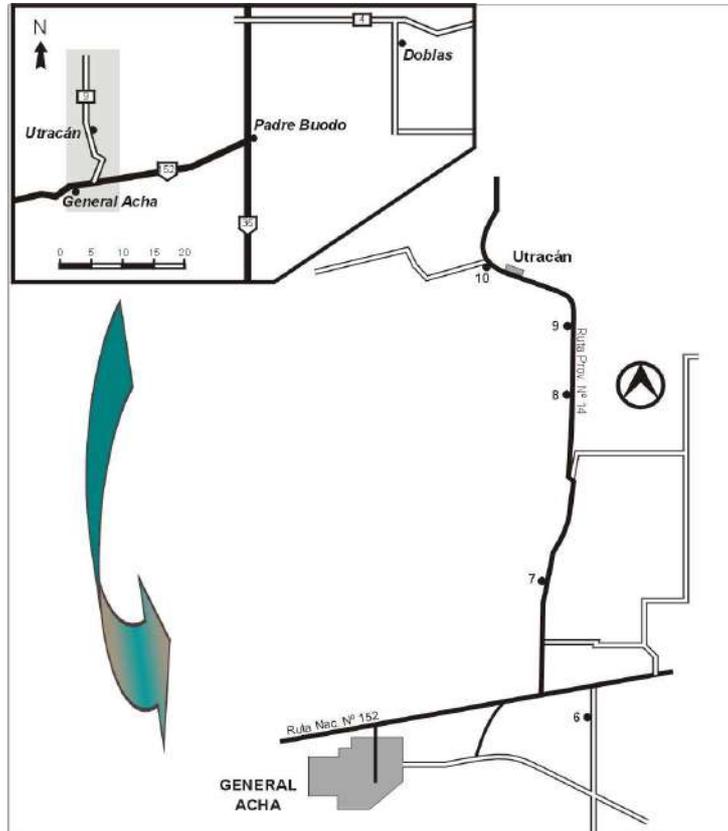


Figura 8. Mapa de isopiezas regional (Modificado de Schulz, 2005)



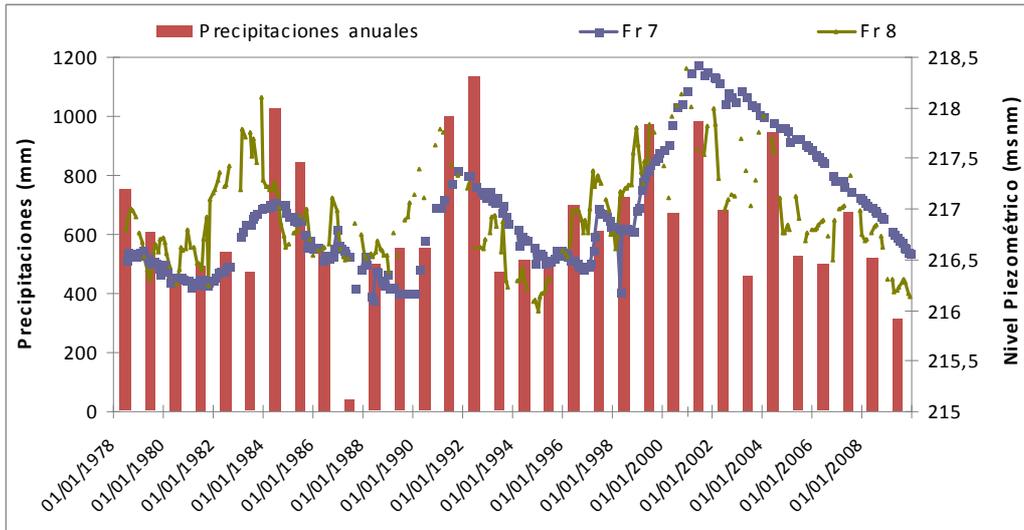
Figura 9. Mapa freático en condiciones naturales (modificado de Fernández y Mariño, 2002)

Con respecto a la evolución temporal de los niveles piezométricos, y al no encontrarse registros en la zona de estudio, se tuvieron en cuenta los piezómetros (del P 6 al P 10) analizados en Schulz y Vives (2010) los cuales en su mayoría se encuentran ubicados al nor-este de la ciudad de General Acha a la vera de la Ruta Provincial N° 14 (Figura 10).

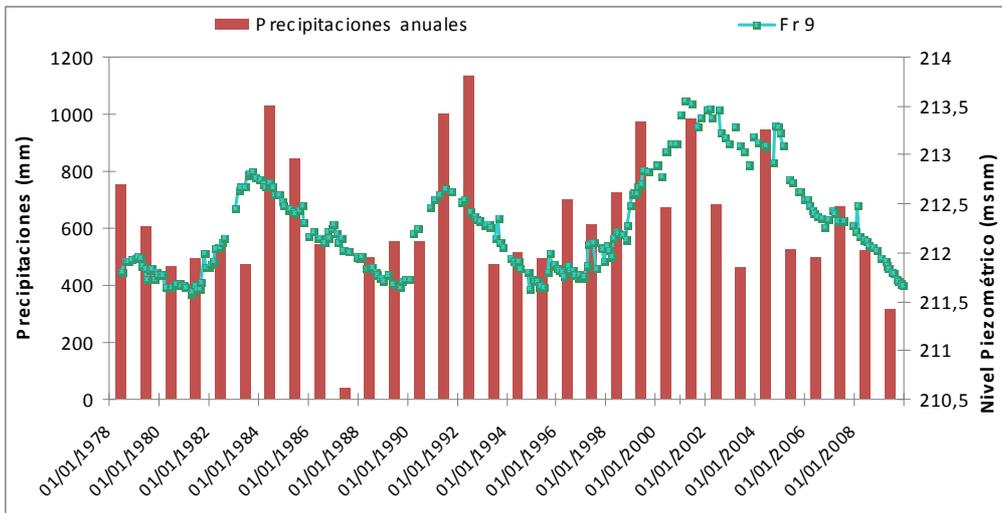


**Figura 10. Ubicación de los piezómetros de General Acha (Schulz y Vives, 2010)**

Según el análisis de los datos, en general Schulz y Vives observan un ascenso de la superficie piezométrica en los piezómetros ubicados en el cordón medanoso, lo que es coincidente con el área de recarga (P 7, 8 y 9). Por otra parte, en los ubicados en el área de descarga (P 6 y P10) no se observa una tendencia ascendente. La máxima amplitud se observa el número 7 con 3,32 metros, con una tendencia de que el mayor número de oscilaciones se da hacia cotas más bajas y en menor cantidad en la zona medanosa (cotas más altas). (Figura 11, 12 y 13).



**Figura 11. Comparación del hidrograma con los niveles estáticos de los piezómetros 7 y 8 (área de recarga) (Schulz y Vives, 2010)**



**Figura 12. Comparación del hidrograma con los niveles estáticos del piezómetro 9 (área de recarga) (Schulz y Vives, 2010)**

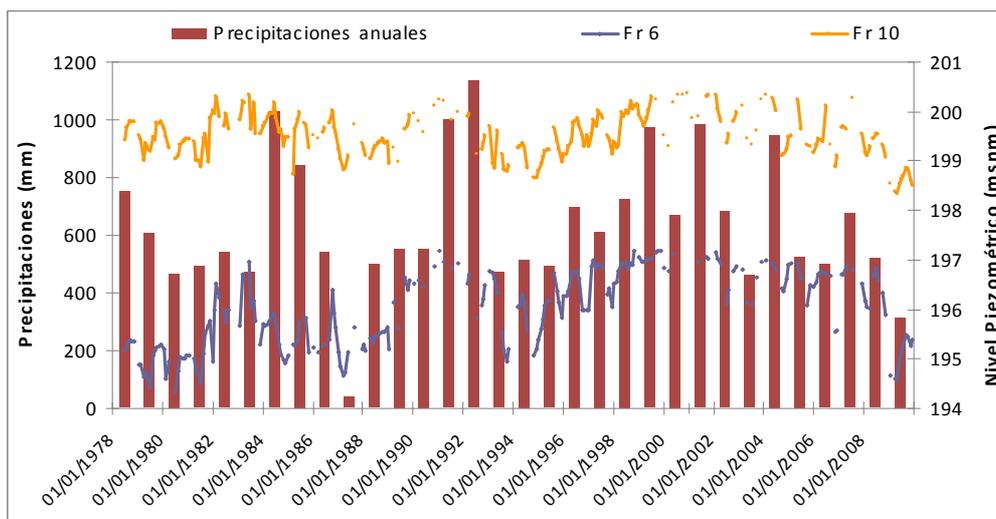


Figura 12. Comparación del hidrograma con los niveles estáticos de los piezómetros 6 y 10 (área de descarga) (Schulz y Vives, 2010)

## 2.6. Caracteres hidroquímicos

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

A continuación, en la Tabla 4 se presenta un resumen estadístico de las variables físico-químicas del tipo de agua correspondiente a la zona de estudio, constituido por muestras colectadas en el ambiente del cordón medanoso, propuesto por Schulz (2005).

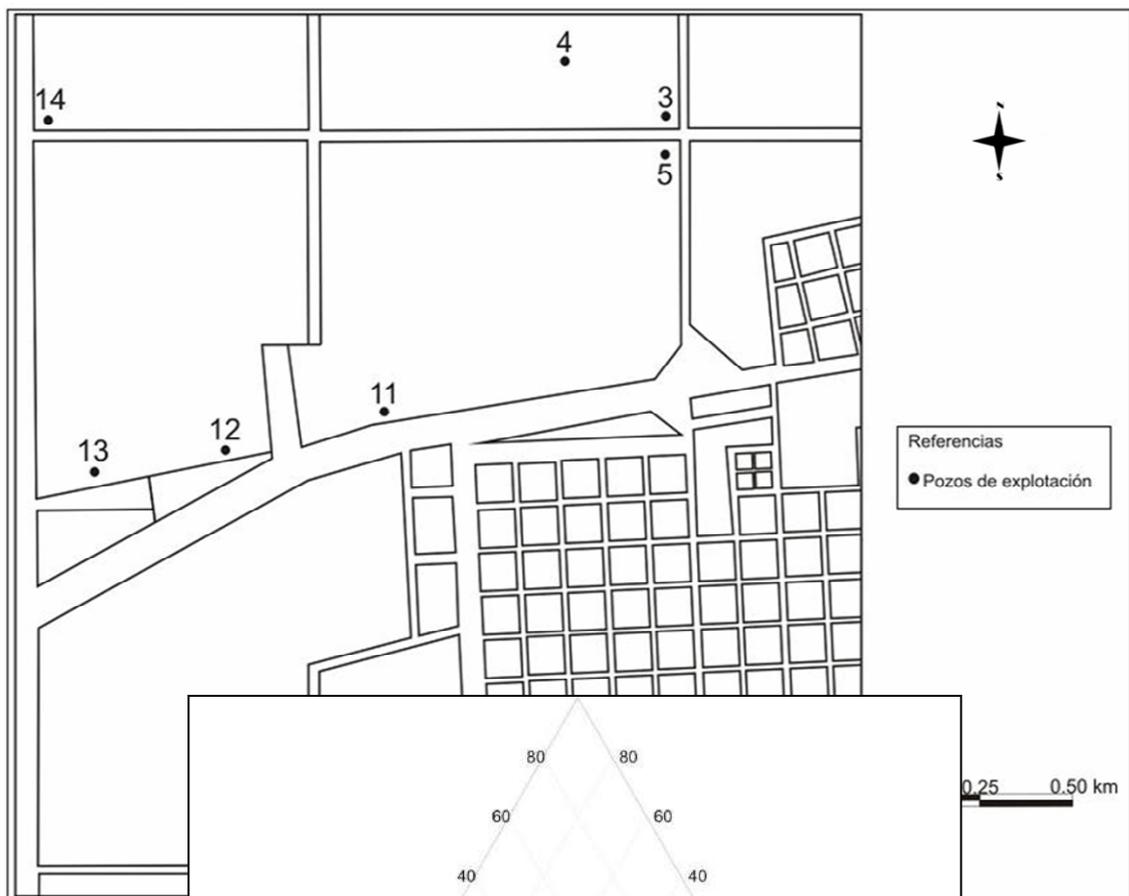
	Media	Desv. Estánd.
Residuo Seco	337,3	127,5
Ph	8,3	0,6
Dureza	114,8	38,1
Cloruros	37,2	33,8
Sulfatos	28	30,3
Bicarbonatos	256,2	69,8
Calcio	45,9	15,3
Magnesio	22,1	12,8
Sodio	49,5	40,7
Potasio	5,7	3,6
Nitratos	13,2	9,4
Flúor	0,8	0,3
Arsénico	s/d	---
Sílice	37	4,6

Los valores se expresan en mg/l, excepto para C.E. en uS/cm y pH en unidades de Ph

Tabla 4. Resumen estadístico de las variables físico- químicas

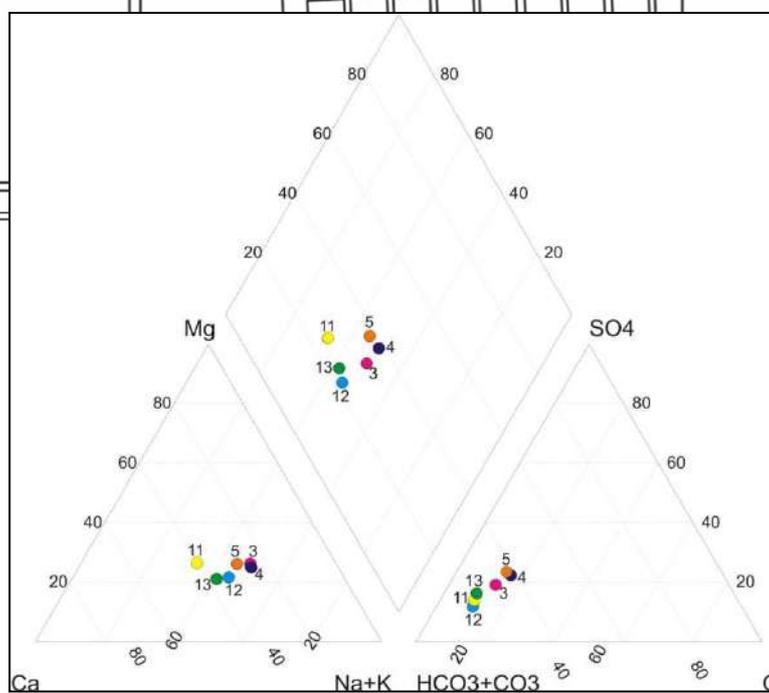
Schulz (2005) plantea que de la relación de TDS (total de sólidos disueltos) con las variaciones de nivel freático se puede vislumbrar el comportamiento diferente según se trate de una zona de recarga o de descarga. Para el área de recarga de la zona de General Acha, hay una tendencia en ascenso de los niveles y se conserva mas o menos regular el TDS y para el área de descarga se observa también un incremento en los niveles freáticos hasta alcanzar casi la superficie y un ascenso en el TDS. Esto estaría explicado al no haber un efecto regulador que amortigua las variaciones estacionales de concentración e incluso a veces anuales por lo que no existe diferencia alguna entre el horizonte de acumulación y el freático. En este caso el agua del terreno saturado es directamente evapotranspirada, existe una acumulación de sales directamente en el acuífero, ya que se evapora el agua y las sales permanecen en él y/o se quedan en las plantas y vuelven al terreno al morir estas. La acumulación de sales en las plantas produce también un efecto de volante regulador.

