

CASTRO, EDUARDO CARL
Estudio hidrogeologi



2013 72685

72685

MFN:
Clasif:
T.837

72685

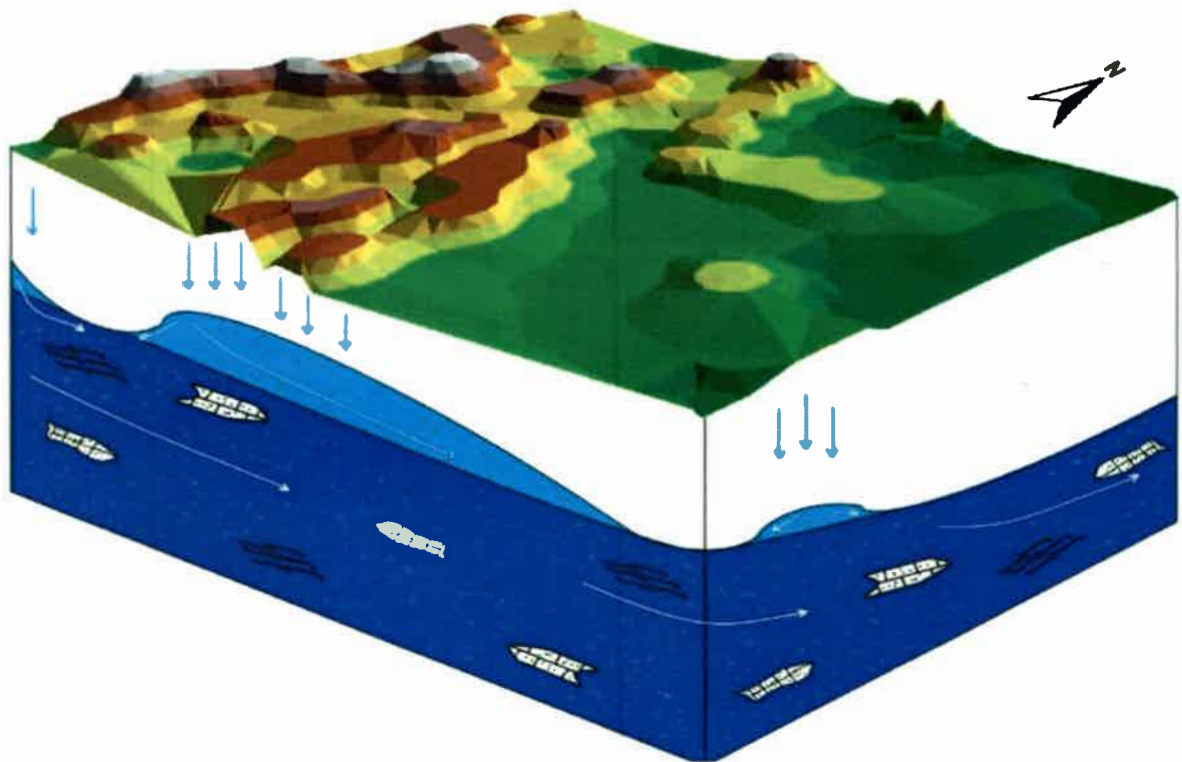


Universidad Nacional de Río Cuarto

Secretaría de Postgrado y Cooperación Internacional

**Título: ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO QUE PROVEE
DE AGUA POTABLE A INTENDENTE ALVEAR,
DEPARTAMENTO CHAPALEUFÚ – PROVINCIA DE LA PAMPA**

**Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales
Departamento de Geología**



Tesista: MSc Eduardo Carlos CASTRO

2013

Universidad Nacional de Río Cuarto
Secretaría de Postgrado y Cooperación Internacional
Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales
Departamento de Geología


Título: **“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUIFERO QUE PROVEE DE AGUA POTABLE A INTENDENTE ALVEAR – LA PAMPA”.**


Grado a Obtener: **DOCTOR EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

Doctorando: MSc **Eduardo Carlos Castro**

Director: Dr. Carlos Juan **SCHULZ** . Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de La Pampa

.....
Codirector: Dra. Susana **DEGIOVANNI** . Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Río Cuarto


Dr Alfredo **TINEO**
Jurado
UNT-FCN


Dra. Ofelia **TUJSCHNEIDER**
Jurado
UNL-FICH


Dra. Mónica **BLARASIN**
Jurado
UNRC-FCEF-QyN

Fecha: 30/08/2013.-

PREFACIO

Esta tesis es propuesta como parte de los requisitos para optar al título de Doctor en Ciencias Geológicas que otorga la Universidad Nacional de Río Cuarto y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta u otra Universidad del país o extranjero.

La misma contiene los resultados y conclusiones de las tareas de investigación realizadas por el autor en su paso por la Administración Provincial del Agua desde 1976 hasta el año 2008 y la Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional de La Pampa. Ha sido elaborada en el período que va de Abril del 2009 a marzo del 2012, bajo la dirección del Dr. Carlos Juan **Schulz**, Profesor Titular de las Cátedras Hidrología Ambiental e Hidrogeología-Hidrología Subterránea de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de La Pampa y Codirigida por la Doctora Susana **Degiovanni**, Profesora de las Cátedras de Geomorfología, Geomorfología de Llanuras y Geología General de la Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales –Departamento de Geología- de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

AGRADECIMIENTOS

A las autoridades ejecutivas y Consejo de Administración de la Cooperativa de Electricidad y Otros Servicios Públicos de Intendente Alvear que han proporcionado los análisis químicos y afrontado los costos de su realización. Los datos geomorfológicos, hidrolitológicos, hidrogeológicos e hidráulicos del área de estudio han sido determinados en su totalidad por el autor y provistos por la Administración Provincial del Agua, propietaria de la información.

Agradezco a mi esposa e hijos por el acompañamiento e incentivo permanente, al colega Jorge Tullio por su siempre generosa opinión, a la Co-Directora de la presente tesis Dra. Susana Degiovanni, por su paciencia y sus valiosas sugerencias, tiempo dedicado y opiniones, al Ing Químico Osvaldo G. Baumann por sus revisiones químicas, a los Señores Jurados por sus correcciones y observaciones y un especial agradecimiento a mi amigo y Director, Dr. Carlos J. Schulz. Todos ellos han contribuido a enriquecer el presente trabajo. Paras ellos, mi infinito agradecimiento!!!!

A mi padre y al fresco y entrañable recuerdo de mi madre.

RESUMEN

Esta Tesis de Doctorado propone, en primer lugar, una metodología sistemática de estudio en un medio geológico-geomorfológico que ha recibido hasta la actualidad muy poca atención y que se ve reflejada en la escasa información de detalle que existe de la región. Por lo tanto supone un aporte importante y novedoso, no sólo al conocimiento de la hidrogeología de la zona de Intendente Alvear, Departamento Chapaleufú de la Provincia de La Pampa, sino a los cuerpos arenosos superficiales a los que subyacen niveles loésicos menos permeables en cuyas litologías existe un predominio de limos, arenas finas y medianas y arcillas que conforman el único sistema acuífero-acuitardo explotable en un radio de varias decenas de kilómetros y en algunos casos como el que se trata, con agua dulce permisible para consumo humano.

Las diversas metodologías empleadas para la determinación de variables, tales como las hidrometeorológicas, procesamiento de datos hidroquímicos e hidráulicos generados durante el estudio y consecuentemente la determinación de parámetros hidrogeológicos, así como también diversos métodos para el cálculo de recarga y su vinculación con la hidrodinámica e hidrolitología, han permitido arribar a importantes resultados.

Se verá entonces en el desarrollo que se han planteado dos tipos de objetivos. El primero de ellos está relacionado con la determinación de las características hidrogeológicas generales de la región. El segundo se vincula a la caracterización hidrogeoquímica de un área de detalle. Los primeros han brindado resultados que han contribuido al conocimiento hidrolitológico de la región, han permitido determinar la hidrodinámica e hidráulica integral del área estudiada y consecuentemente plantear la elaboración de un modelo conceptual de funcionamiento que sirve de base a los trabajos de investigación hidroquímica. Estos, que han constituido el segundo objetivo de la tesis, han determinado una caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas, analizando su evolución temporal, determinando las reacciones hidroquímicas principales, estudiando las variaciones en la relación fase líquida/sólida, e indagado sobre los principales factores de control y elaborando un modelo conceptual de la dinámica hidrogeoquímica en la zona acuífera estudiada.

Además, el trabajo también plantea la geología regional de detalle y la cartografía correspondiente en el área donde no existen afloramientos rocosos en decenas de varios kilómetros circundantes. La interpretación hidrogeológica e hidráulica se ha realizado a partir de los ensayos de bombeo completos determinando parámetros como T, S y K, datos piezométricos (isopiezas), evolución temporal de hidrogramas de variaciones de niveles freáticos, logrando importantes resultados de flujos a escala local y regional. Finalmente, se presenta una alternativa de utilización de los recursos hídricos mediante un capítulo de planificación y gestión del recurso cuyos resultados representan de una invaluable importancia para el organismo concesionario.

ABSTRACT

This Doctorate Thesis proposes, in the first place, a systematic methodology of study in a geological area that has, at least in the province of La Pampa, received little attention. Thus, it implies an original and important contribution, not only to improve the knowledge about the hydrogeology of the area of Intendente Alvear, Department of Chapaleufú, province of La Pampa, but also to the study of sand bodies and of the loessic levels underlying them, which are slightly permeable and the lithologies of which present mostly silt, medium and fine types of sand and clay. These elements constitute the only exploitable aquifer – aquitard system over a range of ten kilometers and in some cases, like the one introduced here, with fresh water fit for human consumption.

As it may be observed along the development of the thesis, there are two kinds of objectives. The first ones are related to the description of the general hydrogeological characteristics of the region. The second ones are related to the hydrogeochemical characterization of a detail area. None of the above mentioned areas has been studied so far in the region. The development of the first set of objectives contributed to know the region's hydrolithology, established the comprehensive hydrodynamics and hydraulics of the studied area and allowed for the design of a work model that serves as the basis for hydrochemical research works. The second set of objectives offered a hydrogeochemical description of groundwater- analyzing its time evolution-, established the main hydrochemical reactions and studied the variations in the liquid / solid phase. It also investigated the main control factors and devised a conceptual model of this aquifer's hydrogeochemical dynamics.

On the other hand, this thesis presents a detailed regional geology and its corresponding cartography. Climate and soil information allowed for monthly and daily hydric balances, carried out by the application of different methodologies. Hydrogeological and hydraulic interpretation has been performed through complete pumping tests and by establishing all the hydraulic parameters, piezometric data (isopieces), time evolution of phreatic levels' variation hydrographs, recharge calculation through different methods and the analysis of the importance of flows at a local and regional scale. Finally, an alternative for the use of hydric resources is presented in the resource planning and management chapter, the results of which constitute a word of warning for the concessionary agencies.

INDICE GENERAL

CAPITULO 1

1.1.- INTRODUCCION

1.2.- UBICACIÓN Y ZONA DE ESTUDIO

1.3.- HIPOTESIS

a) Hidrogeológicas

b) Hidrogeoquímicas

1.4.- OBJETIVOS

a) Hidrogeológico regional

b) Hidrogeoquímico

1.5.- METODOLOGIA

1.5.1.- Recopilación, síntesis bibliográfica y elaboración de cartografía preliminar

1.5.2.- Operaciones de campo

1.5.3.- Isótopos ambientales

1.5.4. – Tratamiento de la información obtenida

1.5.4.1.- Geología – Geomorfología

1.5.4.2.- Climatología

1.5.4.2.1.- Precipitaciones

1.5.4.2.2.- Evapotranspiración

1.5.4.3.- Suelo

1.5.4.4.- Cálculo de la recarga

1.5.4.5- Análisis de laboratorio

1.6.- PROCESAMIENTO E INTERPRETACION DE DATOS

1.7.- USO ACTUAL DEL TERRITORIO

1.7.1.- Uso regional de la tierra

1.7.2.- Uso local de la tierra

1.8.- MARCO POLITICO Y TERRITORIAL

1.9.- ANTECEDENTES HIDROGEOLOGICOS GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO

1.9.1.- Estudios regionales

1.9.2.- Estudios locales en el área

CAPITULO 2

CLIMATOLOGIA

2.1.- PRECIPITACIONES

2.1.1.- Análisis de consistencia de datos pluviométricos

2.1.2.- Análisis de las precipitaciones mediante hidrogramas mensuales

2.2.- TEMPERATURA

2.3.- EVAPOTRANSPIRACION

2.3.1.- Calculo de la Evapotranspiración Potencial por Thornthwaite

2.3.2.- Calculo de la Evapotranspiración Real por Balshort

2.3.3.- Calculo de la Evapotranspiración Real por Turc

2.3.4.- Calculo de la Evapotranspiración Real por Coutagné

2.3.5.- Consideraciones generales de los resultados obtenidos

2.4.- VIENTOS

2.5.- CLASIFICACION CLIMATICA DE LA ZONA

CAPITULO 3

GEOLOGIA

3.1.- ESTRATIGRAFIA Y ESTRUCTURA

3.2.- CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

3.2.1.- Provincia Geológica Sierras Pampeanas

3.2.2.- Provincia Geológica Sanrafaelino-Pampeana

3.3.- CUENCAS SEDIMENTARIAS DEL NORTE DE LA PAMPA

3.3.1.- Cuenca de Macachín

3.3.2.- Cuenca de Laboulaye (Pcia de Córdoba)

3.4.- CONTEXTO GEOLOGICO LOCAL

3.4.1.- Formación Paraná

3.4.2.- Formación Cerro Azul y/o Pampeano

3.4.3.- Formación Junín

3.4.4.- Formación Valle Maracó

3.4.5.- Sedimentos actuales

3.5.- PERFIL ESTRATIGRAFICO LOCAL

3.6.- RASGOS ESTRUCTURALES EN EL NORTE DE LA PAMPA

CAPITULO 4

GEOMORFOLOGIA

- 4.1.- MARCO GEOMORFOLOGICO REGIONAL
 - 4.1.1.- Hipsometría
 - 4.1.2.- Hidrografía
 - 4.1.3.- Aspectos morfodinámicos y morfoevolutivos
 - 4.1.4.- Planicies eólicas
 - 4.1.4.1.- Acumulaciones de arena
 - 4.1.5.- Las Cubetas
 - 4.1.6.- Los limos de los valles
- 4.2.- ORIGEN Y EVOLUCIÓN
- 4.3.- RASGOS GEOMORFOLOGICOS LOCALES
 - 4.3.1.- Planicies arenosas
 - 4.3.2.- Planicies medanosas
 - 4.3.3.- Médanos
 - 4.3.3.1.- Médanos fijos
 - 4.3.3.2.- Médanos móviles
 - 4.3.4.- Cubetas de deflación

CAPITULO 5

SUELO

- 5.1.- UNIDAD CARTOGRÁFICA DE LA PLANICIE MEDANOSA ONDULADA
 - 5.1.1.- Paisaje
 - 5.1.2.- Material Parental
 - 5.1.3.- Caracterización
 - 5.1.4.- Clasificación
 - 5.1.5.- Suelos Menores

CAPITULO 6

FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO DEL SISTEMA

- 6.1.- INTRODUCCION
- 6.2.- INVENTARIO DE POZOS DE AGUA
- 6.3.- HIDROLITOLOGIA

- 6.4.- PIEZOMETRIA
- 6.5.- EVOLUCIÓN TEMPORAL DE NIVELES FREATICOS
- 6.6.- PARAMETROS HIDRÁULICOS
 - 6.6.1.- Hidráulicas de las captaciones
 - 6.6.2.- Ensayos hidráulicos (bombeos)
- 6.7.- HIDRODINÁMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
- 6.8.- CARACTERIZACIÓN DE LA RECARGA
 - 6.8.1.- Balance de agua en el suelo por Thornthwaite
 - 6.8.2.- Calculo de la recarga por balance seriado diario de Balshort
 - 6.8.3.- Otros métodos
 - 6.8.3.1.- Calculo de la recarga Relación Recarga-Pluviometría
 - 6.8.3.2.- Balance de masa del ión cloruro
 - 6.8.3.3.- Calculo de la recarga por fluctuaciones pluviométricas
- 6.9.- SUBUNIDADES HIDROGEOMORFICAS
 - 6.9.1.- Areas cuspidales
 - 6.9.2.- Areas Bajas
 - 6.9.3.- Areas Intermedias
- 6.10.- CONCLUSIONES

CAPITULO 7

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUIMICA DEL SISTEMA

- 7.- INTRODUCCIÓN
 - 7.1.- ANTECEDENTES
 - 7.2.- CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA
 - 7.3.- CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
 - 7.3.1.- Sólidos Disueltos Totales
 - 7.3.1.1.- Evolución iónica de SDT
 - 7.3.2.- Sulfatos
 - 7.3.2.1.- Evolución iónica con los sulfatos
 - 7.3.3.- Bicarbonatos
 - 7.3.4.- Cloruros
 - 7.3.5.- Dureza
 - 7.3.6.- Sodio y Potasio
 - 7.3.7.- Flúor

7.3.7.1.- Comportamiento geoquímico del flúor

7.4.-RELACIONES IÓNICAS

7.4.1.- Relación iónica rMg^{++}/rCa^{++}

7.4.2: Relación rK^+/rNa^+

7.4.3: Relación $rSO_4^{=} / rCl^-$

7.4.4: Relación $rCl^- / rHCO_3$

7.4.5: Índices de cambio de bases (icb)

7.5.- FUERZA IONICA Y CALCULO DE SOLUBILIDAD

7.5.1.- Fuerza iónica

7.5.2.- Índices de saturación

7.5.3.- Importancia de los Carbonatos

7.5.3.1.- Sistemas de disolución

7.6.- DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

7.7.- CONSIDERACIONES FINALES SOBRE EL MODELO HIDROQUIMICO

7.7.1.- Hidrólisis e Intercambio Iónico en el área de estudio.

CAPITULO 8

GESTION, CALIDAD Y USOS DEL AGUA

8.1.- INTRODUCCION

8.2.- GESTION DE AGUAS EN LA PAMPA

8.3.- DEMANDA PARA USOS URBANOS

8.3.1.- Evolución de la población de Intendente Alvear

8.3.1.1.- Criterios de proyección adoptados

8.3.1.2.- Evolución de las conexiones domiciliarias

8.4.- DEMANDA PARA USO RURAL

8.4.1.- Demanda agrícola

8.4.2.- Dotaciones para usos ganaderos

8.5.- CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

8.5.1.- Variaciones temporales de elementos químicos en el agua potable

8.5.1.1.- Evolución temporal de los SDT en T1 y T2

8.5.1.2.- Evolución temporal del Flúor en T1 y T2

8.5.1.3.- Evolución temporal del Arsénico Total en T1 y T2

8.6.- CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS PARA DISTINTOS USOS

8.6.1.- Consumo humano

8.6.2.- Consumo ganadero

8.6.3.- Riego

8.7.- SOBRE LA NECESIDAD DE UN MARCO REGULATORIO

CAPITULO 9

MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO DE EL SISTEMA

9.1.- MODELO CONCEPTUAL DE FLUJO

9.2.- MODELO HIDROGEOQUIMICO

CAPITULO 10

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1.- CONSIDERACIONES GENERALES

10.2.- CONCLUSIONES

10.2.1.- Climatología

10.2.2.- Geología

10.2.3.- Geomorfología

10.2.4.- Hidrogeológicas

10.2.5.- Hidrogeoquímicas

10.2.6.- Gestión y usos del agua

10.3.- RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.- INTRODUCCION

1.2.- UBICACIÓN Y ZONA DE ESTUDIO

1.3.- HIPOTESIS

a) *Hidrogeológica*

b) *Hidrogeoquímica*

1.4.- OBJETIVOS

a) *Hidrogeológico regional*

b) *Hidrogeoquímico*

1.5.- METODOLOGIA

1.5.1.- *Recopilación, síntesis bibliográfica y elaboración de cartografía preliminar*

1.5.2.- *Operaciones de campo*

1.5.3.- *Isótopos ambientales*

1.5.4. – *Tratamiento de la información obtenida*

1.5.4.1.- *Geología – Geomorfología*

1.5.4.2.- *Climatología*

1.5.4.2.1.- *Precipitaciones*

1.5.4.2.2.- *Evapotranspiración*

1.5.4.3.- *Suelo*

1.5.4.4.- *Cálculo de la recarga*

1.5.4.5.- *Análisis de laboratorio*

1.6.- PROCESAMIENTO E INTERPRETACION DE DATOS

1.7.- USO ACTUAL DEL TERRITORIO

1.7.1.- *Uso regional de la tierra*

1.7.2.- *Uso local de la tierra*

1.8.- MARCO POLITICO Y TERRITORIAL

1.9.- ANTECEDENTES HIDROGEOLOGICOS GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO

1.9.1.- *Estudios regionales*

1.9.2.- *Estudios locales en el área*

1.1.- INTRODUCCION:

El agua subterránea constituye, para la mayor parte del territorio de la provincia de La Pampa, el único recurso hídrico disponible. Es por lo tanto, una fuente vital para el desarrollo socioeconómico de la zona.

Su conocimiento, tanto cualitativo como cuantitativo, es de fundamental importancia ya que hasta la fecha, en una amplia región que involucra el presente estudio, se desconoce su potencial o sólo se tienen datos preliminares del mismo. En consecuencia y a fin de optimizar el aprovechamiento del sistema hídrico subterráneo, es necesario establecer un ordenamiento hidrológico de dicha región, el cual se logra en principio con un adecuado conocimiento del sistema acuífero por medio de estudios de detalle como los desarrollados en el marco de la presente tesis.

Como ocurre con frecuencia en las aguas subterráneas de zonas de llanura, no se observa una divisoria neta de agua definida con claridad, lo que dificulta en cierta manera de un ordenamiento hidrológico. La divisoria de agua, por lo general en la mayoría de los casos, es dinámica y depende de la distribución espacial, de las características de la zona de recarga, magnitud y duración de los eventos de lluvias.

La importancia hidrológica de la zona en estudio de la presente tesis, está asociada a un cordón medanoso central y a dos cordones menores laterales que se bifurcan de éste y que facilitan la infiltración y permiten la distribución del recurso freático, buena parte del cual retorna a la atmósfera por las zonas de descarga que se encuentran entre aquellas geformas y a sus bordes, que actúan como zona de evaporación.

La información litológica del subsuelo proporcionada por las perforaciones de estudios efectuados en la región se concentran en la zona intermedia de las localidades de Ceballos e Intendente Alvear, lugar donde se encuentra el área de explotación del Servicio de Provisión de Agua Potable a las localidades homónimas.

1.2.-UBICACIÓN Y ZONA DE ESTUDIO

El área en estudio se encuentra en la región suroeste de la llanura Chaco Pampeana,

Figura 1.1, aproximadamente en la parte central del país, la cual es portadora de uno de los acuíferos libres de mayor importancia regional, que cubre una superficie aproximada de 1.900.000 km² y se extiende en varias provincias. Este acuífero, se encuentra esencialmente en las Formaciones Pampeano y Postpampeano y constituye la formación sedimentaria acuífera más extensa en la zona, albergando en general a varios niveles confinados y/o semiconfinados.

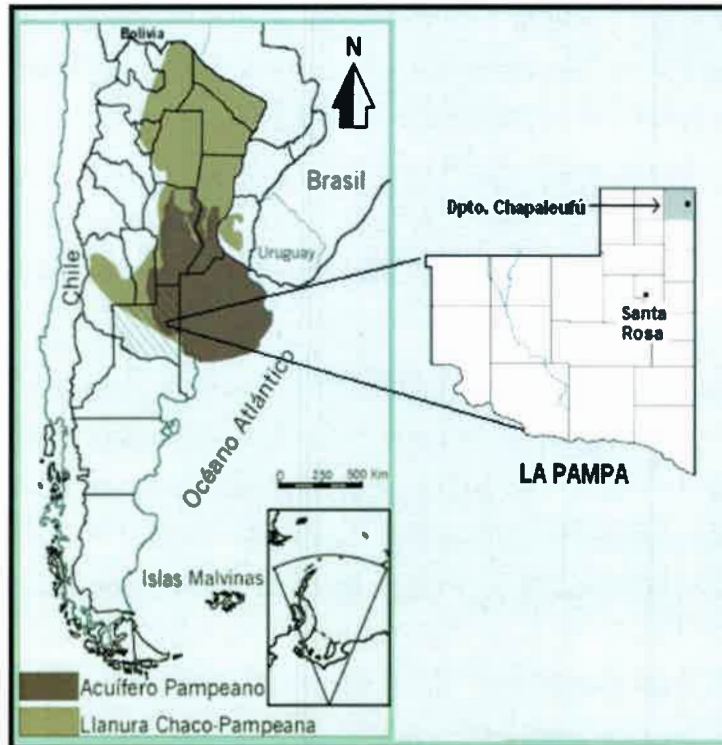


Figura 1.1: Ubicación del área de estudio en el contexto de la Llanura Chaco-Pampeana y Acuífero Pampeano. Modificado de Schulz, 1998.

La zona integra la región oriental, ubicada en el extremo NE de la Provincia de La Pampa y se localiza entre los meridianos 63° y 64° 15' W y paralelos 35° y 37° 15' S, constituyendo la subregión de las planicies arenosas, tal cual se clasifica en el Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa (Cano, *et al.*, 1980).

Topográficamente, las pendientes varían entre 1/1000m a 1/10000m y existiendo aún menores. Las geformas son suaves y el incremento en los últimos 30 años en los

regímenes de lluvia contribuye a que se hayan elevado los niveles freáticos Cano, *et al.*,1980.

La información proporcionada por la bibliografía que se cita al final y los antecedentes existentes, junto con el análisis de la información geológica e hidrogeológica recabada en el área de estudio, ha permitido plantear el Estudio Hidrogeológico del Acuífero que provee de agua potable a Intendente Alvear, Provincia de La Pampa.

1.3.- HIPÓTESIS:

El eje central del presente trabajo de tesis ha partido de hipótesis que podríamos agruparlas en dos ramas específicas que interactúan y se condicionan entre sí:

a) Desde el punto de vista hidrogeológico:

Coexistirían en la zona un sistema de flujo compuesto de varias áreas y/o zonas pequeñas interconectadas entre sí que presentan distintas características hidrodinámicas y donde los procesos de recarga, transferencia y descarga estarían condicionados por factores geomorfológicos y litológicos propiamente dichos.

b) Desde el punto de vista hidroquímico:

b.1) Existiría localmente una zonación muy marcada en la evolución geoquímica del acuífero, con distintas facies hidroquímicas fuertemente condicionadas por los sistemas de flujo locales o bien por los factores geológicos-geomorfológicos locales.

b.2) Como consecuencia de lo manifestado en b.1), las aguas subterráneas, en cuanto a su caracterización hidroquímica, se podrían diferenciar en varias facies, que se corresponden con el sentido de flujo y cuyas aguas varían en su caracterización hidroquímica desde bicarbonatadas cálcicas o mixtas a sulfatadas o cloruradas mixtas y sulfatadas o cloruradas sódicas.

b.3) Se producirían además, debido a la presencia de materiales finos de origen volcánico, procesos de intercambio químico por la interacción entre las aguas de recarga en tránsito y niveles litológicos atravesados que potenciarían la presencia en aguas subterráneas de los oligoelementos Flúor y Arsénico, elementos diseminados en el ámbito regional.

1.4.- OBJETIVOS

La necesidad de plantear un estudio global que integre el conocimiento de los parámetros propios del sistema acuífero con los diversos factores externos que intervienen e interaccionan en su dinámica es la idea fuerza central de la presente tesis. Para ello, se esboza la realización de un aporte integral al conocimiento y funcionamiento hidrogeológico del acuífero que provee de agua potable a la localidad de Intendente Alvear en una región donde el recurso hídrico subterráneo apto para tal fin es casi inexistente en un radio de varias decenas de kilómetros a la redonda, debido a la presencia en el recurso de excesivas cantidades de sales totales, además de algunos elementos no permisibles para el consumo humano, tales como Flúor y Arsénico.

En función de lo expuesto, la presente tesis doctoral tiene dos objetivos principales y articulados entre sí que no se habían encarado aún en la región:

a) **De carácter hidrogeológico regional:**

-Objetivo General: Contribuir al conocimiento hidrogeológico con la determinación de la hidrolitología, hidrodinámica e hidráulica integral del área estudiada, así como de los procesos de recarga del acuífero.

Elaborar un modelo conceptual de funcionamiento que sirva de base a los trabajos hidrogeoquímicos.

-Objetivo Específico:

-En el estudio de la hidrodinámica del sistema se analizarán los aspectos geológicos que controlan los mecanismos de recarga, transferencia y descarga de agua subterránea,

-Determinar las características de la red de flujo, tanto en su desarrollo lateral como en el vertical,

-Realizar balances de la capa acuífera teniendo en cuenta distintas metodologías.

b) **De carácter hidrogeoquímico:**

El análisis hidrogeoquímico permite conocer la evolución temporal y la distribución espacial de los distintos elementos como así también, en las zonas de explotación

y sus alrededores, la evolución de los distintos parámetros. También han sido planteados para su elaboración los siguientes objetivos generales y específicos:

-Objetivo General: Efectuar una caracterización hidrogeoquímica general de las aguas subterráneas y analizar su evolución temporal.

-Objetivos Específicos:

- Determinar las reacciones hidrogeoquímicas principales.
- Estudiar las variaciones en la relación fase sólida / fase líquida.
- Analizar la evolución de los principales factores de control.
- Contribuir, desde la química, a la determinación y cuantificación de fenómenos de recarga.
- Elaborar un modelo conceptual de la dinámica hidrogeoquímica en la zona acuífera.

1.5.- METODOLOGÍA

Las metodologías que se han adoptado para el desarrollo de las investigaciones que se vuelcan en la presente tesis, se ha dividido en las siguientes etapas:

1.5.1.- Recopilación, síntesis bibliográfica y elaboración de cartografía preliminar. Se procedió a la reunión, selección y examen de la documentación existente relacionada con la climatología, geomorfología, geología, hidrogeología, el agua subterránea y saneamiento del área de trabajo. Se revisó la metodología de estudio en otras zonas con características similares al acuífero estudiado. Esta fase de trabajo se completó con la confección del mapa base del área de estudio a escala 1:50000 y elaboración de una carta geológica-geomorfológica, utilizando cartas topográficas 1:50.000 del IGN (Instituto Geográfico Nacional), fotografías aéreas 1:20.000, fotomosaicos 1:50.000 y ventanas de imágenes satelitales actuales (Google Earth, Landsat).

Teniendo en cuenta esta información se programaron las siguientes tareas de campo:

1.5.2.- Operaciones de campo:

-Se llevaron a cabo tareas de relevamiento geológico-geomorfológico, hidrogeológico y de uso del suelo;

- Se efectuó inventario de obras de captación utilizando planillas de censo de pozos normalizados adaptadas a las características de la región.

- Se procedió a la instalación de una estación agrometeorológica a comienzos del 2008 (Figura 1.2) de última generación que, además de obtener los datos climáticos estándar y convencionales, permitió efectuar el seguimiento de las variaciones del nivel freático, ya que fue dotada de un Limnógrafo-Freatógrafo de última generación y moderna tecnología de microprocesadores, sensores piezoresistivos de estado sólido, y de un nuevo software especialmente diseñado para la zona, colocando en consecuencia un instrumento de alta confiabilidad, resolución, estabilidad y autonomía. Se dotó además a la estación de dos colectores de agua de lluvia a efectos de analizar Cloruros e isótopos del agua de lluvia.

En lo que respecta al inventario de pozos de agua y consecuentemente el muestreo de los mismos, se diferencian tres tipos de puntos de agua: pozos perforados para el abastecimiento de agua, piezómetros para el control de niveles de agua y perforaciones para el abastecimiento de agua al ganado.

La mayoría de los pozos considerados en la región corresponden a los construidos por los dueños de los establecimientos rurales. En general se trata de perforaciones parcialmente penetrantes, que no superan los 10 a 15 m de profundidad, construidas por el método de rotación y con los más diversos materiales. En todos los casos las rejillas están emplazadas sobre el fondo del ademe y su longitud varía entre 3 y 6 m. De estas perforaciones se desconocen las características técnicas y, en muchas de ellas, es imposible conocer la fecha de construcción. Es de señalar además que, como la fuerza motriz es originada por el viento y dada la forma y disposición de su cañería, resulta sumamente complicado medir los niveles freáticos.

Se encuentran en el área también pozos construidos por la Administración Provincial del Agua de la Provincia de La Pampa a fin del abastecimiento público de agua potable. Estas perforaciones son las únicas que cuentan con alguna información tanto hidráulica como química, fundamentalmente aquellas que se

construyeron con el objetivo de realizar la exploración de las cuales el autor participo en su totalidad. Estos pozos se concentran exclusivamente en torno al área central del cuerpo arenoso y con una distancia de no más de 300 a 500 metros entre ellas. Se trata de perforaciones con buenas características constructivas, con un correcto aislamiento que impide la entrada al pozo tanto de agua del exterior como también de cualquier otro elemento contaminante superficial y/o subsuperficial. Es de destacar que las características granulométricas de las arenas del acuífero condicionan al uso de rejillas de abertura delgada y prefiltros finos que producen altas pérdidas de carga y baja eficiencia en los pozos para el caudal de explotación.

Las perforaciones se ejecutaron con método rotativo, a inyección directa e inversa en algunos casos utilizando polímero orgánico hasta el fondo de las profundidades de las captaciones estimadas entre 21 y 25 m, ya que están fuertemente condicionadas por el incremento de la salinidad del agua a medida que se profundiza en el terreno. Las características constructivas de los pozos de bombeo y de observación fueron diseñadas por el autor de la presente tesis y en todos los casos se colocaron filtros de ranura continua de 0.75mm con los correspondientes prefiltros de grava silícica seleccionada de 1 a 3 mm.

Luego del desarrollo de los pozos y después de un período de recuperación de al menos 24 horas, se procedió a realizar los ensayos a caudal constante, con electrobomba sumergible, a efectos de determinar los parámetros hidráulicos del acuífero en todos aquellos pozos que contaban con sondeos de observación. La duración de los mismos fue de 48 y 72 horas con caudales de extracción de entre 9 y 14,5 m³/h. Los resultados se procesaron con el método de Newman (1975) basado en los supuestos clásicos de Boulton (Castro y LLamas, 1983) mediante el programa Aquifer Test (Waterloo Hydrogeologic, Inc., 1996).

Para el monitoreo del acuífero, se han construido dos series de piezómetros, (Castro, 1991), todos ellos responden a las mismas características constructivas y fueron realizados por la Administración Provincial del Agua de La Pampa, durante el año 1991.

1.5.3.- Isótopos ambientales: Se realizó un muestreo de las aguas de lluvia de la zona con dos toma muestras en distintos puntos del área de estudio. Las técnicas que utilizan isótopos ambientales (²H, ³H, ¹⁸O, ¹⁴C, ¹⁵N, ³⁴S, entre otros) son una

herramienta de gran utilidad en estudios hidrológicos e hidrogeológicos al emplearlos conjuntamente con los procedimientos llamados "clásicos". La composición isotópica media anual de las aguas meteóricas está fuertemente relacionada con la temperatura del aire media anual, que a su vez es función de la latitud y altitud.

1.5.4.- Tratamiento de la información obtenida

1.5.4.1.- Geología-Geomorfología

A partir de la información de campo obtenida por el autor más la información aportada por las perforaciones de estudio, de las cuales se realizaron y/o analizaron las descripciones sedimentológicas, se elaboró el perfil correspondiente y la cartografía geológica definitiva de la zona.

1.5.4.2.-Climatología

La información de variables climáticas utilizadas en el presente estudio ha sido aportada por la Administración Provincial del Agua, la Dirección General de Estadísticas y Censos de la Provincia, la Policía Provincial y especialmente por el INTA de Anguil y de General Pico. Además se dispone del registro procedente de la estación meteorológica recientemente instalada.

1.5.4.2.1.- Precipitaciones: Análisis de consistencia. Mediante la aplicación de la metodología del análisis de curvas de doble masa (Luque J.A, 1981), se ha tratado de determinar la consistencia de los datos pluviométricos y la regularidad de los registros de una estación, comparando su precipitación acumulada anual con los valores acumulados anuales correspondiente de la precipitación media de un grupo de estaciones circundantes y/o regionales. Una variación de condiciones meteorológicas quizá no acusaría un cambio de pendiente ya que se reflejaría por igual en toda el área, pero el cambio de lugar del aparato o del operador, entre otras cosas, muy probablemente se notará en el registro.

Concretamente entonces, en gráficos doble masa se contrastaron los totales pluviométricos de una estación contra los totales medios regionales calculados a partir de otras estaciones vecinas. Si los datos del pluviómetro analizado son consistentes con los de la región, entonces los valores graficados delinearán a una recta casi

paralela a la regional. En cambio, si en algún momento existe una inconsistencia, la línea de precipitaciones de la estación considerada presentará un quiebre de mayor o menor pendiente. De acuerdo a la tendencia y a la separación que tenga con la regional, se identifica la diferencia introducida.

1.5.4.2.2.- Evapotranspiración: Se ha determinado y caracterizado la evapotranspiración por distintos métodos, Carrica, (1993); Penman y Thornthwaite, (1948); Turc y Coutagné (1961); Thornthwaite, (1948) y Custodio, (1976), así como también la caracterización de las demás variables hidrometeorológicas que determinan la cantidad de agua susceptible de ser recargada al acuífero. Estas variables son la precipitación, temperatura, velocidad y dirección del viento, humedad relativa y horas de insolación. También se realizó correlación estadística bivariada y curvas doble masa con otras estaciones dentro del departamento para verificar su consistencia.

Se ha utilizado para el cálculo de variables climáticas, el programa Balshort, Carrica (1993), cuya metodología es de naturaleza empírica y está basado en criterios hidrológicos y edáficos, siendo los datos de entrada la precipitación diaria (P) del período a evaluar, la evapotranspiración potencial (ETP) mensual, la capacidad de campo (CC), la textura del suelo, la interceptación vegetal del mismo y reserva de agua inicial del suelo (RAU). La precipitación diaria (P); tal como asume el programa y que coincide con las particularidades del área de no presentar escurrimiento superficial; implica asumir que toda el agua se incorpora al perfil del suelo.

Como en la gran mayoría de los métodos de balance existentes, situación que ya se ha manifestado con anterioridad, adopta el concepto básico de calcular la Evapotranspiración Real (ETR) en función de la Evapotranspiración Potencial (ETP) conforme las características físicas del medio evaporante y del contenido de agua en el suelo.

El programa Balshort transforma los datos de ETP mensual en ETP diaria conforme al criterio de Burgos y Forte Lay (1978,a) mediante el cociente entre ETP mensual y los días de cada mes. Este valor es asignado al día 15 de cada mes (14 en febrero) para posteriormente establecer una ecuación lineal entre valores correlativos. La ETP de cada día se determina por extrapolación en cada una de las doce rectas generadas. En los días con precipitación el programa Balshort divide el valor diario de

la ETP a la mitad, asumiendo una situación intermedia entre los días en que la lluvia tiene una duración casi total y consecuentemente la ETP es muy baja y días en que la precipitación está representada por una lluvia de corta duración.

Para el cálculo de la Evapotranspiración real (ETR) diaria, el programa utiliza tres posibles funciones que representan simplificadaamente las curvas de retención de agua de suelos de distinta textura, entendiéndose por curva de retención a la que vincula la relación ETR/ETP como función del contenido de humedad del suelo e indica la fracción de agua que cede el suelo ante una determinada demanda potencial a medida que disminuye su reserva. En consecuencia, cada una de las ecuaciones empleadas son las que se describen a continuación:

$$(1) \text{ ETR/ETP} = \cos [\pi/2 A]$$

$$(2) \text{ ETR/ETP} = 1/2 \{ \cos \pi A + 1 \}$$

$$(3) \text{ ETR/ETP} = 1 - \{ 2/\pi \arccos [1 - A] \}$$

Siendo $A = (CC - R_{da})/CC$; donde CC es la capacidad de campo del suelo y R_{da} la reserva de agua en el suelo el día anterior.

A los efectos del cálculo en la presente tesis, se utilizará la ecuación (1) que representa simplificadaamente la curva de retención para suelos de textura arenosa y demás características afines a la zona.

La capacidad para efectuar balances diarios seriados del programa es de hasta 50 años de extensión e imprime los resultados diarios en planillas de extensión anual mediante dos modalidades: a) la precipitación, los excesos de agua y la ETR y b) la precipitación, los excesos y la Rd (reserva de agua del día en el suelo).

1.5.4.3.- Suelo: A partir de diferentes estudios realizados en la zona, particularmente el Estudio Integral de los Recursos Naturales de La Pampa, Cano, *et al.*, (1980) y de la realización de algunos perfiles edáficos en el campo, Castro, *et al.*, (1989), se pudo diferenciar las principales características de los suelos (profundidad, textura, estructura, porosidad y capacidad de campo). El conocimiento de dichos datos ha sido necesario para el cálculo del balance hídrico.

1.5.4.4.- Cálculos de la Recarga: En líneas generales, se acepta que la recarga es el proceso por el cual el exceso de infiltración sobre la evapotranspiración drena desde la zona radicular y continúa circulando en dirección descendente a través de la zona no saturada hacia la capa freática, donde se refleja el aumento o descenso del almacenamiento de agua subterránea (Freeze y Cherry, 1979). La misma, en los acuíferos se produce de manera muy diversa. Puede ser de manera difusa, preferencial y concentrada, con importantes circunstancias locales que afectan y condicionan valores regionales, requiriéndose tratamientos diferentes en cada caso. Los métodos de cálculo han de tener en cuenta estas circunstancias mediante la adecuada parametrización regional y el progresivo ajuste de estos parámetros mediante observaciones periódicas.

La evaluación de la recarga es inherentemente incierta por una serie de factores tales como el error de las variables que la determinan, ya sea por la incertidumbre en los parámetros de las fórmulas y gráficas, ya sea por la propia naturaleza empírica o semiempírica de esas fórmulas y además por las simplificaciones que normalmente se realizan. En muchos casos el error más importante no es la incertidumbre antes comentada sino la utilización de un método inadecuado, que en general se debe a una errónea conceptualización del proceso de recarga y de los componentes que intervienen en la misma. De allí que los resultados deben compararse progresivamente con los datos que proporcionan las observaciones (Custodio, 1997).

A pesar que los procesos y mecanismos de la recarga son relativamente bien conocidos, la obtención de una estimación fiable de su magnitud entraña extraordinarias dificultades debido fundamentalmente a la variabilidad espacio-temporal de las condiciones hidroclimáticas, y especialmente a la variabilidad espacial de los factores que determinan la ocurrencia, magnitud y calidad de la recarga de los acuíferos. Esta variabilidad espacial provoca que la mayoría de las metodologías existentes para la estimación, proporcione apreciaciones con alto índice de incertidumbre, que en general varía de un método a otro en función de la información disponible. Esta incertidumbre es cuantificable en ciertos casos, acotable en otros y difícil de evaluar en casos extremos. Una de las posibles formas de acotar la incertidumbre consiste en la utilización del mayor número posible de métodos complementarios entre sí (Samper, 1997).

Dado que no existen métodos de medición directa de la recarga, o bien sólo son puntuales (Lerner et al., 1990), surge la necesidad de determinar un valor a partir de varios métodos indirectos que la estimen, debido a las limitaciones de cada uno. Por lo tanto es necesaria la comparación entre los mismos, para así poder obtener un valor o un rango de variación de la recarga lo suficientemente confiable. Ello ha sido la premisa del presente estudio de tesis.

Los procesos de recarga en un medio natural varían según si el medio es homogéneo o heterogéneo y esté saturado o no. En general, la recarga dependerá de:

- Precipitación y su régimen e intensidad.
- Componentes climatológicas que determinan la cantidad de agua susceptible de ser evapotranspirada en el suelo: temperatura, radiación, velocidad del viento, etc.
- Características del suelo: material constituyente, porosidad, tasa de infiltración, grado de humedad, profundidad radicular, usos, etc.
- Cobertura vegetal como condicionante de la evapotranspiración fundamentalmente, pero también de la escorrentía.
- Tipo de litología, tanto de la zona no saturada como del propio acuífero: conductividad hidráulica, porosidad eficaz, espesores, etc.

Con el fin de poder observar un modelo conceptual de un balance de agua en el suelo y teniendo en cuenta el suelo edáfico, la zona no saturada y el acuífero en una columna vertical unidimensional, el caso aquí analizado ha tenido en cuenta la precipitación, la evapotranspiración, los flujos hipodérmico y subterráneo, y las variaciones en el contenido de humedad y del nivel de agua en el acuífero, tal cual lo propone el esquema de Samper, 1997, como se observa en la Figura 1.3.

El agua infiltrada, en consecuencia, dependerá de la capacidad de infiltración del suelo, propiedad que es una función parabólica decreciente del contenido de humedad del suelo, según la Ley de Horton, la que será máxima cuando el suelo tenga una humedad igual al punto de marchitez. La capacidad de infiltración será constante cuando la humedad sea superior a la capacidad de campo, produciéndose escorrentía superficial (E_s) cuando la precipitación supera la capacidad de infiltración; situación harto difícil en el tipo y conformación sedimentológica del terreno en que se ha desarrollado el presente estudio.

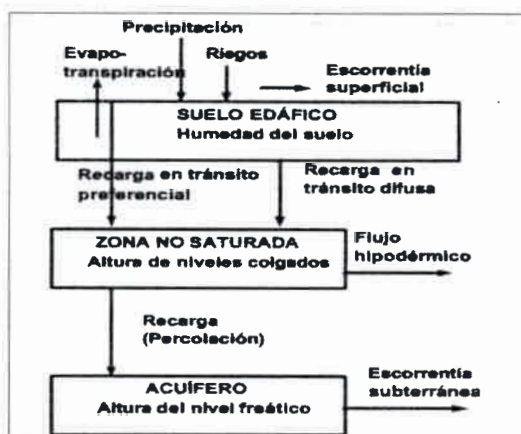


Figura 1.3: Esquema del balance hidrológico en el suelo (Samper, 1997).

Conceptualmente, un balance hídrico es la cuantificación del ciclo hidrológico. Es la aplicación, desde el punto de vista físico, del principio de la conservación de masa a una cierta región bien definida por límites, divisorias o contornos, cuyo volumen es conocido, durante un cierto tiempo también definido. Allí, la diferencia entre el total de entradas y el total de salidas debe ser igual al cambio de agua en el almacenamiento de dicho volumen.

El balance cuantifica cada uno de sus componentes para cada período de cálculo y parte de condiciones iniciales de humedad conocidas, como también deben conocerse todas las variables de entrada y salida del sistema.

La mayoría de los componentes de un balance (P, Es, ETR) dependen de forma no lineal, principalmente la Evapotranspiración Real, el Escurrimiento Superficial, el contenido de Humedad del suelo, etc. Debido a ello, la resolución de la recarga requiere de métodos interactivos, por lo que se determinará en el capítulo respectivo, por diversos métodos.

Balance de masa del ión Cloruro

Se puede aplicar el balance del ion cloruro como método para evaluar la recarga (infiltración eficaz) dado que es un soluto conservativo y que además no es aportado por el terreno. Se establece considerando cada uno de los términos de flujo de agua con su concentración correspondiente.

El balance de masa de cloruro en un intervalo de tiempo (Δt) entre t y t' es:

$$\text{Aporte de lluvia} + \text{esc. aportada} = \text{esc. saliente} + \text{esc. lateral} + \text{recarga} + \Delta M$$

donde ΔM es la variación de cloruros en el perfil de suelo entre la superficie y una profundidad algo por encima del nivel freático.

En función de la ecuación, se considera la recarga en tránsito, pero cerca del nivel freático, por lo tanto asimilable a la recarga real. Este método tiene como principal limitación la necesidad de utilizar valores medios tanto del agua de lluvia (cantidad y concentración) como del agua de recarga y escorrentía, proporcionando tan sólo una estimación del valor medio multianual de la recarga según el espesor del medio no saturado y las características del muestreo. En general, un balance de cloruros multianual sin acumulación de sales en el suelo y en la vegetación, en estado estacionario viene dado por la expresión (Custodio y LLamas, 1983; Custodio, 1997):

$$RC_R = PC_p - E_s C_e + a_s - a_v + a_v$$

donde:

R = recarga (mm/año)

P = precipitación media (mm/año)

E_s = escorrentía superficial media (mm/año)

C_p = contenido media en Cl^- en el agua de lluvia ($mg L^{-1}$)

C_R = contenido medio en Cl^- en el agua de recarga ($mg L^{-1}$)

C_e = contenido medio en Cl^- en el agua de escorrentía superficial ($mg L^{-1}$)

a_s = aporte de Cl^- tomados del suelo o aportados artificialmente ($g m^{-2} año^{-1}$)

a_v = retención de Cl^- tomados por la vegetación ($g m^{-2} año^{-1}$)

a_s = devolución de Cl^- del suelo al morir la vegetación ($g m^{-2} año^{-1}$)

Suponiendo que el aporte de cloruros tomados del suelo o aportados de forma artificial es nulo y que la retención de cloruros por parte de la vegetación es la misma que libera la planta al morir, se obtiene que:

$$RC_R = PC_p - E_s C_e$$

Donde C_P y C_{AS} representan la concentración de cloruros en la precipitación y en el agua subterránea respectivamente.

Este planteamiento se puede simplificar notablemente en la práctica si se asume que el ion cloruro no es aportado por el terreno durante la escorrentía, y que dadas las características edáficas tales como la alta permeabilidad y además las condiciones geomorfológicas existentes, la escorrentía superficial es considerada prácticamente nula y que solo tendría un incipiente desarrollo en épocas de eventos extraordinarios, tal como se ha manifestado en el último párrafo del punto anterior, por lo que se desecha obviamente los términos E_s y C_e .

Además de ello, si se trabaja con Δt lo suficientemente largo, tendremos que $\Delta M \rightarrow 0$ por lo que se pueden utilizar valores medios. Asimismo en zonas subhúmedas y semiáridas, se puede considerar que el flujo de masa de precipitación es igual al de recarga, siendo ésta una aproximación suficiente y dado que los otros términos del balance son de un orden de magnitud inferior (Custodio, 1997), se puede plantear como:

$$R \cong C_P / C_{AS} * P$$

Donde R es la recarga, P la precipitación, C_P y C_{AS} representan la concentración de cloruros en la precipitación y en el agua subterránea respectivamente y su cociente representa el coeficiente de recarga medio.

1.5.4.5.- Análisis de laboratorio. Involucra las tareas de preparación y análisis de muestras (agua de lluvia y subterránea, suelo, sedimentos) obtenidas en el campo. Los análisis químicos se realizaron según técnicas espectrofotométricas y consistieron en la determinación de Residuo Seco a 105°C, conductividad eléctrica (CE), pH, alcalinidad, dureza, iones principales, nitratos, flúor, arsénico y sílice, además de metales pesados, en diversos laboratorios, tales como IACA de Bahía Blanca, Servicio Geológico y Minero de la República Argentina (SEGEMAR), Laboratorio de la Administración Provincial del Agua de La Pampa, INGEIS de la Ciudad de Buenos Aires, Laboratorio de Agua de la Cooperativa Regional de General Pico (La Pampa), y las técnicas empleadas se detallan a continuación:

Alcalinidad: el principio del método es una titulación ácido-base. La muestra es titulada con ácido sulfúrico hasta el punto final correspondiente a un determinado pH.

“Alcalinidad de fenoftaleína” es utilizada para designar la cantidad medida mediante titulación a pH 8,3 como consecuencia del cambio de color del indicador fenoftaleína e indica el total de hidróxidos y una mitad del carbonato presente. La alcalinidad total es determinada por titulación hasta un pH de 3,7-5,1, e incluye carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Precisión del método: cantidad mínima detectable: 10 mg/L.

Cloruros: el principio del método es argentométrico. La muestra es titulada con solución estándar de nitrato de plata en presencia de cromato de potasio. El nitrato de plata reacciona con los cloruros presentes para producir cloruro de plata insoluble. Antes que hayan precipitado, los iones plata con el exceso de cromato forman un precipitado de cromato de plata marrón rojizo, lo cual indica el punto final de la titulación. Precisión del Método: cantidad mínima detectable: 1 mg/litro. Otro método utilizado fue el espectrofotométrico. Los cloruros presentes en la muestra reaccionan con tiocianato de mercurio para formar cloruro mercúrico y liberar el ion tiocianato, los cuáles reaccionan con iones férricos para formar el complejo tiocianato-férrico. La cantidad de este complejo es proporcional a la concentración de cloruros presentes en la muestra. Precisión del método: cantidad mínima detectable 0,01 mg/L.

Flúor: Método de spands espectrofotométrico. El método colorimétrico SPADS se basa en la reacción entre fluoruros y una laca coloreada de zirconio. El fluoruro reacciona con la laca coloreada, disociando una parte de ella para dar un anión complejo incoloro (ZrF_6^{-2}) y el colorante. Al aumentar el contenido de fluoruro, el color producido se hace cada vez más pálido. Precisión del Método: cantidad mínima detectable: 20 $\mu\text{g/L}$ = Código ASCII = AH230.

Dureza: Método titulométrico de EDTA. El ácido etilendiaminotetracético y sus sales de sodio forman un complejo de quelato soluble al añadirse a las soluciones de algunos cationes metálicos. Si a una solución acuosa que contenga iones calcio y magnesio a un pH de 10 +/- 0.1, se añade una pequeña cantidad de indicador, como negro de eriocromo T o calmagita, la solución toma un color rojo vino. Al añadir el EDTA como reactivo de titulación, los iones calcio y magnesio forman un complejo, y, cuando todos estos iones estén incluidos en dicho complejo, la solución cambiará del rojo vino al azul, señalando el punto final de la titulación. Precisión del Método: cantidad mínima detectable: 10 mg/L. También se utilizó el método **Espectrofotométrico**. El método colorimétrico suplanta al método titrimétrico de

dureza en caso de que los niveles de calcio y magnesio sean muy bajos. El indicador utilizado es calmagita, el cuál forma un color azul – púrpura en soluciones extremadamente alcalinas y cambia a rojo cuando reacciona con el calcio y magnesio libre. Precisión del Método: cantidad mínima detectable: 4 µg/L.

Nitratos: Método espectrofotométrico. El cadmio metálico reduce los nitratos presentes en la muestra a nitritos, los cuales al reaccionar en medio ácido con ácido sulfanílico forman una sal intermedia coloreada. Precisión del método: cantidad mínima detectable: 10 µg/L.

Nitritos: Método espectrofotométrico. Los nitritos presentes en la muestra reaccionan 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. Precisión del método: cantidad mínima detectable: 8 µg/L.

Amonio: Método espectrofotométrico. Compuestos amoniacaes combinados con cloro forman monocloraminas, las cuales reaccionan con salicilato para formar el penta-amonisalícilato. Este es oxidado en presencia de nitroprusina sódica catalítica para formar un compuesto coloreado, directamente proporcional a la concentración de amonio presente en la muestra. Precisión del método: cantidad mínima detectable: 90 µg/L.

Potasio: Método espectrofotométrico. El potasio presente en la muestra se combina con tetrafenilborato de sodio para formar tetrafenilborato de potasio, un compuesto blanco insoluble. La intensidad de tal turbidez es proporcional a la concentración de potasio. Precisión del método: cantidad mínima detectable: 100 µg/L.

Sodio: Método electrodo ion selectivo. Precisión del método: cantidad mínima detectable: 20 µg/L.

Calcio: Método titulométrico de EDTA. Cuando se añade EDTA (ácido etilendiaminotetracético o sus sales) al agua que contiene calcio y magnesio, aquel se combina primero con el calcio. El calcio se determina directamente con EDTA cuando el pH es lo suficientemente alto para que precipite el magnesio como hidróxido, utilizando un indicador que se combine con el calcio únicamente. Precisión del

método: cantidad mínima detectable: 10 mg/L. Método espectrofotométrico. Precisión del método: cantidad mínima detectable: 4 µg/L.