Para la caracterización de agua extraída para abastecer a la localidad, se tomaron los datos químicos medios de los pozos 3, 4, 5, 11, 12 y 13 (Figura 14) que son los que se encuentran en el área de estudio. En esta zona también se encuentra el pozo 14 pero no hay datos químicos del mismo. Para la caracterización se utilizó el programa Aquachem (Calmbash, 1997) (Figura 15).



**Figura 14.**  
los pozos de  
de Co.Se.Ga.

**Ubicación de  
explotación**



**Figura 15. Diagrama Piper del agua subterránea, APA (1978-2009)**

Como se observa en la figura anterior el agua de las perforaciones que se encuentran en el área de estudio se puede definir como bicarbonatada sódica, tal como la describe Mariño *et al.* (2002).

# CAPITULO III: EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

## 3.1. Aspectos teóricos

### 3.1.1. Contaminación

La contaminación se puede definir como la alteración de las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del agua por la acción de procesos naturales o artificiales que producen resultados indeseables y puede ser: natural ó artificial y esta última, directa o inducida (Auge, 2006).

**1. Natural.** Es común la salinización del agua por contacto con sedimentos marinos y salinos, o la incorporación de sustancias que forman los yacimientos metalíferos (Pb, Hg, Zn y Cu), no metalíferos, radiactivos y petrolíferos y la disolución de oligoelementos como F y As, a partir de sedimentos de origen volcánico (Loess Pampeano).

#### 2. Artificial

**a) Directa:** Es la más frecuente y se la puede clasificar de acuerdo al sitio donde se produce (urbana, rural) o a la actividad que la genera (doméstica, industrial, agropecuaria). Estas últimas se pueden definir como:

- **Doméstica:** vertido de jabones, detergentes, lavandina, materia orgánica (alimentos, fecal, basura en general). Cuando no se dispone de desagües cloacales, el resultado es la generación de ambientes propicios para la reproducción bacteriana y la formación de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_3$ .
- **Industrial:** contaminación de la atmósfera por la eliminación de humos y otros compuestos gaseosos y del suelo y el agua, por vertidos líquidos, sólidos y semisólidos. Además por la infiltración de los contaminantes atmosféricos que caen solos o arrastrados por la lluvia.
- **Agropecuaria:** se origina por el empleo de plaguicidas y fertilizantes para mejorar la productividad y con los desechos animales.

**b) Inducida:** Es la que deriva de la sobre-explotación; la más común es la salinización en acuíferos costeros o por ascenso de agua salada de fondo en acuíferos continentales lentiformes, portadores de agua dulce.

### 3.1.2. Elementos contaminantes

Los elementos contaminantes más comunes que afectan la calidad del agua subterránea son:

**Nitratos:** es una de las principales causas de deterioro del agua subterránea, tanto en los países desarrollados como en los no desarrollados, ya que esta vinculada a la mayor parte de las actividades humanas y por lo tanto el principal indicador de contaminación sobre el cual se hará hincapié en el presente trabajo.

La contaminación del agua subterránea puede resultar cuando el exceso de nitrógeno, fundamentalmente como nitrato, se encuentra presente en el agua de infiltración ya que este ión es altamente soluble, y además muy estable. La presencia de N amoniacal indica, generalmente, que se ha producido una reciente descomposición de la materia orgánica e indica la proximidad de la fuente contaminante (Martínez *et al.*,

1993). Si se encuentra nitrato en lugar de amonio es una indicación de que ha habido infiltración y oxidación eficaz al atravesar el terreno y ha transcurrido un tiempo mayor desde el inicio de la contaminación.

El contenido de nitrato en aguas sub-superficiales no contaminadas rara vez llega a 5,0 mg/l y a menudo es menor a 1,0 mg/l (Duarte y Maine, 1998).

Según Auge (2006) en los centros urbanos carentes de servicios cloacales los nitratos derivan de la degradación de materia orgánica, mayormente de origen fecal, donde los pozos ciegos o negros son las principales fuentes de emisión. El espesor y la permeabilidad de la zona no saturada condicionan la velocidad y tiempo de tránsito hasta la zona saturada.

En las ciudades con servicios cloacales, los nitratos derivan de pérdidas en las redes, de aportes provenientes de los sectores suburbanos que carecen o tienen poca cobertura cloacal, de viejos pozos ciegos que estaban situados en los cascos urbanos y fueron posteriormente reemplazados por las redes sanitarias y en algunos casos, de antiguos repositorios de basura que estuvieron emplazados en la vecindad del ejido urbano y que luego de desactivados, fueron empleados como terrenos para la construcción de viviendas.

En el campo, los nitratos derivan de fertilizantes a base de abonos, sulfato de amonio y urea en los sitios cultivados y de las excreciones animales en corrales, tambos, criaderos de aves y en la vecindad de bebederos.

La industria que produce alimentos, la que faena, la que embute carnes y la que procesa y fabrica productos lácteos, genera desechos con alta proporción de materia orgánica, que si no son adecuadamente tratados y dispuestos darán lugar a la formación de nitratos que pueden contaminar al agua subterránea luego de atravesar la zona no saturada.

La Organización Mundial de la Salud fija en 50 mg/l el valor guía de la concentración de nitrato en agua de bebida, exclusivamente para prevenir la Metahemoglobinemia, siendo la población más vulnerable los lactantes menores a tres meses alimentados con biberón, aunque se han notificado casos en algunas poblaciones adultas. Según los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino y la Ley N° 1027/80 con su Decreto Reglamentario N° 193/81 de la Provincia de La Pampa, la concentración máxima en el agua de bebida para consumo humano de nitratos es de 45 mg/l y 0,1 mg/l para nitritos.

**Pesticidas o Plaguicidas:** se agrupa con estas denominaciones a los herbicidas, insecticidas y fungicidas. Se trata de sustancias químicas de composición muy diversa, en general de carácter orgánico y de alta toxicidad aún en muy bajas concentraciones.

Los pesticidas se pueden clasificar en: *organoclorados*, altamente tóxicos, poco móviles pero muy persistentes en el suelo y los vegetales; *organofosforados*, altamente tóxicos, con alta movilidad y baja persistencia y los *carbamatos*, menos tóxicos que los anteriores (Auge, 2006).

El efecto producido por los distintos pesticidas en el organismo del hombre y de los animales es poco conocido. Sin embargo, la EPA (Environmental Protection Agency de EUA) considera que la mayoría son potencialmente cancerígenos o generadores de alteraciones en el sistema nervioso, hepático o renal.

**Metales pesados:** Forman un grupo de compuestos poco solubles y altamente tóxicos, en bajas concentraciones. Los más comunes son Cd, Mn, Pb, Cu, Cr, Ni y Zn y derivan de contaminación, principalmente de la producida por la industria. Más raro es que tengan origen natural, generalmente relacionado con yacimientos metalíferos. En

general no se presentan como iones libres sino formando complejos aniónicos asociados a compuestos orgánicos, de baja movilidad, aunque esta depende de su grado de oxidación (Auge, 2006).

**Hidrocarburos:** son compuestos orgánicos que suelen ser menos densos que el agua por lo que es frecuente que se volatilicen y en general son inmiscibles en agua, por lo que pueden presentarse formando una fase líquida no acuosa. En términos generales se pueden clasificar en parafínicos, nafténicos, aromáticos volátiles y aromáticos polinucleares, ordenamiento en el que se acrecienta su solubilidad (Auge, 2006).

### 3.1.3. Tratamiento de efluentes

Como una de las principales actividades que se llevan a cabo en el área de estudio es la planta frigorífica, cabe hacer una breve descripción del proceso de tratamiento de efluentes (Lobo Poblet, 2009):

3.3.1. Pre-tratamiento: consiste en el acondicionamiento previo de los líquidos en un espacio reducido y corto lapso de tiempo.

- Rejas: son dispositivos para separar sólidos gruesos tales como: restos de vísceras, recortes, restos de cuero, estopas, etc. Están constituidas por barras de fundición dispuestas paralelamente, también pueden ser barras colocadas en un ángulo de 60° con respecto a la horizontal que atraviesa todo el canal. La limpieza de estas se realiza con rastrillos que tienen entre dientes unas separaciones iguales a la de los barros. En plantas chicas como estas el material se acumula en la horizontal y deja escurrir el excedente de agua. El desecho va a un digestor.
- Tamices: son dispositivos en los que por la sola acción de la gravedad, se separan las sustancias más livianas de las pesadas. Es un método económico que puede separar del 50 al 55 % de la grasa total.
- Flotación por compresión: consiste en disolver aire en el líquido a tratar, a una cierta presión. Luego se lo libera a presión atmosférica y el aire deja de ser soluble. Entonces se producen burbujas que se adhieren a cada partícula de grasa, formando un conjunto de menor peso específico que el del líquido y lo envía hacia la superficie para que flote. Las proteínas en cambio son más pesadas y al adherírsele burbujas de aire resulta un conjunto de peso específico menor al del líquido por lo que ascienden, pero cuando llega a la superficie puede desligarse del aire adherido, volver a ser más pasada y descender nuevamente. Es sistema consiste en hacer pasar el líquido por una bomba hacia un tanque de 4m<sup>3</sup>, se inyecta aire a presión y se descarga contra un separador o sedimentador interponiendo la válvula de liberación. Con este método se obtiene una separación de entre un 55 al 85 % de las grasas.
- Sedimentación: utilizado para el estiércol, el cual se va depositando en el fondo del líquido por gravedad. Interesa separarlo porque son fibras celulósicas que evolucionan lentamente y son difíciles de degradar y a su vez es un material que se utiliza como mejorador de suelos, por su gran contenido de nitrógeno, amoníaco, proteínas, etc.

3.2.2. Tratamiento propiamente dicho:

- Tratamientos anaeróbicos: la primera unidad de tratamiento donde se reúne el efluente es un digestor anaeróbico, que es una unidad convencionalmente

cerrada. El proceso se desarrolla por bacterias estrictamente anaeróbicas y facultativas. Las primeras que actúan hacen solubles la materia orgánica para un principio de ataque. Luego la van descomponiendo para llegar a compuestos como alcoholes y ácidos orgánicos. La presencia de estos últimos originan una disminución del pH. Luego las bacterias de metano descomponen fácilmente los ácidos y alcoholes produciendo gases como metano, dióxido de carbono, etc. Al atacar a los ácidos y descomponerlos, el pH sube. A la salida del digestor el líquido se envía a un sedimentador y aquí el barro se separa por gravedad y se lo retorna a la entrada del digestor, y se lo recircula. El líquido sale por desborde, pero la eficiencia del sedimentador es pobre ya que algunas partículas de barro flotan, otras se sedimentan y otras quedan en posición indiferente, por lo que hay que agregarle un desgasificador, un extractor por vacío de gases para que el barro sedimente bien.

- Tratamientos aeróbicos: en las lagunas de estabilización la energía provista por el sol activa las algas que se forman allí espontáneamente, las cuales por acción clorofílica son capaces de tomar dióxido de carbono y se desarrollan y crecen. Si las algas producen oxígeno este satisface la demanda de las bacterias aeróbicas que lo toman y descomponen la materia orgánica. Estas lagunas denominadas de estabilización son el conjunto de lagunas aeróbicas, anaeróbicas y facultativas.
  - Lagunas aeróbicas: deben ser poco profundas para asegurar la penetración de la luz solar (que alcanza 25 a 30 cm.), por tanto necesitan grandes extensiones de tierras. Si se cubren de vegetación crecen mosquitos y otros insectos que se vuelven incontrolables. Además se debe pavimentar el fondo, lo cual es muy costoso.
  - Lagunas anaeróbicas: se las diseña de 1,80 a 3,50 metros de profundidad. Hay producción de gases y olores por lo que es necesario ubicarlas en lugares alejados de la población. Creando barreras de árboles según el viento, se pueden encerrar los olores. Se debe mantener la uniformidad de la temperatura porque si esta aumenta el proceso se acelera.
  - Lagunas facultativas: son de 1 metro de profundidad, donde los rayos solares penetran hasta los 30 centímetros constituyendo la parte aeróbica, por otro lado los sólidos decantan y forman una zona anaeróbica. En la zona intermedia se ubican las bacterias facultativas. Los vientos más tenues producen un rizado superficial y mezclan el agua, lo que lleva la aerobiosis a 60 centímetros. Si la laguna está bien diseñada no se perciben olores por el predominio de la aerobiosis, por lo que no hay que colocarle árboles.