Magnesio: Método de cálculo. El magnesio se calcula como diferencia entre la dureza y el calcio, como CaCO₃. Precisión del método: cantidad mínima detectable: 10 µg/L. Método espectrofotométrico: Precisión del método: cantidad mínima detectable: 4 µg/L.

Arsénico: Método de dietiltiocarbamato de plata. El arsénico inorgánico se reduce a arsina, utilizando solución ácida de zinc en un generador Gutzeit. Se hace pasar entonces la arsina a través de un frasco lavador que contiene solución de acetato de plomo, a un tubo de absorción que contiene dietiltiocarbamato de plata disuelto en piridina o cloroformo. En el tubo de absorción, el arsénico reacciona con la sal de plata, formando un complejo rojo soluble, el cuál es medido por fotometría. Precisión del método: cantidad mínima detectable: 1 µg/L de As.

Sulfatos: Método espectrofotométrico Los iones sulfatos presentes en la muestra reaccionan con el bario presente en el reactivo de sulfato para formar un sulfato de bario insoluble. La intensidad de la turbidez formada es proporcional a la cantidad de sulfato presente en la muestra. Precisión del método: cantidad mínima detectable: < 1 mg/L.

1.6.- PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.

Se procedió a la integración de la información disponible, con la correlación de datos climatológicos, geológicos, litológicos, estratigráficos y tectónicos, con la red de flujo y los mapas químicos del agua subterránea a fin de plantear el modelo hidrogeológico general y de funcionamiento del sistema que se detallan a continuación.

1.7.- USO ACTUAL DEL TERRITORIO

1.7.1.- Uso regional de la tierra:

El uso de la tierra, desde el punto de vista regional, como se muestra en el mapa de la Figura 1.4, se orienta a la agricultura y ganadería tipo invernada aunque

debido a factores climáticos, en época de sequía se ve limitada por la poca retención de humedad en el suelo disminuyendo, consecuentemente, el rendimiento.

En las zonas arenosas, la vegetación característica es predominantemente natural, clasificándose como un pastizal psamófilo, de altura intermedia, perennifolio, denso, de gramíneas intermedias tales como *Elyonurus muticus* (paja amarga) y gramíneas bajas y herbáceas, Cano, *et al.*,(1980).

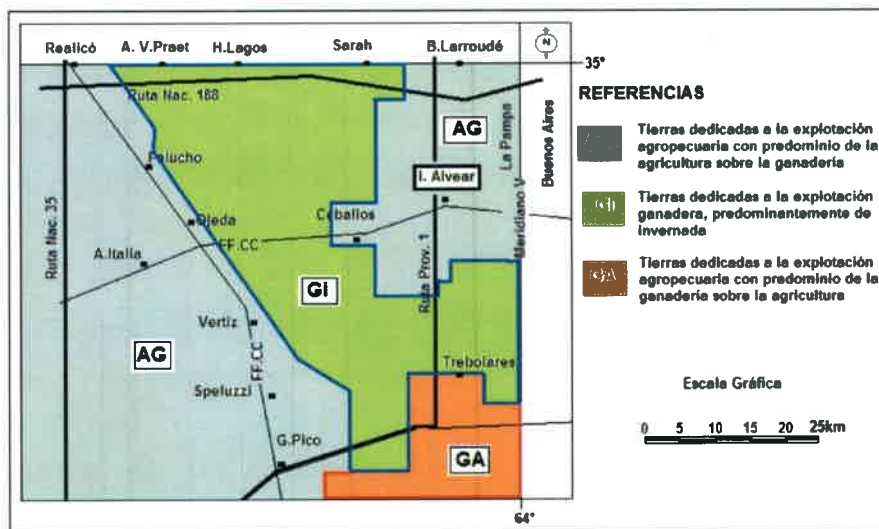


Figura 1. 4: Mapa de Uso de la Tierra. Dptos Chapaleufú y Realicó. Prov. de La Pampa

La actividad económica preponderante en el área de estudio es la rural, entendiendo a la misma como las diversas prácticas de la agricultura y a la ganadería, tanto equina como bovina. Dentro de la primera, es decir la agricultura, hay un predominio de cultivos de maíz, trigo, girasol y algunas forrajeras, aunque en los últimos años se ha incorporado también fuertemente a la soja. Esta última ha modificado la histórica práctica de la preparación de los suelos mediante barbecho, etc, por la práctica de la siembra directa, incorporando en consecuencia el uso, aunque aún no intensivo pero creciendo aceleradamente, de agroquímicos (plaguicidas y fertilizantes).

Dentro de las segundas mencionadas, es muy importante la actividad económica derivada de la ganadería bovina de invernada y también en los últimos años del considerable aumento de la cría equina vinculada al deporte, la cual ha derivado en una importante actividad producto de su excelente calidad.

La actividad industrial es casi nula y la gran cantidad de labranzas agrícolas, que es una de las características más salientes de la zona, son todas a secano, es decir que el riego complementario en la agricultura aún no existe en la actualidad, si bien ha habido algún intento incipiente en el pasado reciente que al final no obtuvo los resultados esperados.

1.7.2.- Uso local de la tierra

El área de estudio integra la subregión de las planicies arenosas, según se indica en el Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa (Cano, *et al.*, 1980). La región hídrica se clasifica como subhúmeda seca de acuerdo con las precipitaciones históricas y dado estas características, tanto el clima como el suelo son los controladores fundamentales de las actividades desarrolladas en la región. La vegetación está en función del uso agrícola-ganadero y comprende cultivos anuales y pasturas naturales, gramíneas en algunos sectores y algunas especies herbáceas, tal como se refleja en el mapa de la Figura 1.5 que se propone.

Sector de agricultura con ganadería subordinada (1): La agricultura supera ampliamente a la ganadería. Es la zona típica de la pampa húmeda con un buen desarrollo de los suelos. Ocupa toda la planicie arenosa donde se ha incrementado últimamente la siembra directa. Todos los cultivos son a secano.

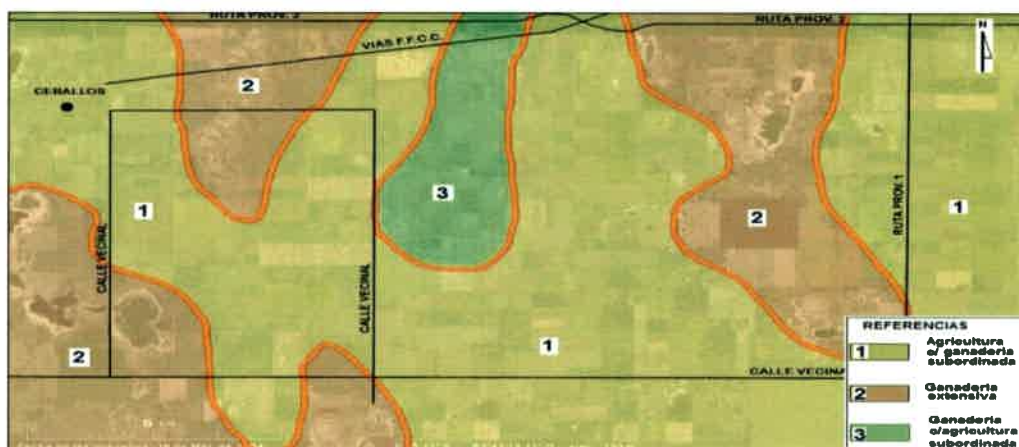


Figura 1.5: Mapa de uso actual de la tierra. Dpto. Chapaleufú, La Pampa (Castro,2010)

Sector de ganadería extensiva (2): Esta actividad se realiza en las partes más bajas y deprimidas, zonas hidrológicas de evaporación, así como en las zonas medanosas

de pasturas naturales. Ello ha permitido observar en algunos sectores, áreas de cubetas vinculadas al sobrepastoreo y excesivo "pisoteo" de animales producto de la sobrecarga.

Sector ganadero con agricultura muy subordinada (3) : Este sector se observa en las zonas medanosas donde la pastura es natural y la ganadería supera ampliamente a la agricultura por el poco desarrollo de los suelos

1.8.- MARCO GEOPOLÍTICO Y TERRITORIAL

La comarca en estudio se inserta políticamente en el Departamento Chapaleufú que limita hacia el Norte con la Provincia de Córdoba, al Este con la de Buenos Aires, al Sur con el Departamento Maracó y al Oeste con el Departamento Realicó. Todo el sector comprende una franja alargada en el sentido N-S de aproximadamente 55 km de ancho.

La localidad de Intendente Alvear fue fundada el 26 de noviembre de 1896, es cabecera del Departamento Chapaleufú que además incluye las localidades de Bernardo Larroudé, Ceballos, Coronel Hilario Lagos, Vértiz y Sarah. La comunidad se asienta en plena llanura pampeana, como parte de un área que involucra a todas las grandes provincias cerealeras y ganaderas del país. En la época de su fundación fue parte de las 100.000 hectáreas que pertenecían a Don Carlos Torcuato de Alvear, hijo de Torcuato de Alvear, primer intendente de Buenos Aires, en cuyo recuerdo estableció la denominación para el pueblo. Carlos Torcuato de Alvear fue también jefe comunal porteño en 1907, y su hermano Marcelo fue más tarde presidente de la Nación. (Municipalidad de I. Alvear, Libro del Centenario, 1996).

Previo a la fundación de Intendente Alvear, Figura 1.6, existió allí el Fuerte Alsina, luego Estancia Alsina. En memorias de Investigaciones Culturales de la Provincia (Municipalidad de I. Alvear, 1996) se lee que el fuerte fue demarcado el 9 de mayo de 1876

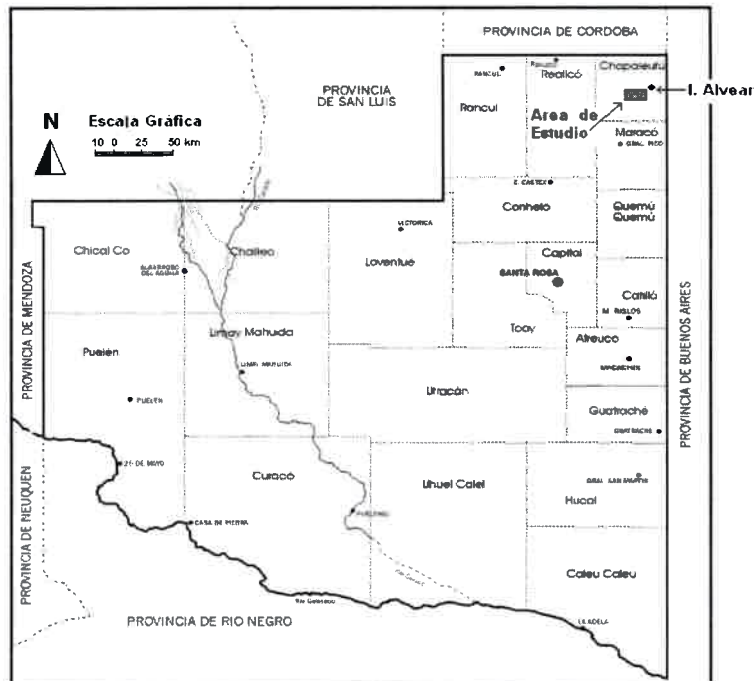


Figura 1.6: Mapa Político de La Pampa (Tomado de Schulz , 1998) y ubicación del área de estudio.

por Francisco Host y que el 5 de noviembre de 1878 el lugar fue ocupado por indígenas que se trasladaban con un arreo. Como administrador de los campos que componía la Estancia Alsina, se menciona a Fausto Falomir, que al fundarse la localidad dejó esa función y se radicó en el pueblo.

En la actualidad, sobre la base de las proyecciones del Censo Nacional del 2001 de la Dirección General de Estadísticas y Censos de la Provincia de La Pampa, el Departamento Chapaleufú, cuenta con 13.956 habitantes, de los cuales corresponden 9.533 habitantes a la localidad de Intendente Alvear, como se observa en las Tabla 1.1.

Casi la totalidad de la población departamental está distribuida en sectores urbanos siendo la población rural muy escasa y cada vez menor a medida que transcurre el tiempo. En la Figura 1.7 se consigna la evolución de la población, que como puede observarse, salvo la localidad de Intendente Alvear, las restantes no sobrepasan los 2500 habitantes, aún contemplando una proyección al año 2020.

Tabla 1.1: Distribución de la población departamental y proyección al año 2020

años	Sarah	Ceballos	H.Lagos	Vertiz	B.Larroude	I.Alvear	Total
1960	162	187	234	335	696	2455	4069
1970	135	153	382	358	766	2534	4328
1980	160	146	483	352	944	3640	5725
1991	126	238	571	508	1325	5688	8456
2001	163	331	685	650	1469	6624	9922
2011	175	467	810	680	2291	7641	13.956
2020	187	502	932	718	2793	10279	15.411

Respondiendo a estas características geográficas de la región departamental, existe una densidad poblacional de aproximadamente 4,2 habitantes por km², lo que marca que el mayor consumo del recurso hídrico zonal es ganadero.

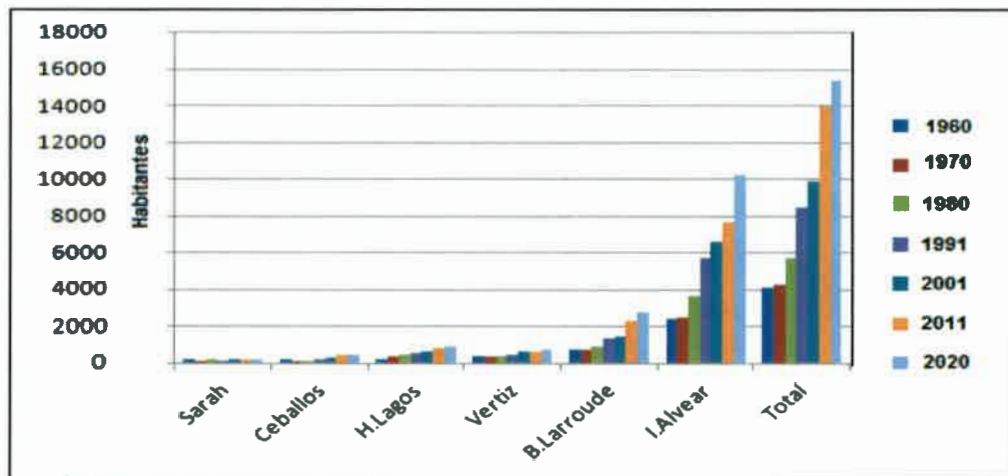


Figura 1.7. Evolución de la población del Departamento Chapaleufú

Por último, es importante destacar que la Administración Provincial del Agua es el organismo de aplicación en lo que concierne a la provisión de agua potable y a política hídrica en la provincia de La Pampa mediante la Ley 607/74, 773/77 y 1028/78 y que de acuerdo a normativas vigentes, el servicio de provisión de agua potable a la localidad de Intendente Alvear y Ceballos está concesionado a la Cooperativa de Electricidad, Obras y Servicios Públicos de Intendente Alvear Limitada que garantiza un control adecuado y razonablemente estricto en cuanto a las normas de potabilidad.

1.9.- ANTECEDENTES HIDROGEOLÓGICOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio no cuenta con información integral y específica. Solo existen algunos relevamientos muy parciales, de tipo genérico de organismos oficiales, provinciales y nacionales y que, por su cercanía e importancia en cuanto a la temática abordada, se han tenido en cuenta para la elaboración de la presente tesis. En ese sentido, se discriminarán los estudios de carácter regional que involucran aunque de manera marginal a la zona de interés y otros que con más detalle, corresponden a la zona de interés específica.

1.9.1.- Estudios regionales:

a) El estudio más antiguo vinculado a la temática hídrica de la zona data de 1961 y pertenece al Dr. A. Tapia (1961). Brinda un informe recomendando la construcción de seis perforaciones de estudio en un área favorable a los efectos de la prospección, correspondiente a la Sección I, Fracción B, Lote 18, denominado "Ea. Las Mercedes" y ubicado a 12 km al SW de la localidad de Intendente Alvear. La realización y los resultados de la prospección posterior al informe se desconocen.

b) **Estudio del Plan C.I.A.S**, CFI (1970): Durante el transcurso de los años 1966-1970 se lleva a cabo en la zona Este de la Provincia de La Pampa y NW de la Provincia de Buenos Aires, un relevamiento hidrogeológico por medio del Plan Comisión de Investigación de Aguas Subterráneas (Plan CIAS). En líneas generales, en el área cartografiada, surgen varias zonas de interés de dimensiones variables y con muestreo solamente de la parte superficial del acuífero freático, con aguas aptas para el consumo humano. De ellas, la más cercana a la población de Intendente Alvear y de mejor desarrollo, abarca la parte Centro Norte del Lote 18, Fracción B, Sección I, coincidiendo con la indicada en el estudio descripto en el punto anterior. Dicho trabajo tiene una muy baja densidad de muestreo, obviamente en una escala demasiado grande, que apenas involucra la zona de estudio mediante la toma de 4 muestras en 20.000 km². Además los análisis físico-químicos realizados a las muestras recolectadas son incompletos y carecen de las determinaciones de algunos iones mayoritarios así como de los cationes Na y K entre otros.

c) **Agua Subterránea en el Oeste de la Provincia de Buenos Aires** (Arigós, 1969). La información que compone este trabajo, solo está referida a un resumen de la bibliografía existente en esa época de la región en un punto de carácter muy general

sin ninguna mención específica al recurso subterráneo en particular. Con respecto a la zona de interés para el presente estudio, no abunda ni efectúa consideraciones especiales ni particulares.

d) Consultora Amilcar Risiga y Asociados SRL, (1988). Estudio para ajustar el conocimiento hidrogeológico del acuífero de General Pico-Dorila y el funcionamiento hidráulico de la batería de pozos que abastecen el Servicio de agua potable de la ciudad de General Pico. Se trata de un estudio hidrogeológico con un exhaustivo relevamiento de campo de parámetros hidráulicos del acuífero y de la zona no saturada. La información generada, si bien no abarca a la zona en estudio ubicada a 60 km al N, se ha considerado de utilidad para el presente trabajo por las analogías existentes, particularmente en lo que respecta a la geomorfología.

1.9.2.- Estudios locales en el área:

a) Estudios de Fuentes de Intendente Alvear: La Dirección de Aguas Subterráneas de la Provincia de La Pampa (1972), realizó estudios preliminares de prospección hidrogeológica en el área que no fueron finalizados, debido a que solo respondieron a exigencias del BID para la instalación de una planta de abatimiento de flúor. Inicialmente se efectuaron cinco perforaciones, de las cuales, la más profunda alcanzó los 55 m. Con posterioridad a ello se continuó la exploración de la zona por medio de 3 perforaciones más a fin de evaluar el acuífero, tanto química como hidráulicamente, según las normas del Servicio Nacional de Agua Potable y Saneamiento Rural (SNAP y SR). Si bien las tareas referidas estuvieron basadas en los informes citados anteriormente, Tapia (1961); C.I.A.S. (1966-1970), no se obtuvieron a partir de estos estudios fuentes de agua potable, programándose el abastecimiento mediante la instalación de una planta desfluorizadora a través de fosfato tricálcico.

b) Estudio de Fuentes para Ceballos: En el año 1979, la Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia, Malán, (1979), realizó estudios, con la finalidad de determinar la fuente de abastecimiento de agua a esa localidad situada en el mismo departamento. A través de los mismos se delimitó la presencia de dos zonas factibles de brindar agua potable a los fines propuestos. Una de ellas fue explorada a través de dos perforaciones. Los resultados obtenidos indicaron la presencia de una capa

acuifera con buenas características de potabilidad hasta los 20 m de profundidad en los sectores explorados. Posteriormente, Castro (1989), retoma el área de estudio, se elaboran los planos hidroquímicos correspondientes a este trabajo que se encontraba incompleto, al igual que las mediciones y determinaciones en campaña para la confección de la piezometría del área.

c) Estudio de Fuentes de Intendente Alvear: Las tareas realizadas en este estudio, Castro E y Tullio J, (1991), correspondieron a un replanteo, ampliación y adecuación del Servicio de Provisión de Agua Potable a la localidad de Intendente Alvear y estuvieron orientadas a evaluar las posibilidades del acuífero apto para consumo humano a fin de desechar la rehabilitación y uso de la planta de desfluorización que originalmente fuera parte necesaria del sistema. Para la realización del estudio se tuvieron en cuenta los antecedentes obrantes que se han descrito con anterioridad y además el estudio de otras zonas contiguas que, por su analogía, resultaron de interés para el trabajo. Este estudio forma parte medular de la presente tesis doctoral. Para ello y en función de los resultados obtenidos en el trabajo de campo, se ejecutaron diez (10) perforaciones de exploración, en las cuales se llevaron a cabo 27 ensayos de bombeo en distintos niveles acuíferos. Finalmente, se efectuaron las obras de adecuación del servicio de agua potable a la localidad dotándolo en la actualidad de 20 perforaciones de explotación que, mediante un acueducto de 12 km de longitud en un caso y 7 km en otro, lleva agua potable a Intendente Alvear y a la localidad de Ceballos, respectivamente.

En lo que respecta a perforaciones y niveles de acuíferos profundos, en el área de estudio no se tiene conocimiento de antecedentes sobre el particular y los estudios existentes en las inmediaciones y algunas localidades vecinas, tales como Bernardo Larroudé, arrojan aguas de altísimos contenidos salinos, aún superiores al agua marina Giai, (1978) ; Tullio, (1981).

CAPITULO 2

2.- CLIMATOLOGIA

2.1.- PRECIPITACIONES

2.1.1.- *Análisis de consistencia de datos pluviométricos*

2.1.2.- *Análisis de las precipitaciones mediante hidrogramas mensuales*

2.2.- TEMPERATURA

2.3.- EVAPOTRANSPIRACION

2.3.1.- *Calculo de la Evapotranspiración Potencial por Thornthwaite*

2.3.2.- *Calculo de la Evapotranspiración Real por Balshort*

2.3.3.- *Calculo de la Evapotranspiración Real por Turc*

2.3.4.- *Calculo de la Evapotranspiración Real por Coutagné*

2.3.5.- *Consideraciones generales de los resultados obtenidos*

2.4.- VIENTOS

2.5.- CLASIFICACION CLIMATICA DE LA ZONA

2.- CLIMATOLOGÍA

El factor climático tiene en la zona de estudio una trascendencia especial en la caracterización del suelo y consecuentemente en la conceptualización de la recarga al sistema, ya que el mismo recibe agua exclusivamente de las precipitaciones pluviales. Los estratos permeables del área medanosa y la zona de descarga, cuyo funcionamiento hídrico se analiza en otro capítulo de la presente tesis, vuelven el agua a la atmósfera a través de los procesos que se llevan a cabo en el sistema suelo por la evapotranspiración real iniciándose nuevamente el ciclo hídrico.

2.1.- PRECIPITACIONES:

Junto a la temperatura, las precipitaciones son el elemento climático que influye de manera más directa en la configuración del medio natural, tanto de manera temporal como espacialmente y las localidades en la región que cuentan con registros pluviométricos son las que se consignan en la Figura 2.1. A pesar de que algunas localidades departamentales cuentan con registros desde el año 1921, en otras las series comienzan en 1980. Por este motivo, a fin de unificar las series y criterios, se tendrá en cuenta esta última serie temporal.

Las precipitaciones constituyen la única entrada al sistema y tienen una importancia fundamental y directa sobre la economía puesto que condicionan los ciclos agrícolas y la distribución de las principales especies vegetales y animales.

Son además el parámetro meteorológico más condicionante en el comportamiento de la vegetación de la zona y tienen una fuerte influencia sobre la humedad relativa del ambiente, la cual es superior en el extremo NE de la Provincia por el aporte de las masas de aire húmedo que ingresan desde el Océano Atlántico originando mayores precipitaciones en el área.

Es en función de ello que su medición y cálculo reviste una importancia fundamental y única, aunque a veces, durante la práctica de la observación y registro del dato pluviométrico, es común que se introduzcan errores involuntarios. Estos podrían calificarse como accidentales y sistemáticos.

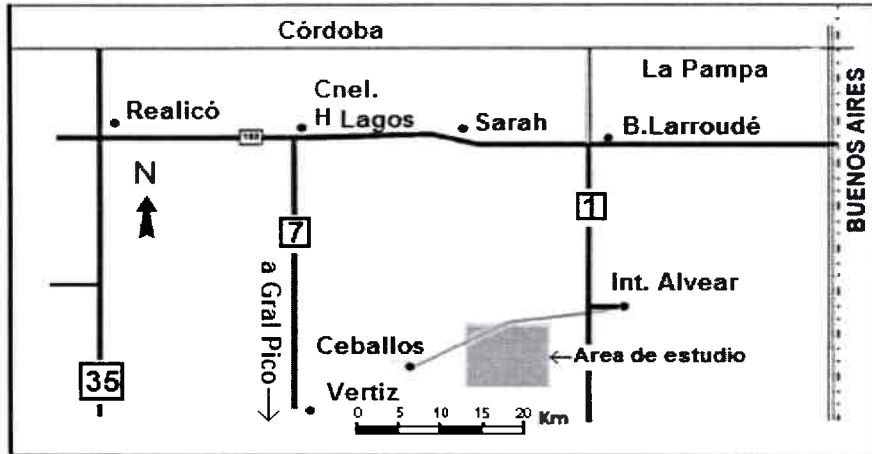


Figura 2.1: Ubicación de localidades con registros pluviométricos del Departamento Chapaleufú. Provincia de La Pampa.

Los primeros son de difícil identificación una vez que ha pasado un cierto tiempo desde el momento de medición y sólo pueden ser corregidos por el observador o el supervisor de la red en el momento de la lectura o en el corto plazo cuando todavía está presente la magnitud y característica del evento y los pasos seguidos durante la observación errónea. Los segundos, es decir los errores sistemáticos, pueden identificarse mediante la herramienta estadística por medio de análisis de consistencia regional de los datos. En general, en estos casos se detectan las diferencias entre estaciones pero muy pocas veces se logra identificar la causa que ha originado los mismos.

Como se cita en el punto metodológico 1.5.4.2.1 Precipitaciones, se ha determinado la consistencia de los datos pluviométricos y la regularidad de los registros de una estación con respecto al resto de las estaciones del área considerada, mediante estadísticas.

2.1.1.- Análisis de Consistencia de los Datos Pluviométricos

Para ello se han considerado las localidades con registros pluviométricos de zonas aledañas del Departamento Chapaleufú que se citan en la Figura 2.1, a efectos de compararlas con las de Intendente Alvear que se observan en la Figura 2.2. Concretamente entonces, en gráficos doble masa se contrastaron los totales pluviométricos de la estación de estudio contra los totales medios regionales calculados a partir de otras estaciones vecinas.

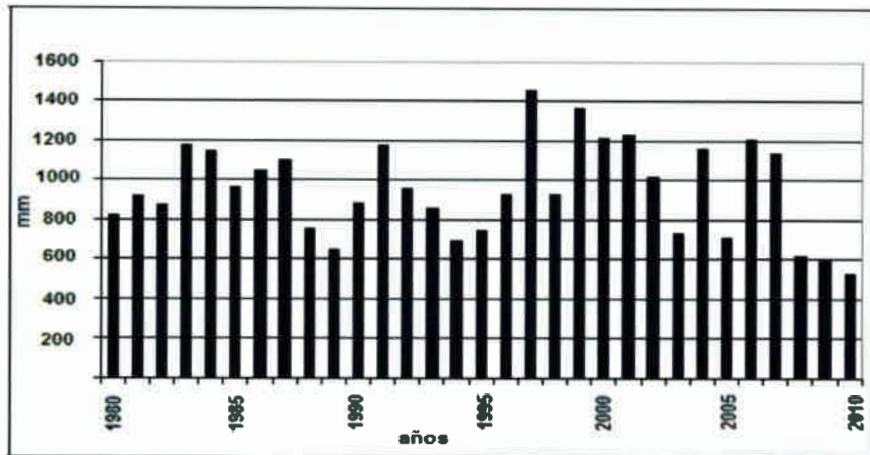


Figura 2.2: Precipitaciones anuales de I. Alvear (Serie 1980-2010)

Como resalta del análisis de la curva de doble masa, Figura 2.3, las precipitaciones de Intendente Alvear, responden casi de manera perfecta a las regionales, en cuanto a su paralelismo y disposición ascendente, situación compatible con la línea de tendencia de la serie considerada. Se observa además que en el origen, las rectas se cortan debido a que el año 1980 es el año cero del rango considerado y un paulatino aumento del espaciamiento entre las curvas a medida que asciende.

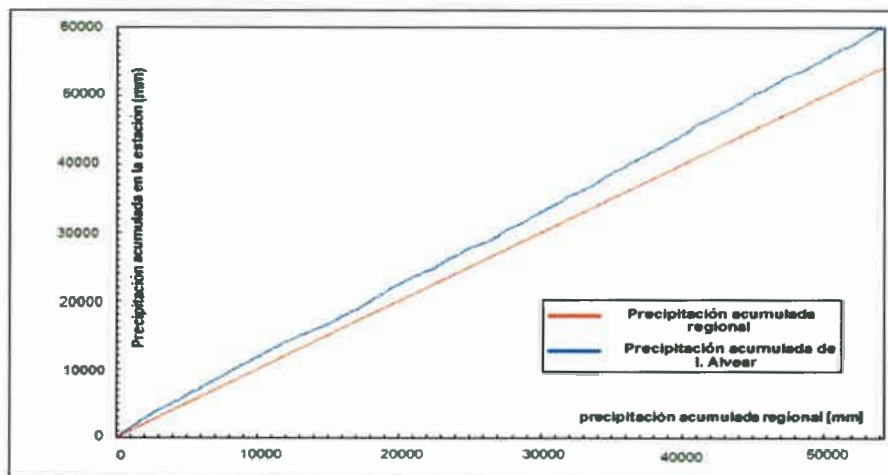


Figura 2.3. Análisis de Consistencia de las precipitaciones de I. Alvear(1980-2010)

A efectos de la comparación y verificar si esta situación de gradiente pluviométrico en sentido NE se cumple con la estación vecina de General Pico, ubicada a 50 km al SW, se efectuó el análisis de consistencia a las precipitaciones

acumuladas que se observan en la Figura 2.4, contrastadas con las acumuladas regionales del Departamento Chapaleufú.

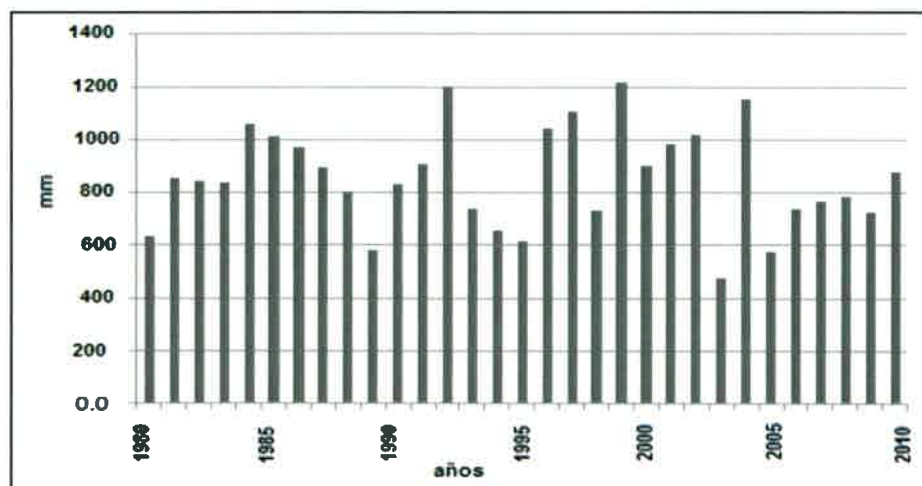


Figura 2.4: Precipitaciones anuales de General Pico (1980-2010)

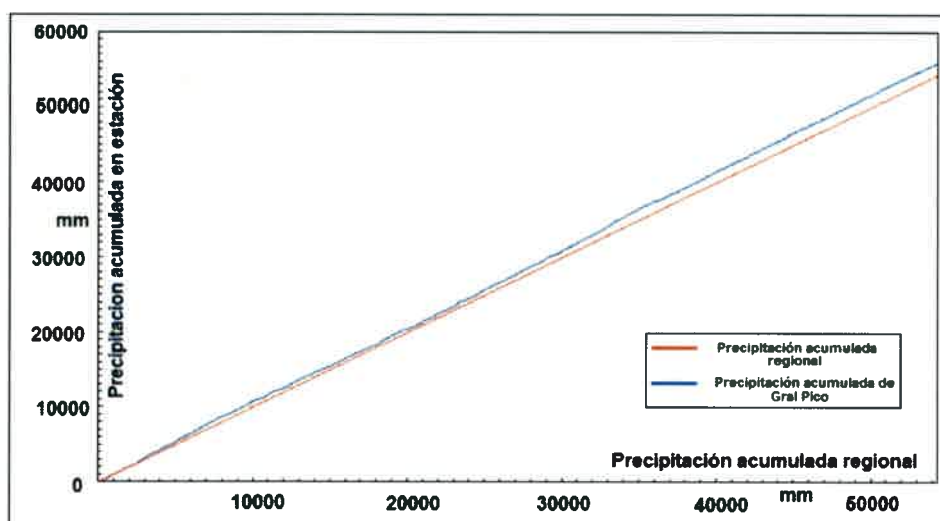


Figura 2.5. Análisis de Consistencia de las precipitaciones de Gral. Pico(1980-2010)

Como surge del análisis de consistencia, se puede observar que el pluviograma presenta una razonable consistencia al igual que el caso anterior, reflejada en el paralelismo de las rectas. No obstante, se observa un menor distanciamiento entre las rectas, situación perfectamente observable en el vértice superior derecho de la figura, es decir en los últimos años de la serie considerada. Ello abona lo manifestado en el análisis de las precipitaciones de Intendente Alvear en el sentido de que este espaciamiento hacia el final de la serie cada vez mayor

Tabla 2.1: Serie Pluviométrica del Dpto. Chapaleufú y G. Pico

Localidad	Serie	Media	Minimo	Año	Máximo	Año
Gral. Pico	1980-2010	857,1	473	2003	1218,7	1999
I. Alvear	1980- 2010	952,5	525	2010	1496,0	1997
B.Larroudé	1980- 2010	855,5	454	2003	1240	1997
Ceballos	1980- 2010	859,9	454	1964	1541	1997
H.Lagos	1980- 2010	877,8	362,5	2010	1478	1997
Vertiz	1980- 2010	825,8	353	2009	1318	1999

Las precipitaciones medias anuales de Intendente Alvear, al igual que las consideradas para la determinación del análisis de consistencia muestran incremento en sus valores, salvo los últimos tres años, verificándose en líneas generales, una tendencia positiva en todas las estaciones analizadas y particularmente en Intendente Alvear, zona de estudio de la presente tesis, a causa de la ocurrencia de años con precipitaciones por arriba de la media a partir de 1980 hasta 1990, con otro ciclo de iguales características desde el 1995 hasta el año 2002, a partir de cual presenta una notable variación de patrones que culmina con una sequía como la ocurrida desde el 2008 al 2010.

En síntesis, se puede manifestar que en las precipitaciones de la localidad de Intendente Alvear hay una clara tendencia positiva que se ha mantenido constante en la fecha considerada, salvo los últimos años, con valores mínimos de 525 mm en 2010 y valores máximos de 1496 mm en el año 1997, presentando una media para la serie considerada de 952,5 mm/año.

2.1.2.- Análisis de las precipitaciones mediante pluviogramas mensuales

Si se analizan las precipitaciones del año hidrológico mediante pluviogramas en función de los promedios mensuales en la misma serie cronológica de las localidades consideradas en el punto anterior, se verifica que guardan cierta regularidad y en líneas generales responden al mismo patrón regional. Es decir ciclos de precipitaciones importantes en enero y febrero, muy importantes en marzo, para decaer a importante en abril y comenzar una marcada disminución hasta julio-agosto, desde donde comienza el año hidrológico a ascender sostenidamente hasta diciembre.

Como se destaca de la observación de la Figura 2.7, de promedios mensuales en la serie considerada, no existe una marcada variación intermensual aunque puede destacarse la existencia de una marcada estacionalidad en las precipitaciones con una estación seca en invierno y una húmeda en verano que se extiende hasta entrado el otoño.

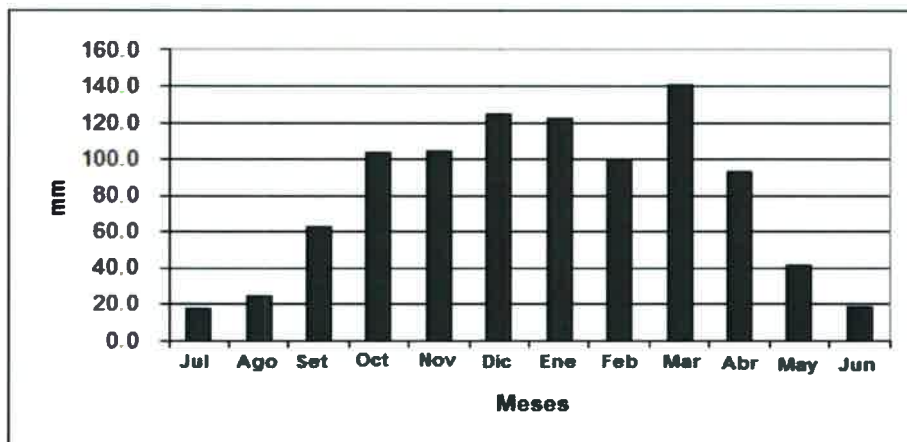


Figura 2.7: Pluviograma mensual medio de I. Alvear (1980-2010)

2.2.- TEMPERATURA

Como se ha mencionado en la introducción del presente punto, solo existen registros termométricos en la localidad de Intendente Alvear desde comienzos del 2007, fecha en la cual se instaló y puso en funcionamiento la estación agrometeorológica automática de última generación. En función de ello y dada la cercanía a la ciudad de General Pico, es que se han tomado las estadísticas anteriores a esa fecha existentes en esta última ciudad, registrada por la estación experimental General Pico del INTA.

Se obtuvo una Temperatura Media Anual de 15,9 °C (serie 1980-2010), con una media máxima de 23,3°C anual y de 31,8 °C en los meses de verano, una media mínima de 8,4 °C anuales y 1,8 °C en los meses de invierno (Figuras 2.8, 2.9 y 2.10). En la Tabla 2.2 pueden observarse las estadísticas proporcionadas por el organismo mencionado y por el Servicio Meteorológico Nacional.

Tabla 2.2: Temperaturas medias mensuales en °C. Gral Pico(1980-2010)

Variables	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Año
T°C Media	8	7.6	9.4	12.6	16	19.8	23.2	24.5	23.2	19.6	15.3	11.5	15.9
T°C Máx-Media	14.6	15	17	20.2	23.4	25.5	31.2	32.7	31.5	27	23.1	18.7	23.3
T°C Min-Media	2.4	1.8	2.4	4.8	8.2	11.6	14.2	15.2	15.0	12.7	8.1	5	8.4
T°C Máx Absol.	27.1	28.3	28.9	36.8	37.1	39.9	42	44.8	41.9	40.2	35.6	31.8	44.8
Hum. Rel. Media (%)	81	78	70	65	66	62	52	54	58	70	72	76	67

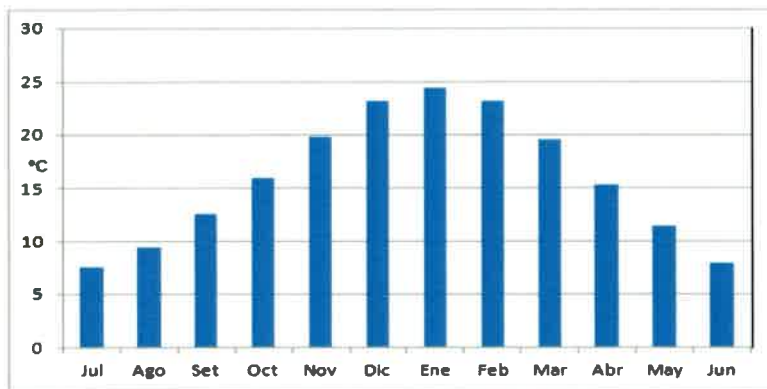


Figura 2.8: Hidrograma de Temperaturas Medias Mensuales. Gral Pico (1980-2010)

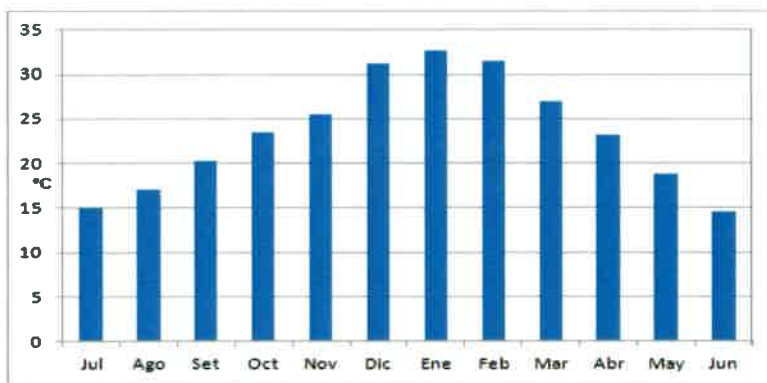


Figura 2.9: Hidrograma de Temperaturas máximas medias. Gral Pico(1980-2010)

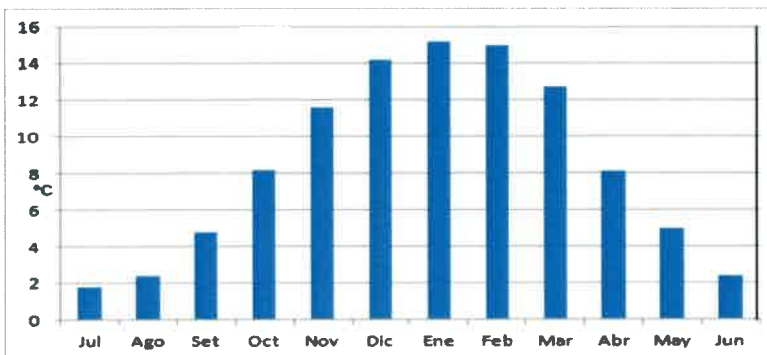


Figura 2.10: Hidrograma de Temperaturas mínimas medias. Gral Pico (1980-2010)

2.3.- EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evaluación y cuantificación de la evapotranspiración real de un área de interés es un tema de preponderante relevancia, tanto desde el punto de vista teórico como práctico y consecuentemente, aplicado. Su medición experimental es costosa y además compleja, que requiere el uso de instrumental sofisticado que no siempre es posible encontrarlo y construirlo, además de las cuestiones presupuestarias que implica.

Estas circunstancias sin lugar a dudas debe haber influido para que se desarrollaran una serie de metodologías empíricas y semiempíricas que pueden calcularla con bastante exactitud en áreas donde no abunda la información meteorológica y donde, con un mínimo de ella, puede estimarse para un área determinada e inclusive posteriormente extenderlas a regiones más grandes, por supuesto con ciertas analogías climáticas y edáficas.

Además y en función del avance tecnológico que ha permitido efectuar modelos de simulación de una gran precisión y confiabilidad, es posible determinar fenómenos físicos y/o balances hidrológicos en función de elementos tales como meteorológicos, edáficos, atmosféricos, etc. Una práctica corriente y de singular utilidad es calcular previamente la Evapotranspiración Potencial y a partir de ésta, en función de los datos de cantidad de agua en el suelo, superficie evaporante, cobertura vegetal y otras tantas variables, efectuar el cálculo de la Evapotranspiración Real.

En síntesis, se puede decir que existen y se han desarrollado numerosos métodos para el cálculo de la evapotranspiración pero todos ellos, sofisticados o no, están condicionados por la cantidad, calidad, variabilidad y tipos de datos meteorológicos y edáficos con que se cuenta.

La estación experimental del INTA de General Pico, Provincia de La Pampa, publica variables climáticas, entre ellas los valores de evapotranspiración potencial estimados por las expresiones metodológicas propuestas por la Ecuación de Penman-Monteith FAO (Allen *et al.*, 1998) y Thornthwaite(1948) . Entre ambas series consideradas para el período 1980 – 2010, presentan diferencias acumuladas del orden del 5% respecto del total evapotranspirado. Esta diferencia, puede adjudicarse

al método de estimación. Para el presente punto, se tomarán para las estimaciones la metodología propuesta por Thornthwaite (1948) en función de los datos con que se cuenta para el área en estudio y además debido a que, en función de la experiencia de trabajos anteriores en la región, este método ha ajustado convenientemente. Con las expresiones propuestas por Thornthwaite(1948), se efectuará el balance de agua del suelo de paso mensual y posteriormente se verificará y confrontará este resultado con un balance hidrológico de masas de paso diario propuesto por el Carrica (1993) mediante un balance seriado denominado Balshort. Además, se calculará también como métodos complementarios, la Evapotranspiración Real por las metodologías empíricas de Turc y Coutagné (1961).

2.3.1.- Calculo de la Evapotranspiración Potencial por Thornthwaite (1948):

Para el balance hídrico medio de paso mensual que se utilizó para el cálculo de las evapotranspiraciones, se consideró un suelo arenoso franco con una (C.C) de 170 mm ($1700\text{mm}^3/\text{ha}$) según los análisis gravimétricos efectuados por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) entre 1972 y 1975, para un suelo caracterizado como Ustipsament Típico, cubierto por vegetación natural de pradera y correspondiente a un clima subhúmedo. El año hidrológico comienza en el mes de julio, época durante la cual se asume que la reserva de agua útil se encuentra en capacidad de campo, según lo verificado "in situ" debido a la baja tasa de evapotranspiración potencial (ETP).

Considerando las precipitaciones medias mensuales (P) para la localidad y la evapotranspiración potencial según la metodología citada, se puede determinar cómo varía la reserva de agua útil en el suelo a lo largo del año y en función de estos parámetros calcular la Evapotranspiración Real (ETR) en mm que expresa el valor real de las pérdidas de agua por evaporación en el suelo y transpiración de las plantas y también determinar los déficit y/o excesos, parámetros éstos que condicionarán la recarga anual en el acuífero. En tal sentido, se analizará en adelante, la serie temporal desde 1980-2010, fecha a partir de la cual el organismo de aplicación provincial registra datos.

De acuerdo a los cálculos efectuados, que se observan en las Tablas 2.3 y 2.4, la evapotranspiración potencial es de 817 mm/año. La máxima ocurre en los

meses de diciembre y enero con valores de 131,8 mm y 144,9 mm respectivamente, mientras que la mínima se presenta en los meses de junio y julio con 17,2mm y 16,2 mm.

Tabla 2.3 - Balance Hidrológico de paso mensual de I.Alvear(1980-2010)

(*)	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total
P	17.9	24	62.3	103.6	104.6	124.4	122.5	100.0	140.9	92.9	40.9	18.4	952.5
ETP	16.2	26.2	42	70.1	91.3	131.8	144.9	96.1	92	53.6	35.9	17.2	817.3
RAU	170	167.8	170	170	170	162.6	140.2	144.1	170	170	170	170	-
ΔRau	-	-2.2	2.2	-	-	-7.4	-22.4	3.9	25.9	-	-	-	-
Exc	1.7	-	18.1	33.5	13.3	-	-	-	23	39.3	5	1.2	135.1
Def	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ETR	16.2	26.2	42	70.1	91.3	131.8	144.9	96.1	92	53.6	35.9	17.2	817.3

(*) valores expresados en mm

Los valores determinados son los siguientes:

Tabla 2.4: Valores del Balance Hidrológico Calculado por Thornthwaite (1948)
Intendente Alvear (1980-2010)

Precipitación (P) en mm	925.5
Capacidad de Campo (C.C) (mm)	170
ETR (mm)	817.3
Porcentaje de las P. (%)	86

Una rápida relación entre las precipitaciones y ambas evapotranspiraciones en la serie considerada nos indicaría que el balance presenta un equilibrio razonable, desde el punto de vista hidrológico y además un exceso de aproximadamente 135,1mm/año para el rango considerado de 31 años, que se incorpora como reserva al acuífero libre, no presentando déficit en ninguna de las medias mensuales consideradas. Es pertinente repetir que se asumen como muy escasos escurrimientos superficiales como para que el exceso hídrico sea todo recarga al acuífero.

De acuerdo a esta metodología de balance, siempre los valores mayores de las evapotranspiraciones, con relación a las precipitaciones en los meses críticos, fueron satisfechos con la Reserva de Agua Útil (RAU). En la Figura 2.11 se representa la relación mensual entre precipitación, evapotranspiración potencial y evapotranspiración real.

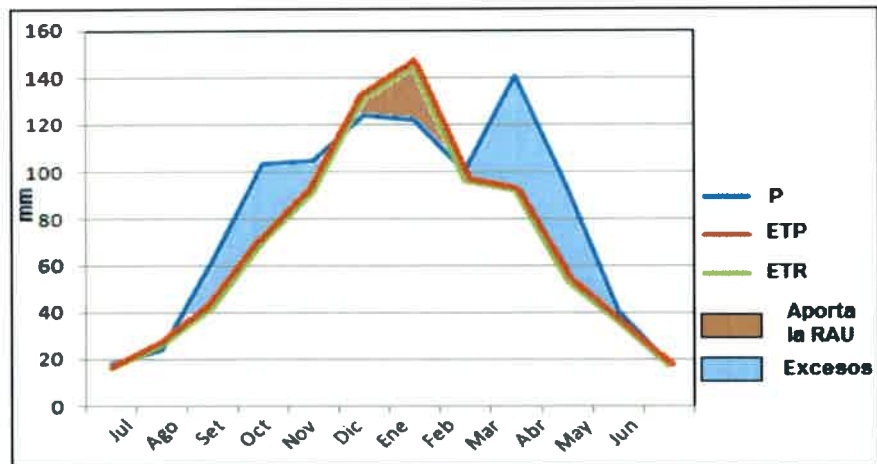


Figura 2.11. Relación entre la Precipitación y las Evapotranspiraciones (1980-2010)

Estos resultados indican de qué manera han variado las evapotranspiraciones, real y potencial, entre los años 1980 y 2010. Sin embargo, se observa que, mediante este método, en algunas ocasiones se enmascaran ciertos fenómenos de génesis climática, tales como las precipitaciones, de los que se tiene conocimiento de su existencia fehaciente que se han llevado a cabo dentro del rango considerado y que es imposible de poder observarlos en estos rangos de escalas temporales. Sin embargo en escalas de tiempo más pequeñas y /o utilización de balances seriado de paso diario, es posible observarlas y además, merituarlas.

2.3.2.- Calculo de la Evapotranspiración Real por Balshort (Carrica, 1993).-

A fin de poner de manifiesto esta circunstancia citada y dilucidarla en lo posible, se utilizó un programa computarizado para efectuar el cálculo de agua en el suelo y efectuar un balance hidrológico seriado de paso diario denominado Balshort, (Carrica, 1993). Para tal fin se utilizaron los datos diarios desde 1980, fecha a partir del cual monitorea el acuífero la Administración Provincial el Agua de la Provincia de La Pampa, hasta diciembre del 2010, es decir 30 años. El resultado se muestra en la Figura 2.12.

Como en la gran mayoría de los métodos de balance existentes, situación que ya se ha manifestado con anterioridad, se adopta el concepto básico de calcular la Evapotranspiración Real (ETR) en función de la Evapotranspiración Potencial (ETP),

conforme las características físicas del medio evaporante y del contenido de agua en el suelo.

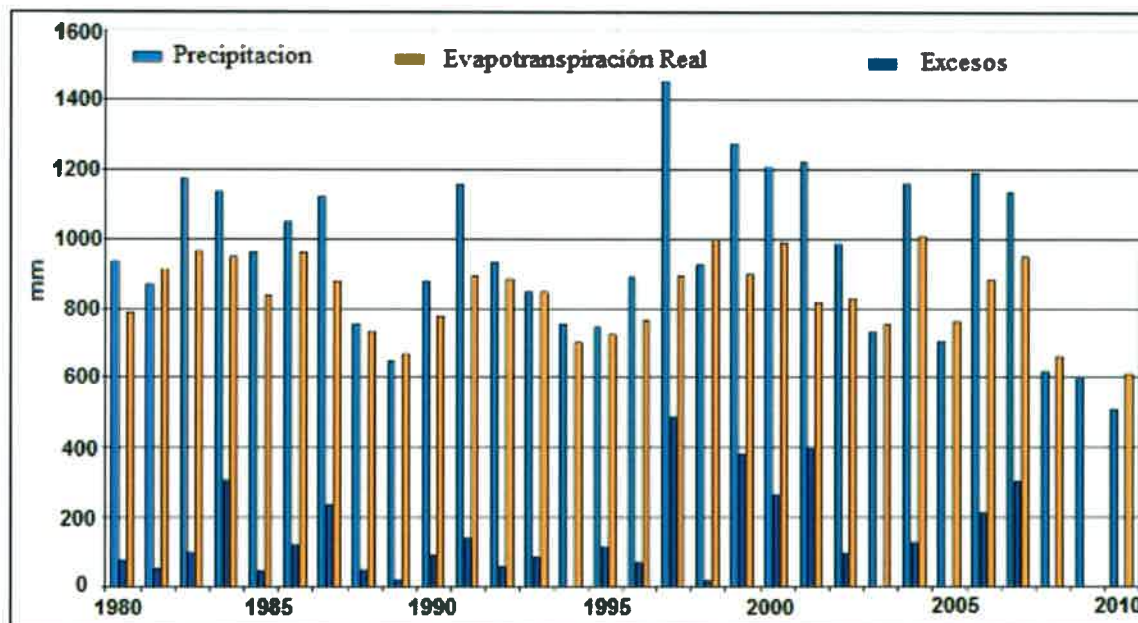


Figura 2.12: Cálculo de la Evapotranspiración Real(1980-2010)

Los excesos de agua se producen una vez que el suelo ha superado el valor de CC y representa el agua factible de infiltrarse circulando por la zona vadosa hasta alcanzar el acuífero. Como resultado de la aplicación de esta metodología y utilizando datos medios anuales, se llegan a determinar los siguientes valores consignados en la Tabla 2.5.

Tabla 2. 5. Cálculo de la Evapotranspiración Real por Balshort (1980-2010)

Precipitación (P) en mm	952,5
Capacidad de Campo (C.C)	170
ETR (mm)	838,36
Porcentaje de las P. (%)	88%

Para comarcas de temperaturas y precipitaciones semejantes, ubicadas a muy pocos kilómetros de distancia General Pico, Risiga, (1988), Quemu Quemú, Schulz *et al.*,(1988), General Pico, Mariño (2003), estos cálculos de evapotranspiración real a través de esta metodología ofrece resultados muy razonables y semejantes a los efectuados por otros métodos convencionales, tales como Turc y Coutagne (1961) que demuestran aún hoy ser muy confiables y utilizados en zonas de llanuras.

2.3.3.- Cálculo de la Evapotranspiración Real por Turc (1961)

Al efecto se considerarán los mismos valores de la serie cronológica utilizada en el programa Balshort, es decir 1980-2010.

$$\text{Turc} = \text{EVR} = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} = \frac{952,5\text{mm}}{\sqrt{0,9 + \frac{907256,25}{807266,31}}} = 669,54\text{mm}$$

Analizados los datos y efectuados los cálculos correspondientes, esta metodología indica los siguientes datos:

Tabla 2.6. Cálculo de la Evapotranspiración Real por Turc (1961)

Precipitación (P) en mm	952,5
Capacidad de Campo (C.C)	170
ETR (mm)	669,54
Porcentaje de las P. (%)	71%

2.3.4.- Cálculo de la Evapotranspiración Real por Coutagne (1961)

Si utilizamos la metodología de Coutagne (1961) para el cálculo de la Evapotranspiración Real, a partir también de la media anual de temperaturas, en la misma serie cronológica que la anterior, se tendrá:

$$\text{ETR} = \text{Coutagne} = P - x \cdot P^2$$

$$x = \frac{1}{0,8 + 0,14 \times 16,9^\circ\text{C}} = \frac{1}{3,026} = 0,330469$$

$$\frac{1}{8(0,330469)} = 0,378 \quad ; \quad \frac{1}{2(0,330469)} = 1,499$$

Coutagne es válido entonces para valores que fluctúen entre 400 y 1400 mm

$$0,952\text{m} - (0,3304 \cdot 0,906) = 0,663 \text{ m/año}$$

$$\text{ETR} = 0,663 \text{ m/año}$$

Tabla 2.7. Cálculo de la Evapotranspiración Real por Coutagné (1961). (1980-2010)

Precipitación (P) en mm	952.5
Capacidad de Campo (C.C)	170
ETR (mm)	0,653m/año
Porcentaje de las P. (%)	89%

2.3.5: Consideraciones Generales de los resultados obtenidos para la Evapotranspiración

La finalidad del cálculo de esta importante variable climática por distintas metodologías empíricas tan ampliamente utilizadas en la actualidad, tal como se muestra en la síntesis de la Tabla 2.9, responde a la intención de comparar sistemáticamente el comportamiento de las mismas para zonas de grandes llanuras de climas semiáridos y húmedos-subhúmedos y en función de sus resultados visualizar como ajustan a la región con las características citadas. Obviamente, cada método requiere de una serie determinada de datos y es en función de la calidad del los mismos la robustez y significación que tendrán los resultados.

Tabla 2.8. Síntesis de la Evapotranspiración por distintos métodos (1980-2010)

Método de cálculo	Evapotranspiración (mm) y m/año	Porcentaje(%)
Thornthwaite (1948)	817,3	86
Turc (1961)	670	71
Coutagne (1961)	0,653 m/año	69
Balshort (1993)	838,36	88

En general, se podría mencionar que de acuerdo a la experiencia y conocimiento que tiene el autor del comportamiento climático en la región, el resultado de los cálculos de la evapotranspiración real a través de la metodología de Turc (1961), suele considerarse como un resultado subvaluado, es decir que tendría valores mayores a los que determina esta metodología. En nuestra provincia, en general y en nuestra región en particular, en estudios de zonas análogas ha sido frecuente esa comprobación, sobre todo vinculándolo con el cálculo de la recarga y consecuentemente con la variación registrada de la capa freática.

Por el contrario, la metodología de Thorntwaite (1948) que usa datos modulares para la determinación de la evapotranspiración potencial, al menos en los valores determinados en las zonas semiáridas y subhúmedas, aparecen como muy sobrevaluados, particularmente en la zona centro-oeste de nuestra provincia, es decir al Oeste del Meridiano $64^{\circ} 30'W$. A tal punto es así que en algunas regiones de nuestra provincia, en función de esos resultados, históricamente y aún en la actualidad, los balances han sido deficitarios, inclusive en algunas zonas donde se ha comprobado importantes ascensos de la capa freática en épocas estivales. No obstante lo señalado, es una metodología muy utilizada que, con algunas precauciones, aún hoy es de mucha utilidad.

En lo que respecta a la determinación de la evapotranspiración real por el método empírico de Coutagné (1961), en la zona de estudio ha dado buenos resultados. Los mismos han sido comparados con las variaciones de la capa freática y en líneas generales sus resultados ajustan bastante bien a dichas variaciones.

El método Balshort V.3. (Carrica, 1993), es un cálculo de balance hidrológico de paso diario del agua en el suelo que además de la lluvia y evapotranspiración potencial diaria, incorpora otras variables, como la Interceptación Vegetal, la Reserva de Agua Util (RAU) y curvas de retención de agua en el suelo conforme la textura que presentan y a su conformación sedimentológica (arenosa, limosa, arcillosa) entre otras consideraciones. Ha sido probado además en zonas análogas a la del estudio, obteniéndose muy buenos resultados. La gran utilidad de esta metodología es que sea de paso diario por lo que muestra bien los excesos y mejora el análisis del comportamiento real del sistema. Por lo expuesto, el autor le atribuye un peso muy significativo a esta metodología.

2.4.- VIENTOS

Es importante el análisis de las frecuencias y direcciones de los vientos predominantes en la zona puesto que su estudio representa una contribución muy útil para el sector agropecuario en el sentido de que su conocimiento puede morigerar un fenómeno muy común, continuo y recurrente en la región como lo es la voladura de los suelos debido a las malas prácticas agropecuarias de labranza durante tiempos inadecuados sin tener en cuenta estos aspectos climáticos.

Los vientos predominantes en la región, Figura 2.13, son en primer lugar de dirección N-S y en segundo lugar S-NE y corresponden al accionar de dos anticiclones

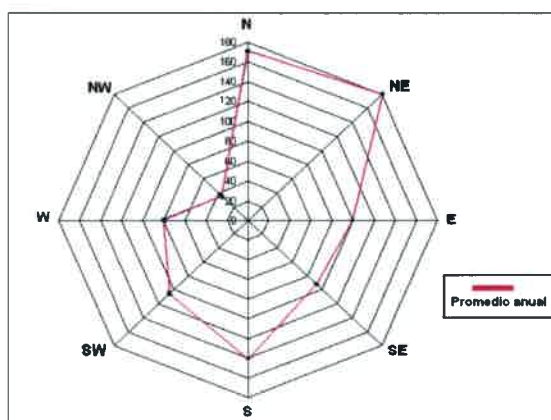


Figura 2.13: Dirección predominante de los vientos en Gral. Pico(1980-2010)

de altas presiones que los originan, siendo la región muy susceptible a la erosión eólica entre los meses de septiembre y diciembre, por el tipo de suelo que la conforma y además por la característica de las explotaciones agropecuarias de la zona. Además, poseen una distribución más o menos uniforme en cuanto a las velocidades medias por dirección, variando entre 10 km/h y 18 km/h, con una media de 14 km/h. En la Tabla 2.9 se observan las características de esta variable climática durante el transcurso de un año tipo, como así una breve sinopsis de los mismos.

Tabla 2.9. Valores anuales de frecuencia y dirección de los Vientos. Estación INTA de Gral Pico(1980-2010)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Año
N	195	192	208	174	155	153	136	136	139	172	176	206	170
NE	163	145	170	184	200	182	214	202	201	182	174	136	180
E	112	111	135	130	108	104	81	83	77	79	92	75	99
SE	81	89	88	93	87	94	77	100	129	114	75	62	91
S	152	170	142	139	112	116	133	142	132	126	152	169	140
SW	98	91	90	77	105	97	98	123	132	111	122	106	104
W	74	78	58	78	99	108	81	84	61	79	63	97	80
WN	31	30	13	31	30	56	62	34	37	41	34	25	35
Calma	94	94	96	94	104	90	118	96	92	96	112	124	101

Frecuencia de las direcciones en escala de 1000-Fuente: Estadística Climatológica del SM Nacional

Teniendo en cuenta las características climáticas de la región y la estrecha relación de estas con las prácticas agrícolas-agropecuarias que se llevan a cabo en la región, se discriminarán los vientos aproximadamente en las cuatro estaciones del año. Así, se puede observar en la Figura 2.14, la clara preponderancia que tienen los vientos de dirección N-S producto de las altas temperaturas y de las bajas presiones que se producen en esos sectores. En segundo orden de magnitud, figuran los vientos de dirección NE – SW.

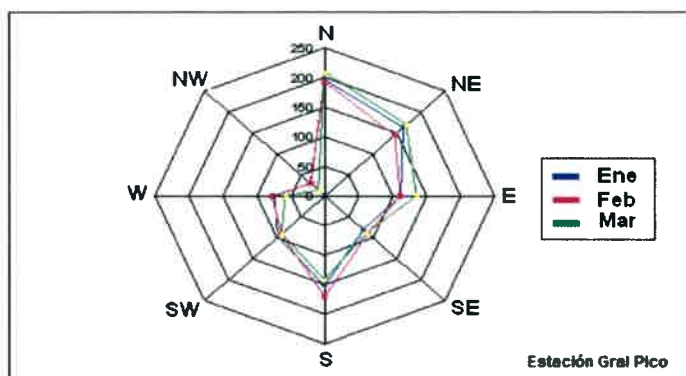


Figura 2.14: Variaciones temporales del Viento (verano)

Como se observa en la Figura 2.15 aquí aunque sigue siendo importante la prevalencia de los vientos N-S, aumenta considerablemente su incidencia los vientos de dirección NE - SW.

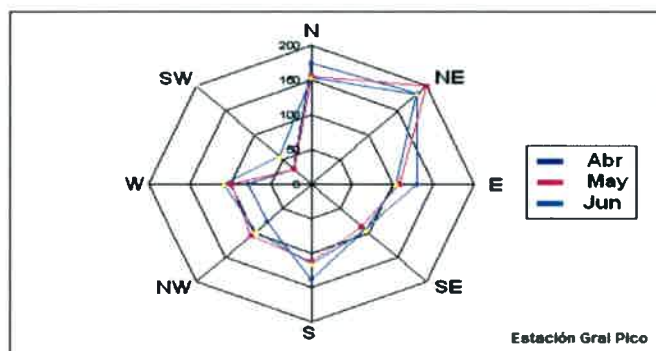


Figura 2.15. Variaciones temporales del Viento (Otoño)

En la Figura 2.16 la significación de los vientos de dirección SW-NE es marcadamente superior a los eventos de dirección SN.

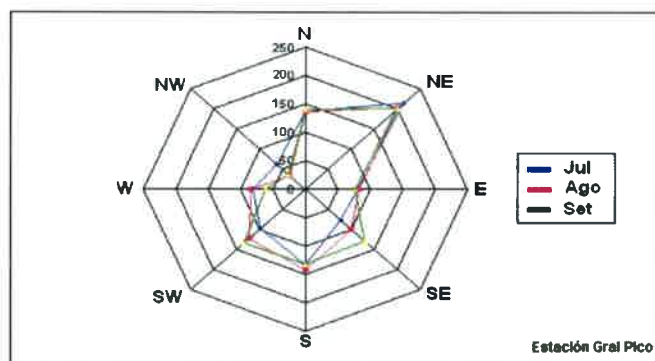


Figura 2.16: Variación Temporal del Viento (Invierno)

Nuevamente en la primavera, crece la influencia de los vientos originados en zonas de alta presión, como se observa en la Figura 2.17 y la dirección predominante es N-S, seguida de NE-SW.

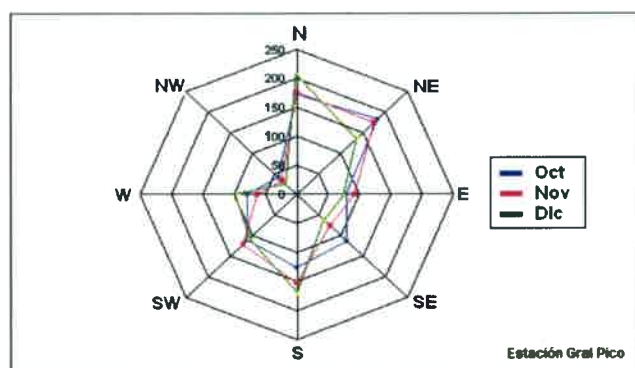


Figura 2.17: Variación Temporal del Viento (Primavera)

Para finalizar este punto, es de destacar la influencia que tiene el viento sobre los procesos de evaporación de agua del suelo, así como también sobre la erosión, principalmente en la parte central y oriental de la región en estudio. En la época estival, el viento contribuye al aumento de la deficiencia hídrica pues aumenta la evapotranspiración.

2.5.- CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LA ZONA MEDIANTE LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS DE THORNTHWAITE, (1948)

Por último y con los valores determinados en el presente capítulo, mas los datos utilizados según el Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de

La Pampa, Cano, *et al.*, (1980), que proporciona además información de temperatura, precipitación, evaporación, humedad y vientos para el sector bajo estudio, se clasifica al régimen climático como térmico de régimen údico a ustico.

Se efectuó además, una clasificación climática en función de los datos recabados y según la metodología y los índices climáticos de Thornthwaite, 1948, para los registros termométricos y pluviométricos existentes durante el período considerado (1981-2010).

A partir de los balances de agua en el suelo, efectuado por la metodología de mismo autor, se definen tres índices a saber: a) El Índice de Humedad (I_h), que es el porcentaje de superávit hídrico anual respecto de la evapotranspiración potencial anual, b) Índice de Aridez (I_a), que es el porcentaje del déficit anual respecto de la evapotranspiración potencial anual, y c) el Índice Hídrico anual (I_m) que resulta de la diferencia entre el Índice de Humedad y el de Aridez multiplicado por un coeficiente.

$$\text{a) Índice de humedad} = I_h = \frac{S}{ETP} \times 100$$

$$\text{b) Índice de aridez} = I_a = \frac{D}{ETP} \times 100$$

$$\text{c) Índice hídrico anual} = I_m = I_h - (0,61 \times I_a)$$

En función de los mismos, se determinó que la caracterización climática para esta zona corresponde a: Clasificación Climática de Thornthwaite, (1948) = B_2, B'_2, r, a' , es decir Húmedo II, Mesotérmico o mesotermal con pequeña falta de agua y una concentración estival de la eficacia térmica del 24%.

CAPITULO 3:

GEOLOGIA

3.1.- *ESTRATIGRAFIA Y ESTRUCTURA*

3.2.- *CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL*

3.2.1.- *Provincia Geológica Sierras Pampeanas*

3.2.2.- *Provincia Geológica Sanrafaelino-Pampeana*

3.3.- *CUENCAS SEDIMENTARIAS DEL NORTE DE LA PAMPA*

3.3.1.- *Cuenca de Macachín*

3.3.2.- *Cuenca de Laboulaye (Pcia de Córdoba)*

3.4.- *CONTEXTO GEOLOGICO LOCAL*

3.4.1.- *Formación Paraná*

3.4.2.- *Formación Cerro Azul y/o Pampeano*

3.4.3.- *Formación Junín*

3.4.4.- *Formación Valle Maracó*

3.4.5.- *Sedimentos actuales*

3.5.- *PERFIL ESTRATIGRAFICO LOCAL*

3.6.- *RASGOS ESTRUCTURALES EN EL NORTE DE LA PAMPA*

3.- GEOLOGIA

3.1.- ESTRATIGRAFÍA Y ESTRUCTURA:

La zona de estudio se encuentra dentro de la llamada "Llanura Chaco-Pampeana", integrando una unidad morfológica muy extensa, que abarca gran parte de América del Sur, desde los llanos de Colombia y Venezuela al Norte hasta las extensas pampas argentinas al Sur. Se caracteriza principalmente por un relieve suavemente ondulado a plano y coincide con una extensa zona de la corteza de gran estabilidad, de tendencia negativa, donde se acumularon en el pasado geológico sedimentos marinos y continentales, formando potentes series sedimentarias.

Los depósitos más modernos en la región pampeana, son principalmente de origen eólico, constituidos por loess pampeano y sedimentos limo-arenosos de color castaño, intercalados en su base con areniscas muy finas, entremezcladas de cenizas volcánicas provenientes de las erupciones sucedidas en la Cordillera de los Andes. Es común encontrar concreciones calcáreas (tosca) y yesíferas.

Los sedimentos de origen fluvial se limitan a las cuencas de los escasos ríos de la zona. Al Norte de La Pampa se confunde con los llanos que circundan a las Sierras Pampeanas y hacia el Oeste se prolonga en las planicies cuyanas, abundando en esta zona cuencas endorreicas que alojan salinas y salitrales existiendo áreas totalmente desprovistas de agua presentando caracteres desérticos.

Esta gran llanura se interna en nuestra provincia y, como lo manifiesta Linares, *et al.* (1980), La Pampa es casi una llanura en su totalidad, presentando en general muy escasas elevaciones de pocas decenas de metros y en pocos casos centenas de metros ubicadas casi todas ellas hacia el Oeste, excepto el rasgo orográfico más importante de la región que constituyen las Sierras de Lihúel Calel, de aproximadamente 600 m.s.n.m, que se sitúan en el centro-sur provincial. En este sector afloran rocas de edad Triásica de alta significancia desde el punto de vista de la correlación estratigráfica.

Debido a los pocos afloramientos rocosos, es escaso lo conocido hasta el presente en lo referente a unidades estratigráficas. En este sentido y siendo otro el objetivo principal del presente trabajo, se describirá muy someramente la geología

(estratigrafía-estructura) de la provincia de La Pampa y, posteriormente de manera más específica, las particularidades geológico-geomorfológicas de la región y del área de interés local.

3.2.- CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Para de Elorriaga y Tullio (1998), investigadores de las estructuras de la región Norte de la Provincia de La Pampa, los trabajos de Stappenbeck (1926) son en cierto modo el punto de partida para las investigaciones que vinieron después.

Salso (1966), delimita la Cuenca de Macachín; Zambrano (1974), utilizando fundamentalmente los datos de las perforaciones realizadas por la Dirección Nacional de Geología y Minería (DNGM) y las líneas sísmicas de refracción ejecutadas por YPF, efectuó correlaciones basadas en los valores de las profundidades de pases de los reflectores y de sus velocidades.

Yrigoyen (1975) explica la Cuenca de Macachín como producto de fallas de desplazamiento lateral; Linares, *et al.*,(1980) incorpora datos de la sierra de Lonco Vaca y Giai (1984) señala la presencia en el área de sedimentos cretácicos de Sierras Pampeanas. Las serranías de Lonco Vaca han sido motivo de estudios petrológicos por parte de Pastore (1932), Sister (1949) y Parica (1986).

En el trabajo de Linares, *et al.*,(1980) se informa de una síntesis de los elementos estructurales de la Provincia de La Pampa. Este bosquejo detalla las unidades geoestructurales más sobresalientes e importantes, que llevan la denominación de los ambientes con las cuales se las homologa. En el mapa de la Figura 3.1, se citan las unidades pre-cuaternarias consideradas por los autores mencionados.

Se describirán las dos provincias geológicas solamente en aquellos aspectos que involucran a la Provincia de La Pampa, aclarando que prácticamente todas las unidades citadas solo afloran esporádicamente y en pocos espacios en el ámbito provincial y que, en su gran mayoría se encuentran cubiertas por el cuaternario.

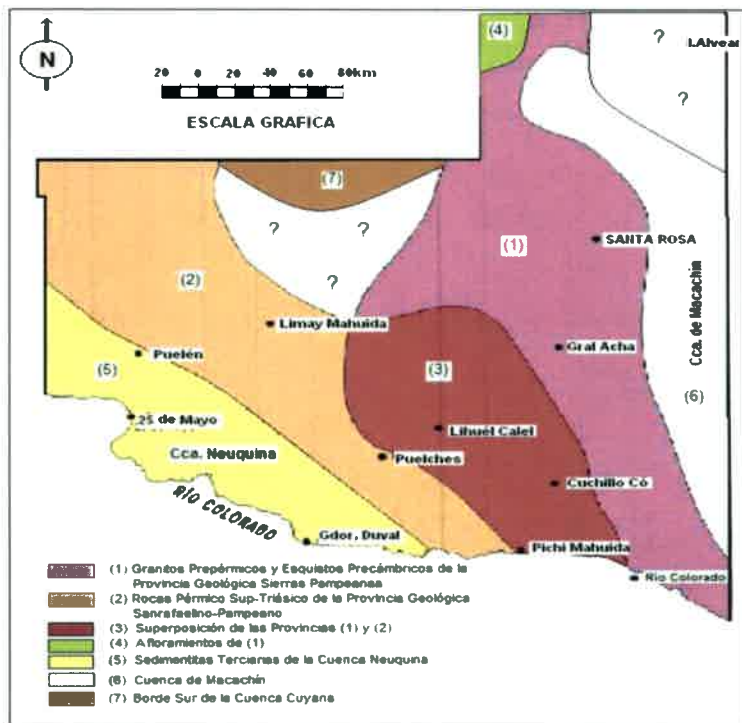


Figura 3.1. Unidades Geológicas de La Pampa (modif. de Linares, et al, 1980)

En tal sentido, Tickyj, *et al.*,(1999), propone en la Figura 3.2, los afloramientos que se visualizan en el sector sur-oriental de la Provincia de La Pampa.

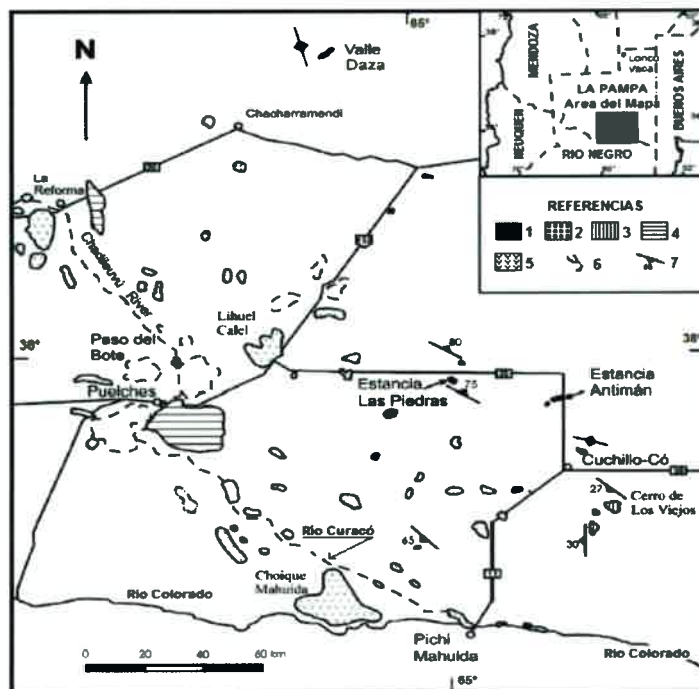


Figura 3.2: Principales afloramientos en el SE de La Pampa. 1 Las Piedras. Compl.Metamorfico(Cambriico-Ordovisico?); 2 Pichi Mahuida (Cambriico-Devonico); 3 Cerro de los Viejos (Paleozoico); 4 Form Carapacha (Pérmico); 5 Magmatismo Gondwanian, 6 Lagunas Saladas; 7 Foliación.

3.2.1.- Provincia Geológica Sierras Pampeanas:

En el ámbito de la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas la estratigrafía dentro de la provincia de La Pampa, se desarrolla a partir de un basamento cristalino, compuesto por rocas metamórficas de bajo grado tales como filitas, esquistos, anfibolitas y calizas de edad Proterozoico. Linares, *et al.*, (1980), en la Tabla 3.1, proponen un cuadro estratigráfico, en base a los estudios radimétricos realizados.

Tabla 3.1 . Estratigrafía de La Pampa. Linares, *et al.*, (1980).

ERA	PERÍODO		GRUPO	FORMACIÓN	MIEMBRO	LITOLOGÍA	
CENOZOÍCO	CUATÁRICO	Holoceno				Médanos, suelos, salinas y salitrales	
		Pleistoceno y Plioceno sup.				Varios tipos de basaltos	
	TERCIÁRIO	Plioceno superior			El Sauzal		Areniscas, calcareos, conglomerados, limos
					Cerro Azul		Limos arenosos, loes
		Plioceno medio		Rio Negro		Areniscas grises	
		Plioceno inferior		Arroyo Chasicó		Limos arenosos loessoides	
		Eoceno superior		Vaca Mahuida		Calizas, dolomitas, lutitas verdosas, yeso	
MESOZOÍCO	Paleoceno senoniano		Roca		Calizas, lamachelas, areniscas calcáreas		
ZÓICO	TRIÁSICO	Triásico inferior	Sierra Pintada	El Centinela		Andesitas, porfirios andesíticos y brecha andesíticas (Facies Extrusiva mesosil)	
				Choque Mahuida		Riolitas, dacitas y brechas Riolíticas (Facies extrusiva félsica)	
	PERMICO	Pérmico superior		Granito Zuniga		Leucogranitos y pórfiros (Facies intrusiva)	
PALEOZOICO	CARBÓNICO	Superior		Agua Escondida	Cerro de Los Guanacos Lomas de Afiler	Ortocuarcitas, conglomerados oligomicticos	
						Ortocuarcitas, limolitas y wackas	
		Inferior		Granito Piedra de Afilar		Granitos	
	DEVÓNICO	Inferior		Lonco Vaca		Granitos, pegmatitas y apilitas	
	DEVÓNICO SILÚRICO			Carapacha		Wackas, lutitas y limolitas	
	ORDOVISICO			San Jorge		Calizas	
	ORDOVÍCICO CÁMBRICO	Or inferior C superior		Granito Curaco		Granitos porfirioideos, apilitas y pegmatitas	
	PRECÁMBRICO SUPERIOR				Diorita Las Matras		Diorita grano fino
						Esquistos, gneises y anfíboles	

Sobre el mismo yace la Formación Curacó, cuya litología corresponde a granitos rosados de textura media a gruesa considerados en la literatura clásica de edad ordovícica, aunque Sato *et al.*, 1996 le reasignaron edad devónica inferior (397 ± 25 Ma) mediante nuevos estudios con el método Rb/Sr, vinculando dicha intrusión a un

magmatismo de tipo posorogénico. Estos afloramientos, aunque muy esporádicos, se desarrollan conformando una faja de rumbo aproximado N-S desde la Sierra Lonco Vaca en el extremo Norte de la Provincia de La Pampa, casi en los límites con la Provincia de San Luís, hasta el Río Colorado al Sur, más precisamente en las inmediaciones de la localidad de Pichi Mahuida como expresión más austral de la misma, y posee un ancho de alrededor de 80 Km, en el transcurso del cual se pueden observar algunos esporádicos afloramientos.

La Figura 3. 3, representa la combinación RGB 432 de las bandas de Landsat7 ETM+ del año 2004 en donde se observan los afloramientos de la Formación Curacó en color cian.



Figura 3.3: Imagen satelital Landsat ETM, 2004, del área Río Colorado de la Prov. Geológica Sierras Pampeanas. Prov. de La Pampa.(Tomado Di Salvo, et al,2008)

Obsérvese que los mismos comienzan a ser menos persistentes en la margen sur del Río Colorado hacia el Oeste. En la Figura 3.4 se observan los granitos de la Formación Curacó en las márgenes del río Curacó antes de su desembocadura al Río Colorado. Entre la Formación Curacó y los depósitos de la Formación Río Negro, netamente continentales, se produjo un hiatus que indica erosión o no deposición de sedimentos en la comarca hasta el Plioceno superior. Los mismos están representados por areniscas y limos fluviales.



Figura N° 3.4: Afloramientos graníticos de la Formación Curacó en las márgenes del río homónimo. Oeste de Pichi Mahuida. Provincia de La Pampa. (Tomado Di Salvo, et al,2008)

Hacia fines del Plioceno superior y principios del Pleistoceno inferior, el área fue cubierta en algunos sectores por mantos de crecientes provenientes del oeste, correspondientes a la Formación Tehuelche, que por su litología (conglomerados de matriz arenosa) son comúnmente llamados Rodados Patagónicos. En otros sectores, se desarrolló una gran cantidad de bajos debidos a erosión.

Posteriormente, hacia el Holoceno, un cambio en el nivel de base dio origen a la formación de terrazas, tanto a lo largo del Río Colorado como del Río Curacó, el cual desagua en aquel.

En el Reciente se depositaron clastos angulosos indiferenciados en matriz arenosa, de origen coluvial, junto con sedimentos finos, tales como arenas finas, limos y arcillas, de origen eólico.

Hacia la actualidad los depósitos están integrados por gravas, arenas, limos y arcillas que corresponden a la planicie aluvial de los ríos Colorado y Curacó. Coronando la secuencia en sectores deprimidos se encuentran depósitos finos de bajos y lagunas compuesto por arcillas, limos y evaporitas de halita y yeso.

El límite sur del ambiente de Sierras Pampeanas no es bien conocido dado que sus afloramientos terminan abruptamente en el río Colorado. Hacia el Norte, se hunde suavemente por debajo de la llanura que ocupa las regiones sur de las Provincias de

Córdoba y San Luis. La asignación de estos afloramientos al ambiente de las Sierras Pampeanas ya fueron considerados por Stappenbeck (1926) y Harrington (1956). Estudios más recientes avalados por dataciones radiométricas (Linares, *et al.*, 1980) parecen confirmar que estas rocas representan la prolongación austral de la provincia geológica citada.

3.2.2.- Provincia Geológica San Rafaelina-Pampeana

Criado Roqué, *et al.*, (1976) proponen a esta provincia para englobar los afloramientos de diversas rocas de edad paleozoica a mesozoica inferior que cubren el SE de Mendoza y O de La Pampa, donde los mismos se extienden a lo largo de una faja de 90 km de ancho, de rumbo NO-SE, cuyos afloramiento aparecen muy esporádicamente, desde el límite noroccidental en las cercanías de La Escondida (Pcia de Mendoza), hasta el río Colorado a la altura de Pichi Mahuida. Con excepción de las dioritas del Cerro Las Matras, cuya edad es precámbrica, las restantes rocas que la componen son paleozoicas o más jóvenes y la mayor extensión de los afloramientos corresponden al ciclo eruptivo félsico del Pérmico superior-Triásico inferior, Linares, *et al.*, 1980.

En esta provincia geológica afloran calizas ordovícicas de la Formación San Jorge en las vecindades de Limay Mahuida; wackas y pelitas negras, típicas de ambiente de flysch, pertenecientes a la Formación Carapacha (Silúrico-Devónico?) desde La Reforma hasta cerca de Limay Mahuida, ortocuarzitas de la Formación Agua Escondida (Carbónico superior), desde lomas Piedra de Afilas hasta Limay Mahuida y plutonitas y vulcanitas del Pérmico-Triásico inferior en toda la extensión de este ambiente donde se ha detectado en la perforación de Limay Mahuida (Castro E, 2003) a una profundidad de 40 m, aflorando inclusive 15 km al Oeste en cercanías del Paraje Paso de los Carros. El perfil estratigráfico comienza con la Formación Choique Mahuida, la cual corresponde a un plateau ignimbrítico - riolítico, suceso volcánico producto de una distensión prerift, Ramos *et al.*, (1984) acaecido entre la última etapa del Pérmico superior y el transcurso del Triásico inferior. Este conjunto de vulcanitas constituye las últimas estribaciones de la Sierra de Choique Mahuida y presenta una amplia variedad textural y de coloración sepia, como se refleja en la Figura 3.5.

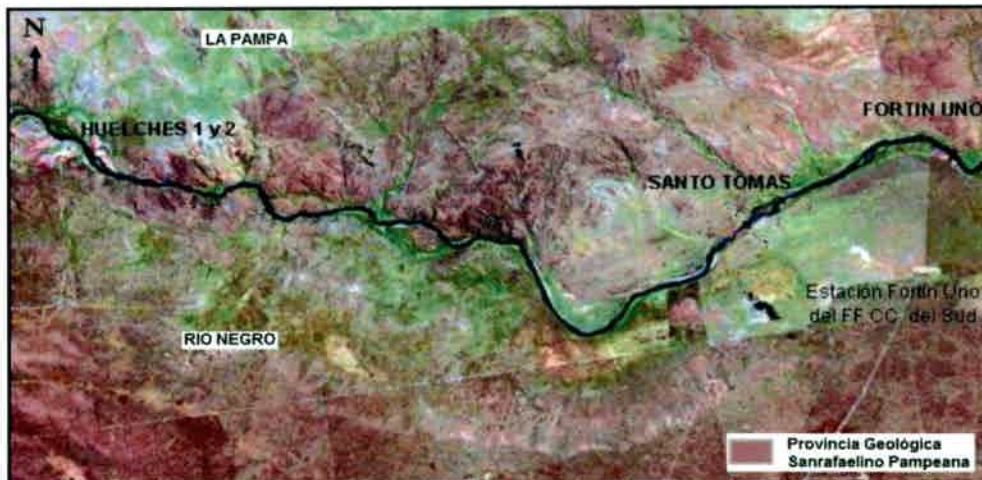


Figura 3.5: Imagen Satelital Landsat 5TM, 2008, márgen del Río Colorado en la Provincia de La Pampa de la Provincia Geológica San Rafaelino-Pampeana. .(Tomado Di Salvo, et al,2008)

La combinación RGB 742 de Landsat5 TM del año 2008 resalta los afloramientos de esta Formación en la margen norte del Río Colorado en tonalidades violáceas. La textura de la imagen y la comparación con otras combinaciones de bandas y cocientes de las mismas permiten distinguirla de otras formaciones de similar coloración en la margen sur.

La ausencia de sedimentos en el perfil desde ese instante hasta el Plioceno superior indica un hiatus en el registro sedimentario, por lo que la Formación Río Negro yace en discordancia sobre la anterior. Aunque fuera de la Provincia y la zona de estudio, la Formación Río Negro está compuesta por areniscas, areniscas limosas azuladas, areniscas tobáceas y limos arcillosos.

Sobre la anterior se halla la Formación Tehuelche (Rodados Patagónicos), pertenecientes al Plioceno superior – Pleistoceno inferior. La litología corresponde a conglomerados de matriz arenosa. En la composición RGB 742 también se observa en tonalidades violáceas pero más tendientes al magenta, netamente diferenciables de la Formación Choique Mahuida, Figura 3.6 por su textura y por tener menos respuesta en el canal 2 (se ve más rojizo).



Figura 3.6 : Pórfidos graníticos de la Formación Choique Mahuida en las márgenes del Río Colorado. Oeste de Pichi Mahuida. Prov. de La Pampa.(Tomado Di Salvo, et al,2008)

La secuencia sigue con depósitos de terrazas del Río Colorado, demostrando el descenso del nivel de base vinculado con el alzamiento del Ciclo Ándico. Posteriormente los depósitos coluviales indiferenciados formados por material arenoso limoso y gravas subordinadas se hallan presentes a lo largo de las bardas que bordean el Río Colorado hacia el oeste de Huelches.

En el tope del perfil se hallan los depósitos aluviales del Río Colorado compuestos por arcillas, limos y arenas de coloraciones pardas y los depósitos de bajos y lagunas compuestos por sedimentos finos, halita y yeso que revelan la aridez del ambiente.

3.3.- CUENCAS SEDIMENTARIAS EN EL NORTE DE LA PAMPA:

En la Provincia de La Pampa se distinguen tres cuencas sedimentarias, Figura 3.7, siendo la más importante la Cuenca de Macachín. Hacia el Norte de la anterior, se encuentra la Cuenca Cuyana y al SW la Cuenca Neuquina que se encuentran fuera de la región de interés y ocupan zonas muy reducidas en la provincia. Una cuarta cuenca se cree que ingresa en el vértice NE de La Pampa (aunque no hay evidencias de tal contacto) según se sugiere en base a trabajos de geofísica, Gregori *et al*, (2007) y es la Cuenca de Laboulaye (Provincia de Córdoba) que limita al Norte con la zona de estudio.

En gran parte de su extensión, el ancho varía entre 10 y 20 km, tratándose básicamente de una fosa tectónica. Según Zambrano (1974), su estilo estructural difiere bastante de las otras cuencas aledañas (Colorado, Salado, Santa Lucía, Rosario, etc), presentando afinidades únicamente con la Cuenca de Laboulaye, ubicada inmediatamente al N, en la provincia de Córdoba, señalando que su estilo sería el indicado para las Sierras Pampeanas, es decir, con límites dados por sistemas de fallas orientadas N-S.

Existen diferentes hipótesis para explicar el origen de esta fosa. Según Yrigoyen (1977), es un tafrógeno de reducidas dimensiones separado del cratógeno pampeano por una fractura N-S definida, directa, por lo menos en la región de Uriburu (La Pampa), donde el basamento fue localizado por perfiles sísmicos de reflexión a 2.270 mbnm. En Santa Rosa en cambio, el basamento aplítico se localiza, de acuerdo a perforaciones a solo 15 m.b.n.m, o sea aproximadamente a 190 m de profundidad. Existen fracturas longitudinales con rechazos verticales importantes de varios centenares de metros. El borde oriental de este "rift" estaría definido por varias fracturas longitudinales también con rechazos de varios centenares de metros cada una. Irigoyen,(1972), acepta el carácter gravitacional de esta fosa, indicando que podrían existir vinculaciones con las cuencas de Laboulaye hacia el N y la del Colorado hacia el S.

Otra hipótesis de Zambrano (1972) para explicar la fosa es la presencia de fallas inversas a las cuales el mismo le da estilo estructural similar a las Sierras Pampeanas, al igual que para la cuenca de Laboulaye. A estos sistemas de cuencas alargadas y posiblemente separadas por "pilares" tectónicos producidos al estilo de horst, con fallas longitudinales, se le acoplaría otra más hacia el Oeste, más reducida, que se halla en profundidad en una zona comprendida por los Departamentos Rancul, Trenel y Realicó, estando estos dos últimos en áreas vecinas a la zona específica de estudio de la presente tesis.

La falla limitante de la Cuenca de Macachín por el occidente ha sido bien ubicada a la altura de Abramo, donde una perforación sobre el bloque occidental, encontró basamento cristalino a los 256 m y la otra sobre la cuenca misma, alcanzó basamento a 963 m.

Entre Uriburu y Abramo la diferencia entre la profundidad del piso cristalino (basamento) es de 2.200m y 920 m respectivamente. Esto podría explicarse por saltos del basamento según fallas transversales que pueden estar relacionadas con aquellos sistemas y que son observables en la actual topografía con el esquema de los lineamientos por imágenes satelitales.

Yrigoyen (1972), atribuye al Cretácico la formación de esta fosa manifestando que existe un enmascaramiento por efectos de la tectónica cenozoica. Zambrano (1974), en cambio, le atribuye un origen neógeno, es decir que esta cuenca se habría producido por las fuerzas compresionales de los movimientos andinos.

En lo que respecta al límite oriental de esta Cuenca, donde se habían señalado líneas estructurales paralelas aproximadamente N-S, los datos del subsuelo existentes indicarían el posible adelgazamiento gradual de la cubierta sedimentaria, con acuñamiento de los depósitos cretácicos y terciarios contra el bloque elevado de las Sierras Bonaerenses. Señala Zambrano,(1974), la posible existencia de sistemas de fallas normales perpendiculares u oblicuas al conjunto de fallas N-S, delimitantes principales de la cuenca.

Sobre la sedimentación y la serie litológica establecida por Salso (1966), Folgeras y Zárate (2009), estiman que esta cuenca está definida como un rift relleno con 4.000 m de sedimentos cretácicos apoyados en discordancia sobre el basamento Paleozoico (Salso, (1966), Zambrano, (1974), Yrigoyen, (1975). Los depósitos continentales del Mioceno tardío, aflorantes en las márgenes de las lagunas Epecuén, Venado y del Monte, así como los de las Salinas de Hidalgo en La Pampa fueron referidos a la Formación Epecuén, unidad definida sobre la base de su contenido fósil, Pascual, (1961 y 1965), Pascual y Bocchino,(1963). Inicialmente los depósitos expuestos en las lagunas mencionadas fueron considerados como parte de la Formación Arroyo Chasicó (Cabrera 1939). Actualmente los afloramientos de salinas de Hidalgo (Macachín) que fueran considerados como pertenecientes a la Formación Epecuén, son referidos (Goin, *et al.* 2000) a la Formación Cerro Azul, Linares, *et al.* (1980).

En el subsuelo de la cuenca, Salso (1966) diferenció las formaciones Macachín y Pampeano en la parte superior de la secuencia cenozoica. La primera está compuesta

por sedimentos marinos que el autor considera sincrónicos con la Formación Patagonia y el Verde de la cuenca de Bahía Blanca, es decir, los depósitos del mar paranaense. Por encima se apoya la Formación Pampeano y/o Cerro Azul que asignan al Plio- Pleistoceno, con un espesor máximo estimado de 290 m. Con esta denominación Salso (1966) incluye "terrenos del Terciario superior y Cuartarico" (sic).

De acuerdo con la descripción brindada por Salso (1966), la litología es similar a la mencionada para las secuencias miocenas tardías, limo arenoso predominante con calcáreo en forma de tosca y yeso. Serían el equivalente en profundidad de la Formación Cerro Azul definida en los afloramientos expuestos en La Pampa.

En lo que respecta a la edad, señaló que la misma se determinó "...sólo en un horizonte en el Valle de Gral. Acha", de acuerdo con sus restos de mamíferos, los que posteriormente fueron reportados y analizados por Pascual y Bocchino (1963). Según Salso (1966), este horizonte también aflora en salinas de Hidalgo y las lagunas de Adolfo Alsina. Se refiere así a los depósitos que actualmente se agrupan en la Formación Cerro Azul, los que en el Este de La Pampa son portadores de fauna huayqueriense como es el caso de salinas de Hidalgo, Goin *et al*, (2000).

3.3.2.- Cuenca de Laboulaye (Provincia de Córdoba)

Esta cuenca fue definida por Zambrano (1974) en base a información sísmica y de perforaciones. El pozo Laboulaye atravesó unos 600 m de sedimentos terciarios y 700 m asignados al Triásico (Formación Laboulaye). La sección superior de esta unidad muestra gran similitud con la Formación Fortín de la cuenca del Colorado, asignada al Cretácico Inferior, con lo cual la edad de la Formación Laboulaye podría extenderse hasta esta edad (Zambrano, 1974). En este pozo no se ha reconocido a la Formación Serra Geral.

En el ámbito de la cuenca de Laboulaye se localiza un mínimo gravimétrico, ubicado entre las localidades de Villa Sauze, General Villegas y Piedritas, con valores de -13 a -22 mGal. El pozo Villa Sauze 1, verificó la existencia de 30 m de sedimentos cuaternarios, 141 m de terciarios y, a partir de los 496,70 m.b.b.p., aparecen 1,6 m de caliza gris clara, 4,3 m de arenisca, 3,9 m de dolomía gris, 0,3 m de caliza gris clara y 3,67 m de dolomía gris asignadas al Paleozoico. Unos 20 km al Este de Santa Aurelia

una prueba de refracción realizada por YPF en 1962 (disparo 25018) permitió establecer la existencia de rocas que pueden ser asignadas a rocas volcánicas triásico-jurásicas, o a rocas del Paleozoico.

En un sector de la línea sísmica 3040, de Yacimientos Petrolíferos Fiscales, en cercanías de la población de Piedritas, se observa la presencia de sedimentos de edad paleozoica. De acuerdo a las velocidades de proceso de esta línea sísmica es posible convertir los espesores dados en tiempo a metros hallándose que los mismos llegan a un máximo de 3.100 metros.

Además, rocas basálticas del Cretácico Inferior (Formación Guardia Vieja) fueron encontradas en la cuenca de Levalle (Webster *et al.*, 2002) ubicada unos 50 km al norte del área analizada. Ello induce a considerar que en este sector, la cuenca de Laboulaye, se halla constituida por un área oriental donde se encontrarían rocas de las Formaciones Laboulaye y Serra Geral, y un sector occidental representado por la Formación Laboulaye y por sedimentitas paleozoicas.

La cuenca de Laboulaye fue identificada en el sector sur de la Provincia de Córdoba y muy cerca del límite con la provincia de La Pampa por Kostadinoff, *et al.* (2001) y mostraría continuidad con el depocentro descripto anteriormente.

3.4.- CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

En líneas generales, la zona estudiada representaría una zona intermedia entre las cuencas sedimentarias triásicas de Laboulaye (Provincia de Córdoba) y Macachín (Provincia de La Pampa). De acuerdo a estudios de Zambrano (1974), es altamente probable que la zona represente un alto estructural entre ambas cuencas sobre el que la ingresión marina miocena sólo quedó representada por un reducido espesor sedimentario compuesto de arcillitas. En el área de estudio no hay afloramientos rocosos y dominan secuencias sedimentarias de edad cuaternaria.

No se tiene evidencias del basamento hidrogeológico en la zona específica de estudio ni en ningún punto del área pese a existir en las inmediaciones de la ciudad de General Pico, ubicada 40 km al Sur de la región de estudio, información de perforaciones de 235 y 265 m de profundidad, donde se atravesaron areniscas cuarzosas y por debajo

de los 150 m, arcillitas verdes y grises asignables al Mioceno de la Formación Paraná, (Yrigoyen, 1975).

También en la localidad de Bernardo Larroudé, 30 km al Norte, existe información (Tullio, 1989) de perforaciones de hasta 250 m aproximadamente, que atraviesan arcillitas verdes miocenas de la Fm Paraná, (Irigoyen, 1975) y no alcanzan el basamento. A los efectos de contextualizar más en detalle y en armonía con el cuadro estratigráfico del área de estudio, Tabla 3.3, se describirán por período las siguientes formaciones que se han constatado en perforaciones realizadas por diversos organismos en las áreas circundantes.

Tabla 3.3 : Cuadro Estratigráfico del área de estudio

EDAD	ESTRATIGRAFÍA
Reciente	Formación Puesto Marsiglio
Holoceno superior	Formación Valle de Maracó
Holoceno medio Pleistoceno medio	Formación Junín
Plioceno medio- superior	Formación Cerro Azul
Plioceno Inferior	
Mioceno Superior	Formación Paraná

3.4.1.- Formación Paraná (Irigoyen, 1975): Se atribuyen a esta formación las capas de origen marino que aparecen por debajo de 190 m.b.b.p. corroborado por Tullio, (1989), en la perforación efectuada por la Dirección de Aguas de la Provincia de la Pampa en Bernardo Larroudé, localidad vecina al área estudiada. Está compuesta por arcillas verdes, a veces con restos de pellecípodos, con cristales tabulares de yeso y capitas intercaladas de limos castaños. La edad de esta unidad es Miocena Superior.

3.4.2.- Formación Cerro Azul, Llambías, (1975); Linares, *et al.*, 1980): esta formación es también conocida como "Pampeano" o "Pampiano" y/o "Araucano", se trata de un conjunto de capas alternantes limo-arenosas y arcillosas mezcladas, de color pardo amarillento a pardo rosado de origen continental. Normalmente están consolidadas y presentan contenido variable de carbonato de calcio, desde el estado pulverulento al de cemento de la entidad y niveles donde el yeso presenta manifestaciones notables.

Su espesor en la región alcanza hasta los 190 m de profundidad, y se le asigna edad Plioceno Inferior-Plioceno superior. La "tosca" (cuaternaria) que lo suprayace lo incluye como parte clástica y en los niveles superiores se localizan "muñecas" del mismo material. El carbonato de calcio como cemento o capas es constante en todo su espesor. Llambías, et al, (1975) le atribuye edad Pliocena con ciertas dudas

Los fósiles que principalmente se encuentran en su parte inferior y media, corresponden al Mioceno tardío-Plioceno. En algunas perforaciones los niveles de arenas gruesas, conglomerádicas, cuarzo-feldespáticas, pueden ser atribuidos a la presencia cercana del basamento. Presenta forma de erosión tipo loess, con barrancas y cañadones abruptos, sobre todo al centro, centro-norte, sudoeste y sur de la provincia de La Pampa.

En la parte superior, los sedimentos están reemplazados por toscas que llegan a tener hasta dos metros de espesor. Aflora prácticamente en todo el territorio provincial y en la parte oriental, Departamento de Caleu Caleu, se intercala en forma de cuña con la Formación Río Negro compuesto de areniscas azuladas.

3.4.3.-Formación Junín, (CFI, 1975; De Salvo, et al., 1969): Los autores citados, en el estudio de los sedimentos eólicos del partido homónimo bonaerense, denominan Formación Junín a los sedimentos que Tapia (1935), llama "médano invasor", apoyados en el área sobre el *Pleistoceno medio*. Un perfil típico está constituido por sedimentos arenosos muy finos, deleznales, sin cuerpos epigenéticos ni variaciones importantes entre el piso, parte media y techo, con predominio de vidrio volcánico entre los minerales livianos, seguido por feldespatos potásicos y cuarzo. Entre los minerales pesados se encuentran la hornblenda y opacos/máficos en forma abundante. El conjunto puede considerarse inmaduro composicionalmente y maduro texturalmente.

En el mapa geológico de la Provincia de Buenos Aires (CFI, 1975), se adjudican a la Formación Junín los sedimentos color pardo rojizo, limo-arenosos a areno-limosos, de carácter suelto y masivo en general, considerando a su vez dentro de la misma formación a los materiales que se hallan por encima, pudiendo considerarse como una variante geomorfológica. Existe una serie de variantes en

cuanto a su clasificación y profundidad y/o espesor en el área Oeste de la Provincia de Buenos Aires.

En lo que se refiere a la génesis de los sedimentos estudiados, y coincidiendo con lo manifestado por Malagnino, (1989), está relacionada con el transporte eólico de materiales llevados a la región por los ríos, especialmente el río Quinto, para el área Norte, mientras que los correspondientes a la comarca Sur fueron tomados por los sedimentos transportados por paleocursos (Bajo Valle, La Colorada Grande y otros). Todos los materiales fueron acumulados en un ambiente continental tipo llanura, de clima moderado. Se atribuyen a esta Formación todas las arenas inconsolidadas masivas, ubicadas por encima de la "tosca" y por debajo de la cubierta de los suelos actuales acumuladas sobre las partes altas de la dorsal Central Pampeana y la Cuenca de Macachín.

Una síntesis de esta formación que refleja a cabalidad lo determinado en el área de estudio, es que presenta dos miembros: a) Miembro Basal, integrado por arenas gruesas a finas y limosas o limosas-arenosas, compuestas principalmente por cuarzo, vidrio y en menor cantidad máficos y feldespatos. Este miembro se presenta desde consolidado a friable. El carbonato de calcio está presente fundamentalmente al estado pulverulento. Su potencia, de acuerdo a las observaciones efectuadas en distintos pozos de exploración efectuados en la zona se encuentra entre los 2,80 m hasta 8 m de profundidad. b) el Miembro Superior conformado por arenas de tamaño variable, a veces limosas, inconsolidadas, prácticamente sin contenido cálcico, compuestas fundamentalmente por cuarzo, feldespatos, máficos, vidrio y restos de ceniza volcánica. El conjunto es de espesor variable, desde una capa delgada o ausente en las lomas, hasta 3 m en algunos puntos. Se desarrolla entre las áreas lagunares y bordes cuspidales fruto de la remoción eólica de la Formación Cerro Azul (Linares, *et al.*, 1980). Sobre esta formación se desarrollan en general los suelos del sector.

3.4.4.- Formación Valle Maracó (Tullio, *et al.*, 1979). Se trata de materiales en cuerpos tabulares de areniscas grises producto de la erosión de las márgenes superiores de los valles y sobre todo la meseta o planicie pampeana. Se encuentran inmediatamente al Sur del área de estudio. Han sido transportados en primer lugar por pequeños torrentes y posteriormente por el viento depositándose en la pendiente de

los valles, adelgazándose hacia las márgenes y cambiando, en general, el carácter de los materiales. En general se trata de perfiles homogéneos de lentes de grava y gravilla de carbonatos irregularmente distribuidos. También se encuentran clastos aislados de carbonato de calcio que, hacia el borde del valle pasan a formar conglomerados. En algunas fracciones es cortada por cárcavas en funcionamiento de variados tamaños, presentando un techo edafizado cubiertos por vegetación. En algunos sectores sus materiales constituyen parcialmente el sustrato de lagunas o salinas o la degradación de pendientes anteriores a la época actual. Por ello se considera a la misma como Holoceno medio a superior.

3.4.5.-Sedimentos actuales: Se ha considerado en esta categoría a los médanos "vivos" cualquiera sea su ubicación en el área, (*Formación Puesto Marsiglio, Castro, et al., 1989*), a los sedimentos de lagunas y a los materiales acumulados en depresiones por los torrentes y cárcavas en actividad. Quedan cubiertos por estos materiales principalmente los sedimentos terciarios o más viejos y los cuaternarios, rematan en capas de "tosca" en el sector centro sur de la Provincia, donde es común observar canchales de tosca en las planicies. También se incluyen en esta categoría los materiales gruesos que tapizan la planicie de Curacó al Sur y las mesetas de Puelén y Chicalcó, aunque muy alejadas de la zona de estudio.

3.5.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO LOCAL:

Con la finalidad de visualizar de mejor manera la estratigrafía del área de estudio y, en función de la información recolectada durante los trabajos de exploración del acuífero, se han trazado dos perfiles estratigráficos-sedimentológicos donde se describen las secuencias atravesadas. En las Figuras 3.8, 3.9 y 3.10 los mismos están identificados como Perfil Estratigráfico-Sedimentológico A-A' (compuesto por M62, P1, P4, P5, P6 y Pozo 7) de dirección SSW-NNE, y Perfil Estratigráfico-Sedimentológico B-B' (integrado por P8, P5 y P10), de dirección NNW-SSE. En ambos pueden observarse una descripción sedimentológica de los niveles atravesados en cada una de las perforaciones y su correlación.