### **3.1.4. Vulnerabilidad a la contaminación**

Existen numerosas definiciones correspondientes a la vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación, por ejemplo en Auge (2006) según Vrba y Zaporozec (1994) es la propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales; según Foster e Hirata (1991) la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, representa su sensibilidad para ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta; según Custodio (1995) la vulnerabilidad a la polución expresa la incapacidad del sistema a absorber las alteraciones, tanto naturales como artificiales; según Carbonell (1993) la vulnerabilidad a la contaminación, es la tendencia de los contaminantes a localizarse en el sistema de agua subterránea, luego de ser introducidos por encima del acuífero más somero; según EPA (1991) es la facilidad con que un contaminante aplicado en la superficie, puede

alcanzar al acuífero en función de las prácticas agrícolas empleadas, las características del plaguicida y la susceptibilidad hidrogeológica.

### **3.1.5. Riesgo a la contaminación**

El concepto de riesgo está íntimamente asociado a la vulnerabilidad y al igual que esta última, presenta varias definiciones. Por ejemplo, en Auge (2006) según Foster (1987) se define al riesgo como el peligro de deterioro de la calidad de un acuífero, por la existencia real o potencial de sustancias contaminantes en su entorno; Vrba y Zaporozec (1994) lo asimilan a la vulnerabilidad específica, que se refiere al peligro de contaminación del agua subterránea respecto a un contaminante o familia de contaminantes de características y comportamientos similares (nitratos, hidrocarburos livianos o pesados, plaguicidas, materia orgánica, fenoles, metales, etc.).

### **3.2. Actividades potencialmente contaminantes en el área de estudio**

En el área de estudio podemos encontrar distintas actividades que serán detalladas a continuación y que son consideradas como posibles fuentes de contaminación.

#### **Frigorífico General Acha S.A.**

El predio está localizado en la zona rural desde el año 1987, sobre la Ruta Nacional N° 152, Progresiva km. 31 y cuenta con una superficie total de 35 hectáreas. El proceso llevado a cabo por el Frigorífico General Acha S.A. consiste en la faena de animales bovinos que una vez procesados de acuerdo a normas sanitarias vigentes y según exigencias del mercado abastecido, se expenden para consumo interno con tránsito Federal para su distribución. El volumen previsto anualmente está en el orden de 53.020, con 106.040 medias reses y 10.965.722 kg., de acuerdo al mercado existente.

El proceso de producción consta de las siguientes etapas:

- a) Recepción de hacienda: la misma ingresa diariamente al establecimiento, previa recepción de la certificación correspondiente. Se distribuye en los corrales previstos para tal fin y se los deja reposar cumpliendo el período de descanso previo al sacrificio establecido por SENASA.
- b) Faena en zona sucia: desde los corrales ingresan los animales por la manga de acceso al cajón de noqueo, donde se insensibiliza al animal para luego sacrificarlo (degüello con cuchillo). Una vez muerto el vacuno, se lo eleva desde las patas traseras para comenzar el proceso de quitar el cuero.
- c) Faena en zona intermedia: se procede a sacar del cadáver todos los órganos internos (menudencias) y la cabeza, que una vez recepcionados en los recipientes destinados para tal fin, son trasladados a la sala de proceso correspondiente.
- d) Faena en zona limpia: aquí llega la res vacía y limpia para ser dividida mediante el uso de sierras en medias reses que pasan, previo lavado, a un sector de oreo previo a su ingreso a las cámaras de frío.
- e) Cámaras de frío: las medias reses se ingresan (colgadas y con roldanas sobre rieles aéreos) a las cámaras de frío donde permanecen hasta su carga posterior a camiones térmicos para ser transportadas fuera del establecimiento o bien hasta que son sacadas de ellas para retornar al proceso productivo de desposte.

- f) Desposte: según sean los cortes a enviar al mercado demandante, las medias reses enfriadas en cámaras ingresan a la sala de desposte donde se separan los cortes necesarios (mediante el uso de cuchillo) que una vez terminados son envasados según corresponda. Terminado este proceso los cortes vuelven a cámara hasta su traslado en camiones térmicos a los distintos centros de distribución.

Los residuos generados se pueden clasificar en:

- a) Residuos sólidos: dentro de los cuales encontramos:
- *Cueros*: se retiran en el momento de cada faena y se venden con un salado previo, que se realiza en un local preparado para tal fin, entregándose la producción semanalmente.
  - *Tripas*: las procesan terceros con personal propio y las llevan para la venta.
  - *Huesos*: los retiran terceros en el momento de cada faena.
  - *Grasas*: la retiran del frigorífico al finalizar cada faena.
- b) Residuos líquidos: dentro de los cuales encontramos:
- *Sangre*: toda la sangre producto del degüello se canaliza a través de conductos a un tanque colector, donde se extrae por bombeo para cargar el tanque del camión que la retira diariamente fuera del frigorífico para uso industrial.
  - *Agua de uso industrial*: se vierte a cámaras decantadoras, donde luego de un proceso de tamizado en distintas etapas, se clora y pasa a lagunas de oxidación a cielo abierto, las cuales están forestadas.
- c) Emisiones atmosféricas, vapores, olores, ruidos y trazas de contaminantes, no se producen.

### **Escuela Técnico-Agropecuaria**

En el año 1987 nace esta escuela a través del movimiento de productores e instituciones locales y a partir del año 1988, en la vivienda rural existente se comenzó con el desarrollo del ciclo lectivo.

Aquí además de las actividades académicas (área de Formación General y área de Formación Específica), existen UDP (Unidades Didáctico Productivas), que son espacios a cargo de técnicos destinados producciones (fundamentalmente demostrativas) para y con los alumnos. Dentro de estos últimos podemos nombrar: horticultura (bajo cubierta y a cielo abierto), ensayos de pasturas, experiencia con lumbricario, hidroponía, cultivos forrajeros, apicultura (incluye sala de extracción con aprobación transitoria de la DGAY G de la provincia), ganadería de cría, tambo con elaboración de quesos, industrialización de productos derivados de la producción vegetal, porcinos con elaboración de chacinados, arboricultura, cabaña de ovinos (raza pampinta), experiencias de pasantías en predios rurales de la zona, taller de artesanías con lana de los ovinos.

### **Ganaderos de General Acha S.A.**

Esta es una de las empresas proveedoras de consignatarios de hacienda de la ciudad de General Acha, cuya oficina se encuentra con domicilio en Victoriano Rodríguez 830 de la misma ciudad que desde Junio del año 1950 realiza actividades en la zona. El predio se encuentra sobre la Ruta Nacional N°152 donde se realizan los

remate-ferias del ganado en pie de la zona. En dicha área se realizan remates una vez por mes con un número de 3000 cabezas para años normales. Cabe destacar que aquí no existen animales de forma permanente sino que solo unos pocos días correspondientes a la fecha de actividad.

### **Chacra Experimental Bajo Riego por Goteo**

Esta actividad es llevada a cabo por la municipal de General Acha a partir del mes de Julio del año 2007, donde en un primer momento de utilizaron distintos frutales y luego se le anexó una huerta.

### **Barraca**

Establecimiento destinado al acopio de cueros bovinos, equinos, ovinos y caprinos. Antes de iniciarse el proceso de curtido, en este lugar se curan las pieles en bruto salándolas o secándolas. Los métodos de curado más frecuentes implican el uso de sal en alguna de las dos formas que se describen a continuación:

- Salazón húmeda: las pieles se salan abundantemente y se apilan unas sobre otras y se las deja descansar unos 30 días para que la sal penetre bien en la piel.
- Curado con salmuera: es un método mucho más rápido, se realiza por agitación, en el cual las pieles se colocan en grandes cubas que contienen un desinfectante y una disolución de sal próxima a la saturación.

### **Pozos Ciegos**

En la gran mayoría de la zona de estudio, se siguen utilizando este tipo de pozos, los cuales consisten en pozos cubiertos por paredes perforadas que reciben la descarga de las aguas residuales y los desechos orgánicos. Mientras que la parte líquida se infiltra en el terreno, la sólida queda retenida hasta que se descompone.

## CAPITULO IV: METODOLOGÍA

### 4.1. Tareas de Gabinete

- a) Se consultó y analizó la bibliografía básica (climatología, geomorfología, edafología, geología, hidrogeología, uso de la tierra, vegetación, etc.).
- b) Se elaboró un mapa base preliminar y se diseñó la red de muestreo.

### 4.2. Tareas de Campo

- a) Se realizó el reconocimiento general del área de estudio, identificando las perforaciones disponibles para su análisis.
- b) De acuerdo a la información obtenida en la primera etapa, se seleccionaron una perforación por manzana en la zona urbana y en la zona peri-urbana se analizaron la totalidad de las perforaciones a las cuales se tuvo acceso. Se realizaron tres campañas de recolección de muestras, realizadas en Agosto de 2010. En la primera campaña se determinó in situ conductividad, pH y temperatura siguiendo las recomendaciones de Coletto y Maestro (1988).
- c) La conductividad in situ se determinó por conductimetría directa, con un conductímetro modelo 3-Start de marca Orion. El pH in situ se determinó por potenciometría directa empleando un pHmetro modelo CT II de marca Altronics. La temperatura in situ se determinó por termometría directa utilizando el medidor de conductividad y temperatura modelo 3-Start de marca Orion. En las próximas campañas estos parámetros no se determinaron por no contar con los elementos necesarios.
- d) Se realizó la extracción de muestras de agua en 29 perforaciones domiciliarias, dentro de las cuales encontramos un jagüel, bombas manuales y bombas eléctricas. Las muestras fueron recogidas directamente de las perforaciones en funcionamiento, luego de varios minutos de bombeo y previo lavado del recipiente con agua de la misma perforación. Además de tomaron muestras de dos cuerpos de agua superficiales, las cuales fueron recogidas directamente, previo lavado del recipiente con el agua del mismo. 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.
- e) Se identificaron las fuentes potenciales de contaminación según la clasificación realizada por Auge (2006).

Para realizar el muestreo se dividió el área de estudio en dos zonas de acuerdo a la densidad de viviendas por manzana:

**Zona Urbana:** Se considero a ésta como el área comprendida por manzanas con una densidad de aproximadamente 10 viviendas por manzana. Aquí se utilizaron 14 perforaciones domiciliarias (Figura 16). Como la mayoría de las perforaciones se tratan de bombas con boca de pozo sellada, se tomo la profundidad comunicada por el propietario.

**Zona Periurbana:** Se considero a ésta como el área comprendida por manzanas con una densidad de aproximadamente 2 viviendas por manzanas o inferior y a la zona rural aledaña a la ciudad. Aquí se utilizaron 15 perforaciones preexistentes de quintas (Figura 16), de las que se tomo a profundidad comunicada por el propietario.

Además, en esta zona, se tomaron muestras de dos cuerpos de agua superficiales, uno correspondiente a la última pileta de tratamiento del Frigorífico General Acha S.A. y otra a una acumulación de agua a pocos metros de esta última en una zona baja correspondiente al lugar que en un momento ocupó la Laguna “La Peluda”. Ambos cuerpos de agua pueden citarse como humedales, ya que poseen funciones, valores y atributos.

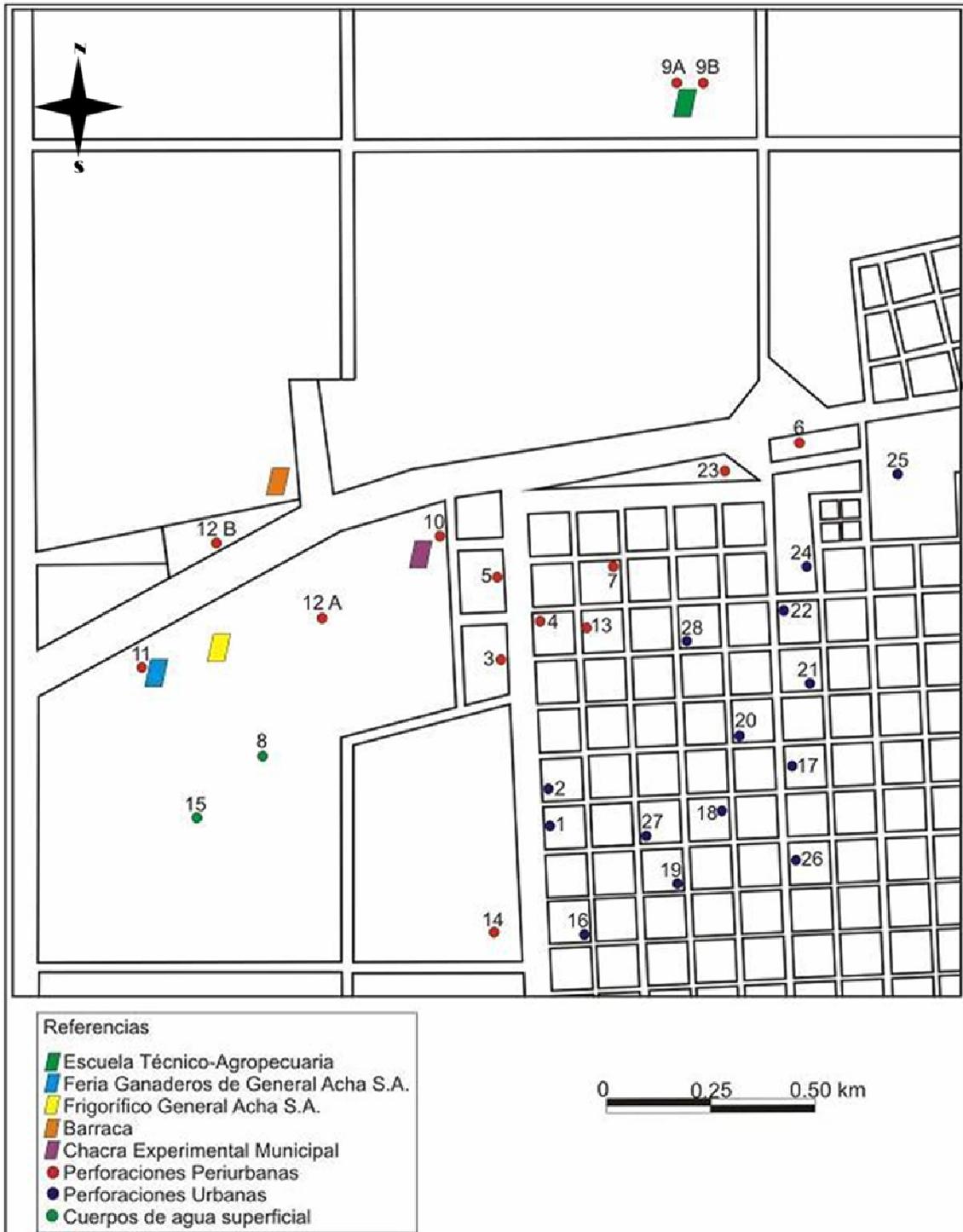


Figura 16. Ubicación de los puntos de muestreo

### ***4.3. Etapa de Laboratorio***

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

Las muestras se dejaron reposar dentro de las botellas de polietileno hasta lograr que precipiten las partículas finas y así obtener un 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 lista para su análisis.