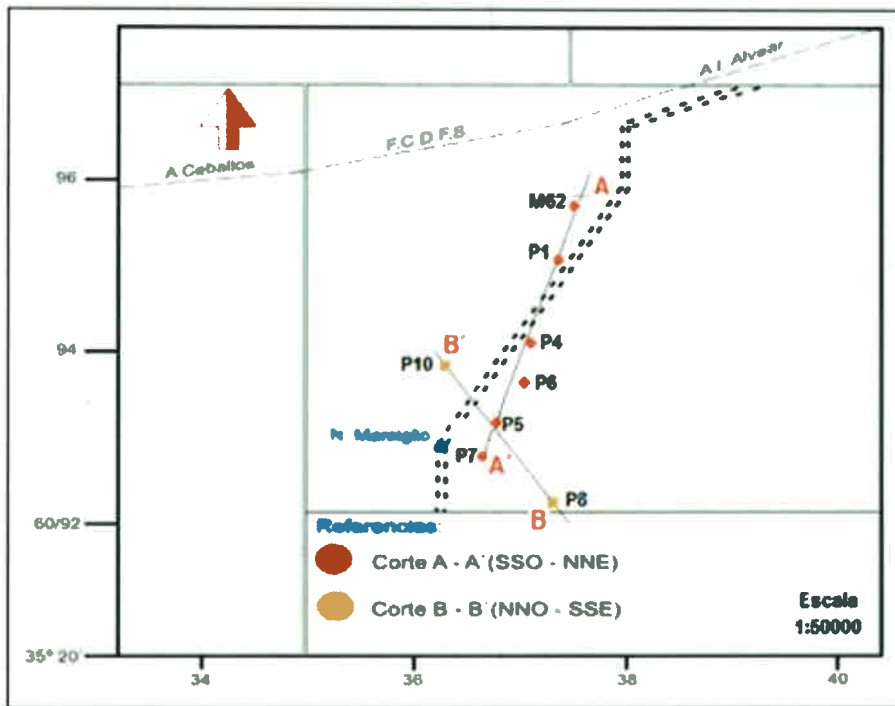


Figura 3.8: Ubicación espacial de los perfiles estratigráficos

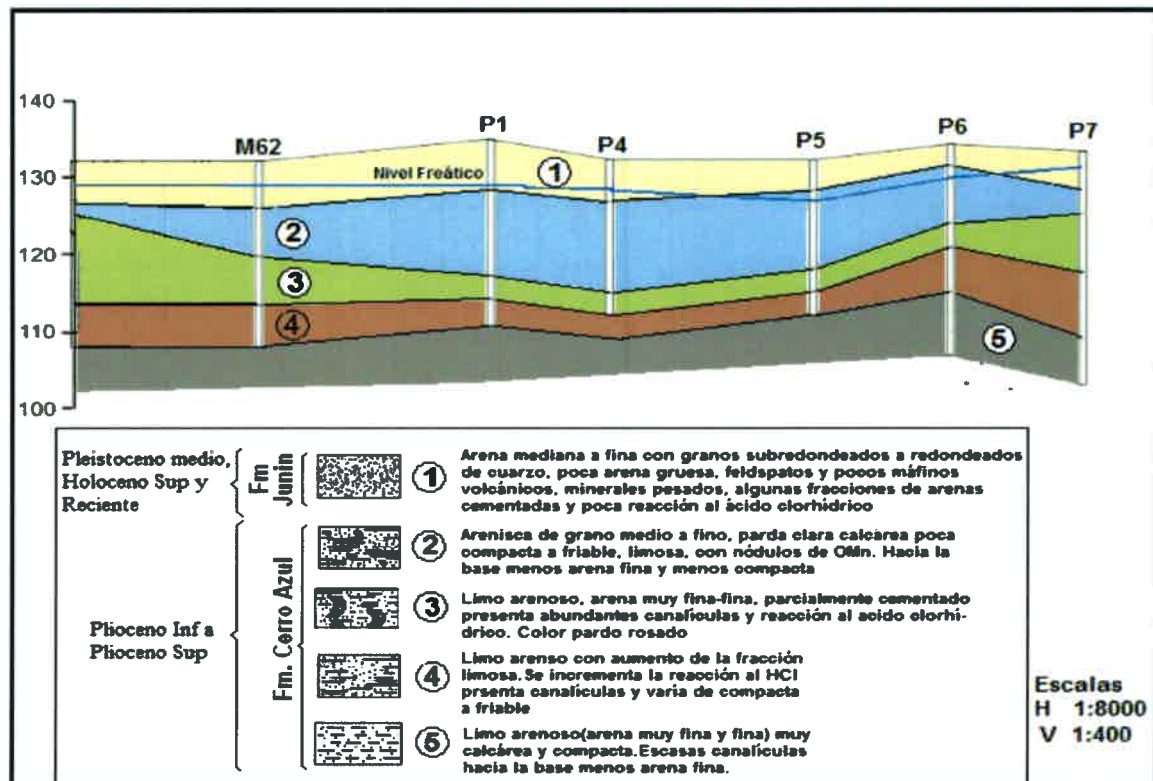


Figura 3.9: Perfil Estratigráfico AA' - SSW-NNE

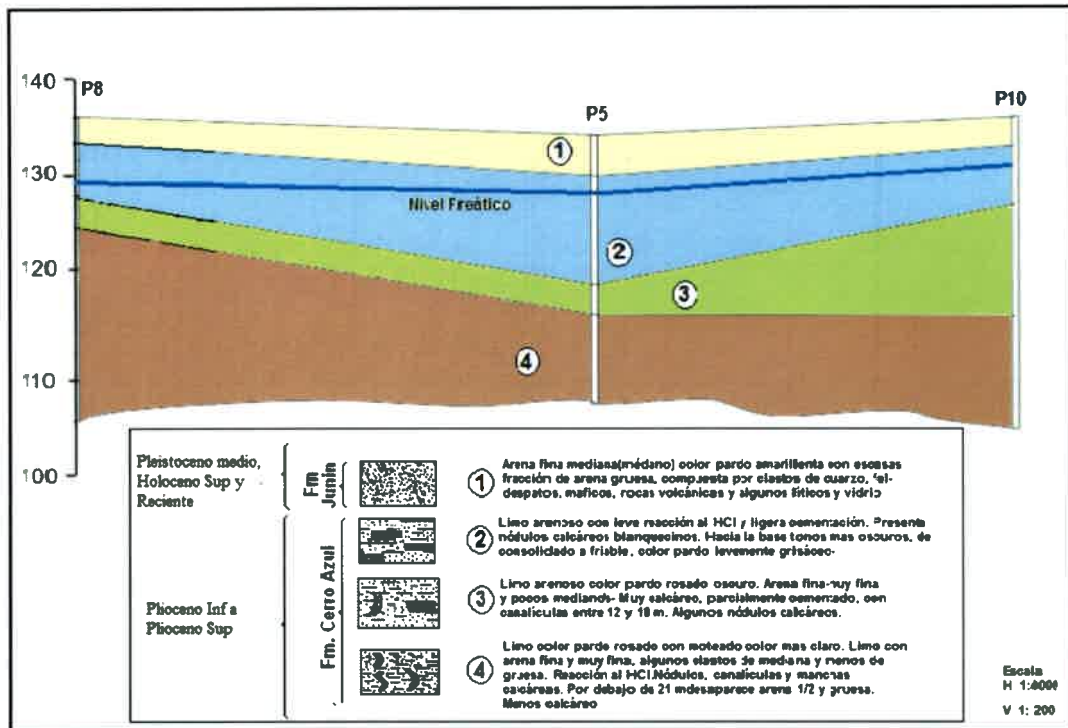


Figura 3.10: Perfil Estratigráfico BB' . NNW-SSE

3.6.- RASGOS ESTRUCTURALES EN EL NORTE DE LA PAMPA

En lo que concierne a los rasgos estructurales, como se ha mencionado anteriormente y basado en las líneas de refracción sísmica registrada por YPF y fotografías aéreas a escala 1:50000, la mayoría de los lineamientos notados coinciden con las manifestaciones topográficas que resultaron ser las fallas que se vuelcan en la Figura 3.11 según de Elorriaga, *et al.*, (1998).

Dichos autores señalan además que se controlaron los lineamientos detectados en cartas topográficas a escala 1:50000 y 1:100000 y que en líneas generales dichos lineamientos de rumbos SW-NE o NO-SE coinciden de manera muy aproximada con la orientación de uno de los sistemas de fallas.

En síntesis, dichos autores concluyen en que los rasgos observados con relación a la sucesión de altos y bajos topográficos o depresiones cuando se comparan con los datos del subsuelo, se corresponden con cambios laterales en la posición y espesor de las unidades sedimentarias.

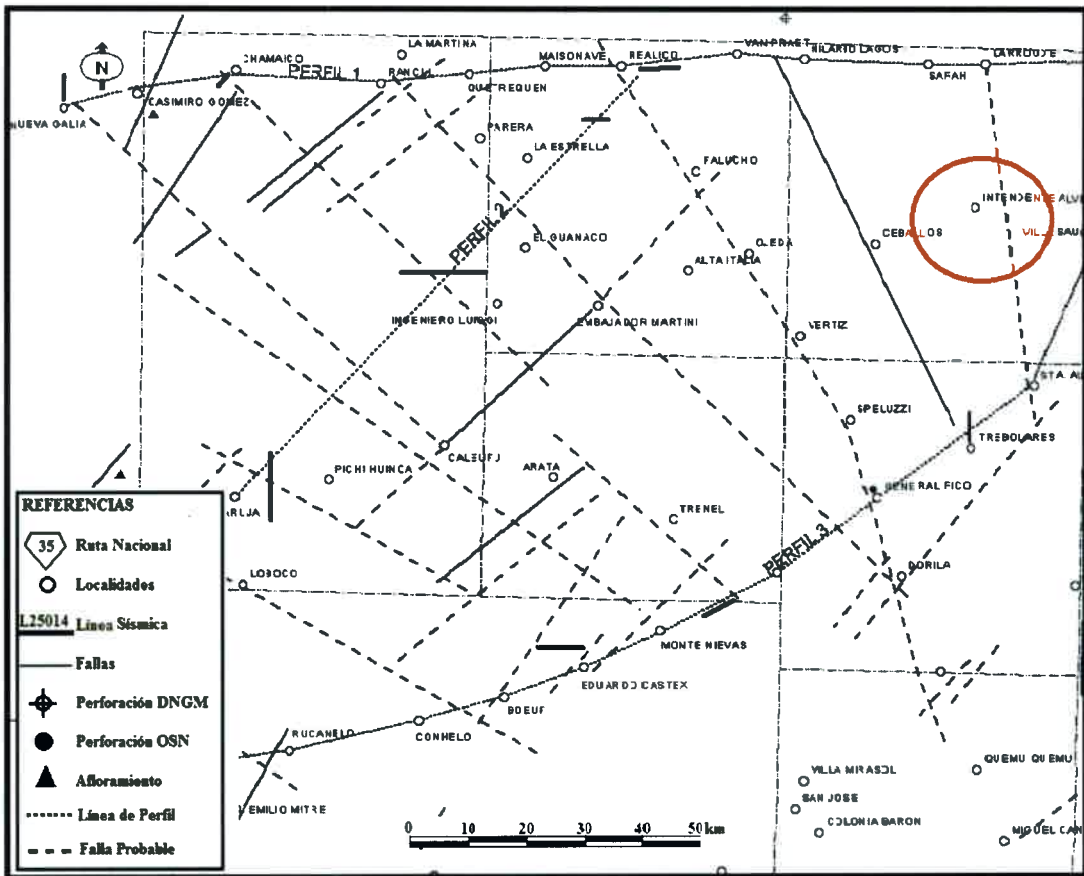


Figura 3.11: Mapa estructural del Norte de La Pampa (de Elorriaga y Tullio, 1998).

Como se ha mencionado anteriormente, en la zona estudiada, no se observan rasgos estructurales relevantes.

CAPITULO 4

GEOMORFOLOGIA

4.1.- MARCO GEOMORFOLOGICO REGIONAL

4.1.1.- *Hipsometría*

4.1.2.- *Hidrografía*

4.1.3.- *Aspectos morfodinámicos y morfoevolutivos*

4.1.4.- *Planicies eólicas*

4.1.4.1.- *Acumulaciones de arena*

4.1.5.- *Las Cubetas*

4.1.6.- *Los limos de los valles*

4.2.- ORIGEN Y EVOLUCIÓN

4.3.- RASGOS GEOMORFOLOGICOS LOCALES

4.3.1.- *Planicies arenosas*

4.3.2.- *Planicies medanosas*

4.3.3.- *Médanos*

4.3.3.1.- *Médanos fijos*

4.3.3.2.- *Médanos móviles*

4.3.4.- *Cubetas de deflación*

4.- GEOMORFOLOGÍA

Los acuíferos alojados en ambientes medanosos/arenosos son los principales recursos hídricos con que cuenta la provincia de La Pampa para el abastecimiento de agua destinada al uso urbano y rural. Así, en localidades como Quemu Quemu (Malán, et al, 1988), General Pico, (Rissiga, 1988), (Mariño, 2003), Valle Argentino (Schulz, *et al.*, 1997), éstas acumulaciones arenosas crean condiciones favorables para la infiltración del agua de lluvia, fuertemente condicionada por el marco climático. Estas cualidades dan lugar a su selección como los sitios preferenciales para la ubicación de obras de captación. Por ello resulta comprensible que buena parte del trabajo de los hidrogeólogos de la región se oriente al estudio de acuíferos en los que la geomorfología influye de manera directa.

Es preponderante la importancia que la geomorfología adquiere para la presencia de las aguas subterráneas, la morfología de la capa freática y la dinámica y calidad de la misma. Es por ello que en el desarrollo de la presente tesis se resaltarán este aspecto y se puntualizarán características de la geomorfología que condicionan la dinámica y la calidad del agua.

4.1.- MARCO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL

La zona de estudio se encuentra inserta en la Llanura Chaco-Pampeana, Figura 4.1, donde se han acumulado espesas series sedimentarias no uniformes, continentales y marinas desde el Cámbrico-Ordovícico hasta la actualidad. El área se encuentra conformada por la zona pedemontana que se extiende desde las Sierras Pampeanas hacia el Este, hasta la Pampa Deprimida que, coincidiendo con la Cuenca del Salado, la separa de la Pampa Ondulada del litoral fluvial argentino. Es de suponer que esta zona elevada, que integra la Pampa Alta, Baldi *et al.*, (2006), su altitud va aumentando progresivamente a medida que se aleja de la pampa deprimida y se corresponde con la zona de máximo hundimiento del Macizo de Brasilia. Está influenciada por la mayor altura del basamento cristalino, fracturado en sentido submeridional, en relación al subsuelo de la Pampa Deprimida, que se sitúa en la cuenca del río Salado de Buenos Aires, donde son frecuentes las inundaciones dado que no hay pendientes de desagüe lo que dificulta la evacuación de agua. Hacia el

Este, una nueva falla ha elevado el basamento generando la Pampa Ondulada y las zonas de debilidad por la cual corren los grandes ríos.

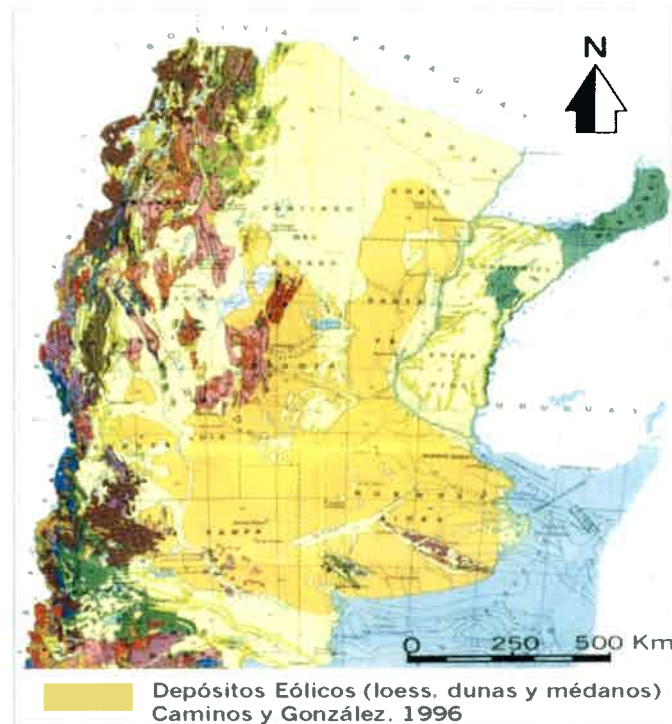


Figura 4.1. Llanura Chaco Pampeana

La zona de la Pampa Elevada se caracteriza por la presencia de innumerables cubetas de deflación eólica, que origina depresiones subcirculares, sin comunicación entre sí, con mal drenaje, ocupada por la presencia de lagunas al Este y salitrales, salinas y médanos al Oeste. Es una zona baja, de relieve plano con una suave pendiente hacia el Sudeste y un drenaje pobre que se encuentra en el Oeste de la Provincia de Buenos Aires y el Este de la Provincia de La Pampa. Es una planicie medanosa, con muy poco gradiente natural y subsuelo de sedimentos muy finos. Estas características hacen que el agua de lluvia no escurra constituyendo una cuenca arreica.

Dentro de la Provincia, para elaborar el Mapa Geomorfológico (Figura 4.2), Cano, *et al.* (1980), en el Inventario Integrado de los Recursos Naturales de La Pampa, ha tenido en cuenta estos aspectos mencionados anteriormente, además de los principales rasgos naturales que intervinieron en el modelado de su paisaje.



Figura 4.2. Mapa Geomorfológico de La Pampa (Cano, *et al.*, 1980)

4.1.1.- Hipsometría:

Desde el punto de visto topográfico este autor zonificó el territorio provincial tal como se puede observar en la Figura 4.3. Las mayores alturas están en el extremo NO, con un máximo en el Cerro Negro de 1.188 msnm., mientras que las menores corresponden al sector SE donde existen valores de hasta -30 msnm.

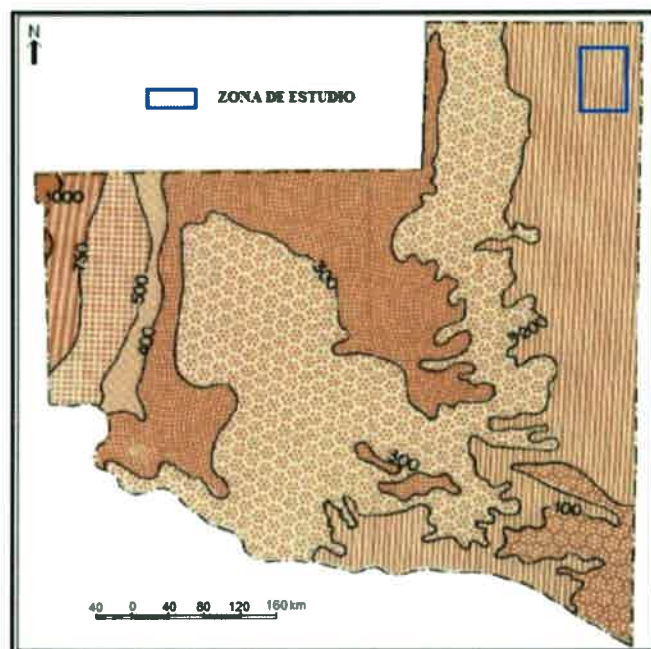


Figura 4.3. Hipsometría de La Pampa (Cano et al., 1980)

La pendiente regional es de dirección NO-SE con un gradiente de 0,7%. Desde el NW, las alturas van decreciendo paulatinamente hasta alcanzar los 400 m cuya curva hipsométrica coincide con la escarpa del Río Atuel. Entre ella y la de 300 m se localiza una extensa área compuesta fundamentalmente por pendientes y depresiones en el O y de acumulaciones medanosas y mesetas recortadas en el NE. Entre los 300 y 200m se diferencian dos sectores: el occidental definido por llanuras aluviales, arenosas, arenosas y afloramientos rocosos y el oriental caracterizado por mesetas y valles relictos. Entre las cotas de 200 y 100m (zona de la presente tesis) se encuentran planicies, planicies medanosas y mesetas. Por último, el sector ubicado entre las cotas 100 a -30 msnm, incluye mesetas, depresiones y bajos sin salidas.

4.1.2.- Hidrografía:

En cuanto a la Hidrografía, las características de aridez y semiaridez que caracteriza a la provincia, no ofrecen condiciones para que se origine una red hidrográfica autóctona. Los ríos Colorado, Atuel y Salado son alóctonos, constituyendo las únicas vías de drenaje de importancia, tal como se observa en la Figura 4.4.

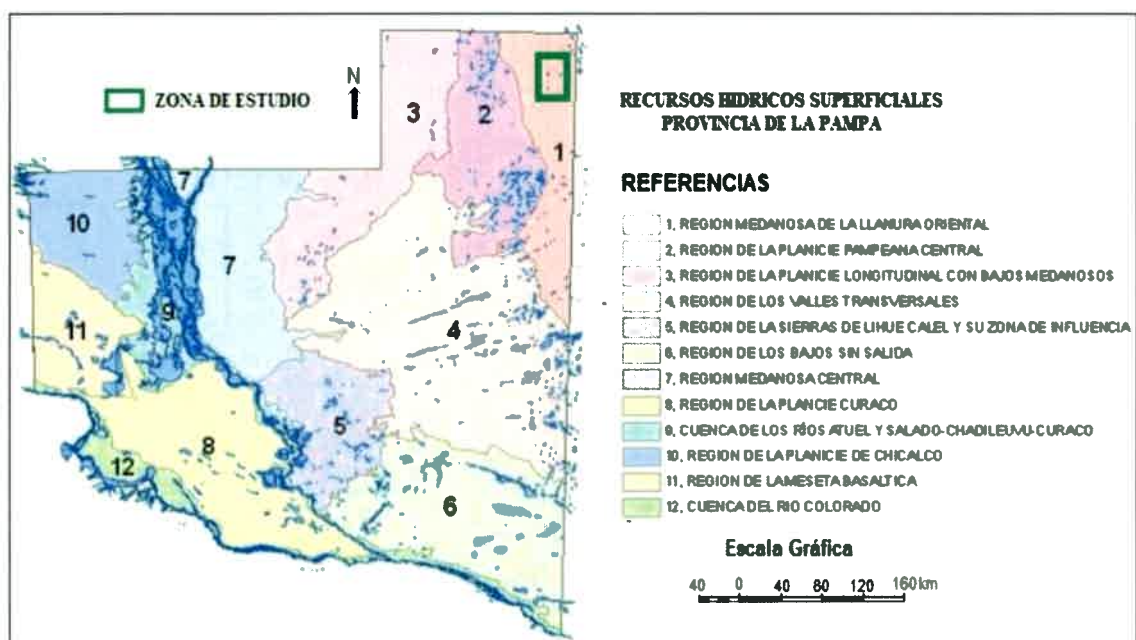


Figura 4.4. Hidrografía de La Pampa. Tomado de Giraut, *et al.*, 2006

Las lagunas, salares y salitrales conforman elementos complementarios y característicos del sistema hidrográfico. El río Colorado, originado en la provincia de

Mendoza, constituye el límite sur de la provincia de La Pampa y presenta una traza asociada a una megaestructura de rumbo ONO-ESE. Prácticamente no recibe afluentes, salvo el río Salado-Chadileuvú-Curacó, seco en la mayor parte del año.

El río Atuel que nace en la Cordillera de los Andes penetra por la parte N formando una extensa llanura aluvial de más de 15 km de ancho y con varios brazos que reciben denominaciones diversas. En la actualidad sus cauces prácticamente carecen de caudal permanente, y sólo llevan agua algunos meses del año cuando, aguas arriba, en pueblos ribereños de la provincia de Mendoza, "lavan" los suelos en las zonas de riego por inundación, aportando los mismos una importante carga salina hacia aguas abajo.

El río Salado que tiene sus nacientes en la Laguna de Guanacache (límite San Juan-Mendoza) con el nombre de Desaguadero, penetra por el N con un cauce de tipo meandriforme y angosto hasta la unión con el río Atuel en el paraje La Horqueta y forman una llanura aluvial conjunta de más de 20 km de ancho hasta aproximadamente el borde oriental del salitral Salina Grande. Hacia el Sur continúa con un cauce muy angosto, atravesando lagunas, esteros y afloramientos rocosos hasta desembocar en el río Colorado.

4.1.3.- Aspectos morfodinámicos y morfoevolutivos:

Regionalmente, la Provincia de La Pampa compone un dominio reixtático donde predominan fenómenos eólicos de erosión-acumulación. Esta particularidad se va atenuando hacia el Este, donde el sector oriental puede considerarse como dominio bioestático en precario equilibrio con las condiciones morfogenéticas imperantes (Cano, *et al.*, 1980).

El actual modelado, Figura 4.5, que se observa en la Provincia de La Pampa, es fundamentalmente el resultado de la combinación de acciones hídricas y eólicas (Cano, *et al.*, 1980). A comienzos del Cuaternario las acciones hídricas de escurrimiento difuso elaboraron en la parte N y E del territorio una inmensa pediplanicie regional caracterizada por una cobertura calcárea muy potente. En el Sur, el paisaje estaba compuesto también por una gran planicie cubierta por un espeso

manto de rodados de vulcanitas. Posteriormente, este paisaje fue recortado por nuevas acciones hídricas y eólicas, dándole la fisonomía actual.

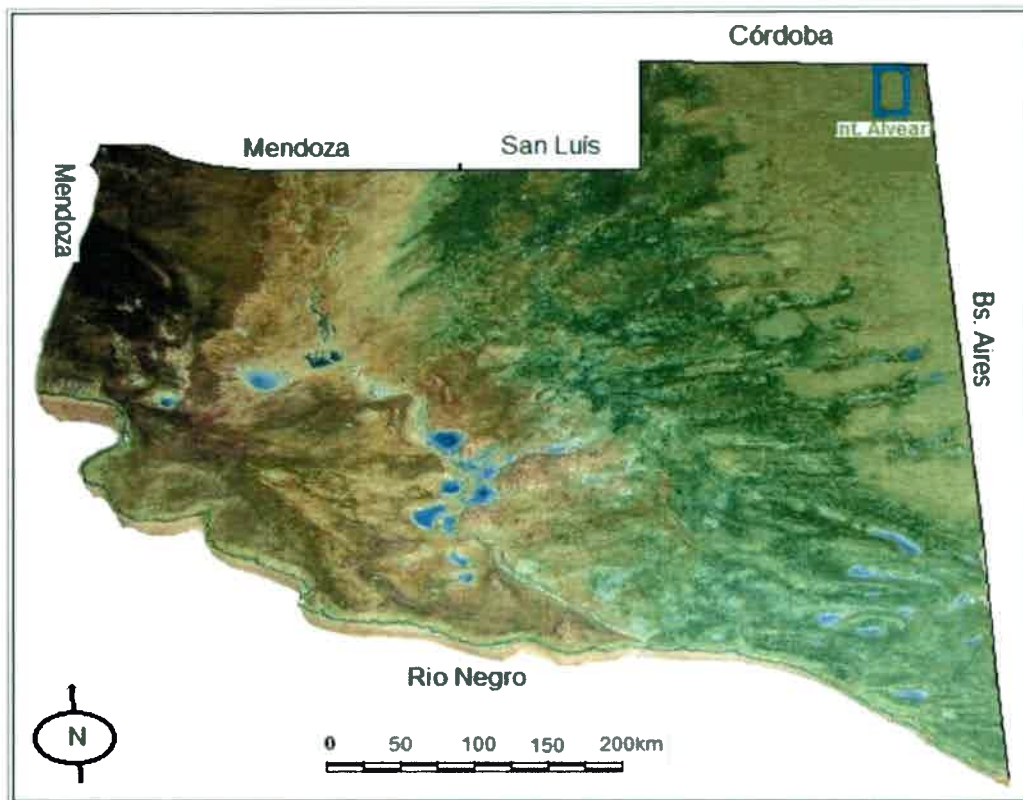


Figura 4.5. Modelo físico de elevación del terreno en la Provincia de La Pampa (Arangoa, 1980)

El material calcáreo se presenta en forma de costras, a manera de matriz o como concreciones y muñecas carbonáticas diseminadas en materiales más finos. Atendiendo a su composición mineralógica se pueden diferenciar en calcáreos propiamente dichos y en areniscas calcáreas, (Cano, *et al*, 1980).

Las principales acciones dinámicas desde el punto de vista hídrico, están representadas por los ríos Atuel, Salado, Colorado y otras vías actualmente inactivas. El río Atuel participó en la elaboración del relieve en el Oeste. Al construir su llanura, cortó la pediplanicie originando un área de pendientes dentro de las cuales sobresalen algunas mesetas (restos de pediplanicies) y afloramientos rocosos, tal como se muestra en la Fig.35. El río Salado, contribuyó a la erosión de la pediplanicie en la parte central; sus antiguos cauces dispuestos paralelamente al actual, elaboraron en la parte N amplias llanuras aluviales con mesetas remanentes.

El Río Colorado, desarrolló una importante acción hídrica en el SW provincial que se puede verificar en su desplazamiento hacia el Sur, evidenciado por los paleocauces, originando un paisaje donde se intercalan terrazas, mesetas y paleocanales. Los valles relictos centrales ubicados en la parte centro-occidental, son testigos de una importante acción hídrica pasada. En ellos se distinguen niveles de terrazas que posiblemente indicarían su vinculación con los fenómenos climáticos ocurridos en el cuaternario (glaciaciones). Aquí se ha llevado a cabo una importante acción eólica que actuó en toda la provincia favorecida por las condiciones climáticas de aridez acentuadas en los períodos secos del Cuaternario.

Las áreas sometidas a acciones de deflación, ubicadas preferentemente en el N y SW, se caracterizan por el delgado espesor de arena que tienen en superficie; el viento erosionó y transportó el material a lugares más alejados o áreas deprimidas y dejó al descubierto material subyacente consolidado (costras calcáreas). Las zonas con relieves de acumulación, se caracterizan por el potente espesor de arena que presentan, en algunos casos más de 5 a 6 m y por las formas típicas que presentan, tales como médanos y cordones medianosos. Estas áreas se ubican preferentemente en la parte central y en el NE provincial, sector donde se ha estudiado más en detalle la geomorfología debido a que en el lugar se encuentra el acuífero estudiado. Aquí la vinculación entre la pedogénesis y la morfogénesis puede apreciarse con bastante claridad ya que los perfiles muestran capas arenosas y cenizas volcánicas coincidentes con fenómenos morfogenéticos activos, intercalados con paleosuelos o paleohorizontes que corresponden a períodos con predominio edafogenético (Figura 4.6).

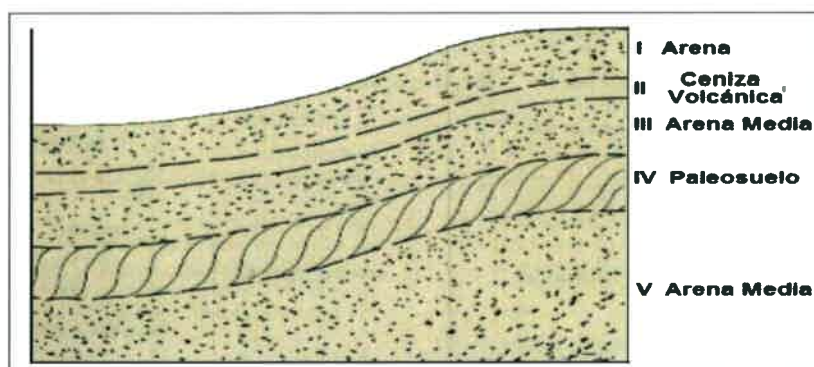


Figura 4.6. Corte de Suelo (Tomado de Cano, et al, 1980)

4.1.4.- Planicies eólicas

Dada la importancia que para el presente estudio tienen estos ambientes geomorficos de origen eólico en cuanto a la forma del relieve, se hará una síntesis regional de las mismas utilizando los criterios desarrollados por Tullio (1981) .

4.1.4.1.- Acumulaciones de arena: El autor mencionado ha establecido tres categorías de geoformas debidas a la acumulación eólica:

a)Acumulaciones de campos de arena: Figura 4.7, la existencia de una cobertura vegetal que ofrece cierta protección a los suelos impide el desarrollo de formas características.



Figura 4.7: Acumulaciones de arena. Intendente Alvear. Prov La Pampa)

Se trata de depósitos arenosos o limosos sin formas definidas proporcionando un paisaje monótono por la escasez de rupturas o quiebres en el relieve. Son sumamente extendidos encontrándoselos tanto en la parte occidental, como en la central y oriental. Cuando la cobertura detrítica es sumamente delgada, tal que el paisaje responde a las particularidades topográficas de los depósitos infrayacentes, se los ha distinguido como zonas de paisaje suavemente ondulado.

b)Campos de dunas: En ellas ha tenido lugar una acción más pujante del viento, pero donde la vegetación ejerce todavía un cierto control genera estas geoformas. Se encuentran ejemplos de los mismos en la región central de la provincia.

c)Cordones longitudinales de dunas o médanos: esta organización deriva de la persistencia en una dirección de los vientos dominantes y del debilitamiento progresivo de la cobertura vegetal. Están sumamente extendidos en el territorio provincial, en su parte central, al Oeste de Cuchillo Có, y hacia el N y Este provincial.

4.1.4.2.- Las cubetas de deflación

En los casos en que la sequía ha permitido una acción óptima del viento, este ha logrado crear algunas depresiones por deflación en ciertos casos; en otros, la acción eólica ha traído como consecuencia la colmatación de estas formas negativas, producto de la actividad morfodinámica del pasado rellenándolas con sedimentos predominantemente arenosos y en menor escala, limosos, como se observa en la Figura 4.8.



Figura 4.8: Cubeta de Deflación con sales. Intendente Alvear (La Pampa)

De igual manera, el trabajo mancomunado con el agua ha permitido la disolución y transporte hasta esas cubetas de sales provenientes de la descomposición de rocas antiguas, las cuales se depositan conjuntamente con los sedimentos areno-limosos movilizados por la morfogénesis actual.

4.2.- ORIGEN Y EVOLUCIÓN

Malagnino (1988), en su trabajo *“Evolución del sistema fluvial de la provincia de Buenos Aires desde el Pleistoceno hasta la actualidad”*, realizó una interpretación geomorfológica, basado en imágenes satelitales, de un área que abarca la provincia de La Pampa, San Luis, Córdoba, Santa Fé y Buenos Aires, confeccionando un mapa de morfologías eólicas y fluviales de diferentes edades (Figura 4.9). Este autor propone que el campo de dunas o médanos, ha sepultado a un antiguo sistema de drenaje, que se originó desde el Noroeste del área, actualmente ocupado por el sistema del Río Quinto. Las características anómalas, tanto locales como regionales, guardan relación con una serie de interrupciones que el ciclo fluvial ha tenido y que en forma recurrente ha actuado desde el Pleistoceno hasta la actualidad.

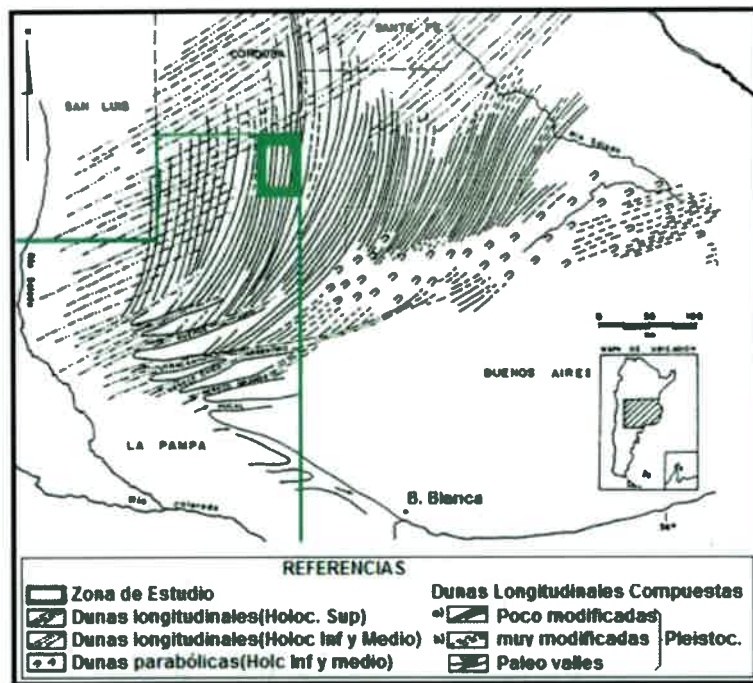


Figura 4.9. Paleofomas de origen eólico. (Tomado de Malagnino (1989))

Tales eventos se hallan estrechamente vinculados con profundos cambios climáticos (alternancia de períodos áridos y húmedos) que afectaron el régimen de los ríos emisarios de centros glaciares, fenómeno que dio lugar a la participación de otros procesos geomórficos (eólico y fluvial).

Las formaciones eólicas erosionadas incluyen un importante número de cuencas de deflación creadas durante condiciones áridas pero subsecuentemente ocupadas por el agua durante períodos más húmedos como los que se han dado hace apenas unos años atrás.

Con respecto al origen de los aportes clásticos que estructuraron al campo de dunas, estos procederían en su mayor parte de la deflación de antiguos depósitos aluviales del río Salado (La Pampa) y de valles ubicados al SW de la provincia de Buenos Aires y E de La Pampa. El efecto tuvo lugar cuando estos sistemas fluviales dejaron de ser funcionales o mostraron memas severas en sus caudales por efecto de capturas, desvíos y/o anarquía en sus cabeceras por vulcanismo (Malagnino, 1989). De esta manera las acumulaciones localizadas en las planicies aluviales abandonadas quedaron sometidas a los efectos de enérgicos procesos eólicos y comenzaron a ser deflacionadas y movilizadas. Comenzó a estructurarse de este modo un campo de

arenas creciente integrado por dunas longitudinales compuestas. Las mismas cubrieron al paisaje fluvial preexistente de tal forma que actualmente la red original subyace al sistema eólico.

En el sector E de la provincia de La Pampa se identifican una serie de prominentes y alargadas depresiones con orientación W-NE. Las más importantes enumeradas de Norte a Sur son los valles de Nerecó, Quehué, Utracán, Maracó Chico, Maracó Grande o Epu Pel y Hucal. Estas desaparecen debajo del campo de dunas del sector noroeste de la provincia de Buenos Aires. El conjunto continuo más vasto es el complejo Utracán – General Acha – Maracó Chico – Argentino y Maracó Grande, que se continua en la provincia de Buenos Aires a lo largo de las lagunas Larga, Chasilauquen, de la Sal, Epecuén, Del Venado, Monte, Cochico, Alsina, Inchauspe y el arroyo Vallimanca, Arroyo Saladillo y Río Salado (Malagnino, 1988).

Estas depresiones fueron interpretadas por varios autores como de origen tectónico relacionado con una estructura del tipo graben (Frenguelli, 1939; Cordini, 1960) o del tipo falla de desplazamiento (Linares *et al.*, 1980). Malagnino (1988), las interpreta como de origen fluvial y propone que las depresiones marcan el antiguo curso del río Colorado, presentando como hipótesis que atravesaba el área a través de valles en dirección sudoeste a noreste. En la actualidad estos valles están enterrados bajo el campo de dunas, excepto el sistema fluvial mencionado anteriormente.

El mismo autor, asignó a la evolución climática histórica como la responsable de los procesos geomorfológicos que dieron lugar a las formaciones principales del paisaje, durante el Pleistoceno tardío y el Holoceno, durante un periodo cálido y húmedo seguido por un periodo frío y seco.

Durante el primer periodo la esorrentía cortó profundos valles en los depósitos pampeanos que luego se ensacharon dando lugar a depósitos aluviales de gran espesor. En el segundo periodo, los procesos eólicos dominaron el paisaje, sepultando los valles de los ríos debajo de campos de dunas que avanzaron desde el noroeste, oeste y sudoeste y erosionando las cuencas de deflación más hacia el oeste.

Con posterioridad a la generación del “mar de arenas”, la región estuvo sometida a un período de mayor humedad que favoreció la aparición de una cubierta vegetal que fijó las dunas. Durante ese lapso las crestas de las dunas fueron degradadas y rebajadas por procesos eólicos y erosión hídrica y los elementos clásticos así removidos se acumularon en los espacios interdunales. En las interdunas también se acumularon otras granulometrías más finas arribadas por suspensión. De esta forma las dunas longitudinales compuestas lograron un perfil aproximado al actual: crestas chatas y rebajadas y ambientes interdunales planos y agradados.

Anterior a Malagnino (1988), Tapia (1937) describió al valle formado por las lagunas Encadenadas del Oeste de la provincia de Buenos Aires, Figura 10, como una erosión de origen fluvial. Malán (1983), concluye que la llanura de acumulación ubicada en el Noreste de la provincia de La Pampa tiene un modelado por la acción eólica, pero que en un pasado geológico los materiales pueden haber sido transportados por cursos de agua superficiales provenientes desde las Sierras Pampeanas (Sur de San Luis y Córdoba).

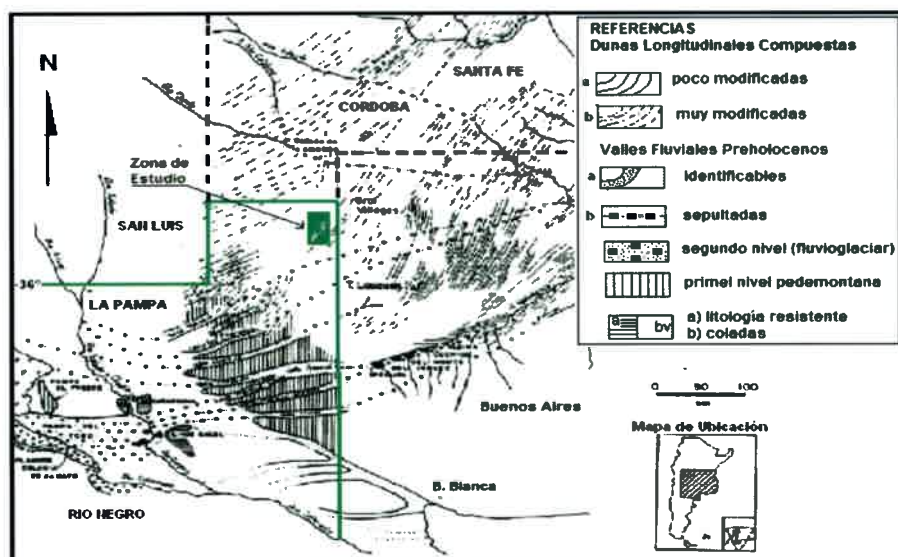


Figura 4.10 Evolución del sistema fluvial de la provincia de Buenos Aires desde el Pleistoceno hasta la actualidad. (Malagnino, 1988)

Iriondo y Kröhling (1997) sostienen que El Sistema Eólico Pampeano presenta tres direcciones que abarcan unos 200 a 300 km de ancho y con más de 2.000 km de longitud. Este “mar de arenas” es un sistema sedimentario eólico que cubre unos

200.000 km² entre las latitudes de 33° y 38° S y longitudes de 59° 20' y 67° W, formando la mitad Sur de la Pampa Argentina Central. Los sedimentos están compuestos por arena muy fina y fina limosa y se originaron principalmente en la alta cordillera (latitudes de 28° S hasta 36° S) por procesos nivales y criogénicos. Los productos de meteorización física fueron transportados por aguas de deshielo hacia el S a lo largo del sistema fluvial del Desaguadero, Figura 4.11, y finalmente deflacionados en dirección norte y noreste por vientos australes durante el último máximo glacial y otros períodos fríos.

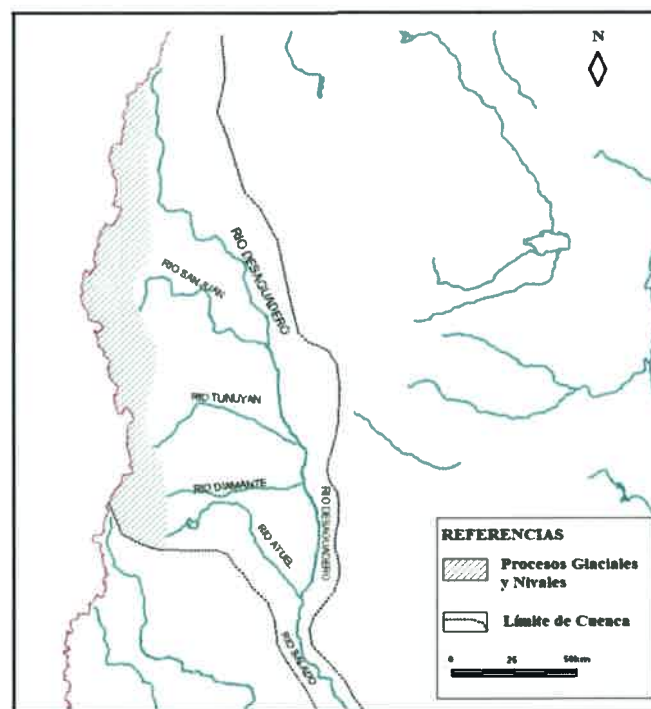


Figura 4.11. Sistema Hidrográfico Bermejo-Desaguadero-Salado

El sistema está compuesto por un mar de arenas central y una faja periférica de loess debido a que los vientos que soplan desde los campos de hielo transportan la arena por saltación y arrastre en las planicies más afectadas por la aridez. Los mismos vientos transportan más lejos en suspensión en forma de nube de polvo, a las fracciones de limos y arcillas.

El origen de los sedimentos pareciera deberse a las continuas variaciones de climas fríos que trajeron aparejados una activa meteorización física en conjunto a una

amplia asociación de procesos y productos de erosión (Ahumada, 1.990) ricos en fracciones de limos y arenas finas.

Durante el Cuaternario superior los ríos formaron terrazas periglaciales en los valles y extensos abanicos aluviales en zona de piedemonte, tales como los abanicos complejos de los ríos Mendoza y Atuel que cubren áreas de más de 15.000 Km². Este escenario sugiere una alta producción de sedimentos finos y transporte de los mismos por crecidas producto del deshielo hacia las tierras bajas del E, existiendo en toda la región una gran cantidad de sedimentos similares a los limos y arenas de La Pampa.

La planicie aluvial del río Desaguadero, colector de esta red fluvial corre con dirección N-S a lo largo de 100 km aproximadamente, se encuentra actualmente cubierta por los abanicos aluviales mayores y por campos de arena formados en el Holoceno

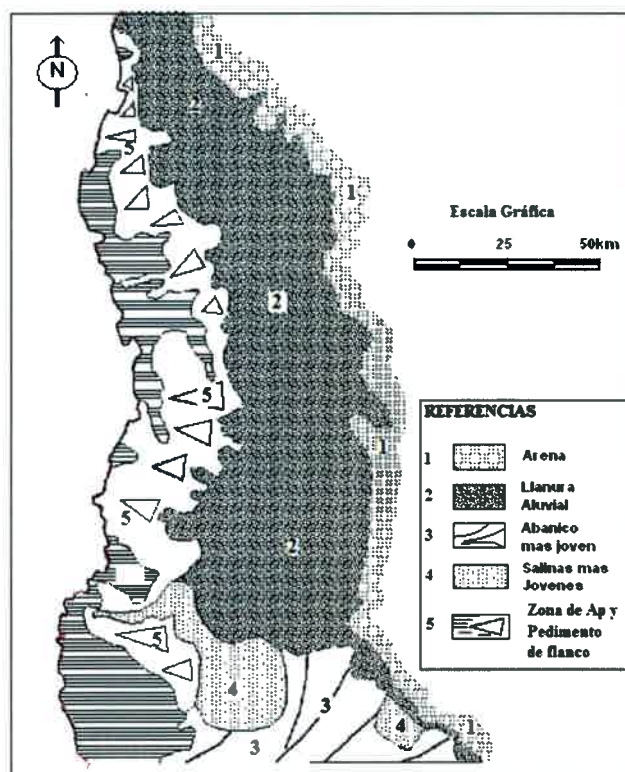


Figura 4.12. Llanura Aluvial del colector del Desaguadero (35 a 38°S)
(Iriondo-Kröhling, 1997)

En la provincia de La Pampa, este colector recibe el nombre de Salado se encuentra bien expuesto en superficie donde formó una llanura de inundación de 40 a

50 km de ancho en el Pleistoceno superior, rellena con más de 35 m de limos y arenas interestratificados (Salazar, 1983).

La asociación mineralógica de estos sedimentos indica una composición similar a aquellas de las cabeceras de los ríos tributarios cordilleranos citados (Tullio, 1981). Este colector (Desaguadero-Salado-Chadileuvú), que se observa en la Figura 4.12, que ocasionalmente es tributario del río Colorado, ocupó varias posiciones a lo largo del Cuaternario (Malagnino, 1988), excavando varios valles en la Formación Cerro Azul (Llambías, 1975); (Linares, *et al.*, 1980), tales como los Valles de Chapalcó, de Quehué, Argentino (Utracán al N y Acha al Sur), de Maracó, etc. Los mismos están actualmente cubiertos en el E y O por sedimentos eólicos más jóvenes.

En las áreas en que están en superficie, se los puede identificar a lo largo de hasta 300 km, con anchos que varían entre 5 y 17 Km (Valle Argentino).

Hacia el E, como en la zona específica del presente estudio, los valles están completamente cubiertos por la arena del “mar eólico pampeano”, siendo imposible reconocer sus trazas en la Provincia de Buenos Aires, excepto la ocupada por el arroyo Vallimanca y la depresión de Chasicó.

4.3.- RASGOS GEOMORFOLÓGICOS LOCALES

La zona de estudio forma parte de la “Planicie arenosa” definida por Zalazar Lea Plaza, *et al.*, (1980) que integra el “Mar de Arena Pampeano” definido por Iriondo y Kröhling, (1997); Malagnino (1988), donde se reconocen dunas longitudinales compuestas del Pleistoceno, con distinto grado de conservación, y formas medanosas más recientes como se observan en la Figura 4.13.

Se trata de una llanura de agradación, cuya colmatación se produce en el Terciario - Cuaternario temprano. Posteriormente es afectada por procesos geomórficos eólicos de distinta edad que la transforman dentro de su carácter llano en una sucesión de bajos y lomas donde, en particular el viento, ha dejado su huella, generando las geoformas donde alternan cubetas de deflación y médanos.

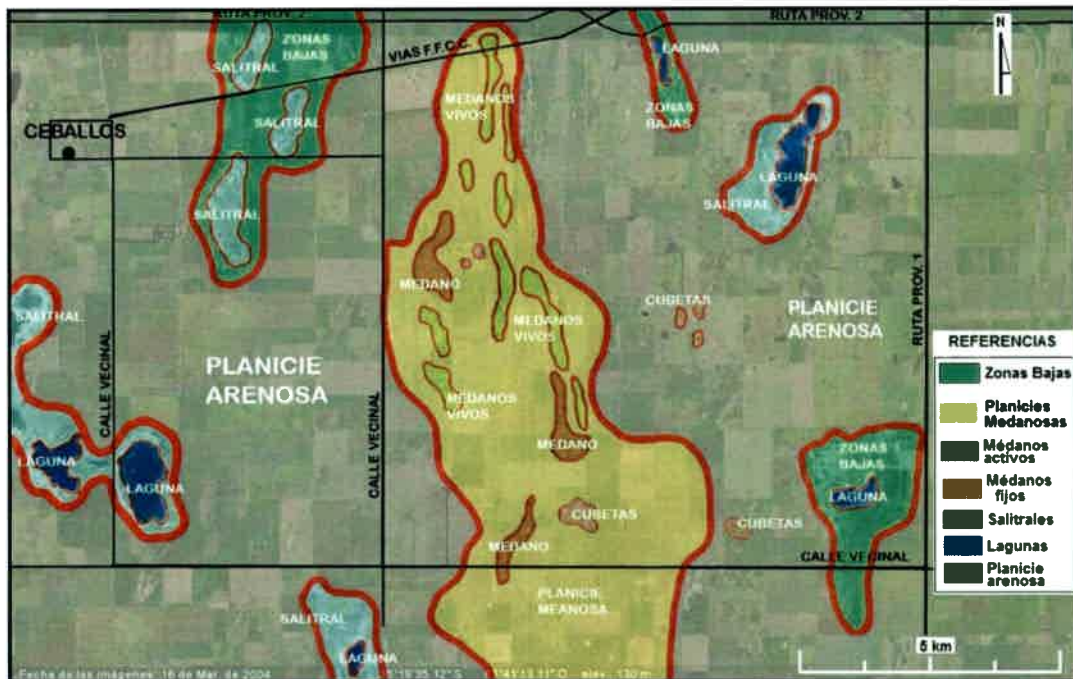


Figura 4.13: Rasgos Geomorfológicos locales (Castro, 2010)

El tamaño de estos cuerpos varía entre montones de arena y extensos cordones longitudinales de rumbo aproximado Norte-Sur, particularmente en este sector de la provincia.

Generalmente los bajos más profundos (pfannen) se comportan como lagunas temporarias o playas, mientras que en las áreas elevadas que han sido profusamente cultivadas, es común la presencia de médanos de origen antrópicos históricos desarrollados sobre los antiguos médanos o planicies medanosas (Castro y Tullio, 1989).

Los estudios realizados en la zona de Intendente Alvear y los resultados obtenidos permitieron individualizar y delimitar dominios geomorfológicos y unidades subordinadas (Figuras 4.14 al 4.19) y efectuar una caracterización de su comportamiento hidrológico.

Las unidades geomorfológicas reconocidas en el área de trabajo se describen a continuación:

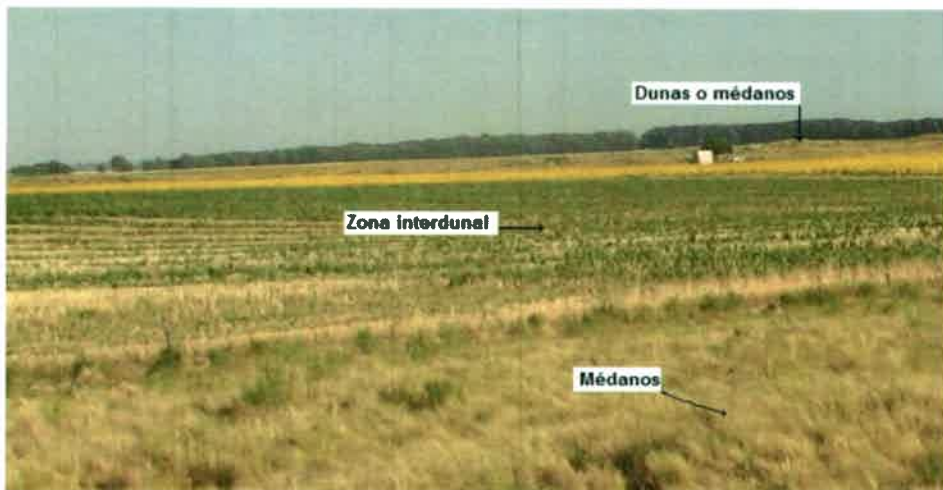


Figura 4.14: Contraste de distintas unidades

4.3.1.- Planicies Arenosas: se denomina así a planos arenosos, Figura 4.15, de superficie suave con desniveles menores que 0,50 m. Se extienden en las áreas entre lomas. Están compuestas por el miembro superior de la Formación Junín (CFI, 1975). La parte superior está edafizada, son suelos arenosos a arenosos francos, de buen drenaje. Los signos de erosión son mínimos.



Figura 4.15: Planicie arenosas

4.3.2.- Planicies Medanosas se denominan de ésta manera a las áreas en general altas, desarrolladas entre médanos mayores y más recientes con superficies onduladas, y suelos arenosos de muy buen drenaje. Figura 4.16,. En general corresponden a médanos parcial o totalmente estabilizados, a veces bajo cultivo.



Figura 4.16: Planicie Medanosa

4.3.3.- Médanos: corresponden a acumulaciones medianosas acordonadas en general, Figura 4.17, en las cuales, según su grado de actividad, pueden distinguirse dos tipos a saber:



Figura 4.17: Médano

4.3.3.1.-Médanos "Fijos", como lo muestra la Figura 4.18, de relieve localmente pronunciado cubierto por escasa vegetación natural, tipo páramo con "cimas" que en períodos de excesos hídricos constituyen zonas preferenciales de recarga.



Figura 4.18: Médanos fijos

4.3.3.2.- Médanos "móviles o activos": se observa en la Figura 4.19 que son un conjunto de crestas y ollas arenosas carentes de vegetación que evidencian reactivaciones recientes de los cordones medanosos.



Figura 4.19: Médanos móviles o activos

Estas últimas geformas carecen de perfil edáfico y de capacidad de retención o encauzamiento de agua y se comportan como áreas de infiltración plena, como se vera en el capítulo del funcionamiento hidrogeológico.

4.3.4.- Cubetas de Deflación:

Se ubican agrupadas y/o diseminadas en diversos lugares vinculados a las zonas de descarga de la capa freática, Figura 4.20. Fueron excavadas en materiales limosos o arenosos, y solo en algunas de ellas se observa en la periferia, la formación de un cordón de acumulación sedimentaria en forma de media luna, producto del material arrastrado. Actualmente, forman conjuntos de lagunas y pequeños salitrales semipermanentes.



Figura 4.20: Cubeta de deflación

Es un relieve característico de la región E de La Pampa y O de la Pampa deprimida de la Provincia de Buenos Aires.. Predominan las formas de deflación (pequeñas cubetas) a las de acumulación (relieve ondulado y cordones muy bajos que corresponden a antiguas dunas, debido a que los limos y arenas presentes eran lo suficientemente finos para ser transportados lejos del lugar. Algunas cubetas están ocupadas por lagunas.

CAPITULO 5

SUELOS

*5.1.- Unidades Cartográfica de la planicies medanosas onduladas
con cubetas*

5.1.1.- Paisaje

5.1.2.- Material parental

5.1.3.- Caracterización

5.1.4.- Clasificación

5.1.5.- Suelos menores

5.- SUELOS:

Como se ha manifestado en capítulos anteriores, los procesos morfogenéticos que se han llevado a cabo en esta subregión han correspondido fundamentalmente a dos tipos: al tipo hídrico, generalmente de escurrimiento difuso y también eólico, de acumulación-deflación. El primero elaboro una superficie calcárea con pendiente regional hacia el E, sobre la que el viento, después, acumuló un manto arenoso de variable espesor (Cano *et al.*, 1980). Desde el punto de vista litológico, está totalmente constituida por un sedimento arenoso, de espesor variable (3 a 9 m) que se incrementa en sentido W-E. Dentro de este espesor se encuentra, por lo general, un pequeño horizonte de acumulaciones de cenizas volcánicas, con suelos enterrados y paleohorizontes, descritos en los perfiles más adelante.

Si se considera regionalmente la zona, se distinguen según el Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa (Cano *et al.*, 1980) cuatro unidades cartográficas (Figura 5.1), aunque sólo una de ellas se encuentran en la zona de estudio .