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

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

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

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

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

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

Cabe señalar que la determinación de nitritos solo se llevó a cabo para aquellas muestras que presentaron valores elevados de nitratos, considerando como límite mínimo el establecido por la legislación vigente como concentración máxima permitida en agua de bebida.

### ***4.4. Etapa de Gabinete Final***

#### **4.4.1. Elaboración y tratamiento de los datos.**

En esta etapa del trabajo se utilizaron los programas MICROSOFT EXCEL XP para el tratamiento estadístico y para la gráfica de los datos hidroquímicos. Se calcularon parámetros estadísticos básicos (media, mínimos y máximos) de los 13 pozos en explotación correspondientes a la batería de Cooperativa de Servicios Públicos de General Acha y de las perforaciones analizadas. Con el fin de apreciar los principales rasgos hidroquímicos y de dichos pozos se confeccionó un diagrama de Piper. Para la

preparación de gráficos y figuras se utilizaron los programas COREL DRAW 13, MICROSOFT PAINT. XP y el programa Aquachem (Calmbash, 1997).

#### 4.4.2. Vulnerabilidad a la contaminación

De acuerdo a los subsistemas hidrogeológicos se dividió el área de estudio en dos zonas, por un lado el Cordón Medanoso Central, que comprende la zona norte del área hasta cercanías de la Ruta Nacional N° 152 y por otro lado la Depresión (Valle) que se desarrolla desde el límite anteriormente nombrado hacia el sur del área. También se tuvo en cuenta el área intermedia entre estas dos zonas. Teniendo en cuenta esta división, se realizó la determinación de la vulnerabilidad a la contaminación según las siguientes metodologías citadas por Auge (2006):

**DRASTIC:** este método fue desarrollado por Aller *et al.* en el año 1987 para EPA, con el objeto de evaluar la vulnerabilidad intrínseca. Es un método muy difundido y se basa en la asignación de índices que van de 1 a 10, de acuerdo a las características y el comportamiento de las variables consideradas en el acrónimo DASTRIC:

D: depth o profundidad del agua freática.

R: recharge o recarga neta.

A: aquifer o litología del acuífero.

S: soil o tipo de suelo.

T: topography o topografía.

I: impact o litología de la sección sub-saturada.

C: hydraulic conductivity o conductividad hidráulica del acuífero.

El índice 1 indica la mínima vulnerabilidad y el 10 la máxima. Además de lo expresado, a cada variable se le asigna un peso o ponderación, de acuerdo a la influencia respecto a la vulnerabilidad. Para el peso ponderado se emplean índices entre 1 y 5. Ambos índices se multiplican y luego se suman los 7 resultados, para obtener un valor final o índice de vulnerabilidad, cuyos extremos son 23 (mínimo) y 230 (máxima), aunque en la práctica el índice dominante varía entre 50 y 200.

Los valores de los parámetros de esta metodología se tomaron de Schulz (2005) y dado que no todos estaban discriminados por las áreas previamente mencionadas, se procedió a la estimación de los mismos a partir de los existentes. Por otra parte, el dato de la conductividad hidráulica se tomó de Custodio (1983).

Para la zona correspondiente al Cordón Medanoso Central se tomó una profundidad promedio del acuífero de 8 metros, una recarga neta de 51,66 mm, el tipo de acuífero corresponde a las areniscas, por su parte el tipo de suelo es arenoso y el valor del impacto en la zona vadosa se condice con éste, la topografía es suave y la conductividad hidráulica tomada es de 20m/día correspondiente a las arenas.

Para la zona correspondiente a la Depresión (Valles) se tomó una profundidad promedio de 5 metros, una recarga neta de 7,58 mm, el tipo de acuífero corresponde a las areniscas, por su parte el suelo es del tipo limo-arenoso y el valor del impacto de la zona vadosa se condice con éste, la topografía es suave y la conductividad hidráulica tomada es de 2m/día.

Para la Zona Intermedia, se tomó una profundidad intermedia entre las de las zonas anteriormente nombradas, lo que arrojó un valor de 6,5 m, la recarga considerada fue de 51,66 mm, el tipo de acuífero corresponde a las areniscas, por su parte el suelo es del tipo arenoso con presencia de arcilla y limo y el valor del impacto de la zona vadosa

se condice con éste, la topografía es más fuerte que la de las zonas anteriormente nombradas y la conductividad hidráulica tomada es de 20 m/día.

**GOD:** fue propuesto por Foster en el año 1987 y se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a 3 variables que son las que nominan el acrónimo:

G: ground water occurrence o tipo de acuífero.

O: overall aquifer class o litología de la cobertura.

D: depth o profundidad del agua o del acuífero.

Los tres índices se multiplican entre sí y resultan en uno final que puede variar entre 1 (vulnerabilidad máxima) y 0 (mínima).

Los valores correspondientes a los distintos parámetros se tomaron de Schulz (2005). Tanto para la zona del Cordón Medanosos Central como para la zona de la Depresión y la correspondiente a la zona Intermedia, el acuífero es no confinado y el sustrato litológico corresponde a las arenas eólicas. En cuanto a la distancia al agua, se tomo un valor promedio de 8 metros para el Cordón Medanosos Central, 5 metros para la Depresión y 6,5 m para la zona Intermedia.

#### **4.4.3. 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).

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

Siendo:

t = tiempo de tránsito del contaminante en la zona no saturada.

H = espesor no saturado.

mh = porosidad.

R = recarga en el lugar.

El cálculo se llevó a cabo para la zona correspondiente a la depresión, por lo cual el espesor no saturado considerado es de 5 metros, valor medio tomado de Schulz (2005). La porosidad utilizada es de 39% correspondiente al limo arenoso según Custodio (1983). En cuanto a la recarga en el lugar, se estimó a partir de datos existentes en Schulz (2005) para una zona cercana y el valor utilizado fue de 7,58 mm/año.

#### **4.4.4. 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).

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

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 para el acuífero desarrollado en el nivel limo-arenoso correspondiente al área de la depresión, que posee una permeabilidad de 2 m/día y una porosidad de 39% (Custodio, 1983). El gradiente hidráulico se estimó a partir del mapa piezométrico propuesto por Fernández y Mariño (2002), y se utilizó el valor de  $4 \times 10^{-3}$ .

#### **4.4.5. Determinación del Riesgo de Contaminación**

Para la determinación de éste en la zona de la Depresión, se utilizó el Método Catalán (Schulz, 1999) el cual tiene en cuenta:

- Permeabilidad, a la cual se le asigna valores del 1 al 30 correspondiendo el primero a las arcillas y el segundo a las arenas medias a gravas.
- Espesor en metros de la capa acuífera, al cual se le asigna valores de 1 a 10, correspondiendo el primero a espesores mayores a 10 metros y el segundo a aquellos menores a 1 metro.
- Absorción sobre la capa acuífera, a la cual se le asigna valores de 1 a 30, correspondiendo el primero a las arcillas y el segundo a las gravas.
- Gradiente de la capa acuífera, al cual se le asigna valores de 1 a 6, correspondiendo el primero a 0,5 m/m y el segundo a  $5,0 \times 10^{-3}$  m/m.
- Distancia horizontal, a la cual se le asignan valores de 1 a 3, correspondiendo el primero a una distancia de 2000 metros y el segundo a una de 200 metros.

Los datos utilizados corresponden a Schulz (2005). La permeabilidad y la absorción sobre la capa acuífera corresponden a la del limo-arenoso, el espesor en metros de la capa acuífera considerado es el valor promedio para la zona (5 metros). Las distancias consideradas fueron de 600, 900, 1200 y 1500 metros. Para el caso del gradiente de la capa acuífera se estimó un valor de  $4 \times 10^{-3}$  a través del mapa piezométrico propuesto por Fernández y Mariño (2002).

## CAPITULO V: RESULTADOS

Teniendo en cuenta la clasificación de las formas de contaminación propuestas por Augue (2006), en el área de estudio se pudieron identificar posibles procesos artificiales de contaminación directa. A continuación se detallan las distintas fuentes de contaminación potencial ubicadas en el área de estudio.

- a) Frigorífico General Acha S.A.
- b) Escuela Técnico-Agropecuaria.
- c) Actividad rural (ganado vacuno).
- d) Feria.
- e) Pozos ciegos.

### 5.1. Zona Urbana

Con el fin de conocer la calidad del agua en la zona saturada, se tomaron muestras de 14 perforaciones domiciliarias y se analizaron las concentraciones de nitratos y cloruros principalmente. Los resultados de los correspondientes análisis se presentan en la Tabla 5.

Muestra	Prof. Aprox. (m)	Nitratos (mg/l)	Nitritos (mg/l)	Cloruros (mg/l)	C.E. (µs/cm)	pH
1	-	12	-	105	2,01	8,59
2	-	7	-	98	1973	8,65
16	5	49	0,011	302,8	4,33	8,49
17	6	14	-	147,3	3,32	8,54
18	6	26	-	16,1	368	8,45
19	6	30	-	128,9	3,27	8,77
20	22	15	-	140,8	3,79	8,56
21	-	33	-	89	2,26	8,53
22	15	13	-	49,5	1433	8,21
24	-	17	-	23,4	608	8,25
25	-	16	-	20,3	612	8,53
26	6	8	-	10,6	170,5	7,77
27	-	21	-	233,11	3,41	8,54
28	8	8	-	204	2,03	8,28
<b>Promedio</b>	<b>9,25</b>	<b>19,21</b>	-	<b>112,06</b>	<b>370,64</b>	<b>8,44</b>
<b>Mínimo</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	-	<b>10,6</b>	<b>2,01</b>	<b>7,77</b>
<b>Máximo</b>	<b>22</b>	<b>49</b>	-	<b>302,8</b>	<b>1973</b>	<b>8,77</b>

Tabla 5. Concentraciones de nitratos, nitritos y cloruros. Conductividad y pH en la Zona Urbana de General Acha, correspondiente a Agosto de 2010.

(Valores en color rojo: exceden los valores máximos permitidos por la legislación vigente)

Con respecto a las concentraciones de nitratos, del total de las muestras tomadas, solo una supera el valor máximo permitido por la legislación vigente (45 mg/l), presentándose una concentración de 49 mg/l (muestra n° 16). El valor mínimo encontrado es de 7 mg/l (muestra n° 2) y la media de las concentraciones es de 19.21 mg/l. Aproximadamente el 92.85% de las muestras es apta para el consumo humano. Es

de destacar que en las muestras 19 y 21 si bien las concentraciones están por debajo del límite máximo permitido por la legislación vigente, se denota una incipiente contaminación que es necesaria controlar.

Con respecto a las concentraciones de cloruros, el 100% de las muestras presenta valores por debajo del valor máximo permitido por la legislación vigente (350 mg/l), donde el valor máximo se presenta en la muestra n° 16 (302,80 mg/l) y el mínimo en la n° 26 (10,60 mg/l). Merece destacar que los valores máximos de cloruros y nitratos pertenecen a la misma muestra que se encuentra ubicada al centro-sur de la zona en estudio.

La conductividad eléctrica varía de 2,01 a 1973  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . El valor más elevado se presenta en la muestra n° 2 y el más bajo en la muestra n° 1, cabe señalar que la distancia entre ambas muestras no supera los 100 metros.

Con respecto a los valores correspondientes a pH, el 57,14% de las muestras superan el límite máximo establecidos por la legislación vigente (entre 6,5 y 8,5). Los valores obtenidos varían entre 7,77 y 8,77, registrándose los valores mas altos en las muestras n° 19 (8,77) y n° 2 (8,65) y los mas bajos en las muestras n° 26 (7,77) y n° 22 (8,21).

## 5.2. Zona Peri-Urbana

Se tomaron y analizaron muestras de 14 perforaciones. Los resultados correspondientes se presentan en la Tabla 6.

Muestra	Prof. Aprox. (m)	Nitratos (mg/l)	Nitritos (mg/l)	Cloruros (mg/l)	C.E. ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	pH
3 "A"	18	3	-	68	1073	8,56
3 "B"	4	8	-	141,5	1950	8,15
4	-	26	-	14	496	8,56
5	4	9	-	21,3	440	8,07
6	8	8	-	17	442	8,25
7	3	16	-	20,7	532	8,09
9 "A"	53	7	-	11	287	8,06
9 "B"	53	17	-	14	407	8,14
10	48	8	-	15,7	387	8,31
11	-	26	-	12,5	416	8,22
12 "A"	54	8	-	51,2	816	8,3
12 "B"	60	7	-	19,8	400	8,34
13	18	10	-	22,6	493	8,1
14	4	17	-	215,7	2,6	8,67
23	-	23	-	11,2	387	8,29
<b>Promedio</b>	<b>27,25</b>	<b>12,86</b>	-	<b>43,75</b>	<b>569</b>	<b>8,274</b>
<b>Mínimo</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	-	<b>11</b>	<b>2,6</b>	<b>8,06</b>
<b>Máximo</b>	<b>60</b>	<b>26</b>	-	<b>215,7</b>	<b>1950</b>	<b>8,67</b>

Tabla 6. Concentraciones de nitratos, nitritos y cloruros. Conductividad y pH en la Zona Peri-Urbana de General Acha, correspondiente a Agosto de 2010.  
(Valores en color rojo: exceden los valores máximos permitidos por la legislación vigente)

Según la legislación vigente, el 100 % de las muestras es apta para el consumo humano, encontrando como valor medio una concentración de 12,87 mg/l con una máxima de 26 mg/l (muestra n° 4 y muestra n° 11) y una mínima de 3 mg/l (muestra n° 3 “A”).