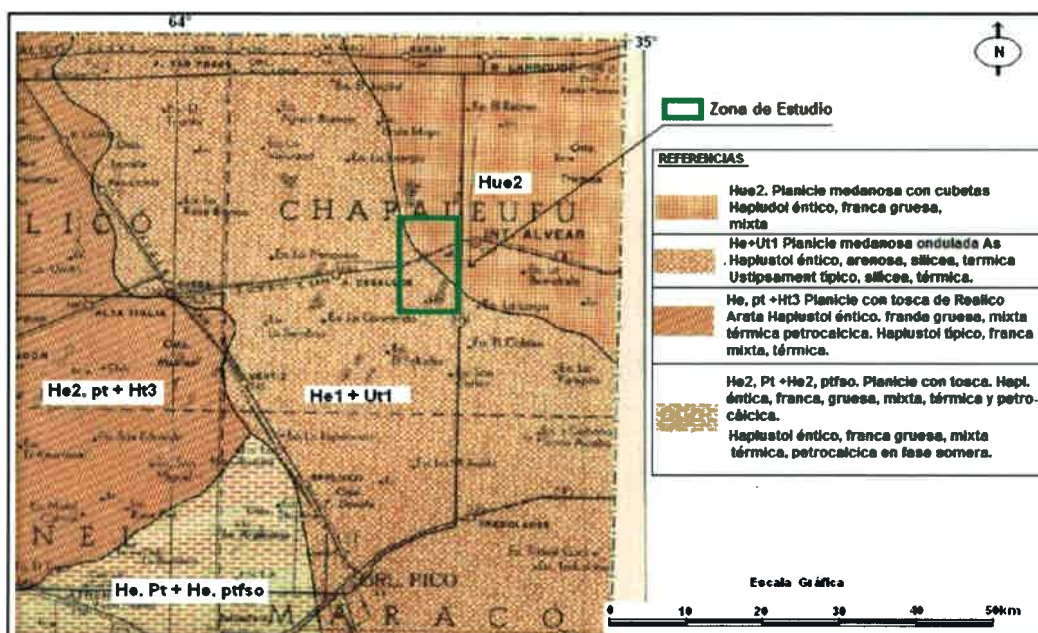


Figura 5.1. Mapa de Suelo (Peña Zubiarte *et al.*, 1980)

5.1.- UNIDAD CARTOGRÁFICA DE LAS PLANICIE MEDANOSA ONDULADA (Hue1 + Ut1)

Se encuentra ubicada en el extremo NE de la Provincia, abarcando más de la mitad E del Departamento Chapaleufú, extendiéndose sin limitaciones hasta el Sur de la provincia de Córdoba y Oeste de la provincia de Buenos Aires, siendo el área de Intendente Alvear, la más representativa de la unidad. En líneas generales, un suelo típico de este sector se consigna de la Calicata N° 427C "Pellegrini", tal como se refleja en Tabla 5.1:

Tabla 5.1: Datos analíticos del perfil 427C Pellegrini (Peña Subiate, *et al*, 1980)

Horizonte	A1	AC	C1	C2
Profundidad en cm	5-18	25-40	53-70	90-106
Materia Orgánica %	2.98	1.45	0.44	0.14
Carbono Orgánico %	1.68	0.84	0.26	0.08
Nitrógeno Total %	0.179	0.088	x	x
Relación C/N	x	x	x	x
Arcilla, 2 μ , %	11.02	10.81	9.84	8.12
Limo, 2-50 μ , %	21.30	16.96	15.07	13.66
Arena muy fina, 50-74 μ , %	7.92	7.80	7.74	7.12
Arena muy fina, 74-100 μ , %	28.42	33.41	36.40	36.83
Arena fina, 100-250 μ , %	22.55	20.98	21.20	24.71
Arena media, 250-500 μ , %	7.51	8.36	8.34	8.35
Arena Gruesa, 500-1000 μ , %	1.17	1.60	1.36	1.19
Arena muy gruesa, 1-2 mm	0.11	0.08	0.05	0.02
Calcáreo, Ca CO ₃ , %	0	0	0	Vest.
Equivalente de humedad, %	14.71	11.98	10.17	8.86
pH en pasta	5.9	6.2	7.1	8.3
pH en agua, 1:2.5	6.4	6.8	7.5	8.9
Conductividad (mmhos/cm)	x	x	X	x
Cationes de cambio, m.e/100g:	-	-	-	-
Ca ⁺⁺	7.65	5.55	5.05	x
Mg ⁺⁺	2.85	2.24	1.68	x
Na ⁺	0.45	0.65	0.61	0.69
K ⁺	2.19	2.27	2.53	2.53
H ⁺	6.12	4.44	2.02	x
Suma de bases, m.e/100g(S)	13.14	10.89	9.87	x
Capacidad de intercambio de cationes, m.e/100 (T)	13.87	12.32	10.30	11.72
Saturación con bases, % (S/T)	95	88	96	x

5.1.1.- Paisaje: Se trata de un área de llanos ondulados, que forman un paisaje de antiguos médanos bastantes rebajados en la actualidad, donde es posible observar algunos médanos vivos.

5.1.2.- Material Parental: son arenas de reciente deposición de textura franco arena limosa, con 10% de arcilla y 15% de limo total. No hay tosca dentro de los 2 m de profundidad aunque hay presencia de carbonado de calcio en concreciones cerca del metro.

5.1.3.- Caracterización: Los suelos de esta unidad integran una asociación. Tienen poca evolución genética presentando un sencillo perfil tipo A-AC-C. Los carbonatos aumentan en profundidad. Excepcionalmente pueden reconocerse algunos suelos libres de carbonato de calcio pulverulentos y en concreciones en todo el perfil. No obstante, puede haber cementación en los horizontes inferiores.

El suelo superficial (capa arable) tiene buen espesor con alto contenido en materia orgánica reuniendo las condiciones para un epipedón mólico. Tiene permeabilidad rápida, es excesivamente drenado y está asociado a médanos más o menos planos y estabilizados, que en su mayoría se aran. No hay diferencia entre las cúspides y los bajos ondulados en cuanto al desarrollo genético y características morfológicas del perfil. Presenta regímenes de humedad ústico, de temperatura térmica y su clase por tamaño de partícula es arenosa. Las limitaciones de estos suelos son las que derivan de la textura del material parental y el clima o sea la baja capacidad de retención de la humedad.

5.1.4.- Clasificación: Los suelos de esta asociación se clasifican como Haplustol éntico, familia arenosa, mixta térmica, estimándose en un 60% de la superficie de la unidad y Ustipsamente típico, familia silícica, térmica.

5.1.5.- Suelos menores: Otros suelos incluidos dentro de esta unidad, son los que se encuentran en bajos con tenores variables de sales y en algunos casos algunos tienen vegetación halófila.

Un análisis sedimentológico tipo del primer metro de profundidad, se describe en la Tabla 5.2 y Figura 5.2.

Tabla 5.2. Suelo típico de planicie medanosa onduladas (He + Ut1)

Profundidad	Descripción litológica
0-20 cm A1	Color pardo grisáceo(10YR 5/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo, franco arenoso fino, bloques subangulares medios moderados, límite inferior claro, suave, raíces abundantes. Ceniza volcánica de 2 cm de espesor mezclada por el laboreo. Muchas veces se reconoce un subhorizonte Ap de 10 cm de espesor.
20-43 cm AC	Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/3) en húmedo. Franco arenoso fino, bloques subangulares medios débiles. Ph 6,02, límite inferior claro, suave, raíces comunes.
43-80 cm C1	Pardo pálido (10YR 6/3) en seco y pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo., franco arenoso fino, sin estructura, grano simple, Ph 7,1. límite inferior claro, suave, raíces escasas.
80 a 95 cm C2	Pardo pálido (10YR 6/3) en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo. Areno franco fino, sin estructura, grano simple; Ph 8,3, raíces escasas. A 1,70 m este horizonte permanece sin mayores cambios.

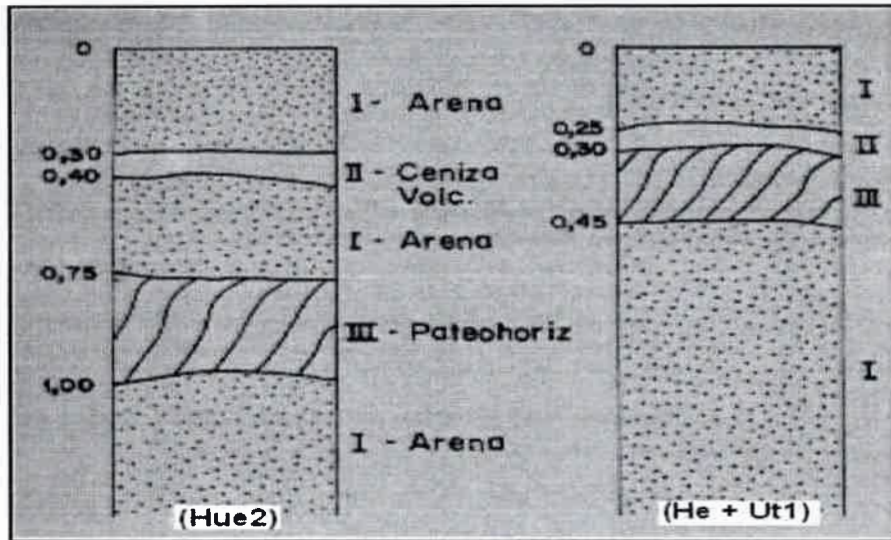


Figura 5.2. Unidades de suelo (Modificado de Cano et al., 1980)

CAPITULO 6

FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO DEL SISTEMA

6.1.- INTRODUCCION

6.2.- INVENTARIO DE POZOS DE AGUA

6.3.- HIDROLITOLOGIA

6.4.- PIEZOMETRIA

6.5.- EVOLUCIÓN TEMPORAL DE NIVELES FREATICOS

6.6.- PARAMETROS HIDRÁULICOS

6.6.1.- Hidráulicas de las captaciones

6.6.2.- Ensayos hidráulicos (bombeos)

6.7.- HIDRODINÁMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

6.8.- CARACTERIZACIÓN DE LA RECARGA

6.8.1.- Balance de agua en el suelo por Thornthwaite

6.8.2.- Calculo de la recarga por balance seriado diario de Balshort

6.8.3.- Otros métodos

6.8.3.1.- Calculo de la recarga Relación Recarga-Pluviometría

6.8.3.2.- Balance de masa del ión cloruro

6.8.3.3.- Calculo de la recarga por fluctuaciones pluviométricas

6.9.- SUBUNIDADES HIDROGEOMORFICAS

6.9.1.- Areas cuspidales

6.9.2.- Areas Bajas

6.9.3.- Areas Intermedias

6.10.- CONCLUSIONES

FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO DEL SISTEMA ACUIFERO

6.1.- INTRODUCCION

Con la finalidad de tener una idea lo mas ajustadamente posible de la dinámica hidrogeológica del área, se describen las características de los puntos de agua que aportan información sobre las aguas subterráneas. Se realiza además una caracterización de los parámetros hidrodinámicos de cada una de ellas, determinados mediante ensayos de bombeo. Finalmente se interpreta de forma conjunta toda la información obtenida a partir de las características hidrogeológicas y se propone un esquema general de funcionamiento del flujo subterráneo. Cada uno de estos puntos proporciona una información parcial de las propiedades hidrogeológicas de la zona, en función de sus características constructivas y de su ubicación espacial.

La confiabilidad de la caracterización hidrogeológica dependerá del conocimiento detallado de las particularidades de cada uno de los puntos de agua que se han tenido en cuenta. Así se presentan las características de los diferentes tipos de puntos de agua existentes en la región aquí considerada, estimándose la validez de la información que aporta cada uno de ellos.

6.2.- INVENTARIO DE POZOS DE AGUA

En relación con el censo hidrogeológico y la densidad del muestreo, se tomó como base el inventario realizado por la Administración Provincial del Agua en periodos distintos, realizando una recolección de muestras de agua a efectos de realizarles un análisis físico-químico más completo a los existentes que databan de 1974 y no presentaban determinaciones de varios iones imprescindibles para efectuar un balance. Además, se ha tenido en cuenta el censo de pozos llevado a cabo específicamente para esta tesis.

La mayor parte de las muestras de aguas recolectadas en el área de trabajo corresponden a perforaciones para uso rural (ganadero) con caudales muy reducidos entre 0,8 y 1,5 m³/h. También existen perforaciones con caudales significativos correspondientes básicamente a las captaciones que abastecen de agua a las dos localidades vecinas por parte de la concesionaria del servicio de provisión de agua potable. En la Figura 6.1, se presenta el mapa con los puntos de agua censados en el

cual se observa cierta heterogeneidad producto de la morfología del terreno, que condiciona aspectos de uso del territorio, a su vez también controlados por características hidrogeológicas como se explicará más adelante.

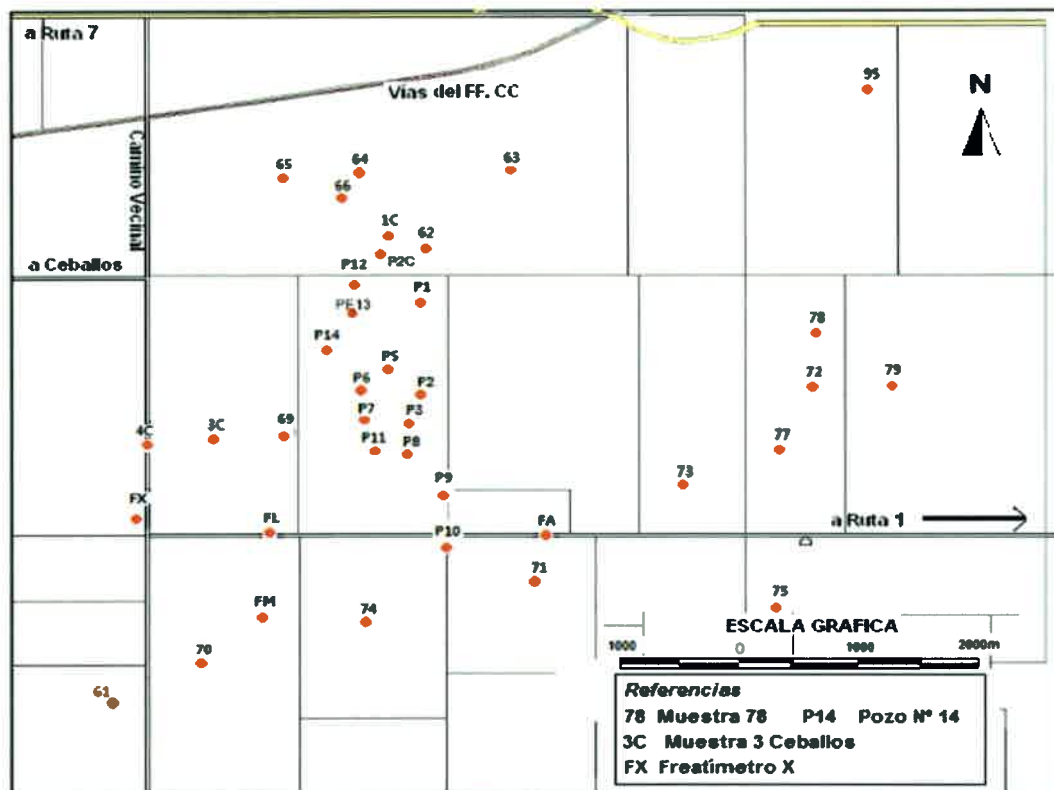


Figura 6.1: Inventario de los pozos de Agua considerados.

La información físico-química de otros estudios mencionados en los antecedentes de muchos años de antigüedad no han sido tenidos en cuenta para el presente trabajo en razón que los citados puntos son perforaciones, cuya profundidad se desconoce y en la mayoría de los casos los niveles freáticos medidos no se corresponden a la realidad actual o presentan grandes diferencias. Esta última situación ha sido verificada en varios puntos muestreados y medidos nuevamente. Es decir que la información referida proporciona datos muy parciales o con alto grado de incertidumbre que no contribuyen a una rigurosidad razonable como para ser tomada en cuenta en la presente tesis.

Para la determinación de las cotas del terreno se utilizaron los datos que tomara la Administración Provincial del Agua en la época de realización de la obra de

adecuación del servicio, algunos de una nivelación efectuada en el presente estudio, mas los datos y cotas determinadas en la construcción de la Red de Monitoreo.








El resto de los puntos muestreados han sido calculados y establecidos de la cartografía existente y que constan en la Hoja N° 3563-20-4 Intendente Alvear del IGN, Escala 1:50000, con equidistancia de 2,5 m, lo que permite obtener un cuadro general de la situación hidrológica de la región bastante ajustado y coherente, fundamentalmente en lo que se refiere al flujo subterráneo.

Es importante repetir que hasta la fecha no había antecedentes puntuales de mapas de isopiezas, ni levantamiento planialtimétrico, como así tampoco de carácter regional actualizado con información más o menos válida. En ese sentido se cree que el presente estudio es una contribución importante al conocimiento pormenorizado del área.

6.3.- HIDROLITOLOGÍA

En líneas generales, los sedimentos en profundidad en la zona estudiada presentan las características que se consignan en el perfil del Cuadro 6.1. Surge en consecuencia la importancia que tienen los sedimentos de la Formación Junín y de cómo estos han contribuido a la existencia del acuífero freático de características potables en el área, en un radio de varias decenas de kilómetros donde la exploración efectuada (Malán, *et al*, 1982) ha indicado la inexistencia acuíferos aptos para el consumo humano.

En el mismo sentido, estas características sedimentarias también le confieren particularidades hidráulicas singulares al área en estudio en comparación con las circundantes puesto que las altas permeabilidades, facilitan el drenaje de las aguas precipitadas, los rendimientos específicos son altos en algunos casos y configuran un área muy propicia para la explotación como se particularizará más adelante. En concordancia con ello y como se verá en el punto correspondiente a los parámetros hidráulicos del acuífero, existe una directa y coherente correlación entre el perfil sedimentológico y el comportamiento hidráulico, según se describe en el capítulo respectivo.

Prof. (m)		Perfil	Descripción Litológica	NF (m)
0	Form. Junin (1) <i>Acuífero</i>		Arena color parda grisacea de granometría fina a mediana. Presenta en sus individuos un predominio de forma subangulosa, algunos redondeados. Su mineralogía es de feldespatos, maficos, cuarzo, yeso traslucido y minerales volcánicos.	NE 5 m
6	Form. Junin (2) <i>Acuífero</i>		Arenas escasamente cementadas, grano mediano, algunos gruesos y carbonato pulverulento.	
9	Formación Cerro Azul <i>Acuífero</i>		Arena fina a muy fina, escasamente limosa, presencia de granos de arena mediana. Hay ligera reacción al HCl. Friable y de color pardo amarillenta clara.	
12			Arena limosa parda rosada con moteado blanquecino, levemente calcarea, poco compacta a friable englobando arena fina y muy poco muy fina, Clastos medianos subredondeados y sueltos	
18			Limo arenoso muy fino, con clastos de arena mediana sueltos. Presenta poca reacción al HCl, Friable.	
21			Limo arenoso pardo rosado fino a muy fino con suave aumento de la fracción respecto al tramo anterior. Presenta buena compactabilidad, muy buena reacción al HCl y abundantes canaliculos	
24			Limo arenoso muy fino, aumenta la proporción de arena fina, muy calcárea y compacto	
27				
Referencias				
(1) Miembro Superior				
(2) Miembro Inferior o Basal				

Cuadro 6.1: Perfil litológico tipo de la zona de estudio.

Ello ha sido corroborado tanto desde la hidroquímica como desde la hidrolitología, sobre todo durante la construcción de la red freaticométrica y los correspondientes ensayos hidráulicos que se describen en el punto específico.

6.4.- PIEZOMETRÍA

Básicamente, la elaboración de la piezometría ha sido realizada en función de los datos recogidos en campaña para el presente estudio. En la Figura 6.8, se observa la existencia de altos piezométricos o zonas de recarga que se encuentran vinculados a las áreas cuspidales medanosas y a partir de allí, los flujos divergen de manera centrífuga y radial, hacia los flancos, aunque con cierta dirección preferencial NNW-SSE. Hacia la primera dirección señalada, los flujos tienen poco desarrollo en razón de que la dirección regional de los mismos es en sentido contrario, mientras que hacia el SSE se observa un menor gradiente hidráulico con el consecuente incremento en la equidistancia de las isopiezas. Esta zona SSE abarca una superficie mucho mayor que la citada anteriormente.

Hay una zona intermedia compuesta por médanos más bajos vegetados que también actúan como zona de recarga y que acompañan la forma delineada por la

zona anterior. Aquí los flujos presentan una tendencia a adoptar la geometría de los flujos de carácter regional, no obstante lo cual también acompañan el desarrollo en sentido NNE-SSE, involucrando una superficie mayor hacia este último punto cardinal.

Una tercera zona, situada entre las dos anteriores, es la que involucra a las planicies arenosas y es aquí donde el flujo subterráneo comienza nuevamente a presentar características de tipo regional. Es decir los filetes de flujo convergen hacia el ENE, y exhiben nuevamente un gradiente suave presentando el notable paralelismo que los caracteriza.

En síntesis, se puede precisar en función de la Figura 6.2, que existe un flujo subterráneo de carácter regional siguiendo el sentido SSW-NNE, que es modificado de manera puntual en la zona de estudio por la importante presencia de una zona medanosa de mediano desarrollo que actúa preponderantemente modificando los fenómenos y magnitud de recarga regional e incorpora una nueva variable espacial que modifica los sentidos del flujo y le da al área una entidad particular y única. Fuera de su zona de influencia, los flujos nuevamente se ordenan con las características regionales que tenían antes de atravesar esta zona.

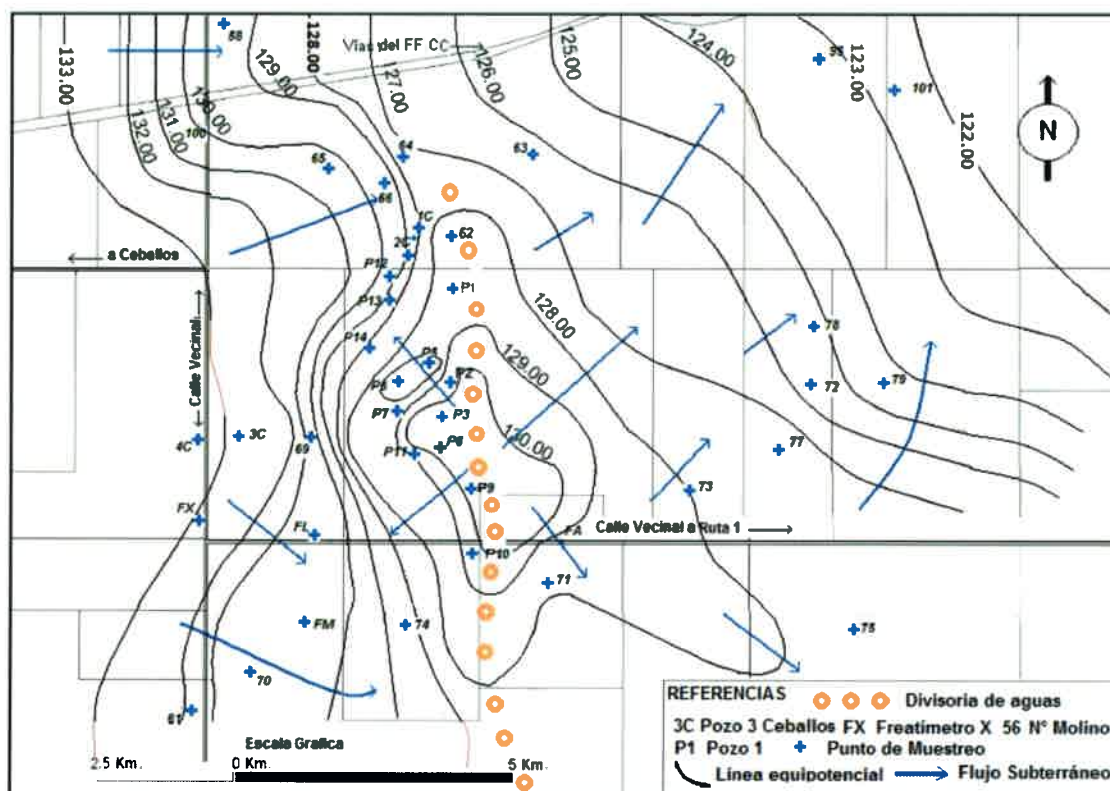


Figura 6.2: Mapa Piezométrico de la Zona de Estudio

Se observa entonces que las máximas cotas piezométricas se obtienen, en general, en la zona de las crestas medanosas o áreas cuspidales coincidiendo con el área de máxima recarga y actuando como divisoria de aguas; una zona intermedia de menor magnitud en la recarga incluyendo procesos de conducción en la misma y una tercera zona donde se producen algunas recargas puntuales pero que en sus partes bajas actúan como zonas de descarga locales, constituyéndose en bajos salinos.

6.5.- EVOLUCIÓN TEMPORAL DE NIVELES PIEZOMÉTRICOS

Importante influencia en los mismos ejercen las características hidroclimáticas de la zona, teniendo en cuenta la poca profundidad de la capa freática, las propiedades de los suelos, la zona no saturada y el acuífero, así como también de las características constructivas de cada perforación. Se analizan los datos piezométricos disponibles desde 1993 hasta el 2010. Es importante citar que en la actualidad, se ha logrado la medición nuevamente en la totalidad de los freatómetros y se ha dotado desde el 2006 a la fecha, de una estación meteorológica automática completa de última generación, juntamente con la instalación de un limnógrafo que registra las variaciones del nivel freático cada 60 minutos durante las veinticuatro horas del día. Además se recolecta agua de las precipitaciones para determinaciones químicas y radioisotópicas específicas.

Cuando el agua infiltrada en el suelo producto de las lluvias alcanza una profundidad tal que no puede ser evapotranspirada, se desplaza hacia la zona no saturada del subsuelo para constituir la recarga en tránsito del acuífero.

La velocidad con que el agua se desplace en ella será función de los parámetros hidráulicos de dicha zona y de la posible existencia de vías de preferencias o producto de porosidad secundaria como se ha constatado en algunos sectores del área de trabajo. Un mayor espesor de la zona no saturada condicionará un retraso en la recarga, amortiguando la respuesta en las oscilaciones de la superficie piezométrica.

Con el objetivo de realizar una primera caracterización de los datos del nivel freático, se han calculado los valores medios y las oscilaciones máximas y mínimas,

considerándose un total de 1270 registros, cuya planilla con una síntesis de datos respectivos se observa en la Tabla 6.1.

De la observación y análisis de las características generales de los hidrogramas, agrupándolos en función de su forma y del emplazamiento del punto de agua correspondiente, se observa en general un ascenso de la superficie piezométrica en los puntos ubicados en el cordón medanoso, lo que es coincidente con el área de recarga. Los hidrogramas cuando se los compara con los ciclos pluviométricos denotan una correspondencia muy marcada.

Es de destacar que ninguno de los piezómetros tiene influencia de los bombeos de las perforaciones de la zona, ya que para su construcción se tuvo en cuenta el radio de influencia de los conos de depresión de los pozos de explotación.

Tabla 6.1: Datos constructivos y estadísticos de los piezómetros

PNº	Cota (msnm)	Prof. (m)	Filtros (m)	Prom NF (m)	Max NF(m)	Fecha	Min (m) NF	Fecha	Δ (Min-Max) NF
A	133	11	3 a 11	3,18	4,56	22/2/96	0,70	21/11/01	3,86
B	135	11	3 a 11	5,78	7,22	22/2/96	3,62	21/11/01	3,60
C	136	11	3 a 11	4,90	6,83	11/5/95	2,61	21/11/01	4,22
D	135	11	3 a 11	5,09	6,77	14/3/96	3,22	21/11/01	3,55
E	135.5	11	3 a 11	5,58	7,16	14/3/96	3,22	21/11/01	3,94
F	137	11	3 a 11	5,91	7,42	22/2/96	3,65	21/11/01	3,77
G	134	11	3 a 11	4,92	6,77	9/2/95	2,55	21/11/01	4,22
H	133.75	11	3 a 11	6,96	8,11	14/3/96	4,83	22/11/01	3,28
I	136	11	3 a 11	6,39	7,91	22/2/96	3,90	22/11/01	4,01
J	135	11	3 a 11	5,01	6,53	14/3/96	2,2	22/11/01	4,21
K	132.9	11	3 a 11	3,36	4,75	11/12/96	1,13	21/11/01	3,62
L	136	11	3 a 11	5,83	8,06	22/12/95	3,37	21/11/01	4,69
M	134	11	3 a 11	3,36	4,60	11/12/96	1,09	21/11/01	3,51
N	131.25	11	3 a 11	5,39	6,70	11/12/96	2,66	21/11/01	4,04
O	136	11	3 a 11	5,84	7,29	14/3/96	3,27	21/11/01	4,02
X	136	11	3 a 11	7,22	8,89	15/3/96	5,03	21/11/01	3,86

Δ: Variación entre Maxima y Mininima profundidad

El análisis de las variaciones temporales que se han observado desde el comienzo del monitoreo en la batería freaticométrica compuesta de 16 piezómetros distribuidos en el área estudiada y la relación entre estas fluctuaciones con la única variable de entrada al sistema, las precipitaciones, se efectuará en la serie

cronológica 1993-2010, fecha a partir de la cual existen los registros freatimétricos diarios, Figura 6.3, a efectos de correlacionarlos y observar el comportamiento acuífero.

Es importante destacar ciertas particularidades referente a la variación del nivel freático y de cómo este está influenciado por factores temporales. En efecto, se observa del análisis de la variación temporal de los distintos freatímetros, que los valores máximos y mínimos están directamente vinculados a las condiciones climáticas estacionales del área, y de como éstas influyen y condicionan la profundidad de la capa freática.

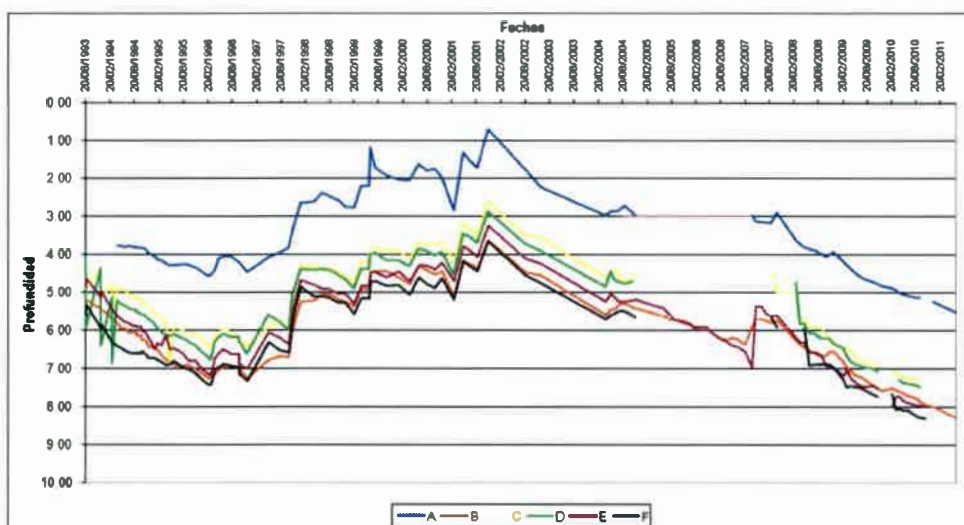


Figura 6.3: Variaciones Temporales. Freatímetros A, B,C, D,E y F. Serie 1993-2010

La magnitud de la lámina caída no es directamente proporcional a la respuesta del nivel freático en el área de estudio, sino que pareciera estar mucho más relacionada con la estacionalidad y consecuentemente con la "marca climática" característica de la época.

En efecto, si se observa el comportamiento del Freatímetro A se verá que lluvias muy importantes, como la acaecida en diciembre de 1997 de 526 mm, Figura 6.3, muy superior a todas las que hayan ocurrido históricamente, no tiene un correlato directo con el máximo ascenso registrado del nivel freático que en esa fecha fue de 3,35 m.

Sin embargo constatando la medición efectuada el 21/11/2001 se comprueba que el nivel freático estaba a solo 0,70 m de la superficie (Figura 6.3 y Tabla 6.1), es decir 2,35 m por encima del mes de diciembre de 1997. Ello indudablemente se debe a que durante los meses de agosto, setiembre y octubre del 2001, meses de baja ETR, la sumatoria de las precipitaciones ascendieron a 460 mm.

Es decir entonces que, por ejemplo, una precipitación de 60 mm que ocurra en los meses estivales, de alta ETR no tendrá mucha influencia en la variación de la capa freática como si lo tendrá una de menor importancia, pero distanciada de la época estival, por ejemplo otoño e invierno.

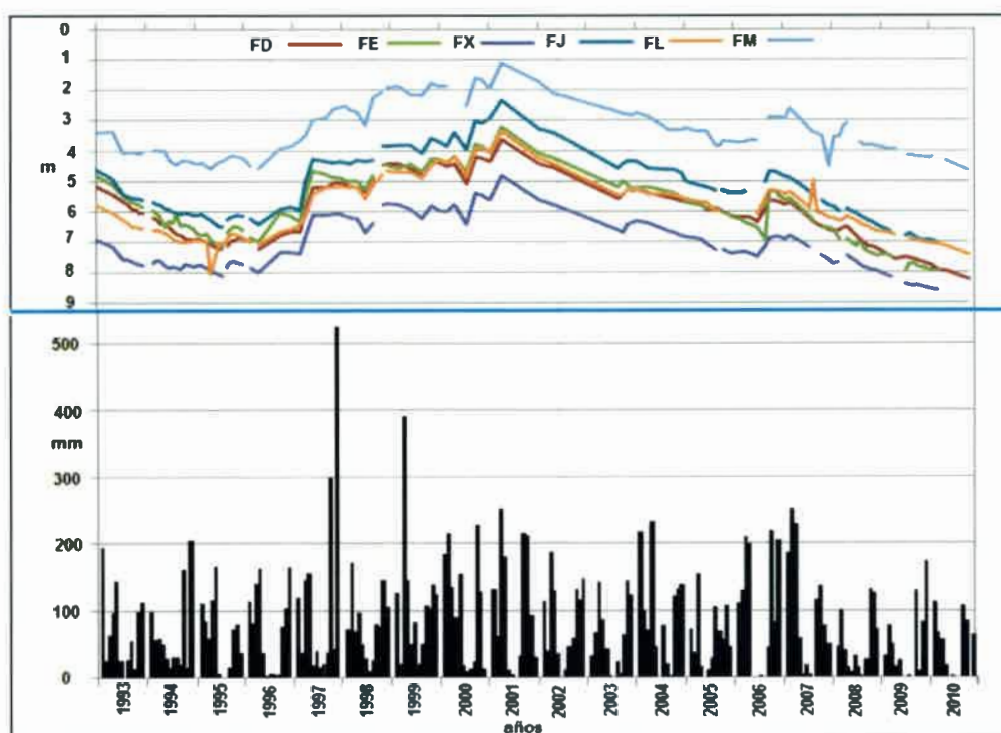


Figura 6.4: Variación Temporal de la Freatimetría/Lluvia- Serie 1993-2010

Ello permite afirmar con un alto grado de razonabilidad que los procesos naturales de infiltración y consecuentemente de recarga en la zona tienen una clara preferencia temporal. Igual tendencia se observa en el resto de los freatómetros, tales como la batería compuesta por los Piezómetros G, I, J, K, M, N, y X que se muestran en las Figuras 6.5 y 6.6.

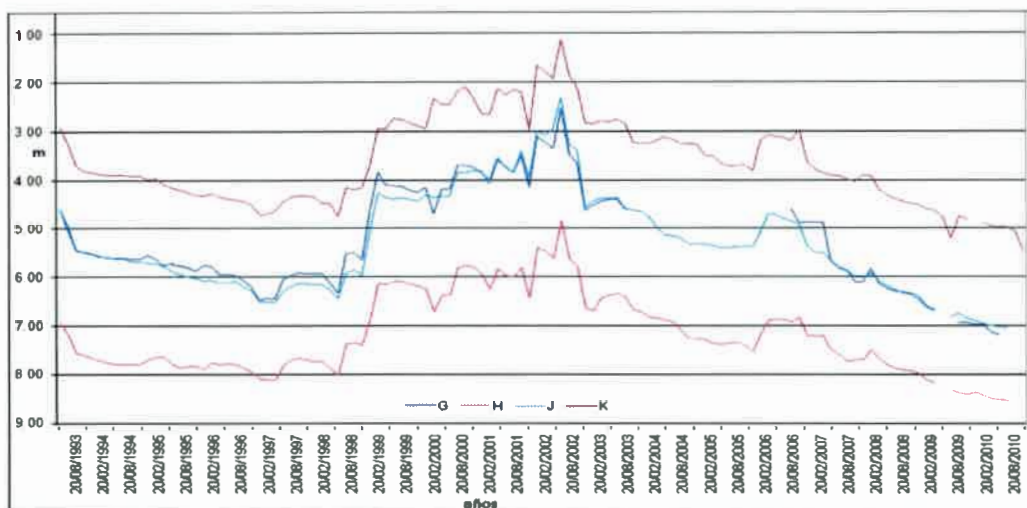


Figura 6.5: Variaciones Temporales. Freatímetros G, H, J y K .

En síntesis, se observa que en todos los casos las variaciones temporales freáticas del área de estudio, tienen un paralelismo notable indicando una alta sensibilidad a las precipitaciones y consecuentemente una rápida respuesta a las mismas. Ello es absolutamente razonable teniendo en cuenta las características detríticas del acuífero que ya se han mencionado y tratado pormenorizadamente en el capítulo respectivo; y también como se ha citado, en la poca profundidad del nivel freático.

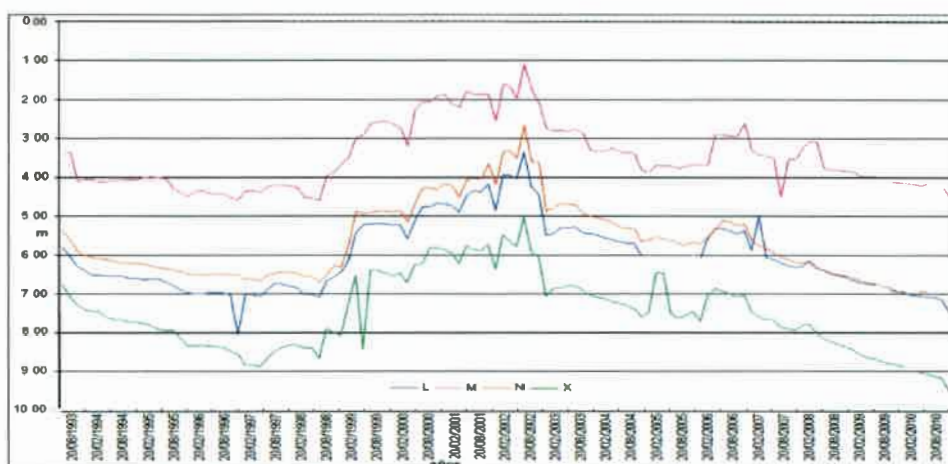


Figura 6.6 : Variaciones Temporales. Freatímetros L, M, N, y X

De la observación en las dos figuras anteriores, cuyos valores en ordenadas están referidos a profundidad (m), existen datos en algunos Freatímetros que no responden

a la generalidad del comportamiento y tendencia de los datos anteriores y posteriores y provocan un abrupto quiebre o pico en la curva.

A efectos de verificar estas anomalías y poder determinar si en realidad se trata de oscilaciones freatimétricas reales producidas por algún fenómeno físico o por el contrario a fallas en las mediciones, se han tratado estadísticamente los datos para verificar su respuesta.

En ese sentido se han revisado los datos anteriores y siguientes a los puntos anómalos de tres freatímetros (C,L y X) con el objetivo de determinar su tendencia y a los mismos tratarlos mediante correlación entre dos variables por estadística bivariada que, básicamente permite indicar tres cuestiones: a) la existencia o no de una relación entre variables estudiadas, b) la dirección de esta relación si es que existe y c) el grado de la relación existente, cuyo valor máximo es 1 y menor es 0 o la no correlación.

Aplicando correlación lineal y regresión con la finalidad de determinar el coeficiente de determinación (R^2) y consecuentemente poder determinar el origen de estas llamativas variaciones y/o picos, se lograron los resultados que se presentan en las Figuras 6.7, 6.80 y 6.91 y Tablas 6.2, 6.3 y 6.4.

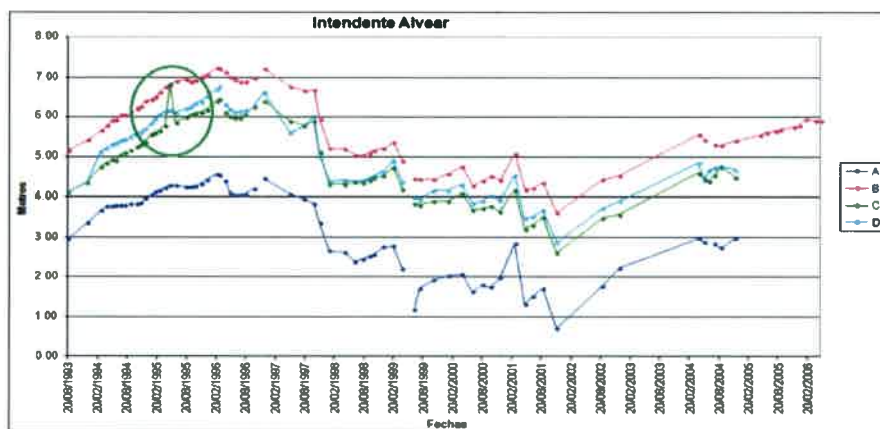


Figura 6.7: Anomalia de datos en Freatímetro C

Tabla 6.2: Correlación lineal de Freatímetros A,B,C y D

Piezómetros	Coefic. de determinación
R^2 en Freatímetro A	0.9469
R^2 en Freatímetro B	0.8891
R^2 en Freatímetro C	0.0315
R^2 en Freatímetro D	0.7041

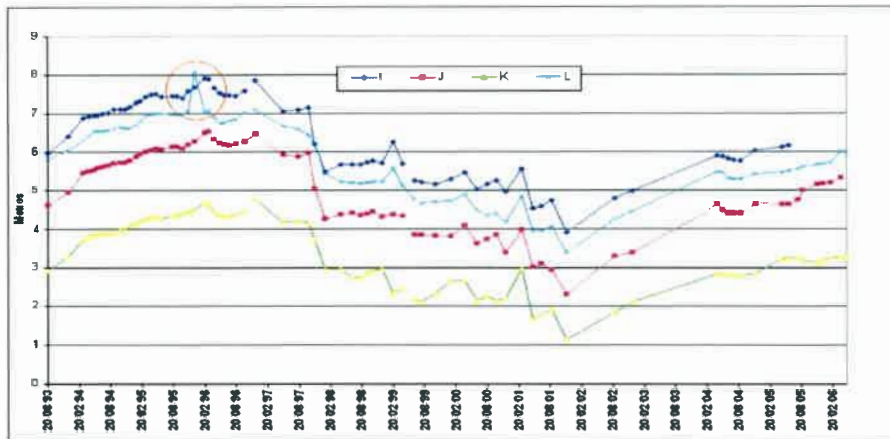


Figura 6.8: Anomalia de datos en Freatímetro L
Tabla 6.3: Correlación lineal de Freatímetros I, J, K y L

Piezómetros	Cofic. de determinación
R^2 en Freatímetro I	0.620
R^2 en Freatímetro J	0.644
R^2 en Freatímetro K	0.389
R^2 en Freatímetro L	0.0029

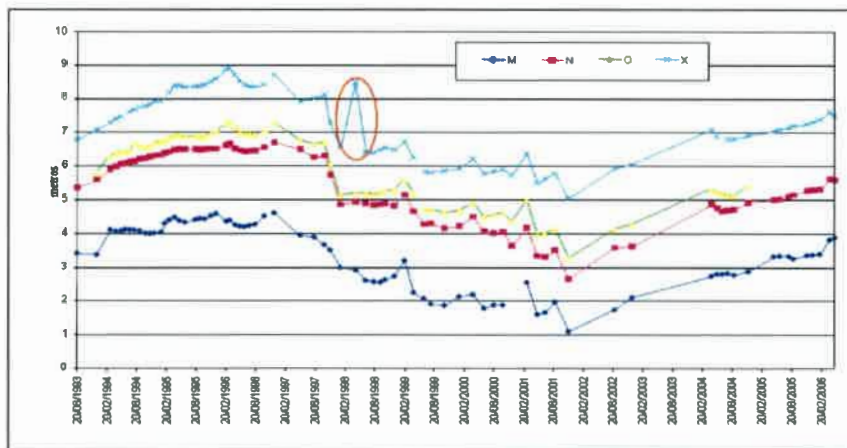


Figura 6.9: Anomalia de datos en Freatímetro X

Tabla 6.4: Correlación lineal de Freatímetros M, N, O y X

Freatímetros	Cofic. de determinación
R^2 en Freatímetro M	0.8148
R^2 en Freatímetro N	0.2854
R^2 en Freatímetro O	0.7201
R^2 en Freatímetro X	0.0038

Como se ha observado en las tablas anteriores, se comprueba que los puntos y/o registros anómalos en los freáticos C, L y X observados en las series todos presentan un coeficiente de determinación extremadamente bajo, indicando en consecuencia que las anomalías observadas se deben a errores de medición y consecuentemente, no son producto de variaciones freáticas reales.

6.6.- PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Se presentan en este apartado los datos referentes a los parámetros hidrodinámicos del área de estudio. Los ensayos hidráulicos han sido efectuados en 10 pozos de exploración, a distintos niveles, efectuándose 27 ensayos de bombeo en total.

En la Figura 6.10 se presenta la ubicación geográfica de las perforaciones de exploración representadas en caracteres rojos.

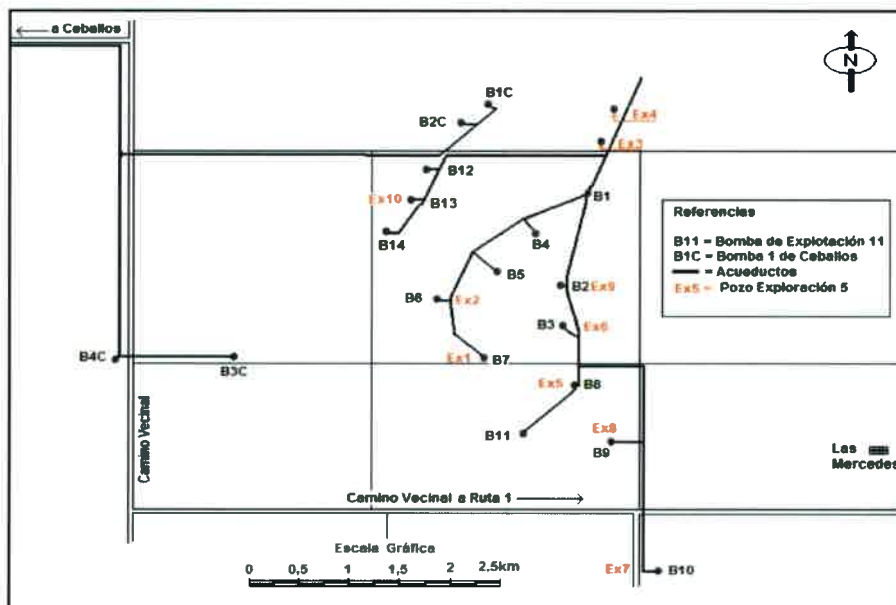


Figura 6.10: Ubicación de las perforaciones en las que se han realizado ensayos de bombeo.

Todos los pozos penetran la parte superficial del acuífero libre, es decir las arenas de la Fm. Junín, Miembro Basal y parte superior de la Fm Cerro Azul (Linares, *et al.*, 1980).

De los 27 ensayos hidráulicos, en 6 pozos se han ensayado 3 niveles y los 4 pozos restantes en dos niveles del acuífero a fin de verificar las variables hidráulicas y químicas en el perfil, por el método de Recuperación de Theis, determinando Transmisividad (T) y Caudal Característico (Qc o Re) en los mismos pozos de bombeo por razones de tipo presupuestario y en dos pozos, el N° 4 y N° 6 de Exploración, ensayos con pozos de observación determinando Coeficiente de Almacenamiento (S), Radio de Influencia (Ri) e Índice de Retardo($1/\alpha$).

6.6.1: Hidráulica de las Captaciones

La respuesta observada en los ensayos hidráulicos con pozos de observación indica que por el comportamiento y geometría de la curva de descensos/tiempo se trataría de acuífero libre con drenaje diferido. Una síntesis de dicho efecto sería que la fina granulometría de las arenas del acuífero y de los limos que lo recubren condiciona un efecto de drenaje diferido en el descenso por bombeo de la superficie piezométrica, la cual según el modelo de Boulton (1954), se puede expresar en función de una constante empírica a la que denomina **índice de retraso ($1/\alpha$)**. Este índice representa el desfasaje del agua al caer gravíficamente hasta el nivel dinámico a través del medio poroso en el área del cono de depresión, siendo su tiempo de caída inversamente proporcional a la granulometría del acuífero. Es decir, indica el paso del agua dentro del acuífero hacia la unidad inferior que recibe el drenaje diferido. El citado autor plantea que para arenas finas-muy finas esta constante puede ser del orden de 600 a 2500 minutos, mientras que para los limos puede ser de varios días.

El efecto de drenaje diferido está asociado a acuíferos libres y se debe, en esencia, a un retardo en el drenaje gravitacional del agua tomada del almacenamiento del acuífero. Este drenaje por gravedad será tanto más lento, cuanto más estratificado esté el acuífero y más fina sea la granulometría del mismo (Custodio y LLamas, 1983).

El primer tramo de la curva bilogarítmica, corresponde al inicio del bombeo y suele durar unos pocos minutos. El comportamiento hidráulico en este período es el de un acuífero confinado. El agua es liberada instantáneamente del almacenamiento por la expansión del agua y por la compactación del acuífero. Su forma es similar a la curva tipo de Theis y el valor del coeficiente de almacenamiento determinado en este

tramo de la curva responde a la compresibilidad del agua y al módulo de elasticidad del acuífero, siendo en consecuencia muy pequeño y del orden de 10^{-4} .

El segundo tramo, presenta una forma aplanada, similar a un estado estacionario, debido a que es una consecuencia del aporte por gravedad del agua aún presente en el cono ya deprimido. Este efecto provoca un retardo en los descensos de niveles, el cual los desvía de la curva tipo de Theis, produciéndose un efecto aparente de aumento del coeficiente de almacenamiento con el tiempo.

El tramo final refleja una situación en la cual el flujo en el acuífero es esencialmente horizontal y la curva de tiempos descensos nuevamente es conforme con la curva de Theis, adaptando nuevamente una pendiente que es función del caudal, la transmisividad y el rendimiento específico (S_y) o porosidad eficaz o drenable.

El agua que cede el acuífero por unidad de descenso en el primer tramo no representa su pleno potencial ya que una parte queda temporalmente retenida. Este es un fenómeno de importancia ya que la determinación del coeficiente de almacenamiento en función de este tramo llevaría a un valor coincidente con el del acuífero trabajando como cautivo (comportamiento elástico). La determinación del coeficiente de almacenamiento en función del tercer tramo de la curva es el relativo al de un comportamiento libre del acuífero.

6.6.2: Ensayos de Bombeo

La finalidad y el objeto de los ensayos realizados, han cumplido con los siguientes propósitos:

- a) definir las características puntuales del acuífero en su entorno,
- b) definir las características de funcionamiento del pozo, y
- c) aproximar las características zonales del acuífero

Estas tres características pueden obtenerse con un ensayo de 1 hora o requerir un ensayo de un mes de duración. Las particularidades del acuífero, las propias de la construcción del pozo y del equipo de bombeo pueden hacer necesario un solo caudal de prueba o tres o más caudales diferentes. Esto quiere decir en consecuencia que, un ensayo hidráulico necesita de gran flexibilidad en el proyecto y en la operación.

Con este criterio se realizaron los trabajos en la perforación de exploración N° 6 realizando el ensayo de bombeo durante 24 hs (1.440 min) y alcanzándose desde los 660 minutos la estabilización del Nivel Dinámico (ND). De la observación de la geometría de la curva en el correspondiente gráfico bilogarítmico, se infiere que se trata de un acuífero libre con drenaje diferido.

Las curvas de descensos-tiempo muestran un primer tramo, en el que es posible calcular la transmisividad aplicando el método de coincidencia de curvas de Theis. Sin embargo puede comprobarse que es imposible lograr un ajuste con el segundo tramo, en el que el aporte diferido de agua por drenaje gravitacional empieza a manifestarse.

Ello es compatible con lo observado en el perfil sedimentológico que se muestra en el Cuadro 6.1, donde a los 20 metros de profundidad se presenta un horizonte de sedimentos muy finos con cementación carbonática que estaría actuando sobre los procesos de infiltración y recarga como así mismo modificando aspectos hidráulicos en el pasaje vertical de ese horizonte. Básicamente, la complejidad que presenta este sistema es que el vaciado de los poros del terreno no es instantáneo, sino que lo hace con cierto retardo o efecto diferido. En consecuencia las transmisividades en cada punto varían con el tiempo y además el dominio del flujo también varía con el tiempo ya que el límite superior está constituido por la superficie freática.

Además, el grado de compactación-cementación carbonática y la porosidad secundaria del sedimento, debido a la presencia de microfisuras, aumentan la permeabilidad y transmisividad de la capa acuífera. El cálculo de los índices de retraso ($1/\alpha$) y su comparación con la gráfica que indica su valor, en función del tipo de material en que se produce la variación de nivel, permitió comprobar que dichos índices toman valores propios de arena fina – muy fina y limo.

Los resultados del ensayo fueron los siguientes:

Perforación de Exploración N° 6: Tal como se ha consignado, se efectuó un ensayo de bombeo con pozos de observación a fin de determinar sus parámetros hidráulicos. Una síntesis del mismo se describe a continuación en la Figura 6.11.