Cabe señalar el caso de las dos perforaciones correspondientes a la Escuela Técnico-Agropecuaria que se encuentran ubicadas en la zona medanosa, en línea recta con una separación de menos de 100 metros y con igual profundidad. La primera de ellas fue realizada en el año 1989, no tiene la influencia de ningún tipo de actividad que pueda llegar a contaminarla y presenta una concentración del ión nitrato de 7 mg/l. Por otra parte, la segunda perforación fue realizada en el año 2006, en una zona rodeada por un gallinero y corrales con animales (porcinos, ovinos, bovinos y equinos). En este caso, la concentración de nitratos aumentó con respecto a la primera en 10 unidades y luego a 17 mg/l.

Las concentraciones de cloruros en el 100% de las muestras arrojaron valores por debajo del nivel máximo permitido por la legislación vigente, encontrándose en la muestra n° 9 “A” el valor mínimo (11 mg/l) y el máximo en la muestra n° 14 (215,70 mg/l).

Con respecto a la conductividad, ésta varía entre 2,60 y 1950  $\mu\text{s/cm}$ , encontrándose en la muestra n° 14 el valor mínimo y en la n° 3 “B” el valor máximo.

En cuanto a los valores correspondientes a pH, el 20% de las muestras superan el límite máximo establecidos por la legislación vigente. Los valores obtenidos varían entre 8,06 y 8,67, registrándose los mas altos en las muestras n° 14 (8,67), n° 3”A” y 4 (8,56) y los mas bajos en las muestras n° 9 “A” (8,06) y n° 7 (8,09).

En la Tabla 7 se presentan los resultados correspondientes a las muestras de agua de los dos humedales. Como resultado del reconocimiento del área donde se encuentran ambos humedales, se pudo observar que existe un problema de filtración en la segunda pileta de tratamiento, el cuál esta generando la acumulación de material líquido en la zona aledaña a ésta.

Muestra	Nitratos (mg/l)	Nitritos (mg/l)	Cloruros (mg/l)	C.E. ( $\mu\text{s/cm}$ )	pH
8	105	0,079	297,40	2,01	7,98
15	123	0,108	351,70	2,47	7,69
<b>Promedio</b>	<b>114</b>	<b>0,09</b>	<b>324,55</b>	<b>2,24</b>	<b>7,835</b>

**Tabla 7. Concentraciones de nitratos, nitritos y cloruros. Conductividad y pH de los cuerpos de agua superficiales en la Zona Peri-Urbana de General Acha, correspondiente a Agosto de 2010.**

Con respecto a estas muestras, ambas dieron valores muy elevados, en el caso de la segunda pileta de tratamiento del Frigorífico General Acha S.A. la concentración del ión nitrato fue de 105 mg/l. En el caso del agua acumulada a pocos metros de esta última, la concentración fue más elevada y llegó hasta los 123 mg/l. Si bien esta agua no va a ser consumida para bebida, los valores igualmente son muy elevados en ambos casos y merecen importancia y seguimiento.

Además, en la muestra n° 15, tanto los valores de la concentración de nitritos (0,108 mg/l) como la de cloruros (351,70 mg/l) son elevadas.

El valor promedio del pH es de 7,83.

Teniendo en cuenta que en Argentina se utiliza en general un valor máximo de nitrato recomendable de 45 mg/l y tolerable de 90 mg/l (Minghinelli, 1995), se elaboró el mapa presentado en la Figura 17, donde se pueden apreciar la ubicación de todas las

perforaciones muestreadas con la categorización de las mismas según las concentraciones de nitrato.

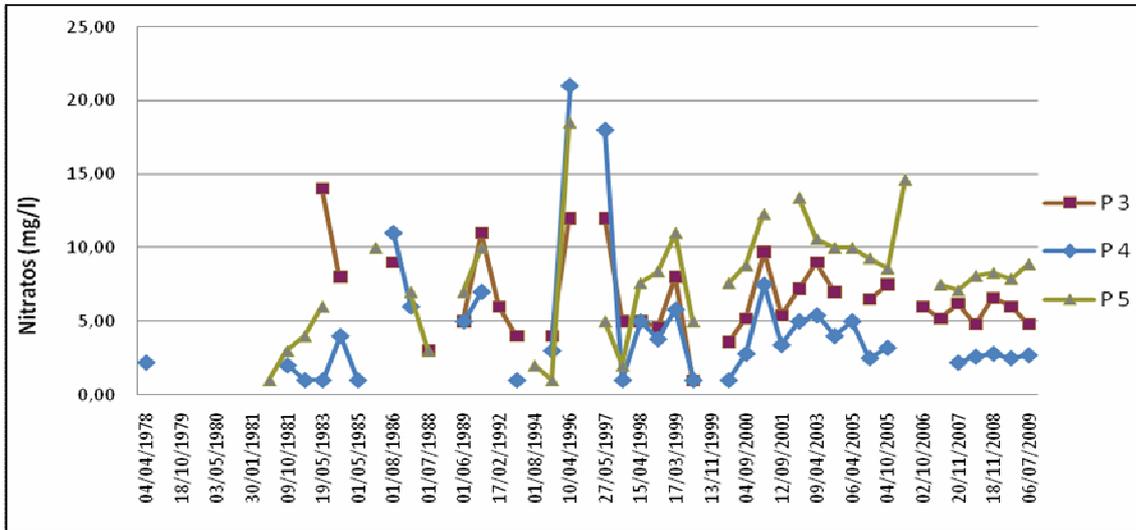


**Figura 17. Categorización de las perforaciones muestreadas según las concentraciones de nitratos**

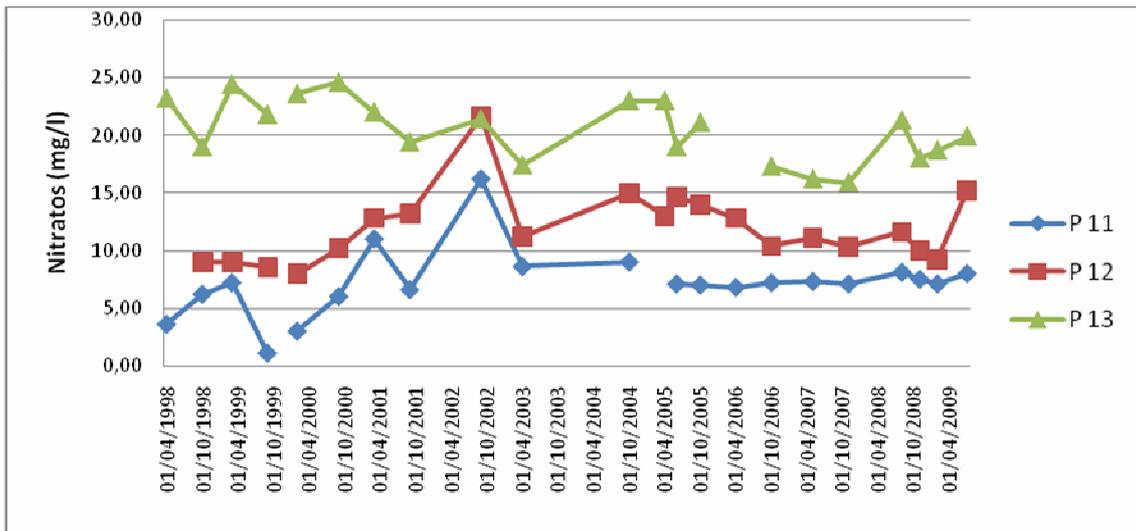
Del total de las 19 perforaciones correspondientes al suministro de agua potable a la localidad, solo se tuvieron en cuenta seis de ellas (Pozo 3, Pozo 4, Pozo 5, Pozo 11, Pozo 12 y Pozo 13) por ser los únicos que se encontraban en la zona de estudio. Los resultados históricos de los análisis provistos por A.P.A. de estas perforaciones, corresponden al período 1978-2009 y se presentan en las Tablas 1, 2 y 3 del Anexo II. A continuación en las Figuras 18 y 19 se muestra la evolución histórica de las concentraciones de nitratos (Tabla 1 del Anexo III). Del análisis de estos se puede apreciar que el valor máximo corresponde a una concentración de 24.6 mg/l (Pozo 13) y el mínimo de 1 mg/l (Pozos 3 y 5). Además, hay que destacar que la perforación n° 13

presenta los valores más elevados, que si bien se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos por la legislación vigente, demuestra una contaminación incipiente.

Con algunas oscilaciones, las concentraciones se mantuvieron constantes.

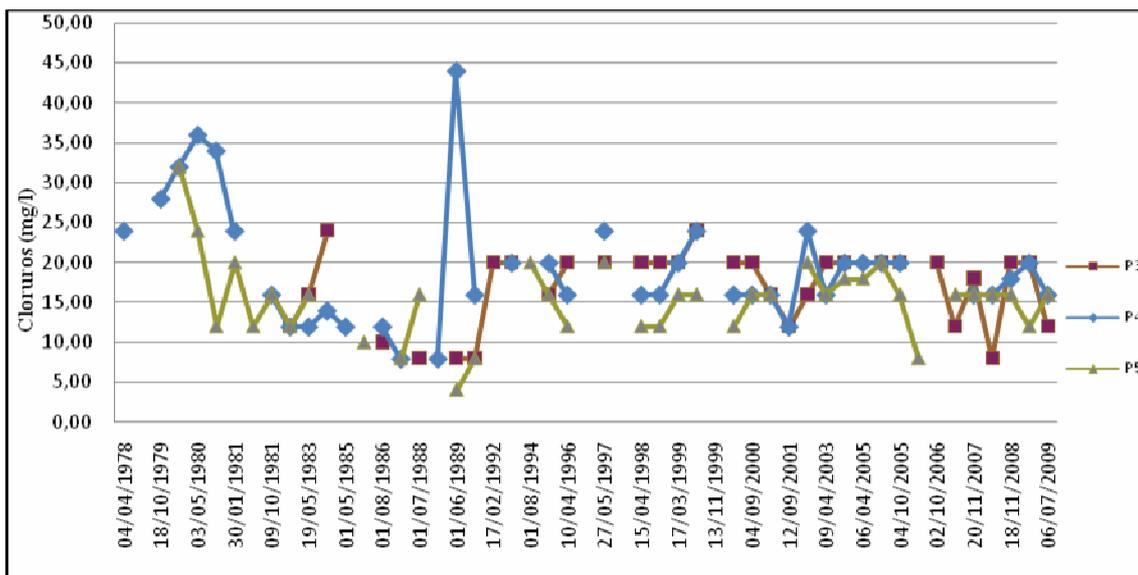


**Figura 18. Evolución histórica de las concentraciones de nitratos en los pozos de explotación (3, 4 y 5) de General Acha (1978-2009)**

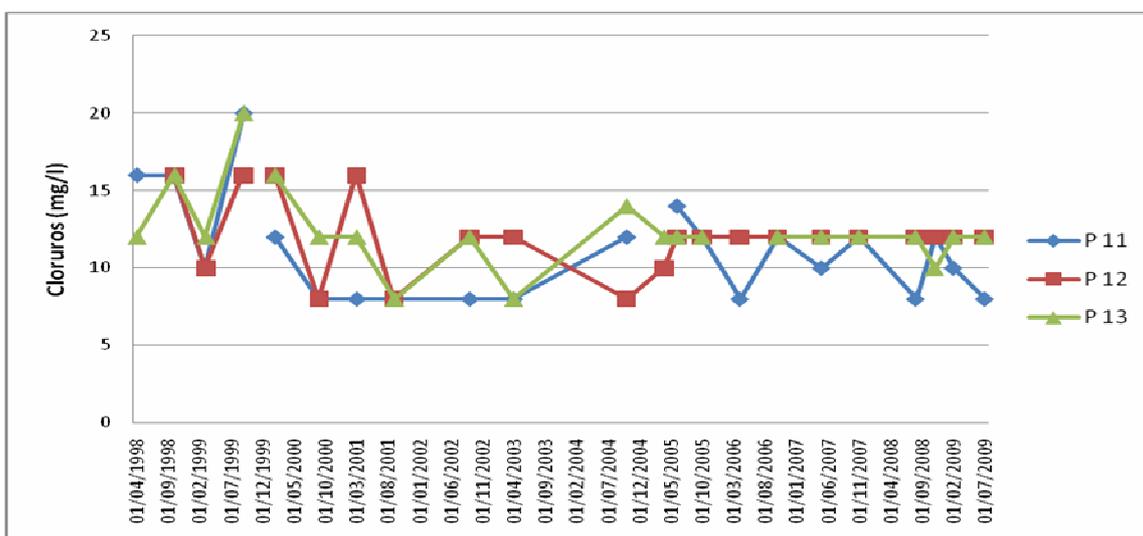


**Figura 19. Evolución histórica de las concentraciones de nitratos en los pozos de explotación (11, 12 y 13) de General Acha (1978-2009)**

Con respecto a la evolución del ión cloruro (Tabla 2, Anexo III) representada en las Figuras 20 y 21, se puede apreciar que los valores máximos se encuentran en los pozos 3 y 4 pero en términos generales las concentraciones en los seis pozos son similares, y aunque con algunas fluctuaciones, se mantienen constantes.



**Figura 20. Evolución histórica de las concentraciones del ión cloruro en los pozos de explotación (3, 4 y 5) de General Acha (1978-2009)**



**Figura 21. Evolución histórica de las concentraciones del ión cloruro en los pozos de explotación (11, 12 y 13) de General Acha (1978-2009)**

Con respecto a la salinidad, expresada como residuo seco, en las Figuras 22 y 23 se puede observar que los valores se mantienen constantes con una tendencia en los últimos años a disminuir (Tabla 3 Anexo III).