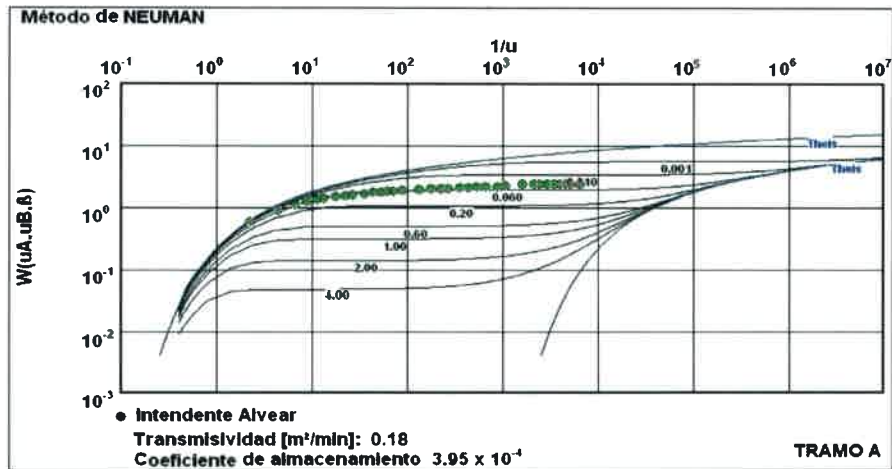


Figura 6.11: Ensayo de Bombeo Tramo A de la Curva

Tramo A (Figura 6.11): Los valores obtenidos en este tramo fueron:

$$T = 259,2 \text{ m}^2/\text{día} , S_A = 3.95 \cdot 10^{-4}$$

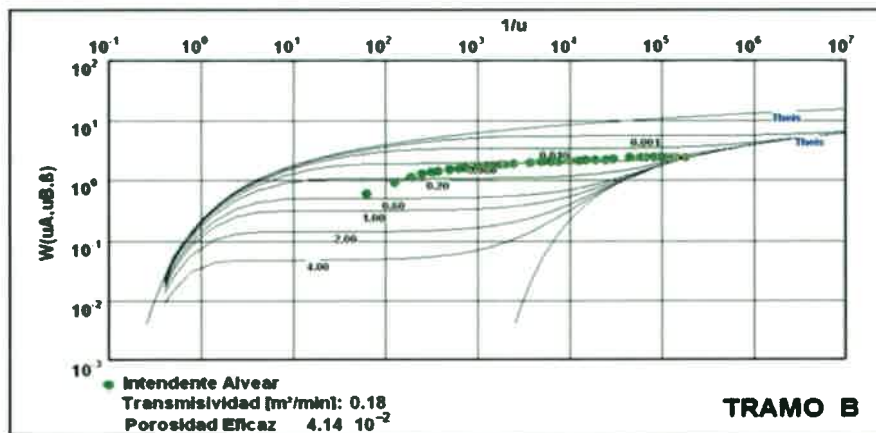


Figura 6.12: Ensayo de Bombeo Tramo B de la Curva

Tabla 6.5: Síntesis Parámetros Hidráulicos

Parámetros	Pozo de Exploración N° 6 de I.Alvear	
	Tramo A	Tramo B
Δs (m)	0.55	0.76
T (min)	10	600
W(u)	2.6	3
1/u	100	31
u	0.01	0.031
r/D	0.3	0.3
T (m ² /día)	259,2	259,2
S	$2.6 \cdot 10^{-4}$	$4.2 \cdot 10^{-2}$
K (m/d)		21.63
Qc (m ³ /h.m)		2, 675
e (m)	12	12
1/ α (min)		770.9
Radio Infl. (m)		56.72

El análisis del **Tramo B**, tal como se observa en la Figura 6.12, nos muestra valores de $T = 259 \text{ m}^2/\text{d}$ y una Porosidad Eficaz de $4,14 \cdot 10^{-2}$, lo que representa un Almacenamiento del 4,14 %.. Se cumple además con la premisa fundamental de la metodología utilizada para acuíferos libres con drenaje diferido, donde $S_2 \gg S_1$.

En síntesis se puede concluir en que la respuesta hidráulica del acuífero es coincidente con zonas análogas semejantes de sedimentación arenosa en algunos sectores vecinos, tales como General Pico, Quemú Quemú, Catrilló, etc donde los acuíferos se encuentran asociados a sectores medanosos de distinto desarrollo, geomorfológicamente similares al estudiado y además a lo determinado en los trabajos y mediciones efectuadas en campaña.

En la mayoría de los pozos restantes, por cuestiones presupuestarias, se realizaron ensayos en distintos niveles del acuífero, bajo la metodología de recuperación de Theis, es decir en el mismo pozo de bombeo. Desde el punto de vista de la complejidad hidráulica intrínseca que presentan los flujos de agua en medios porosos, este tipo de ensayo sólo representa un complemento necesario, de aquellos que se han desarrollado y analizado en párrafos que anteceden, pero es opinión generalizada que los ensayos de recuperación, fundamentalmente de Theis, tiene una validez práctica muy interesante para la determinación de la Transmisividad (T), sobre todo cuando hay ensayos completos y adecuados que se han desarrollado en el área estudiada. Los métodos de recuperación consisten en efectuar las interpretaciones del ensayo en base a los datos que se obtienen una vez que el pozo detiene su extracción de agua.

A partir del cese del bombeo, los niveles empiezan a subir hasta recuperar total o parcialmente en función del tiempo, el nivel inicial. En consecuencia, el método se basa en el análisis de la "recuperación" o evolución del ascenso de niveles posterior a la finalización del bombeo. El ascenso residual que se observa en el pozo, será igual a la variación de altura de la columna de agua (Δh) entre los niveles estático y dinámico. Los ensayos de recuperación, que a simple vista sólo pueden proporcionar el parámetro de la Transmisibilidad (T), son muy útiles a la hora de comprobar el grado de conexión del pozo con el acuífero. Es decir, la comunicación entre el tramo de acuífero próximo al pozo y otros más lejanos.

Otro aspecto interesante en este tipo de análisis es para comprobar las condiciones en que se ha realizado el ensayo, es decir si se ha reciclado el agua en las inmediaciones, si ha habido recargas exteriores en general, o si el acuífero es limitado. Es por tanto aconsejable, y ha sido una constante en la presente tesis, que siempre que se realice un ensayo, se tomen las medidas de recuperación de niveles al final del mismo, ya que supone en este sentido un importante complemento del análisis de los descensos en bombeo. Y es precisamente este aspecto el que ha sopesado en el presente estudio para darle una confiabilidad razonable. Los datos se encuentran en la Tabla 6.6.

Tabla 6.6: Caudales Característicos o Específicos de los Niveles Ensayados

Pozo N°	Qc (m ³ /h.m)	Pozo N°	Qc(m ³ /h.m)	Referencias
1	N1: 1,598 N2: 1,385	6	N1: 1,493 N2: 2,675	Qc =Q. Característico
2	N1: 4,65 N2: 1,462 N3: 1,596	7	N1: 1,179 N2: 1,606	N1= Nivel Acuífero
3	N1: 1,298 N2: 3,234	8	N1: 1,59 N2: 1,371 N3: 1,931	
4	N1: 3,488 N2: 2,823	9	N1: 1,216 N2: 2,41 N3: 3,08	
5	N1: 1,765 N2: 5,742 N3: 1,374	10	N1: 1,726 N2: 3,251 N3: 1,562	

6.7.- HIDRODINÁMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Si se efectuara una media del Nivel Estático de la totalidad de las captaciones censadas se obtendría un valor cuyo rango sería de entre 4,5 a 5,8 m de profundidad. No obstante, si se tiene en cuenta las variaciones que se han observado en el ciclo hidrológico de los últimos años y observando algunos registros históricos de ciclos secos, se puede afirmar que el rango en este último ciclo estaría entre 5,5 a 7,0 m de profundidad.

Las observaciones y mediciones efectuadas han permitido delinear la red de flujo subterráneo de carácter regional, que se aloja en dos formaciones geológicas superpuestas, el miembro basal de la Formación Junín, compuestas por arenas finas y medias carentes de cementación carbonática, y la Formación Cerro Azul, arenolimsa, con intercalaciones más fina en la zona de explotación acuífera y con

presencia de carbonatos aunque en forma pulverulenta. Por ello y a efectos de simplificar los cálculos, dada sus semejanzas, no se distinguirán diferencias piezométricas entre dichas secciones. Por consiguiente, el análisis se realizará para 25 m de columna acuífera. Observando la piezometría del área se verifica el comportamiento del flujo subterráneo y la existencia de áreas con distintos comportamientos se detalla a continuación.

a) El acuífero freático, en su parte superior, se encuentra alojado en la formación arenosa, el miembro basal de la Formación Junín determinando una excelente permeabilidad considerada del orden medio de los 25 m/día, de acuerdo a los datos de ensayos hidráulicos efectuados durante el transcurso de la presente tesis.

b) La parte superior de la Formación Cerro Azul, inmediatamente por debajo de la anterior, representa la continuidad hacia abajo del anterior y presenta por lo general, permeabilidades menores a aquellas, con valores promedio cercanos a 12 m/d.

c) El sector del acuífero que infrayace a las anteriores, que es una continuación hidráulica del anterior, presenta una configuración sedimentológica distinta, granulométricamente más fina, apareciendo porciones variables de limos e invariablemente casi toda la columna es calcárea. Esto condiciona algunos aspectos hidráulicos, de infiltración, de flujos y de permeabilidad, siendo en consecuencia sus rendimientos menores y una permeabilidad promedio inferior a las anteriores y por lo general menores a 10 m/d. Más profundamente, es común observar pequeñas lentes arcillosas, arcillo-limosas con variable desarrollo areal y vertical, desmejorando su calidad química e hidráulica.

El análisis hidrogeológico efectuado permite afirmar que, aunque hay cambios de permeabilidad en distintos niveles, se trata de un acuífero libre deformable, tal como se ha observado en los ensayos de bombeo y que la Permeabilidad promedio obtenida correspondería al segundo tramo del espesor acuífero, que representaría a todo el espesor acuífero ensayado y que la conductividad hidráulica estaría en el orden de los 25 m/d, con perforaciones promedio a los 20 m.

Como conclusión del presente punto y sintetizando los conocimientos derivados de los trabajos efectuados en el área, se puede afirmar que los mismos permitieron diseñar las captaciones entre 18 a 25 m de profundidad en los sectores de

recarga elevados, disminuyendo paulatinamente las profundidades a medida que nos alejamos de éstas.

En concordancia con ello, los parámetros hidráulicos determinados en perforaciones que se encuentran ubicadas en las márgenes de las zonas medanosas bien desarrolladas son relativamente altos e importantes comparados con las determinaciones efectuadas en las zonas más bajas de conducción.

6.8.- CARACTERIZACIÓN DE LA RECARGA

La riqueza hidrológica de la región estudiada está asociada a la presencia en la zona de sedimentos arenosos que constituyen la planicie arenosa-medanosa que caracteriza a toda la comarca. Para el cálculo de la recarga y determinar un valor razonable, tal como se ha mencionado en Aspectos Metodológicos del Capítulo 1 de se utilizarán varias metodologías a efectos de la comparación de los resultados. Ellos son:

- a) Balance hidrometeorológico de agua en el suelo de paso mensual,
- b) Balance de masa. Trazador químico de tipo conservativo: ión cloruro
- c) Balance Hidrológico de paso diario Balshort
- d) Ecuaciones empíricas. Goldschmidt (Custodio, *et al.*, 1983)
- e) Fluctuaciones piezométricas

6.8.1.- Balance de Agua en el suelo por Thornthwaite:

Este tipo de balance hidrológico del suelo utilizando promedios mensuales es de carácter cualitativo e ilustrativo, muy utilizado aún en la actualidad, aunque también se utilizan para el cálculo de la recarga a partir de balances hidrológicos de paso, en lo posible, diario (Thornthwaite y Mather, 1955; Forte Lay y Burgos, 1978b; Forte Lay y Villagra, 1983; Lerner 1990; Scalón, 2002; entre otros).

En síntesis, la presente metodología ilustra los años o serie de años con mayores o menores posibilidades de excesos de agua en el suelo y consecuentemente posibilidad de recarga.

En primer lugar, el balance se planteó a nivel del suelo y a escala mensual, estimando la reserva de agua útil a nivel región (RAU) en 170 mm (Tabla 6.7), de

acuerdo a determinaciones sobre suelos similares de iguales características edafológicas efectuadas por Burgos, et al. (1983) e INTA (1990), en Anguil (La Pampa) considerándola completa al comienzo del mes de Julio. Se asume que los excesos son resultado sólo de las precipitaciones y que alcanzan el nivel saturado.

La evapotranspiración potencial se determinó por el método de Thornthwaite y se observa en la Tabla 6.7 y Figura 6.13.

Tabla 6.7 : Balance de Agua en el suelo en I. Alvear. Serie 1980-2010

													Reserva máx:	170
	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total	
P	17.9	24.0	62.3	103.6	104.6	124.4	122.5	100.0	140.9	92.9	40.9	18.4	952.4	
ETP corr.	16.2	26.4	42.0	70.1	91.3	131.8	144.9	96.1	92.0	53.6	35.9	17.2	817.5	
ETR	16.2	26.4	42.0	70.1	91.3	131.8	144.9	96.1	92.0	53.6	35.9	17.2	817.5	
Déficit	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
RAU	170	170.0	167.6	170.0	170.0	162.6	140.2	144.1	170.0	170.0	170.0	170.0		
Excedentes	1.7	0.0	17.9	33.5	13.3	0.0	0.0	0.0	23.0	39.3	5.0	1.2	134.9	

En primer lugar se elaboró el balance con valores medios para el rango de 1980-2010, apreciándose que en la serie considerada los déficits no han ocurrido y cuando ha habido falta de humedad durante los meses estivales, las mismas han sido satisfechas con la RAU.

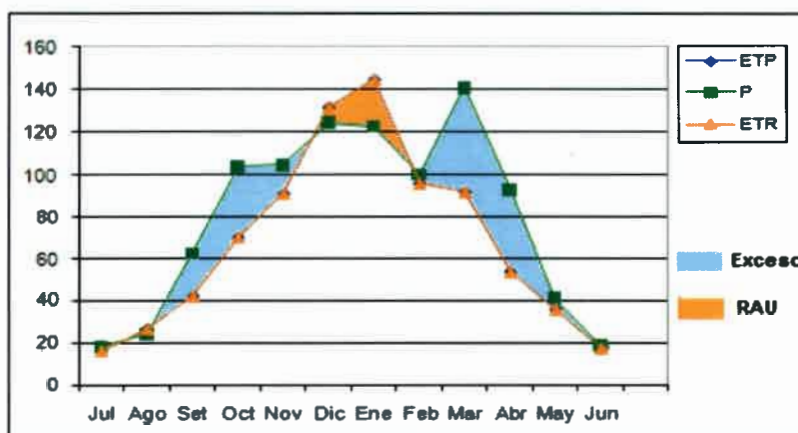


Figura 6.13: Relación entre Precipitación/ETP/ETR- Serie 1980-2010

Se observa sin embargo que en esta serie de 30 años en el balance no se refleja un fenómeno ocurrido en toda la región del noreste provincial como son las inundaciones en el periodo involucrado, ni tampoco las sequías observadas en los últimos dos años de la serie.

Es decir entonces que en la serie ocurre un enmascaramiento de las importantes precipitaciones caídas, sobre todo en la década del 1991-2000 y no refleja los importantes excedentes ocurridos, como así tampoco los de la década anterior (1981-1990) que tienen un correlato muy marcado en las oscilaciones y variaciones positivas del nivel freático y que dieron origen a lo mencionado anteriormente con respecto a las importantes inundaciones en el NE provincial, sector donde se encuentra la zona de estudio de esta tesis, como así tampoco a las sequías. A efectos de reflejar estos aspectos expuestos, se estimó conveniente efectuar el balance de agua en el suelo en rango decadales, en el mismo lapso de 30 años.

Serie 1980-1989:

En la década 1980-1989 el promedio de las precipitaciones asciende a 943,4mm, según datos que se observan en Tabla 6.8. Este fenómeno tiene su directo correlato con los valores del balance. En ese sentido, se observa que los excesos hídricos que se incorporan a la recarga son de 143.6 mm, como se refleja en la Tabla 6.8 y Figura 6.14.

Tabla 6.8: Balance de Agua en el suelo en I. Alvear. Serie 1980-1989

											Reserva máx:				170
		Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total	
P		31.4	14.5	54.0	81.9	123.7	110.1	136.9	128.1	147.4	80.0	22.6	12.8	943.4	
ETP corr.		16.2	26.4	42.0	70.1	91.3	131.8	144.9	96.1	92.0	53.6	35.9	17.2	817.5	
ETR		16.2	26.4	42.0	70.1	91.3	131.8	144.9	96.1	92.0	53.6	35.9	17.2	817.5	
Déficit		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
RAU	170	170.0	158.1	170.0	170.0	170.0	148.3	140.3	170.0	170.0	170.0	156.7	152.3		
Excedentes		15.2	0.0	0.1	11.8	32.4	0.0	0.0	2.3	55.4	26.4	0.0	0.0	143.6	

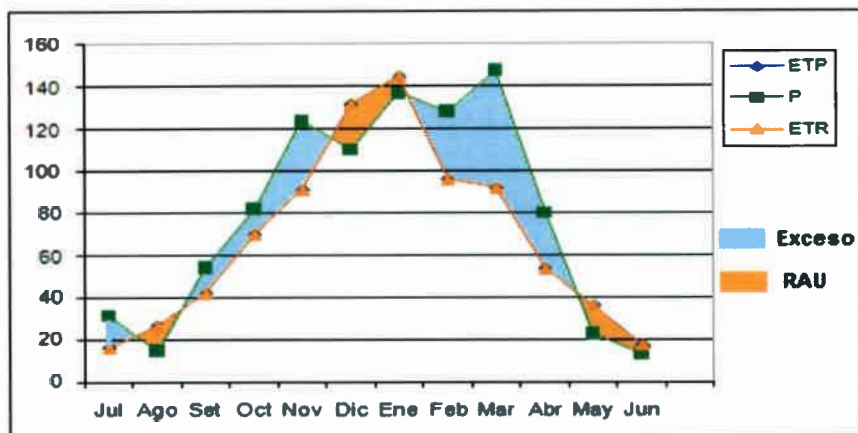


Figura 6.14: Relación entre Precipitación/ETP/ETR- Serie 1980-1989

Serie 1990- 1999:

Como puede observarse en la Tabla 6.9, es la serie de mayores precipitaciones históricas en la región nordeste de nuestra provincia. En efecto, en esta serie la precipitación media ascendió a 996 mm, con tres años de precipitaciones superiores a 1100 mm, una Máxima de 1456 mm, una Mínima de 692 mm y una precipitación mensual extraordinaria (Diciembre de 1997) de 526 mm.

Como se aprecia en la Tabla 6.9 y Figura 6.15, aumentan considerablemente los valores del exceso hídrico que se incorporan a la recarga del acuífero.

Tabla 6.9 : Balance de Agua en el suelo en l. Alvear. Serie 1990- 1999

	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total
													Reserva máx: 170
P	8.9	35.8	59.0	100.1	89.9	169.8	119.0	67.2	136.7	103.7	71.4	35.5	996.8
ETP corr.	16.2	26.4	42.0	70.1	91.3	131.8	144.9	96.1	92.0	53.6	35.9	17.2	817.5
ETR	16.2	26.4	42.0	70.1	91.3	131.8	144.9	96.1	92.0	53.6	35.9	17.2	817.5
Déficit	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
RAU	170	162.7	170.0	170.0	168.6	170.0	144.1	115.2	159.9	170.0	170.0	170.0	
Excedentes	0.0	2.1	17.0	30.0	0.0	36.4	0.0	0.0	0.0	40.0	35.5	18.3	179.3

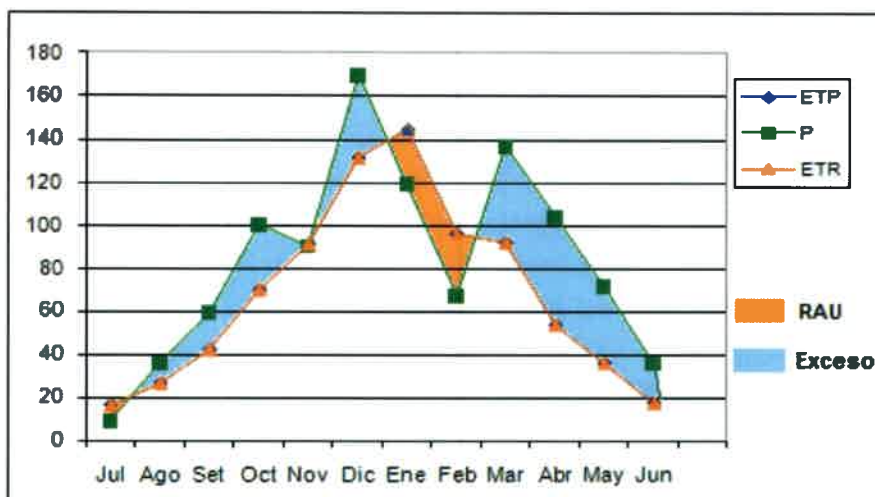


Figura 6.15: Relación entre Precipitación/ETP/ETR- Serie 1990-1999

Serie 2000 – 2010:

Por último, es de consignar que en esta serie de 11 años, desde el 2000-2010, Tabla 6.10 y Figura 6.16, también fueron importantes las precipitaciones, con valores Máximos de 1228 mm en el año 2001, Mínimos de 525,5 mm en el 2010 y un Promedio de 921mm, con cinco años de la serie donde la precipitación fue superior a los 1000 mm, pero también con tres años con precipitaciones cercanas a los 600 mm anuales, valores estos inferiores a la media histórica.

Tabla 6.10: Balance de Agua en el suelo en l. Alvear. Serie 2000-2010

														Reserva máx:	170
	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total		
P	13.7	22.1	73.0	126.6	100.5	96.5	112.6	104.4	138.9	94.8	29.8	8.1	921.0		
ETP corr.	16.2	26.4	42.0	70.1	91.3	131.8	144.9	96.1	92.0	53.6	35.9	17.2	817.5		
ETR	16.2	26.4	42.0	70.1	91.3	131.8	144.9	96.1	92.0	53.6	35.9	17.2	817.5		
Déficit	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
RAU	170	167.5	163.2	170.0	170.0	134.7	102.4	110.7	157.6	170.0	163.9	154.8			
Excedentes	0.0	0.0	24.2	56.5	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	28.8	0.0	0.0	118.7		

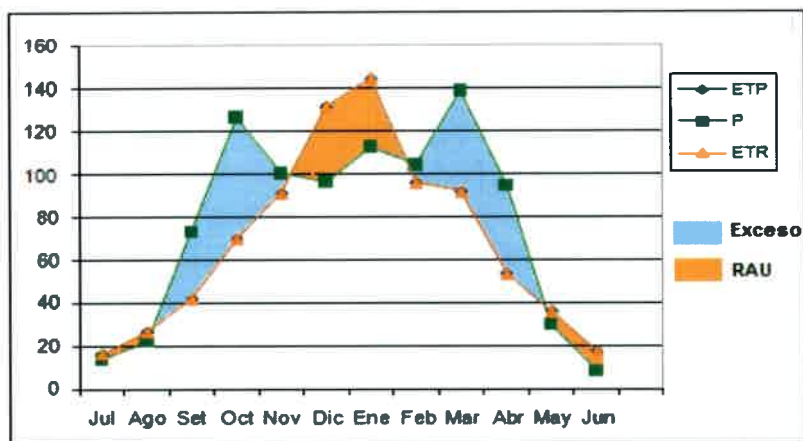


Figura 6.16: Relación entre Precipitación/ETP/ETR- Serie 2000-2010

Es importante visualizar aquí los excesos hídricos que se incorporan al acuífero que alcanza una magnitud de 118,7 mm. Como se ha citado, las precipitaciones de la serie 1980-2010 presentan una media de 952,4mm, con años de mínima de 525,5 mm (2010), precipitaciones éstas muy bajas que denotan ciclos muy secos con valores muy inferiores a la media.

De la observación de la Tabla 6.11, se deduce que los excesos indudablemente han mantenido al suelo desde la década del 80 muy cerca de su capacidad de campo, salvo los tres últimos años de la serie, permitiendo importantes recargas tal cual se observa en el análisis de las variaciones de la capa freática que se verá más adelante, situación similar al análisis de las fluctuaciones pluviométricas en localidades de la región departamental.

Tabla 6.11: Síntesis de la distribución temporal de los excesos

	80-89	90-99	00-10	1980-2010
P. media (mm)	943,1	996,6	921,0	952,4
E.T.P. (mm)	817,5	817,5	817,5	817,5
E.T.R. (mm)	817,7	817,5	817,5	817,5
EXCESOS (mm)	143,6	179,3	118,7	134,9
% EXCESOS	15,22	17,99	12,88	14,16
DÉFICITS (mm)	0	0	0	0

Este aumento temporal en las precipitaciones ha ocasionado también un notable aumento en los valores de la recarga al estar la zona en estudio en un área

regional con muy suaves gradientes topográficos del orden del 0.005m/km, donde obviamente el escurrimiento superficial es prácticamente nulo y la conformación sedimentológica hace que no existan en la zona áreas de rechazo de recarga. De todos modos y reiterando el concepto manifestado al comienzo del presente punto, deberá tenerse en cuenta que este tipo de balance hidrológico de suelo utilizando promedios mensuales es de carácter cualitativo e ilustrativo y complementario, por lo que para una determinación más fiable y efectiva, es sugerible realizar el cálculo de la recarga con balances hidrológicos de paso diario, como se trata en el punto siguiente.

6.8.2.- Cálculo de la Recarga por el Balance Hidrológico de paso diario Balshort

Retomando lo realizado en el Capítulo 2, Punto 2.3.2, y utilizando la misma serie cronológica a la considerada en ese punto, se ha corrido el balance Balshort con las ETP determinadas para la presente tesis y la Capacidad de Campo realizada mediante métodos gravimétricos calculadas por el INTA, estación de General Pico, situado a 40 km al SW de la zona de estudio, quien ha efectuado los cálculos los métodos de Thornthwaite (1948). Los excesos de agua se producen una vez que el suelo ha superado el valor de la capacidad de campo y representa el agua factible de percolar a través de la zona vadosa hasta alcanzar el acuífero y la interceptación vegetal utilizada corresponde a herbáceas y cereales. Con esa premisa se ha calculado la recarga, como se observa en la Figura 6.17.

Como resultado de la aplicación de esta metodología, se llega a determinar que para una media de precipitaciones de 952,4 mm en la serie cronológica considerada desde el año 1980-2010, existe un exceso hídrico que llega a los 130 mm que constituye la recarga, representando un 14% de las precipitaciones.

Tabla 6.12: Cálculo de la Infiltración Eficaz por Balshort

Precipitación (P) en mm	952,4
Capacidad de Campo (C.C)	170
ETR (mm)	858,36
Porcentaje de las P. (%)	86,15
Excesos (mm)	130
Porcentaje	13.64%

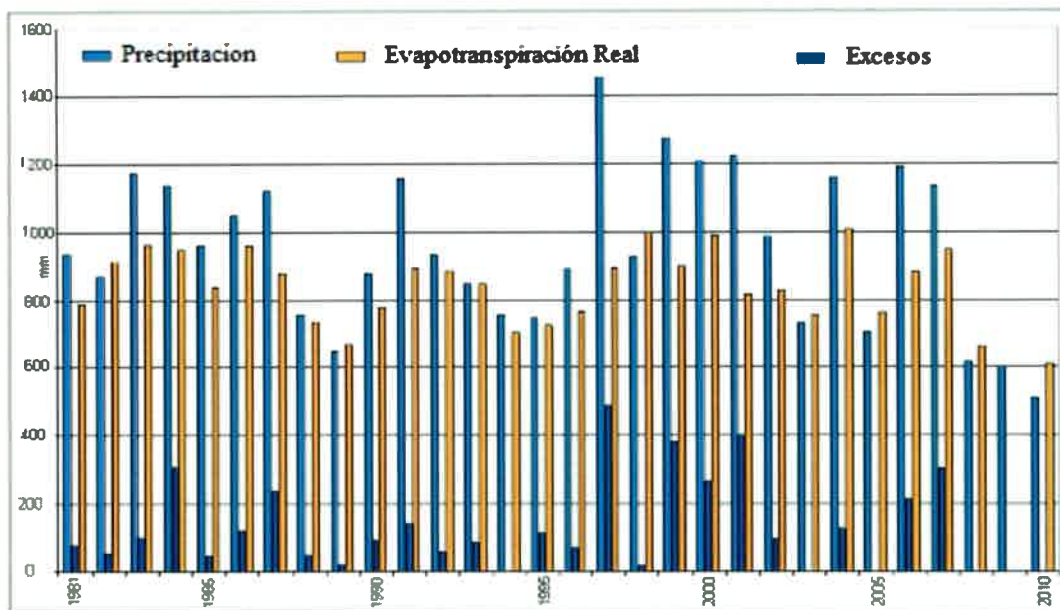


Figura 6.17: Balance Hidrológico de paso diario Balshort 1981-2010.-

6.8.3.- Otros métodos

6.8.3.1: Cálculo de Recarga por Relación Recarga-Pluviometría

Otra de las estimaciones que se tendrán en cuenta en el presente punto a efectos de compararlas con los datos de la recarga calculados por otras metodologías, es la de Goldschmidt (Custodio et al., 1983), en la cual se plantea que para regiones como la analizada, se han utilizado con éxito fórmulas empíricas, donde la relación entre recarga (R) y pluviometría (P) viene expresada por la ecuación:

$$R = \alpha(P - P_0) \text{ para } P \geq P_0$$

Donde R= Recarga, R= 0 para $P \leq P_0$ y α es un coeficiente basado en la característica de la cuenca y P_0 una pluviometría umbral. $\alpha = 0,6$ (tomado de regiones con características similares). Los valores de P_0 se superan todos los años.

Como ya se ha descrito y al igual que en otras comarcas, la recarga en esta zona depende de variables que involucran la litología, geomorfología, climatología, así como de la magnitud de las precipitaciones anuales. En ese sentido y como se refleja en el Balance Balshort de paso diario del punto anterior, cuando las precipitaciones

anuales son inferiores a 680 mm, la recarga es nula y recién cuando se supera este valor la recarga comienza a tener significación. Es decir entonces que se asumirá como P_0 (Valor Umbral) a 680mm, que es el valor a partir del cual comienza a manifestarse la Recarga.

$$R = \alpha(P - P_0) \text{ para } P \geq P_0;$$

$$R = 0.6 (952.4\text{mm} - 680\text{mm}) = \underline{163.4 \text{ mm}}$$

6.8.3.2: Balance de masa del ión Cloruro

La observación detallada del área para efectuar el cálculo de la recarga por este método ha permitido plantear dos escenarios distintos, según se discrimina en el punto del presente capítulo, cuya síntesis es: a) Se considera que toda el área tiene la misma capacidad de infiltración y recarga y b) Se consideran tres escenarios hidrogeomorfológicos diferenciados: b1) Areas Cuspidales, b2) Areas Intermedias y b3) Areas Bajas.

En este sentido, se han tomado muestras representativas de los freáticos ubicados en las tres áreas citadas, Tabla 6.13, y los valores de Cloruros corresponden a la parte superior del acuífero. Para ello se determinaron los freáticos que estaban más cercas de éstas zonas de recarga.

Tabla 6.13: Valores de Cloruro en la composición del agua de lluvia de I.Alvear

Fecha	Cloruros(mg/L)	Fecha	Cloruros(mg/L)	Fecha	Cloruros(mg/L)
14/11/2008	3,5	22/01/2009	6	06/10/2009	5,5
18/11/2008	1	26/02/2009	3,75	13/10/2009	7,5
24/11/2008	3,2	02/03/2009	3,5	13/10/2009	4,25
28/11/2008	5	09/03/2009	4,5	21/10/2009	2,2
07/12/2008	2,25	16/03/2009	3	29/10/2010	2,5
13/12/2008	5	20/03/2009	3	15/10/2010	4,75
15/12/2008	0,5	13-14/04/09	3,25	05/01/2010	2,25
18/12/2008	4	2-3/09/09	5,5	08/01/2010	4,75
01/01/2009	3	27-28/2009	2,25	13/01/2010	3,75
09/01/2009	3	31/09/09	5	15/01/2010	3
30-31/01/09	4,25	01/10/2009	5	29/04/2010	4,5

En lo que respecta a datos químicos de aguas de precipitaciones, se instaló un colector de aguas de lluvia de los denominados totales (Galloway y Likens, 1978), recolectándose muestras de aproximadamente tres años sucesivos (más de 35 tormentas) que arrojaron un promedio de 3,373 mg/l de Cloruros.

Escenario a)

Suponiendo que toda el área estudiada tenga un mismo comportamiento ante los procesos de recarga, se obtienen los siguiente valores de la Tabla 6.14.

Tabla 6.14: Recarga por Cloruros

Serie	1980 - 2010
P. media (mm)	952.4
Prom. Cloruros Lluvia	3,34 mg/L
Prom. Cloruros ZS	24.3 mg/L
Recarga	130.9 mm
% de Precipitaciones	13,74

Escenario b)

Como se ha manifestado en el capítulo respectivo, existen por lo menos tres áreas hidrogeomórficas distintas. Ello amerita efectuar una sectorización de la recarga y efectuar el cálculo para cada una de ellas. Estas zonas obviamente tienen un comportamiento diferente ante los procesos de infiltración y recarga. Concordante con ello, se ha efectuado una sectorización de tales áreas mediante fotointerpretación, contemplando la morfología de las mismas y cuyos valores de cloruros se muestran en el Tabla 6.15.

En tal sentido, la Zona 1 corresponde a zonas de médanos activos y Áreas Cuspidales, integradas por médanos vivos, áreas muy permeables y médanos sin vegetación, la Zona 2 corresponde a Áreas Intermedias compuestas por Médanos Fijos, Planicies Medanosas y la Zona 3 a Áreas Bajas integradas por Planicies Arenosas Cultivadas y zonas más bajas.

Tabla 6.15: Valores de Cloruros en (mg/L) del acuífero en las zonas consideradas

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Cloruros (mg/L)	18	32	43

Tabla 6.16: Síntesis de la Recarga por Cloruros según Zonas

Serie	Precipitaciones (mm)	Zona 1 Recarga (mm)	Zona 2 Recarga (mm)	Zona 3 Recarga (mm)
1980-1989	943	174	98.13	73
1990- 1999	996	184.3	103.6	77.13
2000-2010	921	170,3	95.84	71.3
Media	953	176.2	99.19	73.81

Resalta de la Tabla 6.16 que el Valor Medio de la Recarga para una precipitación media de 953 mm asciende a 116,4 mm, lo que representa 12.21%.

Estos resultados son muy similares a los obtenidos en áreas análogas de nuestra provincia, sobre todo si se tiene en cuenta la susceptibilidad de la relación Cp/Cas que es muy sensible a los valores promedios de Cp. Al respecto, Bonorino (1989, 1991), Carrica (1998), Varni (2005), ente otros, con series de registros más largos, obtienen para distintos ámbitos de circulación atmosférica continental valores de Cp muchos más altos (entre 3 y 5 mg/l y hasta 7 mg/l), de promedio en zonas costeras. En coincidencia con lo último manifestado, Carrica (1998) obtiene para un promedio de 30 tormentas en Sierra de la Ventana, valores de 3,9 mg/l de Cl en agua de lluvia y 25 mg/l de concentración de Cl en la capa freática del piedemonte de las sierras. En consecuencia y con los valores obtenidos del agua de lluvia de la zona en estudio, brinda resultados razonables.

Con estos antecedentes, se aplica esta metodología a efectos de utilizarla no como una determinación práctica absoluta y única, sino meramente comparativa de otros métodos desarrollados en el presente punto. Los resultados de los análisis químicos, tanto de las aguas de lluvias como de las subterráneas, se muestran en los capítulos respectivos.

6.8.3.3: Cálculo de la recarga por fluctuaciones freáticas

Se recopilaron los registros de 16 freáticos existentes en la zona de estudio cuyo rango de datos abarcan desde el año 1993 al 2010. Asimismo, se han tenido en cuenta sólo algunos de los freáticos, particularmente los que se encuentran ubicados en altos piezométricos y, dentro de ellos, aquellos que se localizan fuera de la influencia que pudiera llegar a tener sobre los mismos la batería de bombas de

explotación del Servicio de Agua Potable. Así, se analizan las variaciones de los Freatímetros B, E, I, J, O y X, tal como se muestra en la Figura 6.18 y Tabla 6.17, cuyas características son las siguientes:

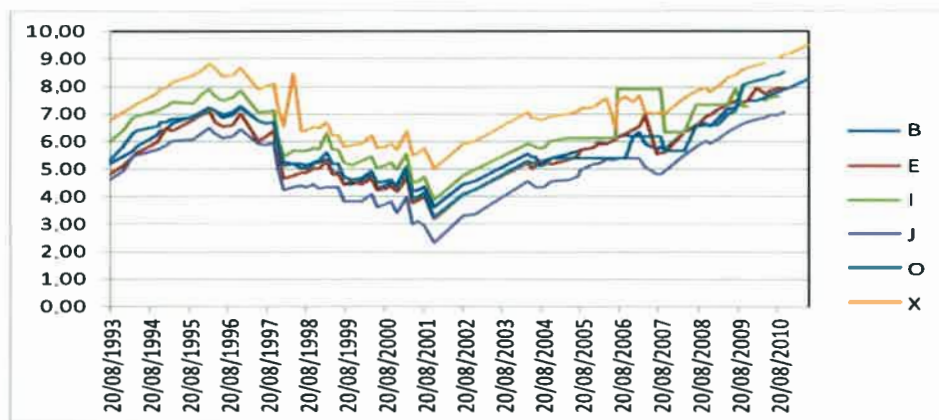


Figura 6.18: Variaciones Freatimétricas

Tabla 6.17: Ubicación y Cota de los Freatímetros

Freatímetro	X	Y	Cota (msnm)	NE(m)	Cota(msnm)
FB	35°19'18.1"	63°41'19.8"	135	5.17	129.83
FE	35°19'04.1"	63°42'11.1"	135.5	4.84	130.66
FI	35°19'04.3"	63°42'16.6"	136	5.95	130.05
FJ	35°19'29.5"	63°42'19.9"	135	4.62	130.38
FO	35°18'33.8"	63°42'17.6"	136	5.81	130.19
FX	35°19'18.1"	63°41'19.8"	136	6.78	129.22

Analizando la evolución temporal de los niveles piezométricos, se observa que en los freatímetros ubicados en los altos piezométricos, tienen, pese a la distancia entre ellos, una correlación muy marcada que acompañan temporalmente casi de manera paralela a los eventos de las precipitaciones y consecuentemente, la recarga y/o infiltración eficaz.

La Tabla 6.18 muestra que la magnitud de los descensos freatimétricos ha sido marcadamente inferior a la de los ascensos ocurridos en los mismos. Ello implica que los fenómenos de recarga en la serie considerada han sido marcadamente mayores a las descargas, tal como se manifiesta en el desarrollo el presente Capítulo.

Tabla 6.18: Evolución de los niveles freáticos considerados

Freat.	B	E	I	J	O	X
Prom(m)	6.11	5.97	6.55	5.31	6.21	7.47
Max(m)	7.98	7.98	7.91	7.06	8.51	9.14
Min(m)	3.62	3.22	3.9	2.32	3.27	5.03
Asc(m)	2.49	2.75	2.66	3.00	2.95	2.45
Desc(m)	1.87	2.01	1.36	1.75	2.30	1.67
N. Est. Inicial(m)	5.10	5.25	4.74	4.74	5.50	6.13

A efectos de visualizar esta correlación entre la lluvia y las variaciones del nivel freático, se exponen las variaciones de los distintos freáticos ante tales eventos en la serie 1993-2010.

Resalta del análisis de los hidrogramas de niveles piezométricos y de su comparación con las precipitaciones mensuales, que se evidencia un comportamiento de rápida interconexión entre los eventos y las oscilaciones de la piezometría. Asimismo se puede verificar, Figura 6.19, que los máximos eventos de lluvias ocurridos, no siempre reflejarán una proporcionalidad directa en los ascensos de niveles freáticos sino que las oscilaciones de los mismos dependerán más de parámetros estacionales en que se lleven a cabo tales eventos y consecuentemente ello se reflejará en la recarga. No obstante, en épocas húmedas se observa una respuesta inicial rápida.

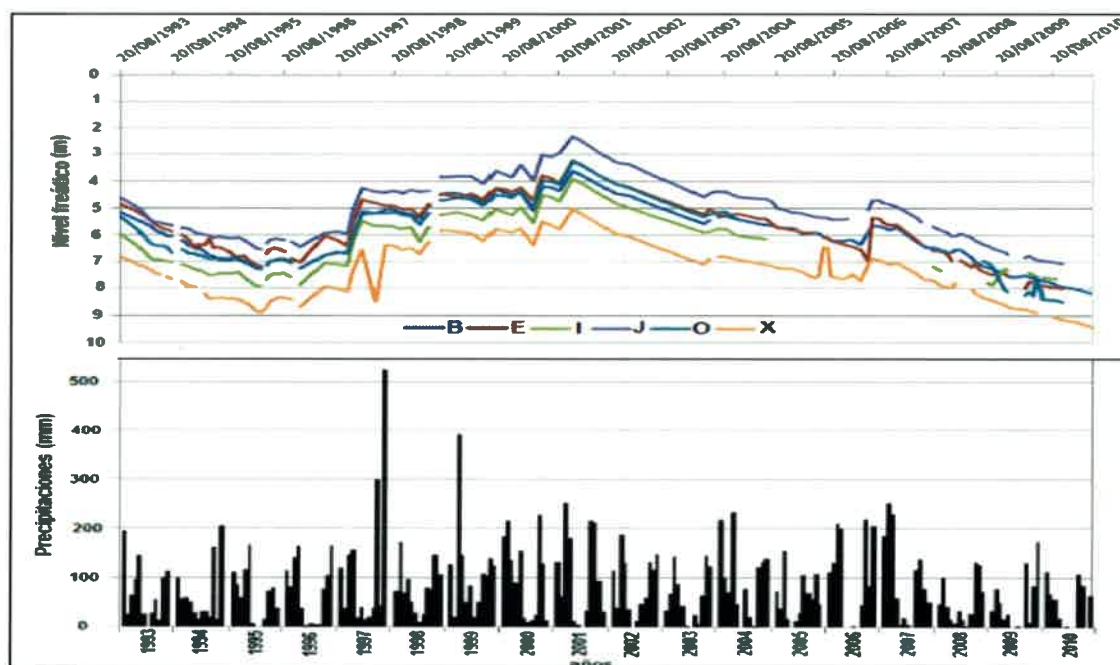


Figura 6.19: Relación Precipitaciones Vs Variación Nivel Freático- Serie 1993-2010

Para un cálculo de la recarga preciso y de razonable rigurosidad, se han tomado en cuenta los registros freaticométricos obtenidos con instrumento de medición continua de lecturas diarias, con los cuales se han cuantificado los picos de los ascensos (Δh) en el piezómetro para un determinado Δt de duración del evento.

Estos Δt son razonables para las condiciones de aplicabilidad del método, en este caso de niveles freáticos someros, rápida infiltración y recarga, y ausencia de bombeos.

Para la determinación de la recarga se computaron los promedios de los ascensos mensuales acumulados de los niveles piezométricos asumiendo un valor medio umbral del nivel estático a partir del cual existe recarga, siempre que se verifique un aumento de los niveles debido a que la infiltración eficaz excede la capacidad de drenaje del acuífero como consecuencia de precipitaciones por sobre la normal. Teniendo en cuenta los ascensos y multiplicando por el almacenamiento (S) se obtiene la lámina de agua infiltrada. Se asume un valor medio de la porosidad eficaz o S determinada en los ensayos de bombeos respectivos de $4,5 \cdot 10^{-2}$

Ascenso Promedio del registro freaticométrico = 2,71 m

Media de la Porosidad Eficaz = $4,5 \cdot 10^{-2}$

$R = 2,71\text{m} \times 4,5 \cdot 10^{-2} = 0,121 \text{ m} = \mathbf{121,9 \text{ mm}}$

Tabla 6.19: Síntesis del cálculo de la Recarga por distintos métodos

Métodología	Precipitación (mm)	Recarga (mm)	%
Thornthwaite, 1948.	952,4	134,9	14,16
Balshort (Carrica, 1993)	952,4	129	13,54
Goldschmith (Custodio, et al, 1983)	952,4	163,4	17,15
Balace de Masa Ion Cloruro	952,4		
Escenario a)		130,9	13,74
Escenario b)		116,4	12,21
Fluctuación Freaticométrica (*)	951,4	121,9	12,79

(*) Serie 1993-2010

6.9.- SUBUNIDADES HIDROGEOMÓRFICAS

En armonía con lo planteado hasta aquí y particularmente en lo que respecta a la

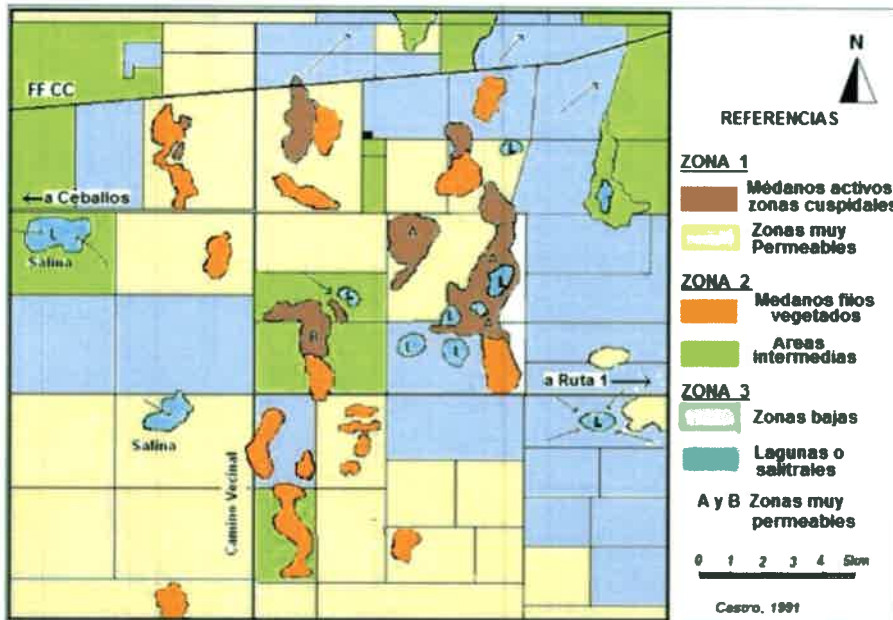


Figura 6.20: Mapa Hidrogeomorfológico. Distintas zonas de infiltración

sectorización de distintos escenarios de recarga citadas en el punto 6.8.4.2, se analizaron y reagruparon las unidades de relieve en tres subzonas, Figura 6.22, cuyas características morfosedimentológicas han permitido plantear el mapa hidrogeomorfológico que se ha propuesto que topográficamente definen ambientes hidrogeomorfológicos, como las siguientes subzonas.

6.9.1: Áreas cuspidales: Corresponderían a las unidades geomorfológicas descritas en el Capítulo 4, Punto 4.3.3. Se comportan como zonas de recarga y su importancia varía en función de las geoformas y de los sedimentos que la constituyen tal se observa en la Figura 6.21.



Figura 6.21: Areas Cuspidales

Cuando estos son médanos, la recarga es alta y cuando son médanos vivos la recarga es máxima.

6.9.2: Areas Bajas: Aquí se incluyen las unidades geomorfológicas que corresponden a las Planicies Arenosas como se observa en la Figura 6.22.



Figura 6.22: Areas Bajas de descarga. Lagunas o salitrales

Su conformación sedimentológica también actúan como áreas de recarga menor en el contexto regional. Se observan en estas áreas algunos salitrales o lagunas temporarias.

6.9.3: Areas Intermedias(zonas interdunales, Malagnino E, 1989)

Existe una tercera zona que la podríamos definir como Planicie Medanosa, aledaña a las anteriores que se extiende en una zona elevada desarrollada a partir de la impronta de una antigua elevación, donde se nota la influencia antrópica, Figura 6.23, que finaliza por el sur con dos prolongaciones que en sus extremos toman la forma de punta aguda.



Figura 6.23: Zonas intermedias o planicies arenosas

Se denominan de ésta manera a las áreas en general altas, desarrolladas entre médanos con superficies onduladas y suelos arenosos de muy buen drenaje y consecuentemente de rápida infiltración favoreciendo los procesos de recarga. En general corresponden a médanos parcial o totalmente estabilizados, a veces bajo cultivo. Una síntesis de lo expuesto sería que se puede estimar que las áreas hidrogeomórficas detalladas que componen el área de interés para este estudio, tiene un relieve propio, característico, de cuya conformación participan médanos vivos, médanos vegetados, planicies arenosas, planicies medanosas, dorsales o lomas y zonas bajas, tal como se ha reflejado.

6.10.- CONCLUSIONES

La estimación de la infiltración eficaz o recarga para el área estudiada a partir de los distintos métodos empleados, muestra resultados muy similares en cuanto al orden de magnitud lo que estaría indicando una razonable confiabilidad de los resultados.

Párrafo aparte merece la consideración de distintos escenarios de infiltración y consecuentemente de la recarga para el cálculo por cloruros. En efecto, resalta del análisis que existe una pequeña variación según consideremos al área de estudio como una sola unidad de recarga o una sectorización de la misma en función de sus características hidrogeomórficas. En función de ello y de acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que la sectorización en distintas zonas podría estar indicando distintas zonas hidrogeomórficas que representan distintos porcentajes de la precipitación media para el área de estudio.

La recarga obtenida a partir del balance de cloruros arroja valores razonables y muy en consonancia con otros estudios en zonas vecinas e incluso en provincias vecinas que tienen comarcas geomorfológicamente muy similares a la del presente estudio. Esta metodología tiene como principal limitante la necesidad de utilizar valores medios tanto del agua de lluvia como del agua de recarga, proporcionando tan sólo una estimación del valor medio multianual dependiendo a su vez del espesor del medio no saturado y las características del muestreo. No obstante ello su cálculo ha sido de gran utilidad para efectuar la zonificación de áreas con distintas características de infiltración y consecuentemente la determinación de zonas de recarga, conducción

y descarga. Además de ello, ha sido la fundamentación y origen de la construcción del mapa hidrogeomorfológico del área de estudio.

Tal como pareciera indicar el balance seriado de paso diario Balshort y considerando la gran irregularidad de las precipitaciones, se desprende que la dinámica de la recarga es compleja, existiendo años en que la misma debe haber sido mínima e inclusive nula, como en los últimos años de la serie analizada, o bien para años con precipitaciones superiores a 750 mm/año donde la recarga se manifiesta como positiva, o cifras anuales más elevados aún donde seguramente alcanza en promedio valores superiores al 20% de la precipitación anual.

Del análisis e interpretación de los registros freaticométricos de la serie 1993-2010, fecha a partir de la cual se monitorea al acuífero, se observa una rápida y sostenida respuesta del nivel freático a los meses de altas precipitaciones lo que denota claramente la magnitud del fenómeno de recarga especialmente en la zona medanosa central. De la misma manera y considerando los últimos tres años de la serie de una persistente sequía, muestra así también una sostenida caída en esos años muy inferiores en precipitaciones al año umbral considerado. Considerando el comportamiento bastante similar de los freáticos en cuanto a la variación de sus niveles y que además existe una tendencia positiva de los mismos, se evidencia que el ascenso de sus niveles se lleva a cabo casi en forma paralela a los eventos de lluvia, ya sea los ubicados en áreas de recarga, de transferencia como en los de descarga.

En términos generales, cabe advertir que todos los métodos empleados mejoran la estimación de la recarga a partir de la utilización de datos diarios, de los cuales se posee un período de registro muy breve. No obstante ello, la intencionalidad de la utilización de distintas metodologías ha sido minimizar la incertidumbre que muchas veces representa el cálculo por un solo método.

CAPITULO 7

CARACTERIZACION HIDROQUÍMICA DEL SISTEMA

7.- INTRODUCCIÓN

7.1.- ANTECEDENTES

7.2.- CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA

7.3.- CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

7.3.1.- Sólidos Disueltos Totales

7.3.1.1.- Evolución iónica con la salinidad

7.3.2.- Sulfatos

7.3.2.1.- Evolución iónica con los sulfatos

7.3.3.- Bicarbonatos

7.3.4.- Cloruros

7.3.5.- Dureza

7.3.6.- Sodio y Potasio

7.3.7.- Flúor

7.3.7.1.- Comportamiento geoquímico del flúor

7.4.-RELACIONES IÓNICAS

7.4.1.- Relación iónica rMg^{++}/rCa^{++}

7.4.2: Relación rK^{+}/rNa^{+}

7.4.3: Relación rSO_4^{-}/rCl

7.4.4: Relación $rCl/rHCO_3$

7.4.5: Índices de cambio de bases (icb)

7.5.- FUERZA IONICA Y CALCULO DE SOLUBILIDAD

7.5.1.- Fuerza iónica

7.5.2.- Índices de saturación

7.5.3.- Importancia de los Carbonatos

7.5.3.1.- Sistemas de disolución

7.6.- DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

7.7.- CONSIDERACIONES FINALES SOBRE EL MODELO HIDROQUIMICO

7.7.1.- Hidrólisis e Intercambio Iónico en el área de estudio.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

7.- INTRODUCCION

El agua, durante su tránsito vertical descendente a través de la zona no saturada, después de haber satisfecho las propiedades de humedad que requiere la capacidad de campo del suelo, luego de haberse infiltrado, llega a la zona saturada alimentando el acuífero. Allí no termina su movimiento, sino que comienza su lento tránsito por las zonas de conducción hasta llegar por fin a las zonas de descarga. Se produce así una estrecha vinculación entre el agua, la geomorfología, el substrato geológico que ha atravesado y que en la actualidad la contiene a través del tiempo.

La conjunción de estos tres factores, su estudio, análisis e interpretación, permitirá dilucidar los diversos procesos químicos que se han llevado a cabo en el área y cuya identificación proporcionará una herramienta útil y adecuada para la comprensión de la dinámica del flujo subterráneo.

La litología del sistema que contiene al agua está constituida por depósitos continentales cuyos componentes principales son arenas medias a finas, limos y limos arenosos de coloración pardo amarillento a pardo rosado, con niveles de este mismo sedimento hacia la base que presenta manifestaciones carbonáticas a profundidades variables o en distintos niveles.

En amplios sectores de las planicies arenosas y como una característica regional, se puede observar sobre todo en caminos vecinales, un horizonte blanquecino cuyo espesor no supera los 0,10 m de ceniza volcánica, producto de fenómenos volcánicos ocurridos en la cordillera y precordillera a comienzos del siglo pasado y dispersos por gran parte de la llanura central de nuestro país. Este aspecto será tratado más en detalle en el transcurso del presente capítulo.

Las muestras de agua obtenidas en las perforaciones que captan el recurso que contienen las formaciones arenosas Formación Junín (CFI, 1975; De Salvo, 1969) y la Formación Cerro Azul (Linares, et-al, 1980) se han considerado como características del sistema acuífero y se ha planteado un modelo geoquímico

conceptual donde se trata de exponer los procesos modificadores que ocurren en el agua desde su infiltración y en su recorrido hacia las zonas de descarga.

Las particularidades del subsuelo en la zona de estudio condicionan la química del agua subterránea que corresponde a un número reducido de fases reactivas. En la explicación de la composición del agua de la región se han considerado los aportes atmosféricos, la evaporación y evapotranspiración, las reacciones con el medio carbonatado, procesos de intercambio iónico y la mezcla de aguas.

Como se ha mencionado en el transcurso de la presente tesis, fundamentalmente en el capítulo correspondiente al Clima, la lluvia local representa la única fuente de entrada de agua al sistema considerado. Su composición, conjuntamente con el polvo que aporta la atmosfera caracteriza el agua de infiltración. Se ha podido determinar además merced a los análisis físico-químicos de las aguas meteóricas en la zona de estudio, los procesos y consecuentemente los cambios ocurrientes durante el tránsito del agua en la zona no saturada hasta su contacto con el acuífero.

7.1.- ANTECEDENTES

Como se ha citado en el transcurso de la presente tesis, no había antecedentes químicos completos como para efectuar una caracterización hidroquímica de la zona, representando por lo tanto el presente estudio un aporte importante en este aspecto. En este sentido, a comienzos del año 2008-2009, se realizó un censo de perforaciones y pozos que involucran el área de esta tesis, recolectándose 40 muestras de agua subterránea en perforaciones de establecimientos rurales de alrededor de 12 m de profundidad y en pozos de abastecimiento que en algunos casos alcanzan hasta los 23 m, aunque en la mayoría de los casos son someros y solamente alcanzan la parte superficial del acuífero.

En la resolución del modelo hidroquímico conceptual se han considerado un total de 39 análisis de agua, correspondientes a 39 puntos de control distribuidos entre sondeos y perforaciones. La caracterización regional se ha realizado sobre la base de una selección de 37 análisis con error aceptable(no más del 15%), habiéndose considerado como criterio básico de selección el desequilibrio iónico.

Tras la fase de depuración de datos se observa una distribución irregular de la información. Para compensar este hecho se ha realizado una minuciosa revisión de los análisis incompletos o que superaban el error admisible arriba citado, desechándose cuatro muestras, rescatándose aquella información que presentaba una particular coherencia espacial y temporal, la cual ha sido tratada con la debida salvedad.