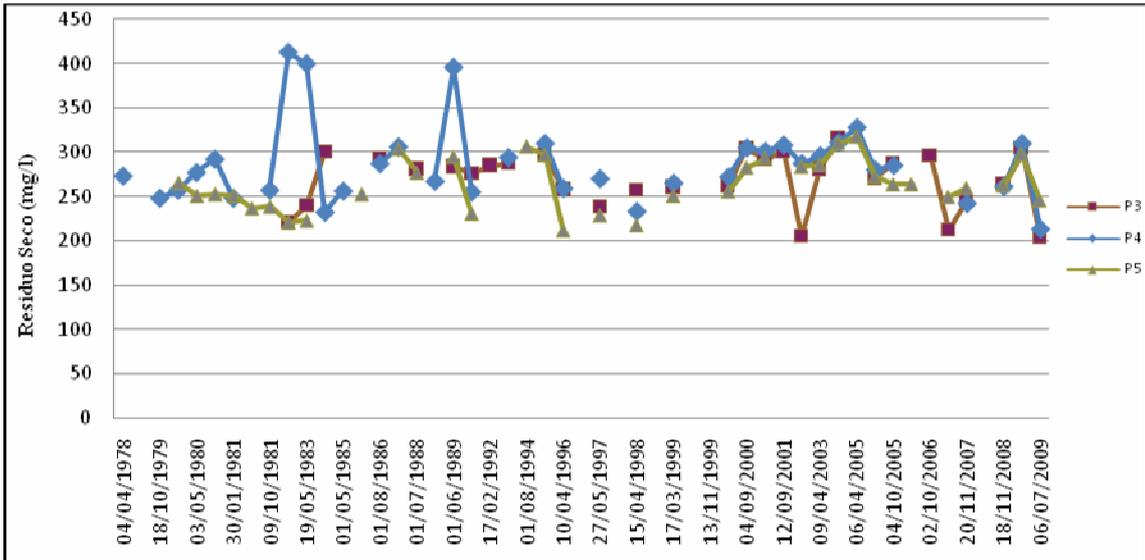


Figura 22. Evolución histórica del residuo seco en los pozos de explotación (3, 4 y 5) de General Acha (1978-2009)

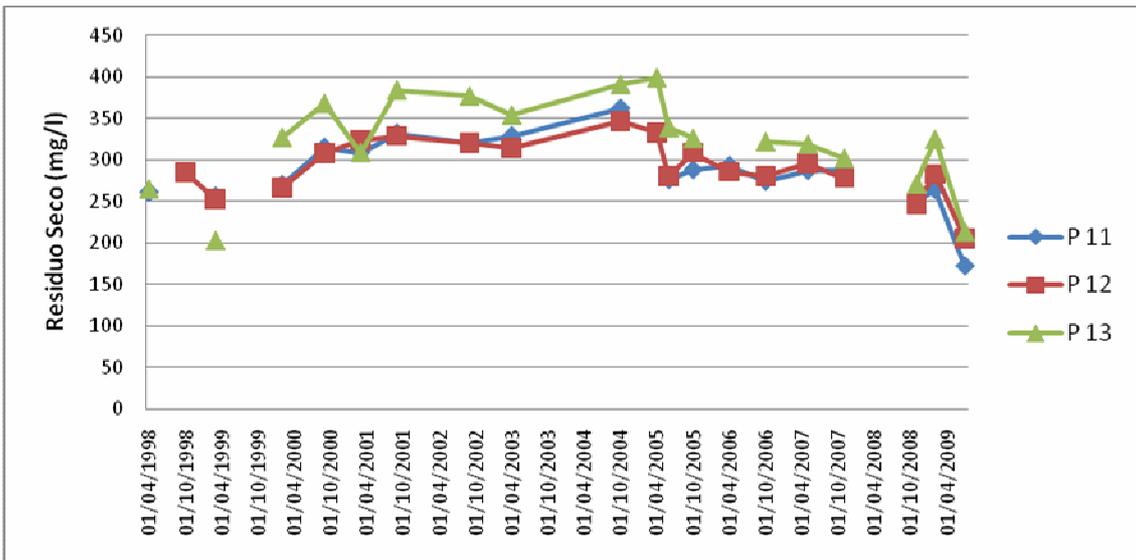


Figura 23. Evolución histórica del residuo seco en los pozos de explotación (11, 12 y 13) de General Acha (1978-2009)

### 5.3. Vulnerabilidad a la contaminación:

#### 5.3.1. DRASTIC

A continuación, en la Tabla 8 se presentan los valores de los parámetros.

Parámetros	Peso	Puntaje		
		Cordón Medanoso Central	Zona Int.	Depresión
Profundidad del acuífero	5	7	7	9
Recarga Neta	4	3	3	1
Tipo de acuífero	3	6	6	6
Tipo de suelo	2	9	6	4
Topografía (pendiente)	1	10	5	10
Impacto de la ZNS	5	8	6	6
Conductividad hidráulica del acuífero	3	4	4	1
<b>Total</b>		<b>154</b>	<b>124</b>	<b>118</b>

Tabla 8. Valores de los parámetros y Vulnerabilidad

Como se puede observar en la tabla, el mayor valor de vulnerabilidad se presenta en la zona del Cordón Medanoso Central, correspondiéndole una Vulnerabilidad Alta. Por su parte, el valor correspondiente a la zona Intermedia presenta una Vulnerabilidad Media-Alta y la zona del Valle o Depresión posee una Vulnerabilidad Media, según la categorización propuesta por Holzman (2007). A continuación en la Figura 24 se puede observar la zonificación del área de estudio según el grado de vulnerabilidad.

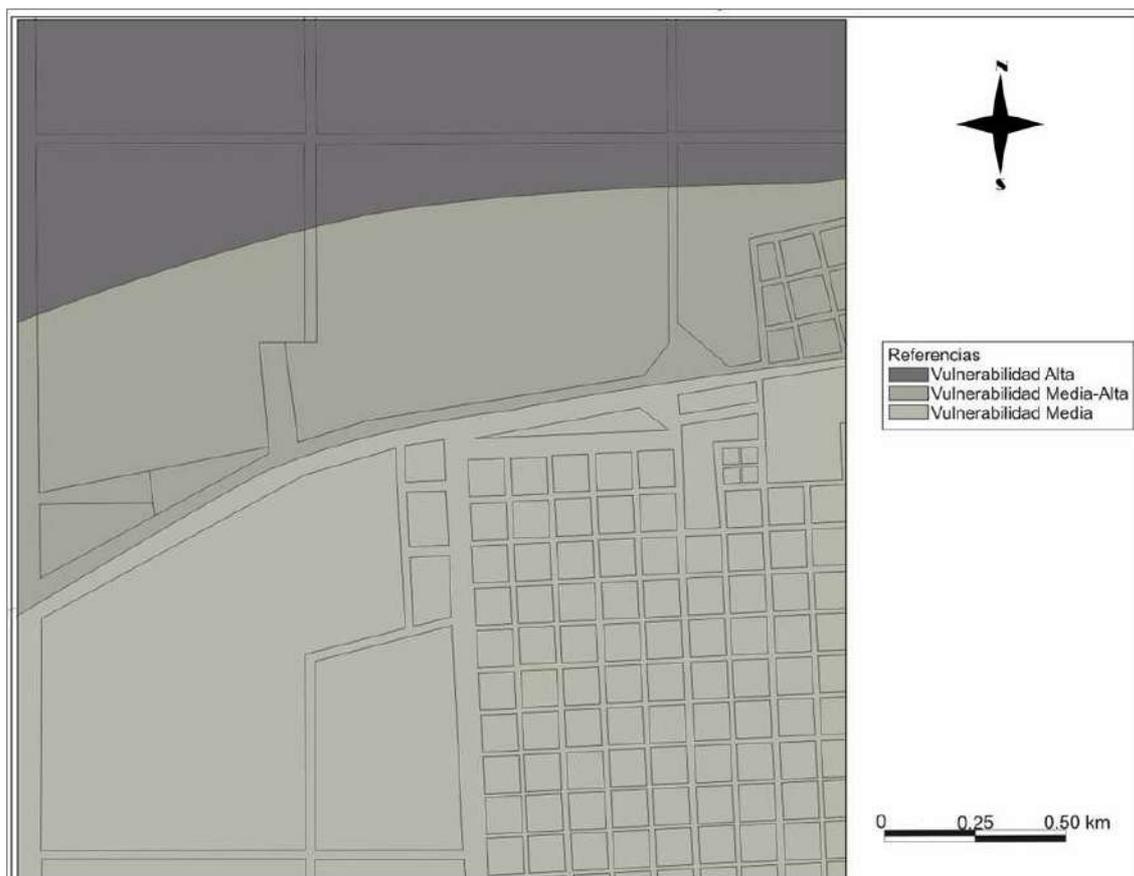


Figura 24. Zonificación del área según el grado de Vulnerabilidad DRASTIC

### 5.3.2. GOD

Para el cálculo propuesto por esta metodología, se tomaron datos de Schulz (2005) y a continuación en la Tabla 9 se muestran los resultados.

Parámetros	Puntaje		
	Cordón Medanoso Central	Zona Int.	Depresión
Ocurrencia del agua subterránea	1	1	1
Substrato litológico	0,6	0,6	0,6
Distancia al agua	0,8	0,8	0,9
<b>Total</b>	<b>0,48</b>	<b>0,48</b>	<b>0,54</b>

Tabla 9. Valores de los parámetros y Vulnerabilidad

Según los resultados de esta metodología, al Cordón Medanoso Central y a la zona intermedia les corresponde una Vulnerabilidad Moderada y a la Depresión una Vulnerabilidad Alta, según Foster e Hirata (1991). Este resultado no concuerda con el de la metodología anteriormente descrita y se debe a que se tienen en cuenta menos parámetros y el valor que está dando la diferencia es la distancia al agua, que es menor en la zona de la depresión y por lo tanto es más vulnerable.

A continuación en la Figura 25 se presenta la zonificación del área de estudio correspondiente a esta metodología.

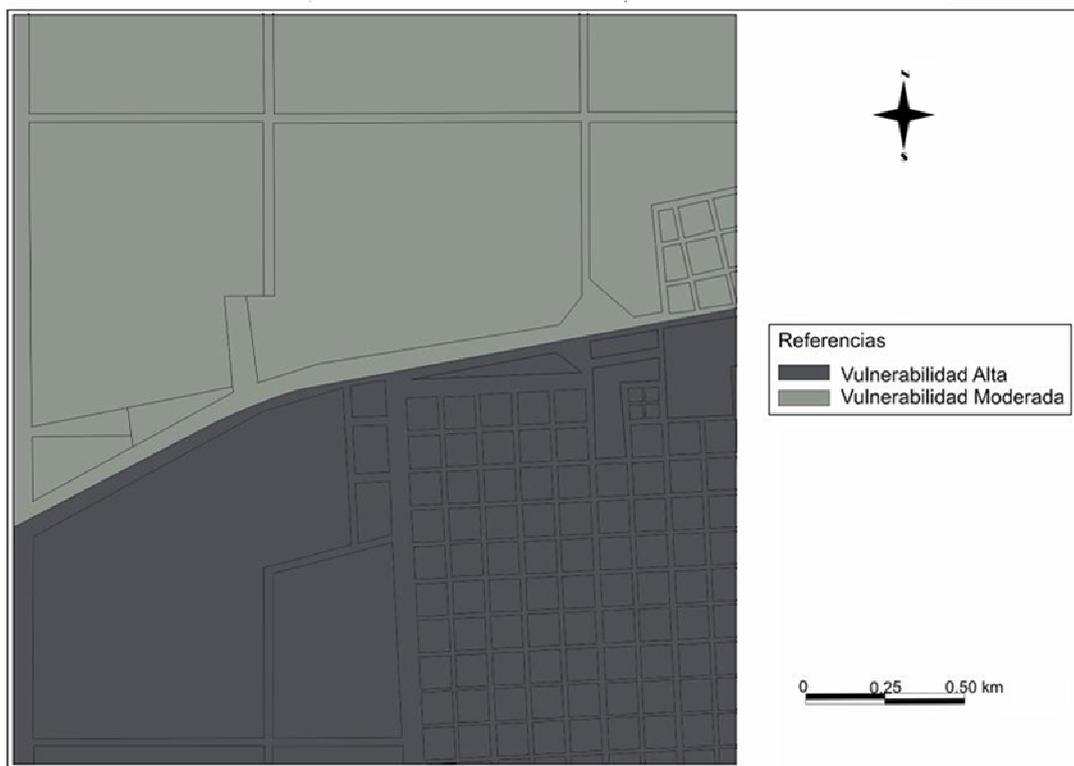


Figura 25. Zonificación del área de estudio según grado de Vulnerabilidad GOD

#### **5.4. Tiempo de tránsito del contaminante en la zona no saturada y saturada**

El cálculo del tránsito en la zona no saturada determinó un tiempo de 257 años debido a la porosidad del limo-arenoso y a la poca recarga que existe en la zona. Con respecto al tiempo de tránsito en la zona saturada, en la Tabla 10 se describen los resultados.

<b>Distancia (m)</b>	600	900	1200	1500
<b>Tiempo (años)</b>	80	120	160	200

**Tabla 10. Tiempo de tránsito en la zona saturada**

#### **5.5. Riesgo de Contaminación**

En la Tabla 11 se presentan los resultados.

	<b>600 m</b>	<b>900 m</b>	<b>1200 m</b>	<b>1500 m</b>
<b>Permeabilidad</b>	5	5	5	5
<b>Espesor en metros de la capa acuífera</b>	6	6	6	6
<b>Absorción sobre la capa acuífera</b>	8	8	8	8
<b>Gradiente de la capa acuífera</b>	1	1	1	1
<b>Distancia horizontal</b>	2,5	2,3	1,7	1,5
<b>Total</b>	<b>50,5</b>	<b>49,5</b>	<b>46,5</b>	<b>45,5</b>

**Tabla 11. Valores de los parámetros y Riesgo**

De acuerdo a los valores obtenidos, para una distancia de 600 metros es posible aunque no probable la contaminación del agua subterránea y para las distancias de 900, 1200 y 1500 metros es imposible, según Schulz (1999).

## CAPITULO VI: DISCUSIÓN

En la zona analizada se encontraron distintas fuentes potenciales de contaminación, entre las cuales se destacan la planta frigorífica, la actividad de la escuela Técnico Agropecuaria y los pozos negros de las viviendas.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa una gran carga contaminante en los efluentes líquidos del Frigorífico General Acha S.A. pero no se observa signos de contaminación significativa en el agua subterránea. Ello puede deberse a que el acuífero puede depurar los lixiviados infiltrados antes de que afecten los pozos de captación domiciliar de agua subterránea. La depuración natural puede ocurrir por diversos procesos denominados mecanismos de retardo tales como sorción (absorción-adsorción), exclusión iónica e intercambio iónico (Doménico y Schwartz, 1990; Samper, 1993; Appelo y Postma, 1993).

Exceptuando zonas muy permeables, los lixiviados siempre van a producir una aureola de contaminación, que puede tardar mucho en manifestarse y que en la mayoría de los casos son pocos importantes por la autodepuración natural debido una buena aireación del medio (Custodio, 1983). Teniendo en cuenta los tiempos de tránsito de los contaminantes calculados, el periodo relativamente corto de actividad del Frigorífico General Acha S.A. y sus comienzos en donde la cantidad y calidad de residuos difieren con las actuales, es de esperar que si hubo afección fue temporal y limitada a una pequeña área en torno al mismo.

Un aspecto a tener en cuenta es la imposibilidad que se tuvo en la determinación de metales pesados y otros parámetros como la demanda química y bioquímica de oxígeno (DQO y DBQO) así como también de la realización de análisis bacteriológicos, por lo que se recomienda en trabajos de estudios posteriores seguir con esta investigación.

Los desechos de las industrias de la carne son similares a las aguas residuales domésticas con relación a su composición y efectos sobre cuerpos de aguas receptores. Sin embargo, el contenido orgánico total de estos desechos son considerablemente mas altos que los de las aguas residuales domésticas. Por otra parte, el peligro de organismos patógenos en los desechos de los mataderos es leve comparado con las aguas residuales domésticas. En ausencia de una dilución adecuada, los principales efectos nocivos de los desechos de las plantas de procesamiento de carne son la reducción de oxígeno, depositación de fangos, manchas y condiciones perjudiciales generales (Nemerow, 1971).

En cuanto a la determinación de la Vulnerabilidad en el área de estudio si bien dentro de los objetivos del presente trabajo se encontraba la determinación de ésta a través de distintos métodos, cabe destacarse que si bien la metodología GOD es un método simplificado cuyas mayores ventajas son su sencilla operación y el escaso número requerido de parámetros, resulta en definiciones menos claras que DRASTIC. El primero, al tener en cuenta muy pocos parámetros homogeniza demasiado el área de estudio, por lo que es más conveniente la utilización del método DRASTIC.

## CAPITULO VII: CONCLUSIÓN

- Se han identificado tres principales fuentes de posible contaminación: la planta frigorífica, la Escuela Técnico-Agropecuaria y los pozos negros de las viviendas.
- Del total de las muestras analizadas, prácticamente el total de ellas presentan tenores bajos de nitratos y cloruros y son aptas para el consumo humano según la legislación vigente.
- Con respecto a las muestras de los humedales analizados, ambas presentaron tenores elevados de nitratos, nitritos y cloruros, constituyendo dos puntos con una alta carga contaminante.
- Por todo lo expuesto, cabe resaltar que, sin lugar a dudas, queda planteada la necesidad de encarar estudios más complejos ya que la propia limitación del número de muestras analizadas para el presente trabajo condicionan el que dichos resultados constituyan tan solo una primera aproximación al estado de la contaminación de las aguas subterráneas en la zona. Además, el carácter puntual de estas muestras refleja únicamente la situación en un entorno muy reducido. Por todo ello, el presente trabajo debe ser considerado como un punto de partida para posteriores estudios. De esta manera, ampliando el número de muestras y de parámetros analizados (análisis microbiológicos, DQO y DBO, principalmente en aquellos pozos destinados a consumo humano), podrían resolverse ciertas dudas sobre el origen de los diferentes contaminantes, extender el muestreo a otras zonas y estudiar además la propagación y evolución de las plumas de contaminación. Esto permitiría un mejor conocimiento del estado de la contaminación en el acuífero y un mayor acercamiento a la situación real en términos espaciales y cuantitativos.
- La Vulnerabilidad del acuífero es alta para la zona del Cordón Medanoso Central, media-alta para la Zona Intermedia y media para la zona de la Depresión según la metodología DASTIC y viceversa para la metodología GOD, esto se debe a que en esta última el parámetro que causa la diferencia es la profundidad del agua subterránea, que es menor en la depresión por lo que esto le confiere una mayor vulnerabilidad.
- Los tiempos de tránsito tanto en la zona en saturada como en la zona no saturada son elevados, principalmente por el material que constituye la zona analizada, en este caso el valle, y por la poca recarga que se produce en el lugar.
- El riego a la contaminación en la zona es posible aunque no probable en cercanías a los cuerpos de aguas superficiales contaminados e imposible en los más alejados.

### Sugerencias

- Controlar el tratamiento de los efluentes líquidos de la planta frigorífica situada en el área de estudio.
- Monitorear las perforaciones que presentaron valores elevados de nitratos con el objetivo de controlar la evolución de las concentraciones de nitratos.
- Ampliar la cobertura del sistema de saneamiento cloacal en el área urbana y peri-urbana a la localidad.
- Realizar tareas educativas y de difusión de la temática tratada hacia la comunidad, tendiendo a una gestión participativa del recurso hídrico subterráneo.

- Impulsar el tratamiento de la temática relacionada con el agua subterránea y su contaminación por parte del Municipio de la ciudad, por la importancia que el recurso hídrico se merece, especialmente en esta zona por ser la única fuente de agua para abastecer a la población.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

**APHA, AWWA, WPCF, 1992.** “Métodos Normalizados Para Análisis de Aguas Potables y Residuales”. Ed. Diaz de Santos. Madrid, España. 1715 pp.

**Appelo, C. A. J. y D. Postma, 1993.** “Geochemistry, Groundwater and Pollution.” Ed. Balkema, Rotterdam, 536 p.

**Auge, M. 2006.** “Agua subterránea, deterioro de calidad y reserva” Ebook: 173 pp.

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

**Bocanegra, E. y P. Benavidez, 2002.** “Agua y Salud para el Desarrollo Humano”. XXXII Congreso AIH y VI ALHDSUD, Mar del Plata (CD), Tópico 1:11-20.

**Bonorino A. G., R. Albouy, C. Lexow y J. Carrica, 1999.** “Nitratos en el acuífero de la zona periserrana de las Sierras Australes”. En: Tineo A. (Ed.). II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre temas actuales de hidrología subterránea. Serie de Correlación Geológica 13, Santa Fe. p 231-240.

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

**Calmes, A. P. y J. Tullio, 1980.** “Documentos para el estudio geológico de la provincia de La Pampa”. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Facultad de Ciencias Humanas. Santa Rosa. 185 p.

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

**Camilletti, C. y M. Dalmaso, 2005.** “Exploración estadística de las concentraciones de nitratos en Santa Rosa (L. P.) y zona de influencia. I Congreso Pampeano del Agua. Consejo Asesor en Recursos Hídricos. Santa Rosa, La Pampa. p 115-126.

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

**Castro, E. y J. Tullio, 1990.** “Acuífero Valle Argentino (Síntesis Preliminar)”, Administración Provincial del Agua. Informe Inédito 38 pp.

**Cavalié, C., 1985.** “Estudio Hidrogeológico Hoja General Acha”. Revista Pampa Geológica, Publicación especial, Santa Rosa. p 64-80.

**Ceccani Olave, H., E. Mariño y M. G. Dalmaso, 2007.** “Impactos de los efluentes domiciliarios sobre el agua subterránea en el área Santa Rosa-Toay, La Pampa, Argentina”. IX Congreso Latinoamericano de Hidrogeología Subterránea. Quito, Ecuador, (CD).

**Coletto, I. y M. T. Maestro, 1988.** Recogida y conservación de muestras (a) y Medición en campo de constituyentes inestables (b). En Guirgui, A., L.Candela y J. M. Pascual (Eds): “Aguas Subterráneas: Instrumentación, medida y toma de muestras”. Barcelona. (a):187-259 y (b): 107-145.

**Custodio, E y M. R. Llamas, 1983.** Hidrología subterránea. Editorial Omega SA., Barcelona .2ª Ed., Vol. I y II, 2359 pp.

**Dalmaso, M. G., 1998.** “Hidrogeología ambiental del sector nororiental de la ciudad de General Pico, provincia de La Pampa”. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa, Inédito, 82 pp.

**Dalmaso, M. G., D. Martínez y E. Mariño, 1999.** “Contaminación por efluentes de la Industria Frigorífica: el caso del acuífero arenoso de General Pico”. En: Tineo A. (Ed.). II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre temas actuales de hidrología subterránea. Serie de Correlación Geológica 13, Santa Fe. p 178-187.

**Dalmaso, M. G., E. Mariño y J. Malán, 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. Fortaleza, Brasil. (CD), N° 202 9 pp.

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

**Dalmaso, M. G., E. Mariño y J. Tullio, 2007.** “Análisis de la calidad del agua de pozos de provisión a la localidad de Catrilo, La Pampa, Argentina”. Díaz E. L., Tomás J. L., Santi M., D’Elia M. y Dalla Costa O. (Ed). V Congreso Argentino de Hidrogeología, III Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea, Paraná, Actas II: 81-90.

**Domenico, P. A. y F. W. Schwartz, 1990.** Physical and Chemical Hidrology. Jonh Willey & Sons Inc. (Eds), Singapore, 814 pp.

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

**Fernández, M. A. y E. Mariño, 2002.** “Evaluación de los contenidos de Nitratos en los alrededores de General Acha, La Pampa, Argentina”. XXXII Congreso AIH- VI Congreso ALHSUD “Aguas subterráneas y desarrollo humano”. Mar del Plata (CD) Tópico 2: 277-286.

**Foster, S. y R. Hirata, 1991.** Determinación del Riesgo de Contaminación de las Aguas Subterráneas. Una metodología basada en datos existentes. CEPIS-OMS. Lima. 81 pp.

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

**Holzman, M., 2007.** “Cálculo de la Vulnerabilidad a la Contaminación del Acuífero del Valle Argentino”. Segundo Congreso Pampeano del Agua. Consejo Asesor en Recursos Hídricos. General Pico, La Pampa. p 285-292.

**Holzman, M., 2008.** “Caracterización hidrogeológica-ambiental de la zona urbana y rural de la localidad de Macachín”. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa. Inédito. 59 pp.

**Holzman, M. E., M. G. Dalmaso y E. Mariño, 2009.** “Caracterización de la contaminación por nitratos en la zona urbana y rural de la localidad de Macachín, La Pampa, Argentina”. Boletín Geológico Minero, Sánchez Vila X., Bocanegra E. y Huerga A. (Eds). Madrid, España. Vol 119: 15-20.

**Instituto Nacional de Estadísticas y Censo.** “Censo 2001” <http://www.indec.gov.ar/>

**Iribarra, M. 2006.** “Caracterización geoambiental en el área de Quemú Quemú con énfasis en los recursos hídricos”. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa. Inédito.

**Linares E, Llambías EJ, y C. O. Latorre, 1980.** “Geología de la provincia de La Pampa, República Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas”. Revista de la Asociación Geológica Argentina, XXXV (1): 87-146.

**Lobo Poblet, M. S., 2009.** Informe aspectos ambientales, sociales y económicos. Industria Frigorífica. Unidad de Medio Ambiente- Secretaría de Industria, Comercio y PyME, Buenos Aires. 49 pp.

**Mariño, E., Schulz, C. J., Fernandez A., Castro E. y G. Dalmaso, 2002.** Hidroquímica subterránea del sector oriental del Valle Argentino. VIII Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales. COPROCNA. Santa Rosa, La Pampa. Actas: 139-141.

**Mariño, 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, Física y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. 142 pp.

**Martínez, D. E., Bocanegra, E., Massone. H. E., Fajardo, D., Del Rio. J.L. Y J. L. Cionchi, 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, Mendoza. Actas VI: 311-31.

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

**Nemerow, N. L., 1971.** Liquid Waste of Industry. Addison Wesley Pub. Co. Reading, Massachussetts, USA. 400 pp.

**Peluso, F., E. Usunoff y J. González Castelain, 2003 (a).** “Análisis del riesgo espacial a la salud por fluoruro y nitrato en el agua de bebida de la ciudad de Azul, Argentina”. Cuadernos del CURIHAM, 9: 133-138.

**Peluso, F., E. Usunoff y J. González Castelain, 2003 (b).** “El Análisis de riesgo a la salud como monitoreo de la calidad de los recursos hídricos usados con fines consuntivos”. Basile P., Mancinelli A., Povey N., Riccardi G. y Zimmermann (Eds) III Congreso de Hidrogeología y I Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Rosario, Tomo II: 415-421.

**Peroni, M. I., 2005.** “Estudio de la vulnerabilidad y calidad del agua del acuífero que abastece a la Localidad de Macachín, La Pampa”. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa. Inédito.

**Samper, F. J., 1993.** Transporte de Solutos: 1. Aspectos conceptuales. “La zona no saturada y la contaminación de las aguas subterráneas” Candela. L. y M. Varela (Eds). CIMNE. Barcelona p 63-82.

**Schulz, C. 1999.** Curso “Agua y Medio Ambiente”. Cooperativa de Obras, Servicios Públicos, Crédito y Provisión de Quemú Quemú Limitada. Quemú Quemú, La Pampa. 190 pp.

**Schulz, C. 2005.** “Estudio Hidrogeológico del área central del Valle Argentino, La Pampa. Elaboración de un modelo conceptual”. Tesis Doctoral en Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. 247 pp.

**Schulz, C.J, P. Dornes, L.S. Vives y G. Bonorino, 1998 (a).** Caracterización hidrogeológica del acuífero detrítico del Valle Argentino, La Pampa, Argentina, con énfasis en el estudio de la recarga. IV Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Montevideo, Uruguay. Vol. 3: 1457-1467.