Se consideraron además diversas relaciones, como la existente entre la dureza medida en laboratorio y la calculada en función del contenido de Mg y Ca, la relación entre la conductividad eléctrica y la semisuma iónica, o la relación en el contenido de ciertas especies tales como los iones Cl^- y Na^+ , o Cl^- y alcalinidad.

En una primera comprobación de la validez de los análisis se ha calculado el error de 34 análisis completos según la expresión (Custodio y Llamas, 1983):

$$\text{Error (\%)} = 100 \times \frac{\Sigma \text{ cationes} - \Sigma \text{ aniones}}{\Sigma \text{ cationes} + \Sigma \text{ aniones}}$$

donde Σ **cationes** y Σ **aniones** representan la suma en meq/l de cationes y aniones respectivamente. El número de análisis con error ha sido muy bajo y solo alcanzó a tres muestras que fueron desechadas por superar el 15% de error.

Los análisis físico-químicos del muestreo fueron realizados en el laboratorio de la Cooperativa Regional de General Pico, y no se efectuaron, lamentablemente, las determinaciones individuales de Na^+ y K^+ en las muestras correspondientes a molinos debido a inconvenientes en la aparatología.

Se calcularon por diferencia entre los aniones y el resto de los cationes y se pueden tomar como la suma de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, teniendo en cuenta que en las aguas naturales en la zona estudiada, las concentraciones de Na^+ son mucho mayores que K^+ . En el resto de las muestras, se efectuaron los análisis físico-químicos completos, Figura 7.1 y una síntesis estadística de los mismos se observan a la Tabla 7.2

Tabla 7.1: Análisis Físico Químicos de Zona de Muestreo

Muestra	C.Elect.	Ph	SDT	Dureza	CO3H-	SO4=	Cl-	NO3-	Na+	K+	Na+K	Ca++	Mg++	F-	Ast
61	2660	8.5	1669	103	700	152	221	259			544	14	16.5	5.4	0.07
62	1070	8.33	684	108.8	424	59	58	35.6			205	17	16	3.2	0.05
63	6260	9.01	3793	448	562	980	1042	36.7			1181	52	77.6	5.72	0.11
64	6890	7.9	4450	332	676	1200	1145	41.1			1424	46.4	52.7	6.5	0.15
65	450	7.99	310	208	169	19	22	29.8			202	37	28	0.75	0.017
66	5080	7.86	3247	580	650	80	692	260			899	84.8	89.8	2.11	0.021
69	1140	7.63	761	340	340	68	92	108			126	74	37	1.69	0.02
70	4630	7.95	2910	332	804	600	582	163			949	35	59.5	2.14	0.01
71	5070	7.62	3396	644	500	420	538	970			904	117	85.4	2.29	0.01
72	1160	7.81	735	196	412	63	41	54			188	37	25	3.7	0.03
73	1680	8.9	1059	84	412	96	65	46.9			370	10.4	14.15	3.5	0.03
74	2810	7.8	1662	296	436	280	243	82.4			479	51.2	40.9	1.93	0.03
76	2480	8.3	1527	188	614	228	179	11.7			510	34.4	24.8	6.54	0.09
77	1140	8.15	776	106	464	64	44.5	8.1			239	18	15	6.6	0.01
78	1420	8.16	946	240	424	116	80.5	25.8			233	32	39	2.15	0.02
79	2810	8.17	1638	120	960	176	108	84.8			552	15.2	20	9.6	0.123
P1	2024	8	1455	147	304	374.1	378	14.1	477	11.7	488.7	20.25	23.2	1.74	0.09
P2	626	8.1	564	64	256	49	25	26.6	109	7.8	116.8	10.9	8.9	1.63	0.05
P3	716	8.09	663	85	248	68	52	22.12	106	7.8	113.8	15.1	11.4	1.42	0.05
P4	1334	8.52	897	64	316	181	169.1	17.6	253	8.5	261.5	9.6	9.5	2.18	0.07
P5	907	8.47	735	53.6	244	90.4	101	14.1	247	10.7	257.9	10.8	9.4	1.43	0.04
P6	803	8.61	658	62.5	212	90.1	81.1	6.7	166	7.8	173.8	10.6	8.7	0.93	0.04
P7	852	8.4	784	83.2	168.2	107	97.4	6.07	107	7.8	114.8	13.9	11.7	1.06	0.04
P8	1305	8.12	1026	274	328	190	181	19.8	322	15.6	337.6	26	20	2.48	0.07
P9	1357	8.09	1028	199	252.5	199	219.5	23.3	207	11.7	218.7	29.5	30.3	1.59	0.04
P10	1173	8.15	1131	151.7	344	125	125.8	13.6	184	13	197	23.6	22.5	1.53	0.07
P11	2039	8.21	1487	118	550	286	257	5.6	398	13	417	18.7	16.9	4.28	0.12
P12	1670	8.43	1253	108	358	245	245	21.2	310	7.1	317.1	15.8	16.8	2.47	0.12
P13	1787	8.41	1501	105	332	264	266.2	25.2	360	9.1	369.1	15.7	16.2	3.37	0.09
P14	1305	8.12	635	146	328	190	181	19.8	322	15.6	337.6	25.8	20	1.12	0.04
3C	324	8.01	317	76	190	61	324		165	13.2	178.2	13	11	0.6	0
4C	3490	8.1	2108	236	280	619	584	14			230	32.8	37.4	1.24	0.04
A	1016	8.5	998	80	464	90	40	50			169	11	13	2.6	0.1
K	3332	8.2	2600	180	500	506	524	40			281	18	32	5.7	0.016

Valores en mg/L

Las conductividades eléctricas (CE) y los pH fueron tomados al recolectar las muestras observándose que son prácticamente insignificantes las diferencias existentes con los determinados en el laboratorio. Sin duda que el hecho de llevar las muestras al laboratorio a las pocas horas de recolectadas y efectuar los análisis físico-químicos inmediatamente después, son el factor resultante de ello.

Tabla 7.2: Parámetros estadísticos de variables hidroquímicas en mg/L

Elemento	Mínimo	Máximo	Media
Sólidos D. Totales	310	4450	1447
Conductiv. Elect	324	6890	2143
Alcalinidad	149	804	401,16
Dureza	54	644	195,12
Cloruros	4	1145	283,42
Sulfato	19	1200	247,26
Calcio	9,6	117	29,74
Magnesio	8,7	117	29,74
Sodio	106	1424	391,64
Potasio	7,1	91	16,36
Nitrato	4	970	79
Flúor	0,75	6,62	2,82
Arsénico	0	0,15	0,06

Valores en mg/L

7.2.- CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA

Las clasificaciones de las muestras en facies hidroquímicas pueden observarse en los diagramas de Piper y Schoeller-Berkaloff que se describen en las Figuras 7.1, 7.2, 7.3 y 7.4, de donde surge que un 65% de las aguas muestreadas corresponden a Cloruradas y/o Sulfatadas sódicas, un 25 % Bicarbonatadas Sódicas, 6,25 % Bicarbonatadas Cálcicas o Magnésicas y sólo el 3,12 % Sulfatadas y/o Cloruradas Cálcicas.

El bajo porcentaje consignado de aguas Bicarbonatadas Cálcicas y/o Magnésicas (solo el 6,25%), típicas de zonas de recarga plena, se detallará más adelante del presente capítulo y en general está relacionado al tipo y profundidad de la captación. Al efecto, se han caracterizado hidroquímicamente las aguas que corresponden a muestras de pozos de la batería de explotación donde se encuentran ubicadas las 14 bombas que extraen agua de mezcla entre el miembro basal de la Formación Junín (CFI, 1975; De Salvo, 1969) y Formación Cerro Azul (Linares et al., 1980) y otras muestras correspondientes a molinos que explotan solamente la parte superior del acuífero que corresponde a la formación mencionada en primer término.

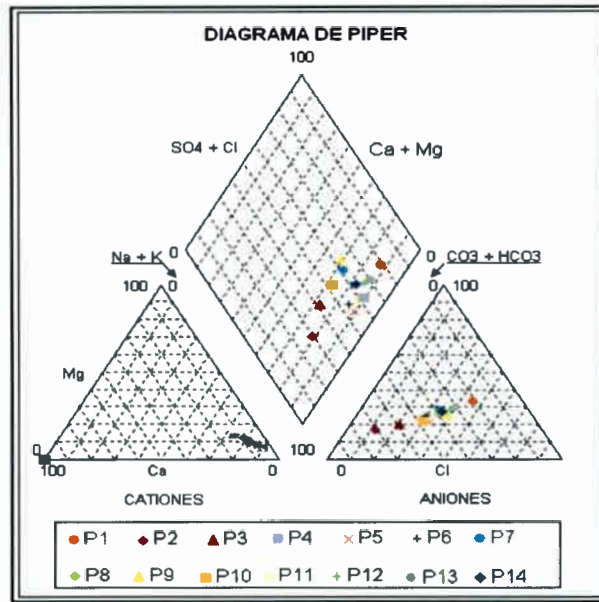


Figura 7.1: Diagramas de Piper en zona de Pozos de Explotación(2009)

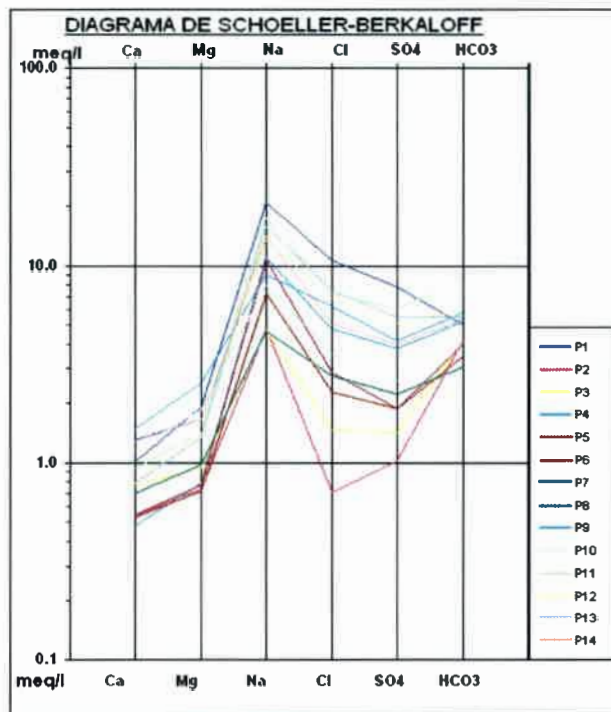


Figura 7.2 : Diagramas de Schoeller-Berkaloff en Zona de Pozos de Explotación

Como puede observarse, las aguas subterráneas del acuífero de Intendente Alvear presentan una variedad de facies hidroquímicas. En primer lugar y como consecuencia de la recarga directa procedente de la lluvia en la zona medanosa

central, el agua presenta una facie predominantemente Bicarbonatada Cálctica siempre que se considere solamente los primeros metros de la zona saturada.

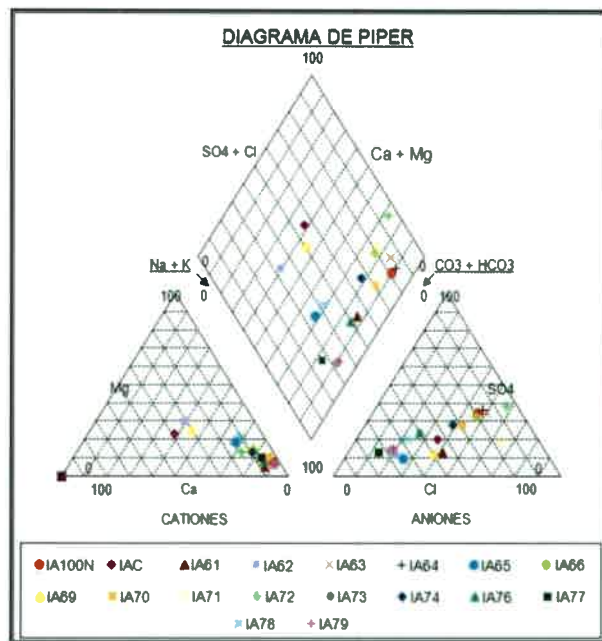


Figura 7.3: Diagramas de Piper en Zona Muestreada - Molinos

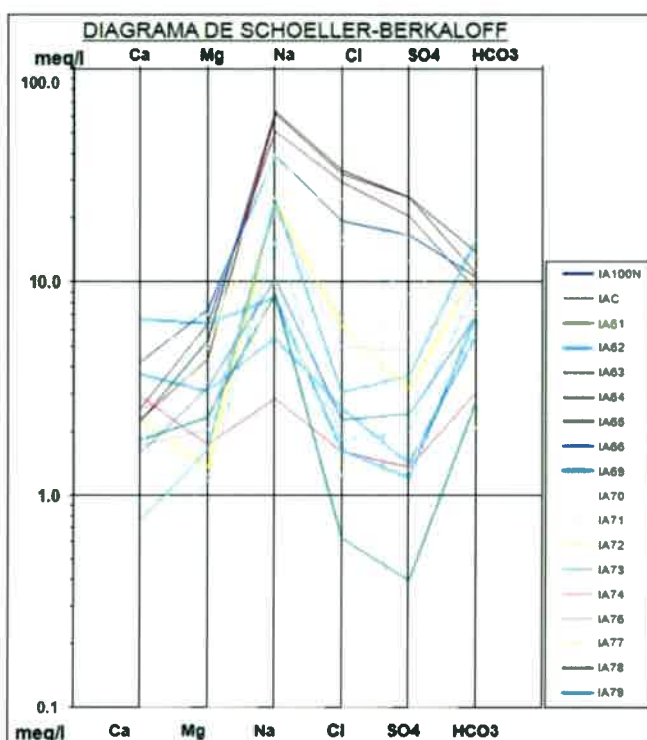


Figura 7.4 : Diagrama de Schoeller-Berkaloff en Zona Muestreada - Molinos

A partir de allí y hacia los flancos de la zona medanosa va aumentando su mineralización. Esta característica, a medida que nos acercamos al límite de ésta unidad con la Formación Cerro Azul (Linares et al., 1980) que la subyace, va transformándose desde sulfatada a clorurada magnésica a sódica, con una mineralización más fuerte, tal cual resalta de la observación de la Figura 7.5.

Puede constatarse también un incremento progresivo del grado de mineralización en el sentido del flujo al acercarnos a las zonas de descarga, tal cual se verá en el Mapa de SDT.

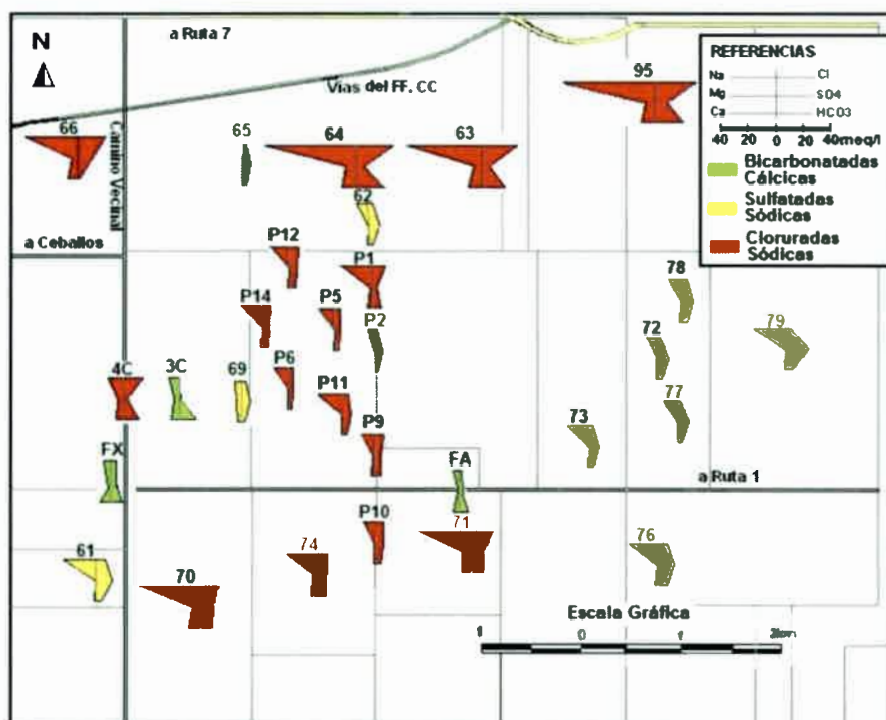


Figura 7.5: Evolución hidroquímica - Diagramas de Stiff .

Según se deduce de las relaciones existentes entre las diferentes especies químicas, que las hidrofacies presentes en este acuífero responden a por lo menos dos procesos geoquímicos principales. El primero de ellos se refiere al equilibrio con los minerales carbonatados, que tienen que ver con los procesos de disolución (y precipitación) de rápida infiltración y que se ubica en la parte superior del acuífero. En tanto que el segundo se relaciona fundamentalmente con la disolución de minerales por procesos de hidrólisis que se lleva a cabo en las aguas de capas más inferiores

que las anteriores y que se encuentran en arenas finas limosos de la Formación Cerro Azul Azul (Linares, *et-al*, 1980).

Puede considerarse, en consecuencia, una zonación geoquímica del acuífero de Intendente Alvear, diferenciada en por lo menos tres partes, que se corresponden con el sentido de flujo, que oscilan desde aguas bicarbonatadas cálcicas y mixtas a cloruradas sulfatadas mixtas y sulfatadas o cloruradas sódicas. En la Figura 7.6 se ha representado la evolución hidroquímica mediante diagramas de Stiff correspondiente a la toma de muestras del año 2008.

La alcalinidad del acuífero está controlada por la presencia de los niveles carbonáticos existentes en los estratos intercalados en él con menor permeabilidad. Su determinación se ha realizado exclusivamente en laboratorio, valor que puede estar afectado por la oxidación de iones metálicos y por la precipitación de carbonatos. En esta determinación se han considerado solamente los bicarbonatos, considerándose despreciable o ausente la presencia de otras especies tales como aniones orgánicos, OH^- , HS^- , $\text{B}(\text{OH})_4^-$, capaces de consumir hidrogeniones.

7.3.- CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Con la finalidad de efectuar un análisis del comportamiento físico químico de la zona de estudio, se han efectuado los mapas de isocontenido en diversos iones mayoritarios y algunos oligoelementos que, por su significancia, sobre todo para consumo humano, tienen en la zona. En ese sentido, se muestra la distribución en la zona muestreada, en la Figura 7.6, como así también una discriminación de los dispositivos extractores de agua.

Es menester resaltar además que en el mencionado acuífero, producto de la sobreexplotación, algunas de las perforaciones del servicio de agua potable, han tenido que reemplazarse debido al considerable y progresivo aumento en algunos iones perniciosos para consumo humano, así como un desproporcionado aumento de sales totales. Consecuencia de ello se efectuó un replanteo y adecuación del servicio de cuya información deviene la presente tesis y que merced a la misma se incorporó una nueva batería de pozos de explotación del actual servicio.

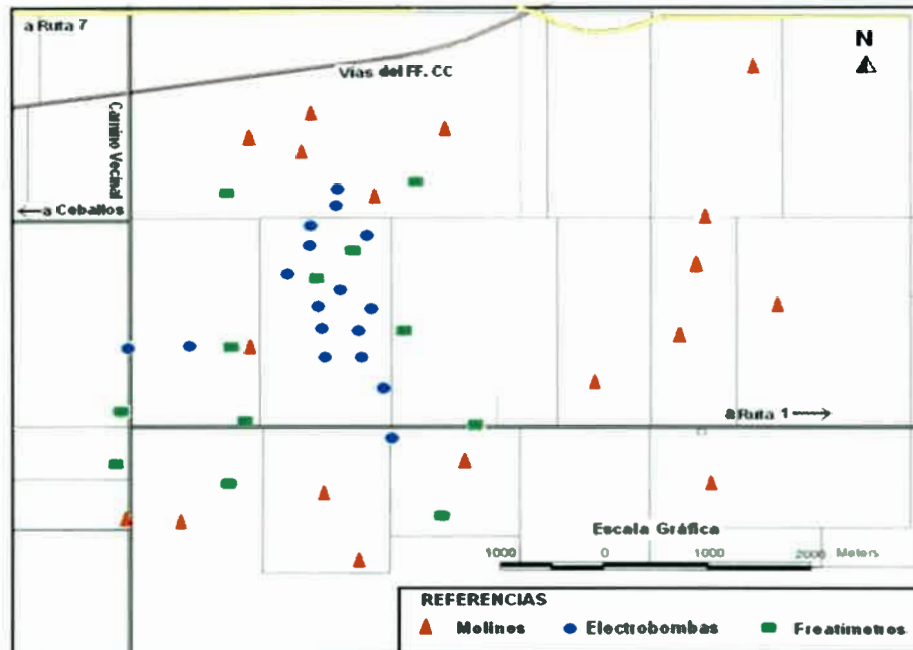


Figura 7.6: Zona de Muestreo y distintos elementos de captación

Los resultados del muestreo Físico-Químico que se llevó a cabo en el área se han consignado en la Tabla 7.2 del presente capítulo y los correspondientes mapas de isocontenidos se analizarán seguidamente de manera individual.

7.3.1.- Sólidos Disueltos Totales (SDT):

El valor de sólidos disueltos totales (SDT) de los análisis efectuados varía entre 310 y 3793 mg/l, existiendo un progresivo aumento del contenido salino tanto en profundidad como a medida que el agua se aleja de la zona medanosa de recarga, tal como se observa en la Figura 7.7.

En general sigue una conformación geométrica muy similar a las isopiezas, es decir que las aguas tienen bajos contenidos salinos en los altos piezométricos producto de la elevación de la zona medanosa sin perfil edáfico, donde las precipitaciones tienen una rápida infiltración, conformando un lentejón de agua dulce que sobreyace a las de mayor contenido salino. A partir de allí, las aguas aumentan su contenido salino conforme aumenta su tiempo de residencia en el sedimento que las contiene. Al respecto y observando hacia el W de la zona de recarga puntual, se observa un abrupto crecimiento del contenido salino reflejado en la vecindad y una notable estrechez de espaciamiento en las curvas de isocontenidos ya que las

mismas fluyen en sentido contrario a los flujos derivados del domo de la recarga puntual.

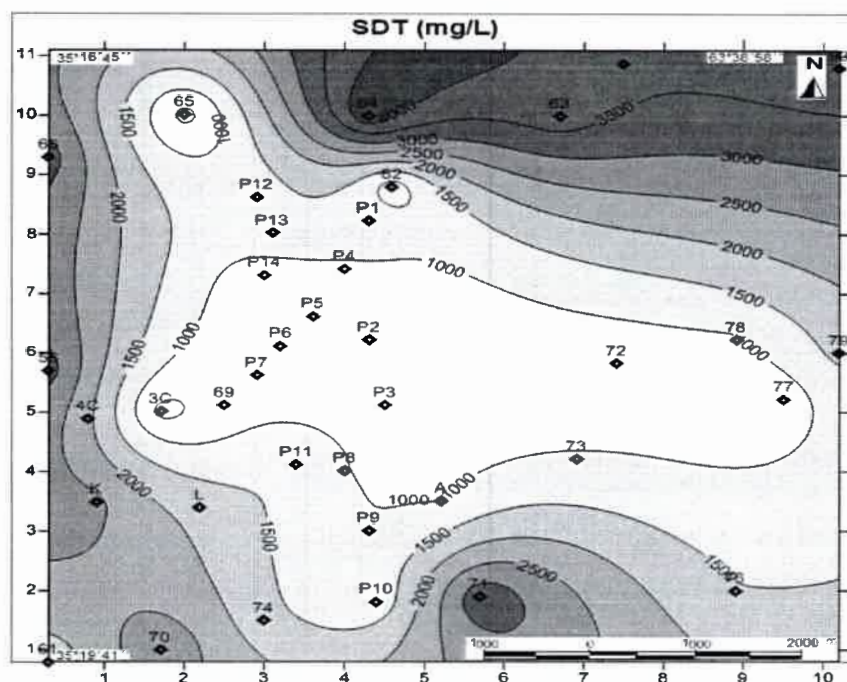


Figura 7.7: Distribución Espacial de los Sólidos Disueltos Totales

Hacia el ESE por el contrario se constata un espaciamiento mayor entre las curvas isosalinas de distintos valores en razón de que la zona de conducción tiene una levísima pendiente a la vez que también, en épocas de precipitaciones importantes, actúa como zona de infiltración de menor escala e importancia. En dirección al NE, zona topográficamente baja y de descarga, se observan lagunas temporarias que denotan en sus márgenes vestigios de sales producto de la descarga de agua subterránea y además de los procesos de evaporación y evapotranspiración.

Un dato singular lo constituye la Muestras N° 65, ubicada en el sector NNW del área de trabajo que convalida claramente la hipótesis de trabajo que en un principio se tenía del funcionamiento hidrogeoquímico del acuífero. En efecto, pese a encontrarse en una zona topográficamente más baja que la llamada zona de infiltración plena donde se encuentra el grueso de la batería de bombas de explotación, presenta el mínimo valor de sales totales de la región. Se verifica allí que la captación se encuentra al costado de un médano de pequeñas dimensiones y que el medio de extracción es un pequeño molino con cilindro en superficie a nivel del terreno

natural donde la capa freática se encuentra a un NE de 2,87m de profundidad. Es decir que extrae el agua de la parte superior del acuífero compuesta en el lugar por las arenas silíceas de la Formación Junín, Miembro basal, correspondiéndole una caracterización hidroquímica de Bicarbonatada mixta. Situación similar se observa en la Muestra N° 69 del Puesto Marsilio. En líneas generales, se observa que el 47% de las muestras tienen valores de salinidad inferiores a 1.000 mg/L y todas ellas corresponden a las zonas de recarga ubicadas en la parte central del área medanosa. Es allí donde se encuentran las bombas de explotación que extraen agua para el servicio de agua potable de Intendente Alvear.

7.3.1.1. Evolución iónica de los Sólidos Disueltos Totales:

Si bien parece claro que la salinidad aumenta con el tiempo de residencia del agua subterránea en el sedimento que la contiene, se ha creído necesario analizar la variación del quimismo de las aguas conforme varía esta salinidad. Con esa finalidad se intentará diferenciar distintos grupos de acuerdo a su contenido salino.

a) SDT < 1.000 mg/L: En este grupo se encuentran los Pozos de Explotación Nros. 2, 3, 4, 5, 6, 7, y 14 y Muestras Nros. 62, 65, 69, 3C, FA, 72, 77 y 78, es decir el 47% del total de las muestras analizadas. En líneas generales se caracterizan por presentar bajos contenidos de bicarbonatos y su caracterización hidroquímica como Cloruradas y/o sulfatadas sódicas puede responder a algunos niveles de yeso existentes en la Formación Cerro Azul, (Linares, *et al.*, 1980).

b) 1.000mg/L < SDT > 2.000 mg/L : Este grupo está formado por los Pozos de explotación Nros 1, 8, 9, 10, 11, 12 y 13 y las Muestras Nros 73, 74, 76, 79 y FL. Constituyen el 37,5 % de las muestras y se caracterizan por estar fuera o a los márgenes de la zona medanosa, excepto, las bombas 12 y 13. Como puede observarse, en este grupo se encuentra casi el 50% de las bombas de explotación no obstante encontrarse ubicadas en las márgenes de lo que se ha llamado zona de recarga plena. Al respecto, su salinidad superior comparada con el grupo anterior responde a que el diseño de las perforaciones capta agua desde mayor profundidad en la Fm Cerro Azul, acuífero multicapa limo-arenoso fino con intercalaciones carbonáticas y muy comunes cristales yesíferos. Su caracterización hidroquímica es preponderantemente bicarbonatadas sódicas, presentando valores de bicarbonatos sensiblemente superiores al grupo anterior.

- c) **2.000mg/L < SDT < 3.000 mg/L:** Este grupo se encuentra fuera de la zona de recarga puntual del área medanosa y responde a las características de tipo regional. Esta constituido por las Muestras Nros 70 y 4C y captan aguas de la parte superior del acuífero, excepto la muestra 4C, que tiene instalada una bomba sumergible y capta de la Fm. Cerro Azul, que se encuentran en zona de conducción, aunque por las características sedimentológicas superficiales de sedimentos arenosos, constituyen zonas de recargas menores. Topográficamente se trata de zonas más bajas y en líneas generales no difieren demasiado del grupo anterior, respondiendo su caracterización hidroquímica como cloruradas y/o sulfatadas sódicas.
- d) **3.000 mg/L < SDT < 5.000 mg/L:** Incluye las Muestras Nros. 58, 63, 64, 66, 71, 95 y 93. Todas estas muestras se encuentran en zonas de conducción y descarga y presentan las características regionales tales como sulfatadas y/o cloruradas sódicas.

7.3.2: Sulfatos:

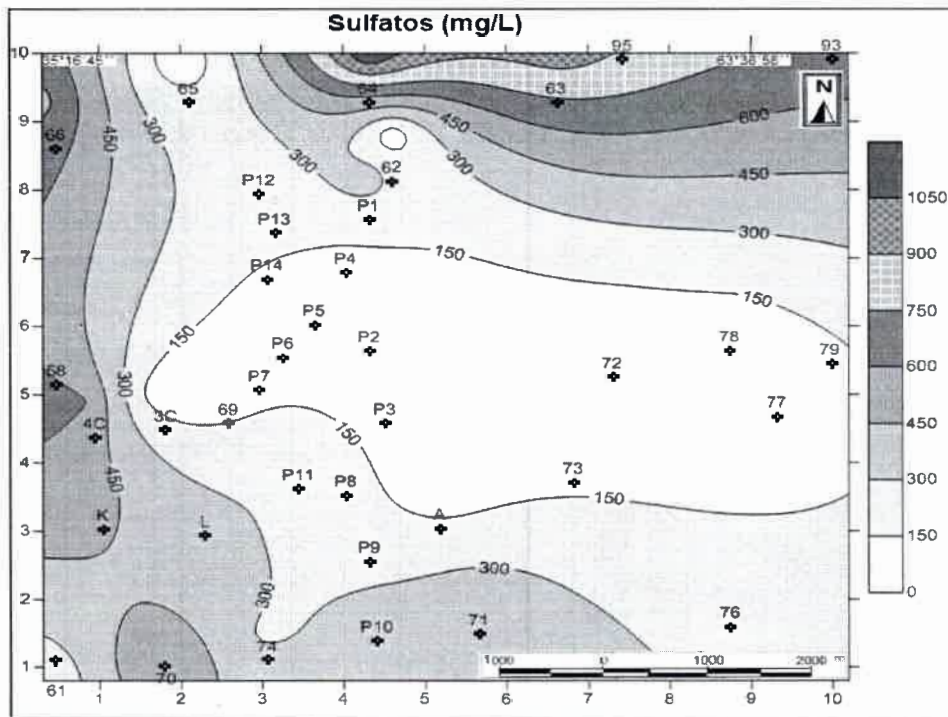


Figura 7.8: Distribución espacial del Sulfato

Son sales desde moderadamente solubles a muy solubles según se trate de un ambiente oxidante a reductor. Son difícilmente precipitables químicamente pero pueden separarse de la solución por concentración si existen altos valores de

evaporación. Por lo general las aguas dulces de la zona presentan valores inferiores a los 300 mg/L, preponderantemente inferiores a 200 mg/L en la zona de recarga estudiada, presentando una media general de 245 mg/L, un máximo de 1.200 mg/L y una mínima de 19 mg/L.

En líneas generales, se observa un comportamiento geoquímico que va evolucionando en la dirección del flujo y también con la penetración del acuífero. Hacia el norte de la lente acuífera dulce, más precisamente NNE que pareciera ser la dirección de flujo subterráneo preferencial, los puntos de agua van adquiriendo valores que toman las características de tipo regional, es decir superiores a los 800 a 900 mg/L.

7.3.2.1 Evolución iónica con los Sulfatos:

En función del análisis e interpretación que surge del mapa temático, parece claro que los sulfatos aumentan sus concentraciones no solo con el tiempo de residencia del agua subterránea en el sedimento que la contiene, sino también en el lento recorrido que lleva a cabo desde las zonas altas medanosas hasta las zonas de conducción y descarga. En virtud de ello y de las variaciones de los valores de sulfato, se ha discriminado las distintas zonas hidroquímicas.

a) 150 mg/L > SO₄⁼ : Esta zona está ubicada sobre el cordón medanoso central donde se concentran las bombas de explotación del servicio de agua potable. Como ya se ha manifestado, es la zona donde se produce la máxima recarga y es aquí donde se lleva a cabo una rápida infiltración de las aguas precipitadas. El mapa, como se observa, guarda una estrecha relación geométrica con el de SDT y está compuesto por las muestras 3C, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P14, 65, 69, FA, 72 , 73, 77, 78 y 79 constituyendo el 50 % de las muestras.

b) 150 mg/L <SO₄⁼ < 300 mg/L: Se encuentra ubicada, básicamente en los márgenes de la zona anterior y está conformada por el grueso de la batería de bombas de explotación del servicio de agua potable. En esta zona se ubican las muestras Nros. FA, P1, P8, P9, P11, P12, P13,y 76, representando el 25% de la totalidad. Al igual que en puntos anteriores, es de hacer notar que las bombas, pese a encontrarse en la zona de mejor calidad de agua dulce, por su mayor profundidad de captación se asemeja en su constitución química a la extraída por molino que se

encuentran fuera de la misma, pero que toman las aguas solamente de la parte superior del acuífero.

c) $300 \text{ mg/L} < \text{SO}_4^{=}$: Esta área se encuentra ubicada predominantemente en la zona W de la lente dulce, es decir la zona cuyas aguas tienen características de tipo regional y sobre el margen ENE donde topográficamente la zona es más baja y constituye una zona de descarga donde la evaporación deja su impronta. Hacia el sur, la conformación de elevaciones arenosas suaves mantiene cierta constancia en los valores químicos de sulfatos.

7.3.3.- Bicarbonatos (CO_3H):

Una de las características más notables de este ión, Figura 7.9, es que otorga un carácter alcalino a las aguas, además de no ser oxidables o reducibles en aguas naturales y que pueden precipitar con mucha facilidad como CO_3Ca con un leve aumento de la temperatura.

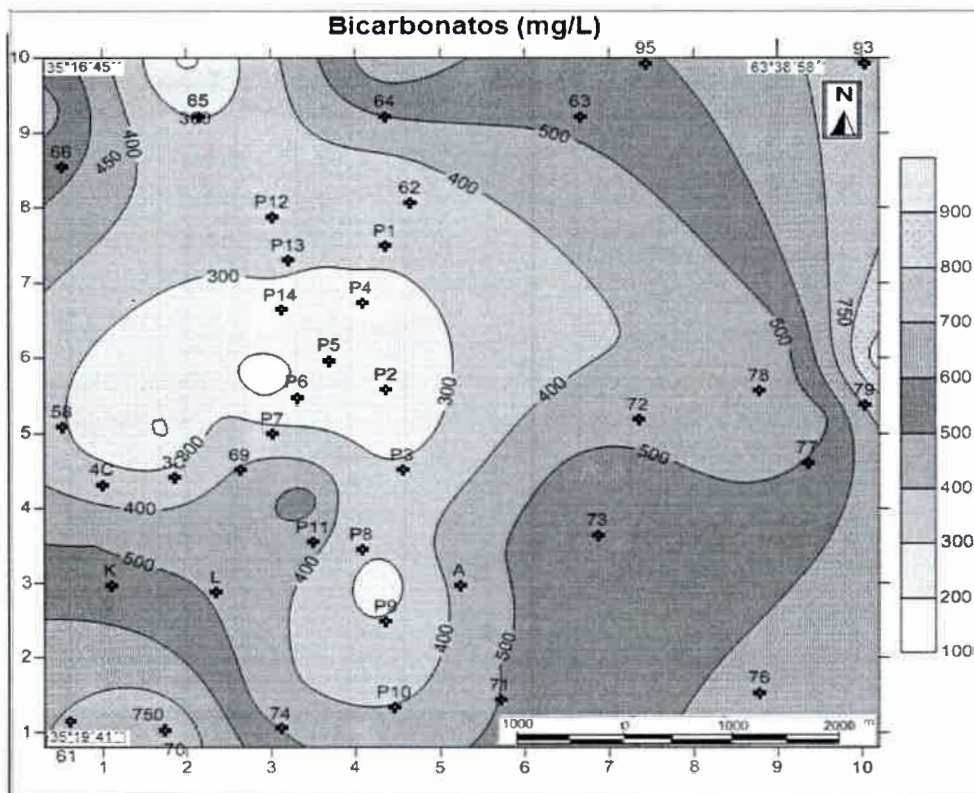


Figura 7.9 : Distribución espacial del ión Bicarbonatos (Valores en mg/L).

Específicamente, en la zona estudiada se observa que los valores menores de bicarbonatos se encuentran en la zona central donde la máxima recarga tiene influencia y paulatinamente van aumentándose sus tenores en el sentido de la dirección del flujo, presentando máximos valores hacia las zonas de descarga.

En síntesis, el análisis del mapa evidencia una evolución en la composición química del CO_3H^- que van desde bicarbonatadas cálcicas a calco-sódicas, cloruradas y cloruradas sulfatadas conforme aumenta la salinidad hacia las zonas de descargas.

7.3.4.- Cloruros (Cl^-):

El mapa de curvas de isocloruro se ha construido, al igual que los anteriores, con los datos recabados en el estudio de campo y nos muestra en la Figura 7.10, una muy buena correspondencia con los mapas de SDT, SO_4^{2-} , CO_3H^- e incluso con el mapa isopiezico, presentando en general un aumento de concentraciones iónicas en el sentido de movimiento de flujo subterráneo. En general, el Cloruro es muy soluble y estable en dilución, lo que lo hace muy difícilmente precipitable, además que no se oxida ni reduce en solución.

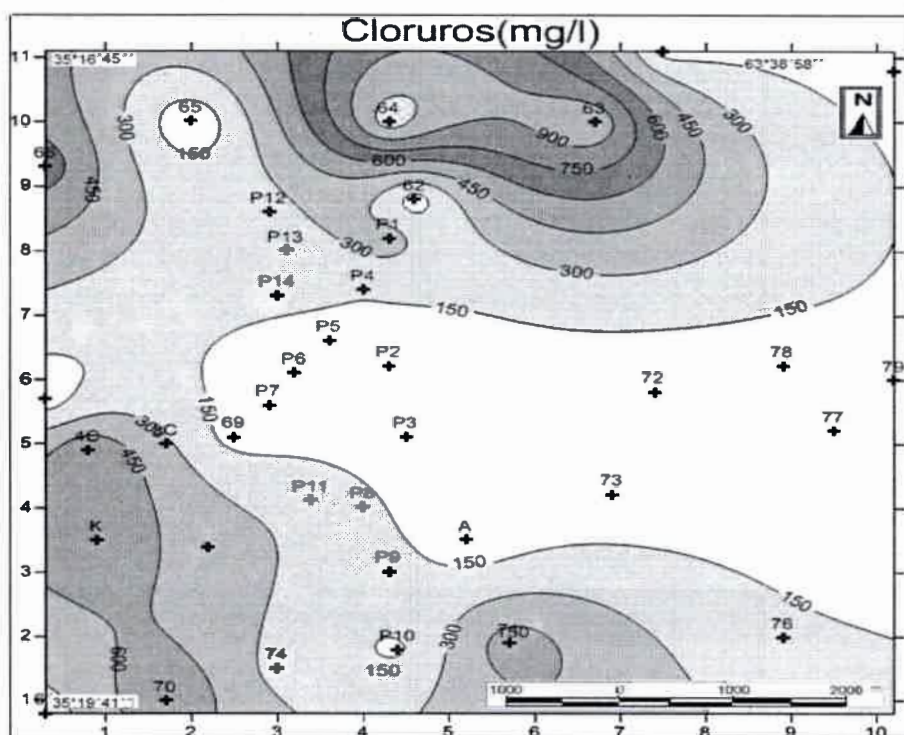


Figura 7.10 : Distribución espacial de Cloruros (mg/l)

Aunque está muy asociado al sodio, casi por lo general se encuentran en distintas concentraciones que son muy variables en nuestra zona de estudio, presentando un valor medio de 264,8 mg/l, un valor máximo de 1145 mg/l y mínimo de 22 mg/l.a.

Como se ha expresado en el comienzo de este punto, se encuentra una zona con bajos contenidos en este ión que está vinculada a la zona de recarga medanosa y es a partir de allí que sus concentraciones van aumentando considerablemente en el sentido del flujo subterráneo, para llegar finalmente a sus valores máximos en las zonas de descarga.

7.3.5.- Dureza:

El término dureza en el agua se refiere como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes en la solución y están referidos de manera principal a los iones de Calcio, Estroncio, Bario y Magnesio en forma de carbonatos o bicarbonatos. La Figura 7.11 muestra la distribución en el área.

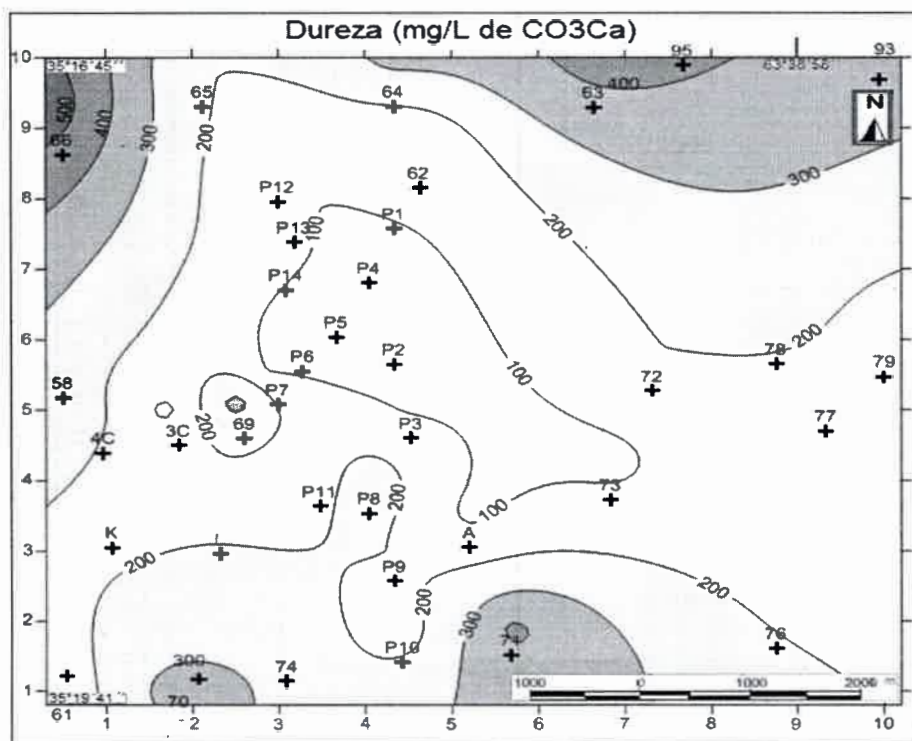


Figura 7.11: Distribución espacial de la Dureza

Se expresan de manera general, en equivalentes de carbonatos de calcio y constituye un parámetro muy significativo en la calidad del agua, ya sea para consumo humano, para riego, industria, etc, representando un verdadero inconveniente de incrustación en equipos industriales y/o domésticos, además su exceso puede resultar nocivo para la salud humana. Del análisis del mapa de Dureza puede verificarse que las muestras ubicadas hacia el Oeste de la zona estudiada presentan valores de Dureza que en términos medios son aproximados a 600 mg/L, valores del orden regional, que decrecen en la parte media donde tiene influencia la zona de recarga plena que presenta valores inferiores inclusive a 100 mg/L. En las áreas circundantes a éstas se observa un incipiente crecimiento, hasta llegar a la parte E y ENE donde se ubican las zonas de descarga, y nuevamente tiende a las características regionales.

7.3.6.- Sodio y Potasio:

Al igual que en los mapas anteriores se observa un incremento en los valores a medida que se avanza en la dirección del flujo subterráneo hacia las zonas de descarga, situación que se visualiza perfectamente de la Figura 7.12 .

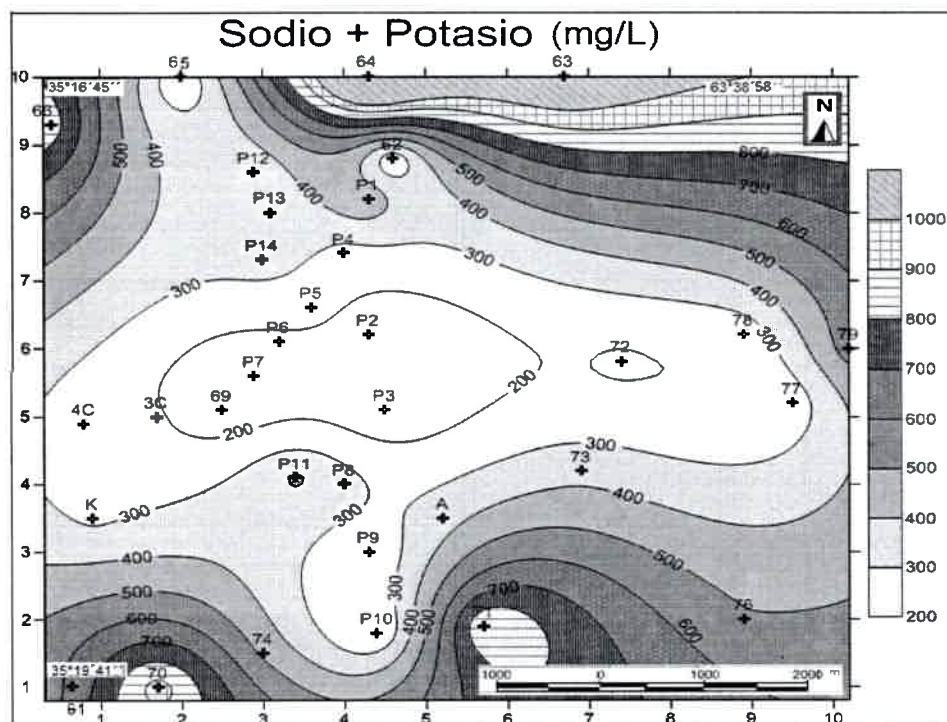


Figura 7.12: Distribución espacial de Sodio + Potasio (mg/L)

La importancia que reviste el Sodio en las aguas locales, ya sea para consumo humano, riego, consumo animal, etc, amerita un análisis geoquímico más profundo y detallado que intente demostrar la razón por la cual se encuentra en las zonas acuíferas en mucho mayor proporción que el K^+ , siendo que ambos álcalis se encuentran en similares proporciones en las rocas ígneas, de donde provienen.

Estos dos alcalinos tienen similitudes entre sí, pese a lo cual las concentraciones del Na^+ son mucho mayores que el K^+ de manera recurrente. Ambos son de carácter litófilo (Goldschmidt, 1922) y se encuentran en la zona externa de la corteza terrestre concentrados en las plagioclasas sódicas, feldespatos potásicos y biotitas.

En las zonas de meteorización, tanto Na^+ como K^+ son moderadamente alterables debido a que se han formado en un ambiente de alta presión y temperatura. Sus potenciales iónicos muy bajos, menores que tres, hacen que se mantengan en solución aún a pH elevado, presentando una gran movilidad que facilita un primer fraccionamiento.

En efecto, mientras el sodio, como CO_3Na_2 o CO_3HNa es transportado a las capas superiores llegando a la capa freática, el potasio es en gran parte retenido en los productos de la desintegración de los silicatos con los cuales forma arcillas potásicas (Illita).

Cuando observamos la tabla periódica de elementos tratando de encontrar los motivos de estos intercambios, vemos que ambos álcalis tienen idéntico estado de oxidación pero el radio iónico es muy distinto entre ambos. En ese sentido, el radio iónico del Na^+ es de 0.9 Å pero el del K^+ es casi el doble, 1.6 Å, es decir es mucho mayor. Ese sería entonces el motivo por el cual el K^+ es retenido y el Na^+ migre hacia las zonas superiores incorporándose a la capa freática. Y este, hipotéticamente, es un proceso muy común en el acuífero multicapa de la Fm. Cerro Azul donde presenta una gran cantidad de silicatos que sufren hidrólisis.

Por último, y en consonancia con lo manifestado precedentemente, diremos que la relación entre Na^+/K^+ en las rocas ígneas graníticas es de 0.6 ppm, en aguas superficiales de un arroyo 2,74 ppm, mientras que este valor se incrementa

notablemente en las aguas subterráneas, llegando en la zona de estudio a una media de 24,5 ppm, con valores máximos de 43,66 y mínimos de 13.58, tal cual surge de la Tabla 7.3.

Tabla 7.3 : Relación de las concentraciones de Na⁺/K⁺ en Zona de estudio

Pozo	Na+	K+	Na/K
1	477	11.7	40.76
2	109	7.8	13.97
3	106	7.8	13.58
4	253	8.5	29.76
5	247.2	10.7	23.1
6	166	7.8	21.28
7	107	7.8	13.71
8	322	15.6	20.64
9	207	11.7	17.69
10	184	13	14.15
11	398	13	30.61
12	310	7.1	43.66
13	360	9.1	39.56
14	322	15.6	20.64
Media			24.507
Max			43.66
Min			13.58

7.3.7.- Flúor:

La determinación de este elemento disuelto en el agua tiene una preponderante importancia ya que sus concentraciones constituyen el principal factor limitante en cuanto a su potabilidad. Además de ello y como lo atestiguan innumerables trabajos de índole hidrogeológico, es precisamente el acuífero alojado en sedimentos de la Formación Pampeana o Cerro Azul uno de los mayores portadores de flúor. En tal sentido, se intentará determinar el comportamiento del mismo en las aguas alojadas en el sector arenoso y el que le subyace correspondiente a la Formación Cerro Azul.

7.3.7.1: Comportamiento Geoquímico del Flúor:

La roca base, luego de tiempos geológicos en los que actuaron diversos procesos tanto químicos como físicos, dieron origen a los sedimentos que mas tarde y bajo condiciones favorables, formaron el acuífero. Algunos o varios de estos minerales contenían en su estructura importantes cantidades de flúor que por efectos del agua más tarde los liberó al flujo subterráneo.

El Flúor, desde el punto de vista geoquímico, es un elemento de tipo Sedimentófilo (Szadeckzy-Karddoss, 1959), presenta un potencial de ionización muy elevado, que por lo general forman aniones que combinan y conforman compuestos solubles que cristalizan a bajas temperatura siendo compatible con varias fases. Otra de sus cualidades es que su carácter litófilo (Goldschmidt, 1954) le confiere una tendencia muy marcada en asociarse de manera preferencial al oxígeno para formar parte de los silicatos.

En ese sentido, Robinson, *et al.*, (1946) ha señalado que; alteraciones de muscovita, biotitas y hornblenda, todos de frecuente aparición en cutting y sedimentos testigos de perforaciones en nuestra provincia y en particular en la zona de estudio; representan una fuente natural de Flúor. El horizonte de ceniza volcánica que puede observarse en la Figura 7.13, contiene una alta proporción de estos elementos y se encuentra en la zona de estudio.



Figura 7.13 : Horizonte de Ceniza Volcánica

Conviene recordar entonces que es el silicio el principal componente de los silicatos y que después del Oxígeno, es el elemento más abundante que existe en la corteza

terrestre y tiene una activa participación en el ciclo exógeno, lugar donde se está analizando la hidroquímica del agua y en el que juega un papel destacado en ciertos procesos sedimentarios y bioquímicos. Es justamente por ello que se ha creído conveniente citar esta característica de los silicatos ya que, en toda la región de estudio e incluso en una superficie que excede el marco de nuestra provincia, presentan entre sus sedimentos importantísimas cantidades de ceniza volcánica, siendo la misma, según Gonzalez Bonorino (1973) la fuente de aporte de más del 90% de O_2Si .

Los silicatos, tanto los que aporta la ceniza volcánicas como los integrantes de las rocas, son minerales formados a altas temperaturas. Desde el punto de vista geoquímico, los cambios que estos experimentan durante su meteorización son termodinámicamente exotérmicos debido a que liberan gran parte de la energía interna acumulada en los retículos cristalinos durante su formación a las altas temperaturas magmáticas o metamórficas para formar nuevos minerales en equilibrio ahora con las nuevas condiciones ambientales de la superficie o cerca de la superficie terrestre. Es decir que sufren una transformación química fundamental que es la hidrólisis y su agente esencial es el agua.

Esto evidencia el continuo proceso de intercambio químico con fijación de algunos elementos y liberación de otros que se llevan a cabo durante los procesos de lixiviación/infiltración que ocurre durante las precipitaciones, infiltraciones, humedad del suelo, etc y que evidentemente modifican la composición química del agua. Claro ejemplo de ello es que el agua de lluvia tiene un pH entre 5,4 a 6,5 es decir ácido y rápidamente cambia a $pH > 7$ e inclusive 8 y más aún después de los procesos de infiltración, tal como las muestras del presente estudio en las que un 95% superan un pH de 8.

Otro factor importante es que puede afirmarse que la fijación del Flúor en arcillas obedece al reemplazo de grupos OH^- con el consecuente cambio de pH de las soluciones percolantes (Castro, *et al.*, 1997). Si se tiene en cuenta la configuración sedimentológica del acuífero de la Formación Cerro Azul, (Linares, *et al.*, 1980) y/o La Pampa, (Giai, S, 1973), puede explicarse la presencia de este fenómeno en sectores acuíferos al E de Anguil(La Pampa), estudiados por el autor en oportunidad de efectuar la II Etapa de Exploración del Plan Director de Agua y Saneamiento para Santa Rosa. En efecto, se cree que el fenómeno de inversión de flúor (valores de 4 a 5 mg/l en la parte

arenosa superior y valores inferiores a 1 mg/l a 75 m de profundidad) en ese sector del acuífero se debe a la circunstancia descrita (Castro, *et al.*, 1989).

El comportamiento generalmente errático y hasta anárquico que generalmente muestra el Flúor demuestra la complejidad extrema sobre la determinación de su presencia y su predicción. Existen dificultades para relacionar las variaciones de las concentraciones de este elemento con los restantes iones mayoritarios en el agua debido a la anarquía de patrones de distribución en los acuíferos. Puede citarse a Usunof. E., 1988 a) y b), quien afirma que las variables principales que definen el mayor o menor grado de interacción del Flúor con el medio sólido, son: el pH, la solubilidad de minerales portadores de flúor, la composición de las soluciones percolantes, el intercambio de Fluoruros por grupos OH^- y la presencia y tipo de óxidos intervinientes.

Podría agregarse además, que es posible avanzar en el concepto del equilibrio parcial o local sobre la presencia del flúor en la zona estudiada, particularmente el área donde se encuentra la batería de pozos del servicio de agua potable y que en líneas generales presenta valores medios de alrededor de 1.33 mg/l, mientras que en su periferia existen valores muchos más elevados.

Ello podría explicarse mediante el postulado de Kraynov, (1980); quién indica que un sistema que regionalmente se encuentra en desequilibrio, como es el caso de varios acuíferos de nuestra provincia y este en particular, puede ser dividido o sectorizado en varias partes menores o celdas que cumplen con la condición de equilibrio químico en un momento dado. Estas zonas más pequeñas que se encuentran en equilibrio local, no están en equilibrio entre sí, lo que reflejaría el estado de desequilibrio general del sistema hidroquímico mayor. Y esto puede comprobarse fehacientemente en la parte medanosa central donde se concentran los pozos de explotación del servicio donde las aguas precipitadas son rápidamente incorporadas a la recarga. Sin embargo en las inmediaciones, más precisamente en la zona interdunal, donde se encuentran otros pozos a una distancia cercana a los 500 m, los valores de Flúor llegan a 2,18 mg/l, 2,5 mg/l, 4,3 mg/l, 2,5 mg/l y 3,4 mg/l respectivamente en captaciones con el mismo diseño y a las mismas profundidades .