**Schulz, C. J., Oleaga A., Dornes P. Y Pacheco F. 1998 (b).** “Evaluación y Gestión de los recursos hídricos subterráneos para abastecimiento de agua a la ciudad de General Acha, La Pampa, Argentina”. IV Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Vol. 1: 486-499.

**Schulz, C., E. Mariño, E. Castro, M. G. Dalmaso, A. Fernández y P. Dornes, 1999.** “Evaluación preliminar de la calidad del agua subterránea en un sector del valle argentino, provincia de La Pampa”. VII Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Santa Rosa COPROCNA. Actas: 289-296.

**Schulz, C., M.G. Dalmaso, y S. Stachiotti, 2001.** “Diagnóstico y optimización de la calidad de aguas en dependencias de la Cooperativa Popular de Electricidad, Obras y Servicios Públicos de Santa Rosa Ltda. y localidades interconectadas”. Convenio: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Cooperativa Popular de Electricidad, Obras y Servicios Públicos de Santa Rosa, 170 pp.

**Schulz, C y L. Vives, 2010.** “Simulación matemática del flujo de agua subterránea en un área ubicada al este de la ciudad de Gral. Acha (La Pampa)”. Instituto Hidrología de Llanuras, Informe realizado para la empresa FIASA. 2010. Azul. Inédito. 145 pp.

**Tullio, J.; 1987.** “Perfiles Hidrogeológicos del Valle Argentino”. Administración Provincial del Agua, Dibujos Inéditos, Santa Rosa, La Pampa. 7 pp.

## ANEXO I

### ETP – THORNTHWAITE

Mes	t' (°C)	i
Enero	22	9,42
Febrero	20	8,47
Marzo	18	7,09
Abril	14	4,68
Mayo	10	2,71
Junio	7	1,53
Julio	6	1,33
Agosto	8	2,13
Septiembre	11	3,13
Octubre	14	4,91
Noviembre	18	6,68
Diciembre	21	8,72

Siendo I= 60,8 y a= 1,56.

Mes	ETP sin ajustar	ETP ajustada
Enero	118,96	148,7
Febrero	106,55	112,9
Marzo	88,8	94,1
Abril	57,86	54,3
Mayo	32,94	28,9
Junio	18,22	14,5
Julio	15,83	13,6
Agosto	25,75	23,9
Septiembre	38,64	38,6
Octubre	60,75	69,2
Noviembre	83,46	98,4
Diciembre	109,81	139,4

Los datos presentados en el cuerpo de este trabajo son valores redondeados.

## **ETR- TURC**

<b>Mes</b>	<b>P (mm)</b>	<b>t (°C)</b>	<b>L</b>	<b>ETR</b>
<b>Enero</b>	103,5	22	1382,4	108,76
<b>Febrero</b>	74,2	20	1200	78,04
<b>Marzo</b>	87,5	18	1041,6	91,87
<b>Abril</b>	49	14	787,2	51,53
<b>Mayo</b>	28,9	10	600	30,42
<b>Junio</b>	13,6	7	492,1	14,32
<b>Julio</b>	18,6	6	460,8	19,58
<b>Agosto</b>	21,1	8	525,6	22,15
<b>Septiembre</b>	32,6	11	641,5	34,31
<b>Octubre</b>	58	14	787,2	60,95
<b>Noviembre</b>	73,2	18	1041,6	76,94
<b>Diciembre</b>	76,7	21	1288	80,69

Los datos presentados en el cuerpo de este trabajo son valores redondeados.

## ANEXO II



**Fotografía 1.** Imagen satelital del Frigorífico General Acha S.A. Se pueden observar en la parte inferior de la imagen las piletas de tratamiento de los efluentes y parte de la zona ocupada en ese momento por la laguna “La Peluda”.



**Fotografía 2.** Fin de la canalización de aguas de uso industrial. En el momento de la toma de la fotografía se estaba realizando la limpieza de los pisos.



**Fotografía 3.** Rejas. Dispositivo para separar sólidos gruesos, donde estos se acumulan y se deja escurrir el resto del agua.



**Fotografía 4.** Pileta de decantación.



**Fotografía 5.** Tamiz, donde se separan los restos de pasto.



**Fotografía 6.** Segunda pileta de decantación por donde pasan los efluentes luego de haber pasado por el tamiz.



**Fotografía 7.** Primera pileta de oxidación a cielo abierto.



**Fotografía 8.** Segunda pileta de oxidación a cielo abierto.



**Fotografía 9.** Idem anterior.



**Fotografía 10.** Se observa la segunda pileta de oxidación en primer plano y en segundo plano se puede observar la acumulación de líquido en el bajo producto de la filtración de esta pileta.



**Fotografía 11.** Se puede observar la filtración de la segunda pileta de oxidación.



**Fotografía 12.** Se observa como el líquido filtrado escurre hacia una zona mas baja.



**Fotografía 13.** Acumulación de líquido filtrado, con presencia de vegetación hidrofítica.



**Fotografía 14.** Indem anterior. Se puede observar espuma blanca en la superficie y gran parte del suelo hidromorfo, lo que evidencia que en otro momento la superficie cubierta por este líquido fue mayor.



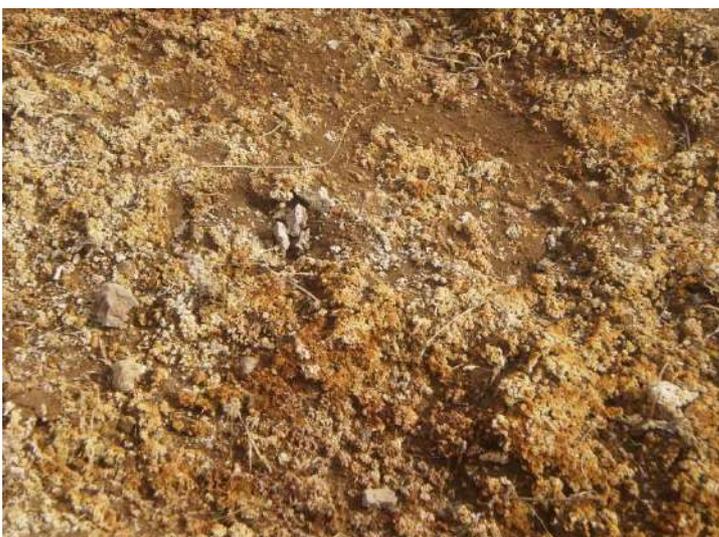
**Fotografía 15.** Esqueleto y partes de animales vacunos en cercanías a la planta frigorífica.



**Fotografía 16.** Idem anterior.



**Fotografía 17.** Parte del canal derivador a cielo abierto de la laguna “La Peluda”, la cual se encuentra seca desde varios años. A pesar de esto, se puede observar suelo hidromorfo y con presencia de salinización.



**Fotografía 18.** Idem anterior en detalle.



**Fotografía 19.** Imagen satelital de la Escuela Técnico-Agropecuaria.



**Fotografía 20.** Segunda perforación de la Escuela Técnico Agropecuaria. En el fondo se puede observar un corral con caballos.



**Fotografía 21.** Corrales con porcinos en cercanías de la segunda perforación anteriormente nombrada.



**Fotografía 22.** Corral con ovinos ubicado a la izquierda de la perforación anteriormente nombrada.



**Fotografía 23.** Toma de muestra correspondiente a un jagüel.



**Fotografía 24.** Medición de conductividad eléctrica y pH.



**Fotografía 25.** Toma de muestra correspondiente a una bomba manual.



**Fotografía 26.** Toma de muestra correspondiente a una bomba eléctrica.

### ANEXO III

	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 5	Pozo 11	Pozo 12	Pozo 13
04/04/1978		2,2				
18/10/1979						
03/04/1980						
03/05/1980						
05/09/1980						
30/01/1981						
21/04/1981			1			
09/10/1981		2	3			
03/03/1982		1	4			
19/05/1983	14	1	6			
01/04/1984	8	4				
01/05/1985		1				
01/06/1986			10			
01/08/1986	9	11				
01/05/1987		6	7			
01/07/1988	3		3			
21/04/1989						
01/06/1989	5	5	7			
01/09/1990	11	7	10			
17/02/1992	6					
01/05/1994	4	1				
01/08/1994			2			
12/12/1995	4	3	1			
10/04/1996	12	21	18,5			
22/04/1996						
27/05/1997	12	18	5			
20/10/1997	5	1	2			
15/04/1998	5	5	7,6	3,6		23,2
02/10/1998	4,6	3,8	8,4	6,2	9	19
17/03/1999	8	5,8	11	7,2	9	24,4
21/09/1999	1	1	5	1,1	8,6	21,8
28/02/2000	3,6	1	7,6	3	8	23,6
04/09/2000	5,2	2,8	8,8	6	10,2	24,6
06/03/2001	9,7	7,5	12,3	11	12,8	22
12/09/2001	5,4	3,4		6,6	13,2	19,4
26/09/2002	7,2	5	13,4	16,2	21,6	21,4
09/04/2003	9	5,4	10,6	8,6	11,2	17,4
15/10/2004	7	4	10	9	15	23
06/04/2005		5	10		13	23
14/06/2005	6,5	2,5	9,3	7,1	14,6	19
04/10/2005	7,5	3,2	8,6	7	14	21,1
18/04/2006			14,6	6,8	12,8	
02/10/2006	6			7,2	10,4	17,3
07/05/2007	5,2		7,5	7,3	11,1	16,2
20/11/2007	6,2	2,2	7,1	7,1	10,3	15,9
27/08/2008	4,8	2,6	8,1	8,1	11,6	21,3
18/11/2008	6,6	2,8	8,3	7,5	10	18
24/02/2009	6	2,5	7,9	7,1	9,2	18,7
06/07/2009	4,8	2,7	8,9	8	15,2	19,9

**Tabla 1. Evolución histórica de las concentraciones del ión Nitrato en los pozos de abastecimiento a General Acha, correspondientes al área de estudio (1978/2009)**

	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 5	Pozo 11	Pozo 12	Pozo 13
04/04/1978		24				
05/02/1979						
18/10/1979		28				
03/04/1980		32	32			
03/05/1980		36	24			
05/09/1980		34	12			
30/01/1981		24	20			
21/04/1981			12			
09/10/1981		16	16			
03/03/1982	12,00	12	12			
19/05/1983	16,00	12	16			
01/04/1984	24,00	14				
01/05/1985		12				
01/06/1986			10			
01/08/1986	10,00	12				
01/05/1987		8	8			
01/07/1988	8,00		16			
21/04/1989		8				
01/06/1989	8,00	44	4			
01/09/1990	8,00	16	8			
17/02/1992	20,00					
01/05/1994	20,00	20				
01/08/1994			20			
12/12/1995	16,00	20	16			
10/04/1996	20,00	16	12			
22/04/1996						
27/05/1997	20,00	24	20			
20/10/1997						
15/04/1998	20,00	16	12	16		12
02/10/1998	20,00	16	12	16	16	16
17/03/1999	20,00	20	16	10	10	12
21/09/1999	24,00	24	16	20	16	20
13/11/1999						
28/02/2000	20,00	16	12	12	16	16
04/09/2000	20,00	16	16	8	8	12
06/03/2001	16,00	16	16	8	16	12
12/09/2001	12,00	12		8	8	8
26/09/2002	16,00	24	20	8	12	12
09/04/2003	20,00	16	16	8	12	8
15/10/2004	20,00	20	18	12	8	14
06/04/2005		20	18		10	12
14/06/2005	20,00	20	20	14	12	12
04/10/2005	20,00	20	16	12	12	12
18/04/2006			8	8	12	
02/10/2006	20,00			12	12	12
07/05/2007	12,00		16	10	12	12
20/11/2007	18,00	16	16	12	12	12
27/08/2008	8,00	16	16	8	12	12
18/11/2008	20,00	18	16	12	12	10
24/02/2009	20,00	20	12	10	12	12
06/07/2009	12,00	16	16	8	12	12

Tabla 2. Evolución histórica de las concentraciones del ión Cloruro en los pozos de abastecimiento a General Acha, correspondientes al área de estudio (1978/2009)

	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 5	Pozo 11	Pozo 12	Pozo 13
04/04/1978		273				
05/02/1979						
18/10/1979		248				
03/04/1980		257	266			
03/05/1980		277	251			
05/09/1980		292	253			
30/01/1981		248	251			
21/04/1981			237			
09/10/1981		257	239			
03/03/1982	221	413	221			
19/05/1983	240	400	223			
01/04/1984	300	232				
01/05/1985		256				
01/06/1986			253			
01/08/1986	293	287				
01/05/1987		306	304			
01/07/1988	281		277			
21/04/1989		267				
01/06/1989	284	396	295			
01/09/1990	276	255	231			
17/02/1992	285					
01/05/1994	287	294				
01/08/1994			307			
12/12/1995	297	310	297			
10/04/1996	258	259	212			
22/04/1996						
27/05/1997	238	270	229			
20/10/1997						
15/04/1998	257	233	218	261		265
02/10/1998					285	
17/03/1999	261	265	251	256	253	203
21/09/1999						
13/11/1999						
28/02/2000	262	272	256	270	267	327
04/09/2000	305	305	283	315	308	368
06/03/2001	292	301	294	309	324	309
12/09/2001	301	308		332	329	384
26/09/2002	205	287	284	321	321	377
09/04/2003	281	296	286	329	314	354
15/10/2004	316	311	311	362	347	391
06/04/2005		328	318		333	399
14/06/2005	271	280	273	276	281	339
04/10/2005	287	285	264	288	309	326
18/04/2006			264	293	286	
02/10/2006	296			274	281	322
07/05/2007	212		250	287	296	319
20/11/2007	246	242	260	289	278	302
27/08/2008						
18/11/2008	264	261	263	250	247	271
24/02/2009	305	310	298	264	283	325
06/07/2009	204	213	246	172	205	213

Tabla 3. Evolución histórica de las concentraciones del Residuo Seco en los pozos de abastecimiento a General Acha, correspondientes al área de estudio (1978/2009)