Esta situación podría explicar los desequilibrios que presentan algunos acuíferos en nuestra provincia cuando en muy poca distancia y a las mismas profundidades, las

variaciones del Flúor son por demás significativas como para interpretarlas y relacionarlas solamente con variaciones temporales condicionadas por los efectos de las precipitaciones y/o explotaciones. En la Figura 7.14 se observa un esquema de la distribución espacial del Flúor y que en líneas generales responde al comportamiento de otras sales.

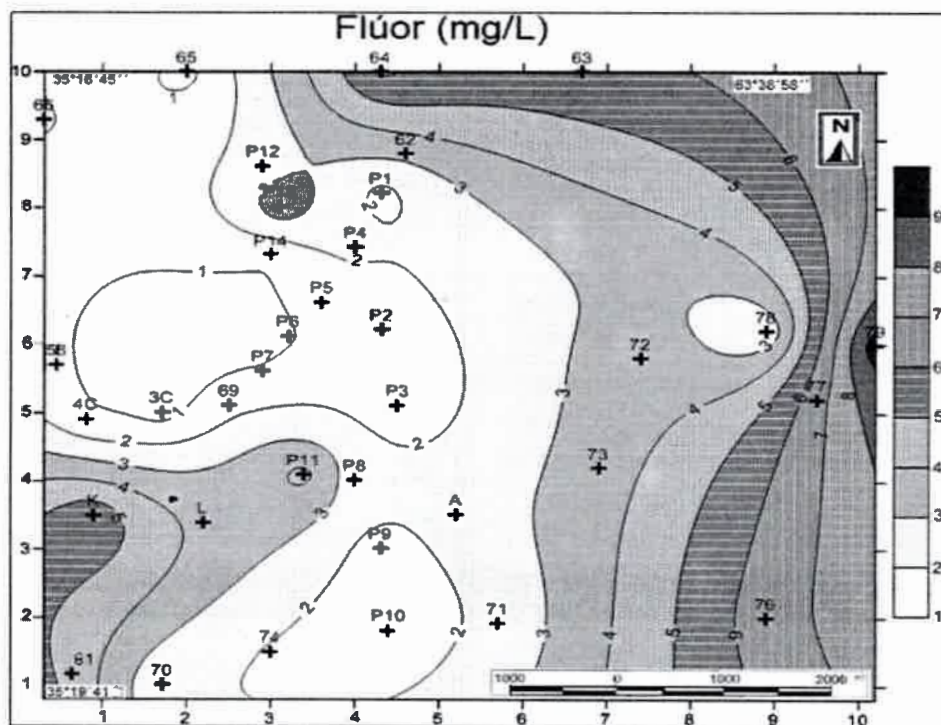


Figura 7.14: Distribución espacial del Flúor

No es sencillo establecer los mecanismos que gobiernan el aporte de sales por parte de los sedimentos que conforman la zona no saturada (ZNS) y zona saturada (ZS) al agua subterránea en el tiempo de contacto entre ésta y el material que la contiene. En este fenómeno deben contemplarse una serie de factores y parámetros tales como la alterabilidad de los materiales ante el agua, las condiciones climáticas, la química de las aguas de recarga, los tiempos de contacto, la sinuosidad del camino recorrido, los procesos biológicos que se han llevado a cabo en su transcurso, los parámetros hidrogeológicos tales como la Transmisividad, Permeabilidad y Coeficiente de Almacenamiento.

No obstante lo citado, se puede intentar una aproximación a un comportamiento patrón por parte del flúor en el presente estudio como se verá más adelante. En tal

sentido, de la totalidad de las muestras analizadas hay un 41% de las mismas que están por debajo de los límites permisibles para consumo humano (1,8 mg/L) de acuerdo a lo establecido por Ley provincial, un 23 % que se encuentran entre 2 y 3 mg/L y un 31% de muestras que presentan valores entre 3 y 6 mg/L .

No obstante lo manifestado precedentemente con respecto a lo errático de su presencia, puede observarse en la Figura 7.15 el comportamiento del flúor con respecto a la salinidad y la dureza, demuestra que podría existir alguna relación entre los mismos. La misma consistiría en que la gran mayoría de las muestras en la zona estudiada estarían dentro del rango entre los 300 a los 2000 mg/L de SDT y que dentro de esos valores de salinidad no existirían ciertos patrones que podrían permitirnos indicar una cierta relación entre estos elementos. Sin embargo a mayores valores de SDT, tanto el Flúor como la Dureza tienden a tener un patrón de estabilidad y una notable disminución.

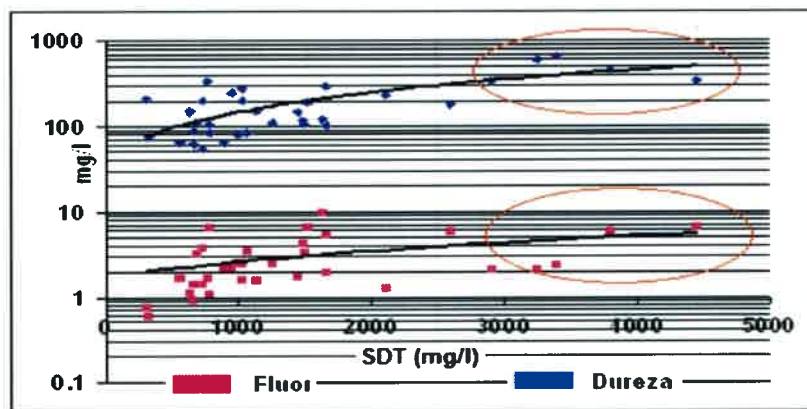


Figura 7.15: Relación entre SDT, Dureza y Flúor

Es decir que a partir de aguas con mayor salinidad, los valores de Flúor y Dureza tienden a asintotizarse después de salinidades de más de 3,5 a 4 g/L. Se podría decir entonces que a mayores salinidades el Flúor y la Dureza se estabilizan. Significa en consecuencia que la relación de la evolución química vertical entre los SDT con la Dureza y el Flúor es inversamente proporcional, ya que existe un ablandamiento de las aguas subterráneas con la profundidad para el primero y una disminución de valores con respecto a la profundidad para el segundo. Y esto es absolutamente compatible con lo tratado en puntos anteriores y además pone de manifiesto que los niveles limo-arcillosos existentes en el acuífero multicapa que

contiene las aguas del área de estudio producen un importante intercambio iónico en estos sectores que atenúan el pasaje de los iones del Flúor hacia niveles inferiores.

7.4.- RELACIONES IÓNICAS

Las relaciones entre los iones disueltos en el agua, pueden tener cierta relación con el terreno de donde proceden e indicarnos además la acción de fenómenos modificadores o cualquier otra característica específica (Custodio, *et al.*, 1976).

Esa ha sido la finalidad de abordar este punto ya que se cree que las relaciones iónicas de las aguas en estudio presentan características que merecen considerarse.

7.4.1.- Relación rMg^{++}/rCa^{++} :

Como se visualiza en la Tabla 7.4, presenta una relación media de 1,6, típico de aguas continentales, teniendo una relación máxima de 2,94 y mínima de 0,83. Es menester mencionar que, salvo una muestra, las restantes presentan relaciones superiores a 1 lo que estaría indicando la posible influencia de terrenos y/o sedimentos ricos en silicatos de magnesio. Además, valores superiores a 1 también indicaría fenómenos de precipitación de carbonatos.

Ambas circunstancias son razonables de suponer que ocurren en la zona, ya que el acuífero multicapa de la Fm. Cerro Azul (Linares, *et al.*, 1980) tiene como característica la cementación de tipo carbonática que presentan alguno de sus sedimentos.

7.4.2: Relación rK^+/rNa^+

Tal como se ha mencionado en puntos anteriores, no se hace discriminación entre los iones Na^+ y K^+ sino que se analiza Na^+ solamente. Los valores utilizados han sido del control de la batería de pozos de explotación que realiza periódicamente la Administración Provincial del Agua. En tal sentido, el valor Máximo es de 0,142, el Mínimo de 0,013 y el valor medio de 0,043. Es decir, en ningún caso ha superado el valor de la unidad. Al respecto cabe mencionar que esta relación, en realidad no tiene mucho interés hidrogeoquímico, sino mas bien ambiental, esto es que si hay mucha cantidad de fertilizantes con K^+ , este puede migrar al agua y la relación aumentar.

Tabla 7.4: Relaciones iónicas e índices Hidrogeoquímicos

Muestra	rMg/rCa	rSO ₄ ⁼ /rCl	rCl/rCO ₃ H	icb	SAR	rK/rNa
61	1.95	0.51	0.54	-2.8	23.3	
62	1.56	0.75	0.24	-4.46	8.6	
63	2.47	0.7	3.19	-0.75	24.2	
64	1.88	0.78	2.91	-0.92	33.9	
65	1.25	0.64	0.22	-13.17	6.1	
66	1.75	0.09	1.83	-1.01	16.2	
69	0.83	0.55	0.46	-1.11	3	
70	2.81	0.76	1.24	-1.52	22.6	
71	1.21	0.58	1.85	-1.59	15.5	
72	1.12	1.14	0.17	-6.08	5.8	
73	2.25	1.09	0.27	-7.79	17.5	
74	1.32	0.85	0.96	-2.04	12.1	
76	1.19	0.94	0.5	-3.4	16.2	
77	1.38	0.1	1.72	0.2	10	
78	2.01	0.2	1.725	0.15	6.5	
P1	1.87	0.73	2.14	-0.98	17.1	0.0144
P2	1.35	1.45	0.17	-6.01	5.9	0.042
P3	1.25	0.97	0.36	-2.28	5	0.043
P4	1.64	0.79	0.92	-1.36	13.8	0.042
P5	1.44	0.66	0.71	-2.87	13.2	0.093
P6	1.36	0.82	0.66	-2.25	9.1	0.027
P7	1.39	0.82	0.9	-0.78	5.1	0.043
P8	1.27	0.78	0.95	-1.82	11.5	0.028
P9	1.7	0.67	1.49	-0.51	6.4	0.033
P10	1.58	0.73	0.63	-1.35	6.5	0.041
P11	1.49	0.82	0.8	-1.44	16	0.019
P12	1.76	0.74	1.18	-0.98	12.9	0.013
P13	1.71	0.73	1.38	-1.45	15.6	0.142
P14	1.28	0.78	0.95	-1.82	11.5	0.028
3C	1.4	2.37	0.22	-13.22	8.6	
4C	1.88	0.78	3.58	0.39	6.5	
A	1.95	1.66	0.15	-7.03	10	
K	2.94	0.71	1.8	0.17	9.2	
Media	1.644	0.80879	1.11561	-2.7842	12.285	0.04346
Max	2.94	2.37	3.58	0.39	33.9	0.142
Min	0.83	0.09	0.15	-13.22	3	0.013

Valores expresados en meq/L

7.4.3: Relación rSO₄⁼/rCl⁻

Los valores determinados para esta relación oscilan entre 0,09 y 2,37, con un valor medio de 0,808. Se observa una gran variabilidad que podría interpretarse como que en un área bastante pequeña se producen rápidos cambios. De su valor medio, se puede deducir, en líneas generales que son aguas de lentos movimientos hacia las zonas de descargas, razonable con lo que se ha manifestado en capítulos anteriores y también aguas someras características de sectores medanosos-arenosos.

7.4.4: Relación $rCl/rHCO_3$

Esta es una relación muy útil debido a que nos indica el sentido del flujo subterráneo. Presenta como valor medio 1,1, valor máximo 3,58 y mínimo 0,15. Obviamente, el valor medio y mínimo corresponden a la zona de carga plena ubicada en la parte central del médano. El presente estudio servirá, sin dudas para replantear algunos criterios de ubicación de pozos, ya que para la época de construcción de los mismos no existía un análisis de las características del presente estudio. En efecto, se observa que el valor máximo de esta relación, 3,58, se encuentra en el punto correspondiente al Pozo 4 de Ceballos que estaría indicando que hasta esa ubicación llegan los filetes correspondientes a la zona de recarga ubicada a mas de 1500 m al E y se encuentran con los filetes que, desde el O, traen dirección del flujo regional y subyacen a la lente de agua dulce formada en la zona medanosa.

7.4.5: Índices de cambio de bases (icb) :

También llamado Índice de desequilibrio entre Cloruros y Alcalinos. En aguas subterráneas de tipo continental y con las caracterizaciones hidroquímicas propias de la zona de estudio, puede indicarse que cumplen con la generalidad y que no pueden visualizarse anomalías que llamen la atención. No obstante ello se observan dos muestras que presentan valores positivos y que, de merced a ello estarían indicando, de acuerdo a esta relación, aguas de origen marino o, en su defecto, con enormes y desmesurados contenidos en Ca^{++} y Mg^{++} , elementos éstos que intervienen fuertemente en la Dureza. Al respecto se han verificado los análisis físico-químicos y las metodologías de cálculo para este índice y no se han podido establecer razonamientos que presenten cierta coherencia como para explicar los valores de icb de estas dos muestras identificadas como las 77 y 78, que si bien son claramente continentales, podrían presentar anomalías ambientales debido a la mayor llegada de

estos iones por tareas ganaderas y/o fertilizaciones bastante comunes en ese establecimiento rural, según manifestaciones de su encargado.

7.5.- FUERZA IONICA Y CALCULO DE SOLUBILIDAD

7.5.1.- Fuerza iónica

Se han efectuado algunas correcciones en las concentraciones totales de los iones para el cálculo de la solubilidad, recordándose que la actividad de un ion está vinculada con la concentración molar a través del coeficiente de actividad de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$a_i = \gamma_i \times m_i ,$$

donde:

a_i = actividad (adimensional)

γ_i = factor de actividad (adimensional)

m_i = molalidad

La determinación del factor de actividad dependerá entonces de la fuerza iónica (I) siendo este valor el que describe el número de cargas eléctricas que están presente en la solución que provoca una reactividad reducida de los iones. Ello amerita su cálculo, siendo la ecuación para efectuarla la siguiente:

$$I = \frac{1}{2} \sum m_i \times z_i^2 ,$$

donde: I = Fuerza ionica , m_i = molalidad y z_i = carga del ion

De acuerdo a Appelo, *et al.*, 1993, la mayoría de las aguas dulces adoptan valores en el orden de 2×10^{-2} , lo que coincide perfectamente con las aguas analizadas en la zona de estudio quienes entran en ese rango tal como se observa en la Figura 7.16, que están todas en el orden de 10^{-2} . Estos valores de fuerza iónica determinan que sea factible el empleo de la ecuación de Davies, para el cálculo del coeficiente de actividad (γ_i) cuya ecuación es posible aplicarla dado que es válida hasta $I \cong 0.05$ (Stumm and Morgan, 1996 y Appelo, *et al.*, 1993).

$$\log \gamma_i = -Az_i^2 \left(\frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0.3I \right),$$

Siendo A = coeficiente que depende de la Temperatura

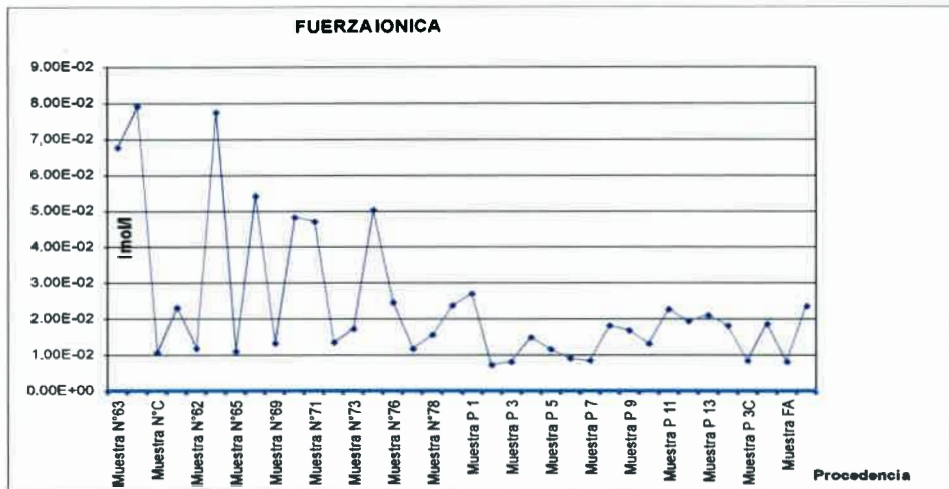


Figura 7.16: Fuerza iónica

Como puede observarse en la Figura 7.16, cinco muestras superan el valor de $I > 0.05$ y corresponden a las Muestras 63, 100, 64, 66 y 74 respectivamente mientras que el resto está por debajo de este valor, la media aritmética de I en el área quedó definida en 0.02 mol/l, tal cual se especifica en la Tabla 7.5, todos ellos valores típicos de aguas dulces (Stumm and Morgan, 1996 y Appelo et al, 1993).

7.5.2.- Índices de saturación

Además de la fuerza iónica y los factores de actividad, mediante el software PHREEQC, versión 2.18.00 (Appelo et al, 2007) se determinaron también los índices de saturación, Tabla 7.5, de los minerales Calcita, Dolomita, Aragonita, Anhidrita y presión parcial de anhídrido carbónico. Los índices de saturación fueron calculados empleando una escala logarítmica según la expresión:

$$IS = \log \left(\frac{IAP}{K} \right) \text{ donde: } K = \text{Producto de solubilidad,}$$

$$IAP = \text{Producto de actividad iónica}$$

Tabla 7.5: Índices de Saturación

Muestra	Anhidrita	Aragonita	Calcita	CO2(g)	Dolomita
63	-1.5	1.17	1.17	-3.63	3.15
100	-1.5	0.17	0.32	-2.2	1.14
C	-2.7	-0.17	-0.02	-2.62	-0.15
61	-2.51	0.05	0.2	-2.46	0.82
62	-2.7	0.28	0.42	-2.95	1.19
64	-1.47	0.24	0.38	-2.45	1.16
65	-2.84	-0.07	0.07	-3.01	0.38
66	-1.3	0.44	0.58	-2.34	1.53
69	-2.06	0.14	0.29	-2.35	0.63
70	-1.75	0.27	0.41	-2.33	1.4
71	-1.38	0.3	0.44	-2.21	1.09
72	-2.36	0.1	0.24	-2.44	0.67
73	-2.82	0.71	0.85	-3.46	2.22
74	-1.24	-0.04	0.11	-2.5	0.44
76	-1.99	0.66	0.81	-2.82	1.82
77	-2.64	0.17	0.31	-2.73	0.91
78	-2.23	0.83	0.97	-3.3	2.39
79	-2.44	0.32	0.47	-2.45	1.4
P1	-2.01	-0.24	-0.1	-2.78	0.21
P2	-2.87	-0.29	-0.14	-2.92	-0.03
P3	-2.61	-0.18	-0.04	-2.93	0.14
P4	-2.51	0.04	0.19	-3.28	0.71
P5	-2.69	-0.01	0.13	-3.34	0.55
P6	-2.67	0.07	0.21	-3.54	0.69
P7	-2.47	-0.11	0.04	-3.42	0.35
P8	-2.1	0.09	0.24	-2.86	0.7
P9	-2.02	0.01	0.16	-2.94	0.67
P10	-2.26	0.14	0.29	-2.86	0.9
P11	-2.13	0.21	0.35	-2.73	1
P12	-2.23	0.19	0.33	-3.14	1.03
P13	-2.21	0.12	0.27	-3.16	0.89
P14	-2.1	0.09	0.23	-2.86	0.7
3C	-2.71	-0.44	-0.29	-2.96	-0.31
4C	-1.92	0.09	0.24	-2.91	0.88
FA	-2.61	0.31	0.46	-3.08	1.34
FK	-1.94	0.1	0.24	-2.76	1.07

El índice de saturación ha permitido discernir sobre el estado de saturación del mineral considerado, pudiéndose éste encontrar en tres estados a saber: saturado, subsaturado o en equilibrio. En los casos que el IS adopte valores muy altos, se dice

7.5.3.- Hidroquímica de los Carbonatos

De la observación directa de los resultados de los análisis físico químico y los cálculos realizados, se podría decir que, gran parte de la química del agua observada en la zona podría estar controlada por minerales carbonáticos.

En ese sentido, a modo de ejemplo, se observa cómo se eleva proporcionalmente el calcio (Ca^{+2}), Figura 7.19 y los bicarbonatos (HCO_3), Figura 7.20 con relación a los SDT. En el caso del ion calcio la tendencia al aumento está menos acentuada que la del ion bicarbonato. Ello probablemente podría corresponder a algún proceso químico, como por ejemplo haber alcanzado el KPS que daría como resultado la precipitación de calcita, sin dejar de considerar que los procesos de intercambio de iones y de hidrólisis de silicatos también deben ser importantes en el área.

En las Figuras 7.18 y 7.19 se visualiza este aspecto citado precedentemente, en el sentido de ver como a medida que aumenta la concentración de los SDT, también

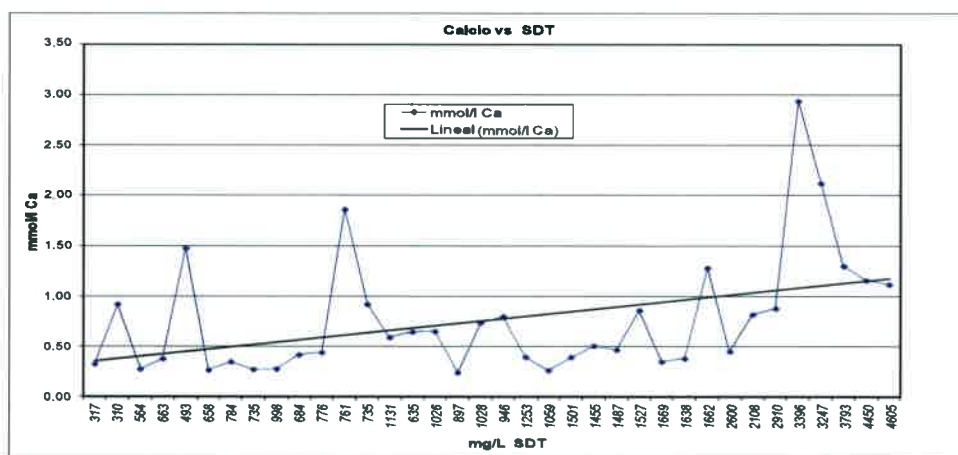


Figura 7.18: Relación proporcional Ca^{++} vs SDT

aumentan las concentraciones de Ca^{+2} y HCO_3^- como resultado de la interacción del agua subterránea con los carbonatos del acuífero.

La presencia de calcretas (Toscas) o rocas carbonáticas dominantes en la zona, es un fenómeno ampliamente comprobado en la región, donde principalmente estarían compuestas por minerales como calcita preponderantemente y aragonita, además de la presencia, aunque en menores proporciones, de otros minerales.

También se los encuentra de forma pulverulenta en la masa sedimentaria o simplemente como calcretas (Toscas).

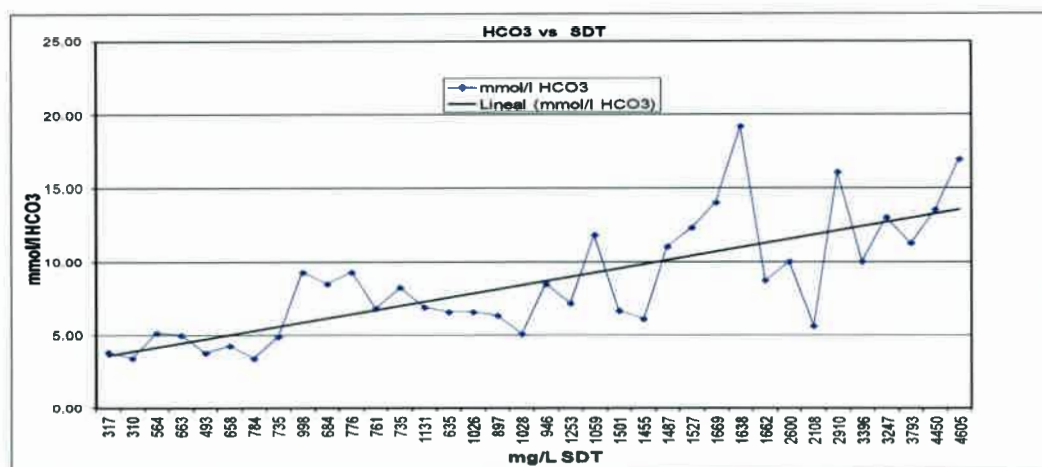
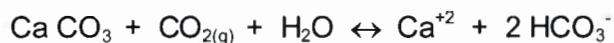


Figura 7.19: Relación proporcional entre CO_3H^- vs SDT

7.5.3.1.- Sistemas de disolución

Las reacciones de disolución de la calcita pueden representarse mediante la siguiente reacción:



En esta ecuación la fuente de dióxido de carbono, en el caso de que el sistema sea abierto, será permanente por lo tanto ($p\text{CO}_2 = \text{Constante}$). En cambio, si el sistema es cerrado esta consideración no sería válida.

La caliza cuyo origen es sedimentario está compuesta generalmente por el mineral calcita (CaCO_3) o por su polimorfo aragonita. La presencia de aragonita debido a su carácter inestable, es un indicador de materiales de formación reciente. La dolomía se corresponde con una roca sedimentaria pero contiene el mineral dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)$) y es de mucha frecuencia su aparición en la Formación Cerro Azul (Linares, *et al*, 1980).

La formación de este último mineral se realiza por sustitución metasomática del calcio por magnesio como consecuencia de la acción de soluciones ricas del segundo elemento.

Otra reacción de interés en la zona de estudio que será considerada es la reacción de calcitización (Dedolomitización). En ella interviene el yeso que es muy común y se diría de constante observación en niveles acuíferos de la formación Cerro Azul (Linares et al, 1980), el cual al reaccionar con dolomitas provocaría también la precipitación de calcita. La reacción será entonces:



Esta reacción muestra que cuando interviene el yeso y la dolomita, debería esperarse no solo precipitación de calcita, si no también aumento de calcio, magnesio y sulfato, que es lo que se observa en el área, particularmente en zonas de descarga hidráulica. Figura 7.20.

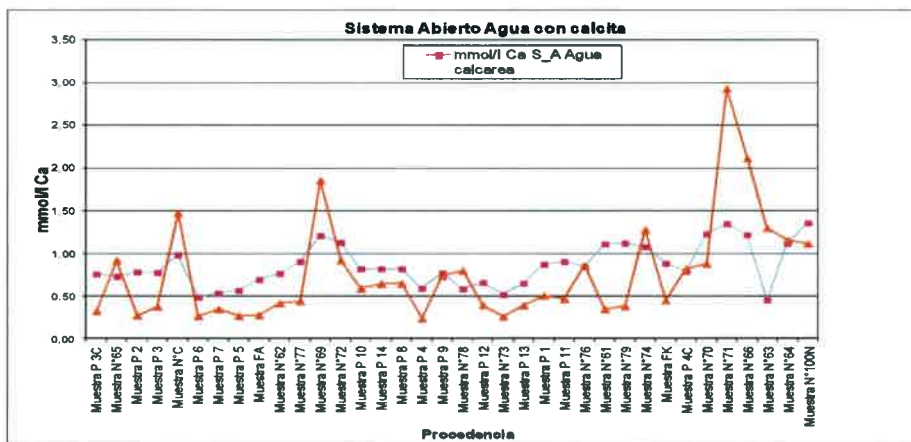


Figura 7.20: Sistema abierto con Calcita

Sabiendo que el sistema es abierto se realizan las siguientes consideraciones: a) Que el agua disuelva solo carbonatos con el mineral calcita o, b) que el agua disuelva carbonatos solo con el mineral dolomita (Figura 7.21).

Del resultado de la modelización, se puede observar que los valores de laboratorio, Tabla 6, contrastados con los valores de calcio modelizados, asumiendo que el sistema es abierto y el mineral es calcita, que describe relativamente bien los valores de calcio que provienen de un análisis de laboratorio en mmol/l Ca.

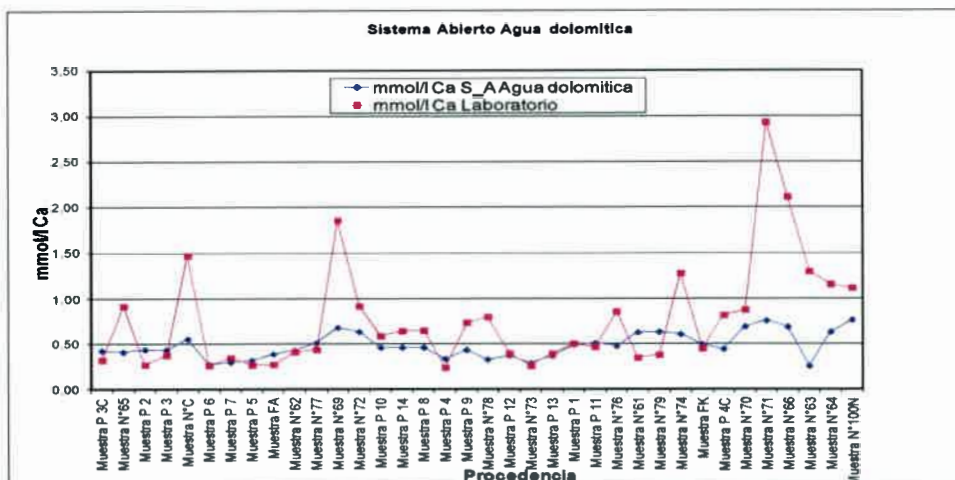


Figura 7.21: Sistema abierto con Dolomita

En el sistema abierto con Dolomita, se puede apreciar que los valores bajos de calcio se describen mejor con este modelo, aunque los picos y los valores altos se ajustan mas a un agua que ha disuelto el mineral calcita. Estas observaciones podrían explicar la coexistencia de minerales calcita-dolomita provenientes de niveles sedimentarios muy cementados con carbonatos y yeso en el área, típico de algunos niveles acuíferos de la Formación Cerro Azul y/o Pampiano (Giai, 1973).

Si bien es cierto que las consideraciones efectuadas podrían explicar y caracterizar los distintos tipos de aguas donde exista la predominancia de uno u otro mineral, resulta aún por demás confuso poder definir con exactitud razonable el tipo de agua de que se trata.

7.6.- DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

De acuerdo a lo expuesto entonces, se puede determinar que el primer fenómeno que ocurre es que el agua de lluvia en su tránsito de infiltración incorpora iones tales como yeso, carbonatos y silicatos, y que a medida que percola y se desplaza en el sentido de flujo disuelve iones de calcio, magnesio, carbonatos y sulfatos que son los principales que determinan el quimismo del agua subterránea en la zona. En el transcurso de la circulación, el agua que contiene sulfatos reacciona con el agua cargada con bicarbonato produciendo una reacción de calcitización. Ello determina que los iones calcio, magnesio y sulfatos aumenten y junto a ello precipite calcita tal cual queda reflejado en el elevado IS (0.3).

Según el modelo planteado, una parte del calcio debería provenir del yeso lo que trae como consecuencia que si los iones calcio y sulfato se restaran y si solo fuera calcio proveniente del yeso, su diferencia debería ser cero (de acuerdo a Appelo, 1993), en función de que la disociación es mol a mol como lo expresa la ecuación correspondiente.

Debido a que existen diversas fuentes de iones Ca^{+2} y dado que el agua transita por distintas litologías, se concluye en emplear una forma de clasificación de agua que contemple el remanente de calcio, es decir el calcio que no se debe al yeso y a su vez vincular este remanente con el ion magnesio (Appelo, *et al* 1983). Con este procedimiento es posible definir el tipo de agua considerando las distintas fuentes de calcio.

Según lo considerado deberá emplearse para la clasificación del agua el calcio calculado = $\text{Cac} = m\text{Ca} - m\text{SO}_4$. Finalmente se empleará la diferencia entre el magnesio y el calcio calculado ($\text{Mg} - \text{Cac}$) vs la conductividad eléctrica (Appelo, *et al.*, 1983) para determinar el tipo de agua asociada a la litología.

La Figura 7.22, muestra que según aumenta la conductividad eléctrica aumenta los valores de la diferencia, es decir son directamente proporcionales. Esta proporcionalidad es lógica si existe un aumento de sulfatos por precipitación de calcio y/o por efectos de un proceso de calcitización en el que si bien también aumenta el calcio, el sulfato crece dos veces más que el calcio.

Como se observan en los análisis, se trata de un agua con altas conductividades y con un contenido alto de sulfatos y parte del calcio liberado en la disolución del yeso precipita como calcita (Appello, *et al* , 1983) y los valores de la diferencia $\text{Mg} - \text{Cac}$ se elevan, tal cual se observa. No obstante este proceso, es menester mencionar aquí la importancia de la hidrólisis y consecuentemente los intercambios iónicos que devienen de ella.

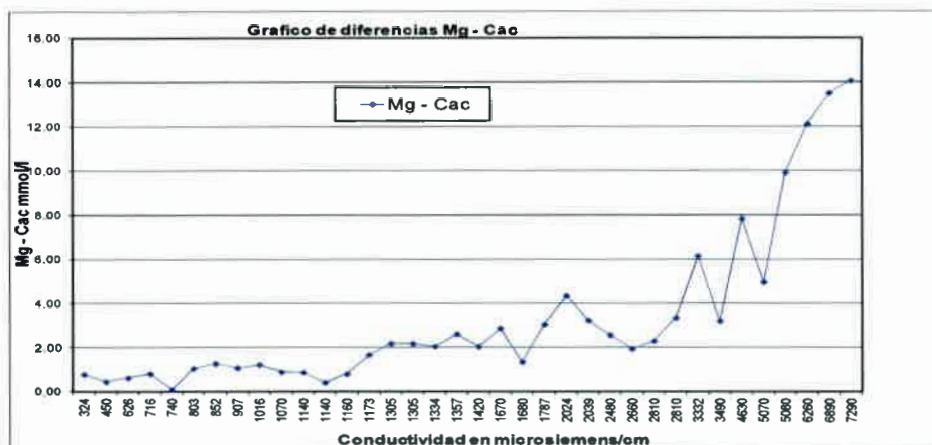


Figura 7.22: Relación Magnesio – Calcio vs Conductividad calculado

En efecto, una parte del calcio paso a las posiciones de intercambio en arcillas de las que salió el sodio por hidrólisis justificando de esta manera su mayor presencia y aumento en el sentido del flujo.

Queda definida así un agua dolomítica con precipitación de calcita. Estas aguas se caracterizan por tener elevada conductividad e IS entre 0.3 y 0.7.

7.7.- CONSIDERACIONES FINALES SOBRE EL MODELO HIDROQUÍMICO

Han quedado definida en el área valores promedios de IS de calcita de 0.3; anhidrita -2.21; aragonita 0.16; dolomita 0.94 y una presión parcial de anhídrido carbónico de -2.85 unidades logarítmicas. La fuerza iónica promedio se estableció en 0.02 mol/l típico de aguas dulces.

Se estima que se trata de un sistema abierto con mezclas de aguas debido a las diferentes litologías por las que transitan las mismas y a sedimentos detríticos en cuya mineralogía dominan los silicatos y presentan sectores, por ejemplo en varias partes de la Fm Co Azul (Linares, 1980) muy cementadas con carbonatos, yesos, etc, que son las que determinan la existencia de iones Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{-2} y HCO_3^{-}

Se ha definido un tipo de agua como dolomítica con precipitación de calcita, donde existirían además dos procesos que estarían actuando en forma simultánea: a) por un lado la disolución de yeso liberaría iones calcio al agua que precipitan como calcita y b) por otro lado un proceso de calcitización que provoca también precipitación

de calcita con un aumento consecuente de Ca^{+2} , Mg^{+2} y SO_4^{-2} . Como consecuencia de estos dos procesos y dependiendo de qué reacción sea la predominante, el ion Ca^{+2} podría mantenerse relativamente constante debido al precipitado de calcita o bien podría tener una tendencia al aumento por una reacción de calcitización. Relacionado a ello y de acuerdo a lo expuesto hasta aquí, es evidente entonces que los procesos de intercambio iónico e hidrólisis deben tener una relevancia preponderante que amerita una consideración particular.

7.7.1.- Consideraciones sobre la Hidrólisis e Intercambio iónico en el área de estudio

El agua de lluvia que se infiltra en el suelo, rica en CO_2 tomado y disuelto de la atmosfera, mas los ácidos húmicos encontrados en la superficie, actúan como un agente químico activo sobre el carbonato de calcio disperso en el suelo, produciendo la solubilización del mismo (Custodio, 1991). Se forman así bicarbonatos de calcio que no son estables y existen solo en solución acuosa en presencia de cierta cantidad de ácido carbónico libre. Una disminución de este último compuesto produce la precipitación en forma de carbonatos. La disminución de ácido carbónico libre puede ocurrir por calentamiento y evaporación de agua o cambio en los contenidos de CO_2 en el aire en contacto con el agua durante la lixiviación.

Las reacciones de hidrólisis son muy importantes en los procesos de alteración de minerales y algunos tipos de alteraciones son el resultado de distinto grado de hidrólisis de los minerales constituyentes de las rocas. Todas estas reacciones implican un empobrecimiento de H^+ y consecuentemente un aumento del pH de la solución (Miotke, 1971). Cabe destacar que en la mayoría de las reacciones de hidrólisis producen como subproducto SiO_2 y esta es la razón porque el cuarzo es omnipresente en rocas alteradas.

La factibilidad y/o perspectiva de la presencia de intercambio iónica en un medio depende de ciertas característica de los sedimentos que constituyen un acuífero y de los elementos disueltos que componen el agua y que se encuentran en contacto con aquel. Al respecto, autores como Toran, *et al.*, (1999), estiman que uno de los principales procesos que da origen a aguas subterráneas de facies bicarbonatadas sódicas son los sedimentos de tipo loésicos, descritos en todos los capítulos de la

presente tesis. Si bien la composición mineralógica de los diversos depósitos de loess del mundo se encuentra relacionada con el lugar de procedencia de los materiales transportados eólicamente y de la coexistencia de procesos eólicos con otros tales como los volcánicos capaces de aportar grandes cantidades de partículas sólidas a la atmósfera, lo cierto es que el loess presenta en la mayoría de análisis mineralógicos efectuados porcentajes de más del 30% de Cuarzo, 25% de Feldespatos, 21% de Biotitas y Muscovitas, 6% de Hornblendas y Calcedonia, 2% de Pumicita, otros minerales de acuerdo a Lobdell (1981).

Frenquelli (1925) estableció que en el loess de la Fm Pampiano y/o posteriormente Fm Cerro Azul (Linares *et al.*, 1980) predominan materiales derivados de un intenso proceso de descomposición hidrolítica, obviamente producido por la hidrólisis de silicatos solubles, y abundantes partículas de cenizas volcánicas constituido por vidrios con estriaciones, burbujas e inclusiones gaseosas. Los silicatos solubles representan, según dicho autor al menos un 30%, siendo de naturaleza zeolítica y considerados por otros autores (Kantor, 1922) como simples sustancias hidratadas derivadas de la hidrólisis de feldespatos, piroxenos, hornblenda, micas y vidrios volcánicos.

Con la finalidad de averiguar la capacidad de intercambio iónico en estos niveles loessicos, Mariño, 2007, determinó en pozos de General Pico (La Pampa), en un área vecina a la zona de estudio de esta tesis, que el mayor intercambio iónico se localizaba en los niveles superiores de la Fm Cerro Azul, poniendo en evidencia que dicho intercambio desempeña un rol preponderante en la definición de la composición del agua subterránea, y que el incremento de la concentración media del sodio entre distintos tipos de agua y la evolución catiónica observada resulta en un proceso que aporta sodio al agua subterránea durante su tránsito por el acuífero en el sentido del flujo.

En la zona estudiada y tal como se ha visto en capítulos anteriores, los resultados de los análisis granulométricos han indicado que en los niveles superiores se encuentran hasta los 8 m preponderantemente fracciones de arenas fina a media, debajo de la cual se encuentran arenas más gruesas y que el loess recién se encuentran en la parte superior de la Fm Cerro Azul (Linares, *et al.*, 1980) entre 9 y 12 m de profundidad.

Exactamente, en el área de estudio de la presente tesis, se estima que el proceso de intercambio iónico también desempeña un rol preponderante. En ese sentido es de citar que, pese al elevado coeficiente de correlación entre el sodio y el cloruro (0.935) que a primera vista estaría indicando cantidades equilibradas entre ambos, es indudable que en algún lugar del sistema hay un aporte adicional de sodio en el sentido del flujo que estaría vinculado a los procesos del intercambio iónico. Quiere decir entonces, que en la zona los procesos de hidrólisis e intercambio iónico han sido sumamente importantes en el quimismo de las aguas, particularmente si los relacionamos con aguas de las zonas de recarga y su evolución en el sentido de la conducción y la descarga.

Sin lugar a dudas, estas circunstancias deberán en el futuro estudiarse con mayor detenimiento, profundidad y detalle.

CAPITULO 8

GESTION, CALIDAD Y USOS DEL AGUA

8.1.- INTRODUCCION

8.2.- GESTION DE AGUA EN LA PAMPA

8.3.- DEMANDA PARA USOS URBANOS

8.3.1.- Evolución de la población de Intendente Alvear

8.3.1.1.- Criterios de proyección adoptados

8.3.1.2.- Evolución de las conexiones domiciliarias

8.4.- DEMANDA PARA USO RURAL

8.4.1.- Demanda agrícola

8.4.2.- Dotaciones para usos ganaderos

8.5.- CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

8.5.1.- Variaciones temporales de elementos químicos en el agua potable

8.5.1.1.- Evolución temporal de los SDT en T1 y T2

8.5.1.2.- Evolución temporal del Flúor en T1 y T2

8.5.1.3.- Evolución temporal del Arsénico Total en T1 y T2

8.6.- CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS PARA DISTINTOS USOS

8.6.1.- Consumo humano

8.6.2.- Consumo ganadero

8.6.3.- Riego

8.7.- SOBRE LA NECESIDAD DE UN MARCO REGULATORIO

GESTION, CALIDAD Y USOS DEL AGUA

8.1.- INTRODUCCION

Un rápido repaso en la larga historia de la humanidad permitirá comprobar que los asentamientos de grupos humanos siempre han estado relacionados con la existencia y/o cercanías de cuerpos superficiales de agua para consumo. Estos cuerpos de agua, han sido y son un elemento esencial para la vida. Tan es así, que mas del 75% de la célula viva, animal o vegetal, está constituida por agua y una fácil o difícil disponibilidad de este recurso ha condicionado el desarrollo de las culturas a través de la larga historia registrada del hombre y de su evolución como raza humana y lo seguirá siendo, a no dudarlo, en las generaciones futuras dado que el aumento de la población conlleva implícita una proporcionalidad directa con el aumento de su consumo y mayor presión a este vital recurso.

Mas aquí en el tiempo, pero también desde épocas antiguas, las aguas subterráneas han sido utilizadas por el hombre al que permitieron, en particular en las zonas con clima árido o semiárido, atender las necesidades básicas de la población como así también la de crear una agricultura algo más diversificada que la de subsistencia, originando sistemas de organización cada vez más complejos formando parte esencial de la inmensa mayoría de las actividades económicas. Estos aspectos y más en el tiempo moderno, otorgan especial importancia a los problemas ambientales vinculados al agua. Dichos problemas están relacionados básicamente a la calidad y cantidad de agua, enfocados desde dos puntos de vista: a) la ecológica propiamente dicha y b) la que considera al agua como un recurso o bien económico. Más allá de la valoración y perspectiva que cada componente social le otorgue a cada uno de estos aspectos, lo cierto es que la preocupación debe acentuarse en la importancia ambiental que reviste y la acción del hombre debe enfocarse en la preservación del recurso basado principalmente en la escasez y deterioro del mismo.

8.2.- GESTIÓN DEL AGUA EN LA PAMPA

La debilidad de las leyes vigentes en la Provincia de La Pampa repercute negativamente en la región porque no cumplen con los objetivos propuestos y la mayoría de ellas no se ponen en vigencia ni se reglamentan, transformándose en letra

muerta (Balestri, et al, 2009). En consecuencia, distintas instituciones sobreponen atribuciones y eluden responsabilidades y así, cada institución constituye su propio hábitat, con sus propias políticas, actividades, decisiones y objetivos. En consonancia con ello, las legislaciones vigentes que involucran al recurso, no pueden dar respuesta a los requerimientos que suscitan las nuevas organizaciones territoriales, tampoco a las profundas transformaciones experimentadas por la sociedad, los adelantos tecnológicos, la presión de la demanda y la creciente conciencia ecológica (Schulz, 1998).

Una prueba de ello es la cantidad de legislación que ha sido promulgada hasta la fecha en la provincia, con variado rango normativo, en un intento a veces infructuoso de acomodarse a las cambiantes circunstancias socioeconómicas, culturales, políticas, geográficas e incluso de supervivencia particularmente de organismos, como en los casos puntuales de sobreexplotación, contaminación de acuíferos y acuíferos interprovinciales. En algunos casos, los Recursos Hídricos Subterráneos carecen de un marco legislativo uniforme con criterio integral, donde no se alcanza a regular los aspectos que en la actualidad no poseen legislación o que, la existente resulta insuficiente y con una disparidad de realidades muy contrastantes, fundamentalmente entre aquellas comarcas con poca tradición en el uso de aguas subterráneas (Schulz, 1998).

8.3.- DEMANDA PARA USOS URBANOS

Se engloban en esta categoría los usos domésticos, comerciales, de pequeñas industrias y públicos o municipales (parques, escuelas, hospitales, etc.), es decir todos aquellos actores que componen la comunidad. La cantidad de agua utilizada en un hogar depende en general del tamaño de la familia, de su nivel de renta, del clima, del precio o tarifa, de la presión de la red, de que haya o no contadores domiciliarios y/o medidores de caudal, es decir de un conjunto de factores cuya influencia ha sido analizada en diversos estudios (Howe, et al 1967). Un estudio de población resulta de gran importancia si se intenta iniciar programas de desarrollo económico y social y, fundamentalmente, proyectar los volúmenes de agua a proveer. Todo estudio demográfico entonces debe estar vinculado al complejo sistema de relaciones del cual es consecuencia: la estructura económica, las posibilidades del medio, la organización social, las decisiones políticas, etc. De allí que el estudio de la dinámica demográfica, que

pretende realizar estimaciones de crecimiento poblacional, debe tener en cuenta estas variables.

8.3.1.- Evolución de la Población de Intendente Alvear.

8.3.1.1.- Criterios de Proyección adoptados:

El crecimiento demográfico de un ámbito geográfico es el resultado en de la acción conjunta de dos procesos: el crecimiento vegetativo y el movimiento migratorio.

El crecimiento vegetativo es la diferencia entre los nacimientos y las defunciones ocurridas durante el lapso analizado, mientras que los movimientos migratorios responden a las diferencias entre entradas y salidas de personas durante el mismo período. El proceso de crecimiento es de naturaleza muy compleja por intervenir un número muy grande de variables de difícil valoración al estar relacionadas con la actividad humana futura, poniéndose en juego los factores económicos, políticos y sociales que ocurran en el propio lugar, en el entorno, en el contexto nacional e incluso en el internacional. En consecuencia obtener una proyección que se pueda ajustar a la realidad es prácticamente de imposible realización, siendo su certidumbre inversamente proporcional al lapso de la predicción.

Los métodos estadísticos de proyección más empleados evalúan a la población futura mediante el análisis de la evolución ocurrida en el pasado. En ese sentido, es de destacar que para el caso de la localidad de Intendente Alvear, el análisis de la expansión histórica permite ver que las migraciones son mucho más importantes que el crecimiento vegetativo, lo que dificulta aún más el acierto de la proyección.

Es por ello, que se han seleccionado dos de los procedimientos estadísticos más frecuentemente utilizados: el de las tasas de crecimiento medio anual decreciente y el de la curva logística, tipo "S". En dichos métodos estadísticos vivariados se emplean fórmulas matemáticas donde intervienen las poblaciones de los últimos censos nacionales (1960 hasta el 2001, y proyecciones hasta el 2020) ya que aun no hay datos procesados y publicados del censo del 2011, salvo los de cantidad de habitantes consultados al organismo competente. Dichas ecuaciones son las siguientes:

Tasa Crec. Medio Anual Decreciente

$$i = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1/n} - 1$$

Siendo

P_2 = Población Final del Período

P_1 = Población inicial del Período

n = nº de años transcurridos

Método de la Curva Logística S

$$P_t = \frac{1}{1 + e^{-t}}$$

P= Población y la función exponencial logística se define como: e es la cte de Euler y t= tiempo (para valores de t en números reales desde -8 a 8)

A los efectos de los objetivos que ésta tesis persigue, se ha estructurado el análisis a partir de los siguientes ejes:

- * Evolución de la población a partir de 1969, fecha a partir de la cual se cuenta con servicios de provisión de agua potable a la localidad, hasta la actualidad.
- * Cambios en la estructura demográfica
- * Proyección del crecimiento de la población hasta el año 2020 según distintos cálculos.

Independientemente de las variables que se utilicen, los estudios de población, están condicionados en cierta medida a la información que proporcionan las siguientes fuentes:

- * Censos de Población (Nacionales, Provinciales)
- * Encuestas
- * Otras estadísticas (Estadísticas Sanitarias, Registro Civil, etc.)

Del análisis de los censos de población, se puede deducir que se ha producido en la localidad un crecimiento de población sostenido, no presentando picos de crecimiento que alteren mayormente la curva.

La evolución de la población está vinculada al impacto producido por las políticas de acción directa. Si se compara con otras localidades de la provincia, ubicadas en áreas con condiciones naturales similares, el crecimiento en esta localidad ha sido superior y continuo. En las Tablas 8.1 y 8.2 y Figuras 8.1 y 8.2 podemos observar una descripción de la proyección de la población mediante el método de tasas decrecientes y método de la Curva Logística tipo S.

Tabla 8.1: Proyección poblacional por el método de Tasas Decrecientes

LOCALIDAD	CENSOS					TASA INTERCENSAL				TASA PROYECTADA	
	año	1 970	1 980	1 991	2001	2010	70/80	80/91	91/01	01/10	2020
I. Alvear		2534	3640	5688	6990	7.641	3,69	4.14	3.93	1.96	10.279

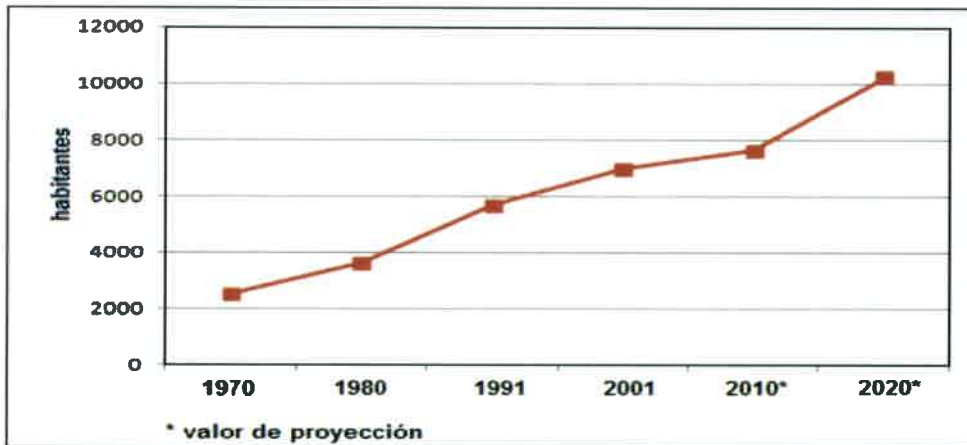


Figura 8.1: Proyección de la población mediante el método de tasas decrecientes

Tabla 8.2: Proyección de la población de acuerdo a la Curva Logística S

Año	1960	1970	1980	1991	2001	2010	2020
I. Alvear	2.534	3.640	5.688	6.624	6.990	7.641	9.859

De acuerdo a estos datos y a la representación gráfica de ambas metodologías se puede apreciar que la población de la localidad ha tenido un crecimiento sostenido desde 1960 y todo indica, según las proyecciones, que se sostendrá esta tendencia. En tal sentido, se han realizado estimaciones de crecimiento demográfico teniendo en cuenta métodos aritméticos y geométricos. Es menester destacar que ninguna de las dos metodologías toma en cuenta el saldo migratorio, valor de difícil obtención y que depende de otras variables intervinientes (decisiones políticas, condiciones de mercado, etc.) que influyen directamente sobre toda la población y su posibilidad de crecimiento.

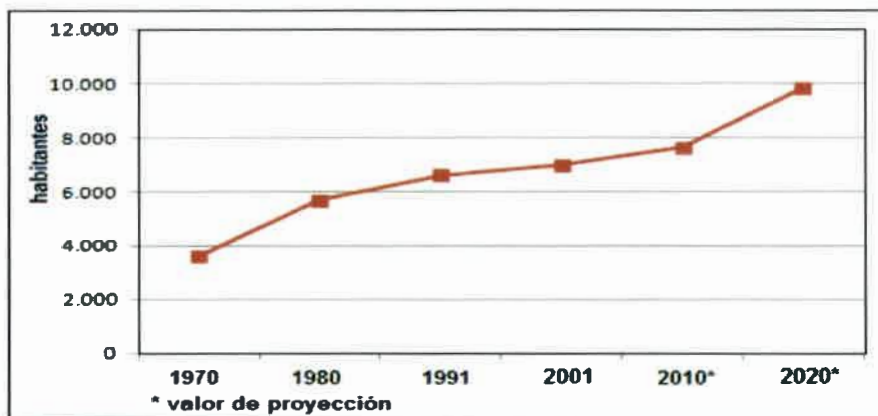


Figura 8.2: Proyección de la población de acuerdo a la Curva Logística S

Según la porción de la curva de los gráficos de crecimiento de población donde nos encontremos, veremos que el crecimiento de la población es aritmético, es decir que el aumento en un intervalo cualquiera de tiempo es constante, lo que es lo mismo que decir que su derivada primera es una constante y que el crecimiento es una variable independiente del tamaño de la población, es decir que $dP/dA = K_a$, siendo K_a una constante.

Como conclusión entonces puede decirse que dentro de las imprecisiones a que están expuestos los valores proyectados, en virtud de los métodos estadísticos y criterios de proyección utilizados, se consideran razonablemente consistentes y suficientemente precisos para evaluar las necesidades de agua de la población involucrada. Es procedente estimar además que el crecimiento urbano proyectado se fundamenta en una importante transformación económica en los últimos años, por medio de innovaciones tecnológicas en la actividad agropecuaria, actividad ésta motora de la economía de la región.

8.3.1.2.- Evolución de las conexiones domiciliarias de I. Alvear

El sistema de provisión y dotación de agua potable para Intendente Alvear, al igual que para todo el ámbito Provincial está jurídicamente basado en la Ley 1027 y Decreto Reglamentario n° 193, estableciendo el régimen de interés público provincial para asegurar la conservación y uso racional de las fuentes de agua potable. El mismo en su Artículo 14 reglamenta los consumos para las áreas residenciales. La ley

mencionada, también contempla el sistema medido obligatorio por parte de los concesionarios de los servicios de distribución de agua potable.

Fundamentado en los parámetros y normas jurídicas del organismo de aplicación provincial, se toma un consumo promedio de 150 l/día por habitante. En ese sentido, la evolución constante de las conexiones domiciliarias, tal como se muestran en la Tabla 8.3 y Figura 8.3, a partir de 1977 de 851 conexiones han trepado a 3176 conexiones en el año 2010, mostrando un crecimiento constante y sostenido.

Tabla 8.3: Evolución de las Conexiones domiciliarias

Año	Conexiones	Año	Conexiones	Año	Conexiones	Año	Conexiones
1977	851	1986	1617	1995	2193	2004	2644
1978	932	1987	1731	1996	2197	2005	2753
1979	996	1988	1796	1997	2346	2006	2821
1980	1079	1989	1845	1998	2425	2007	2890
1981	1202	1990	1874	1999	2478	2008	3026
1982	1313	1991	1909	2000	2470	2009	3082
1983	1417	1992	2031	2001	2505	2010	3176
1984	1457	1993	2039	2002	2524		
1985	1519	1994	2143	2003	2606		

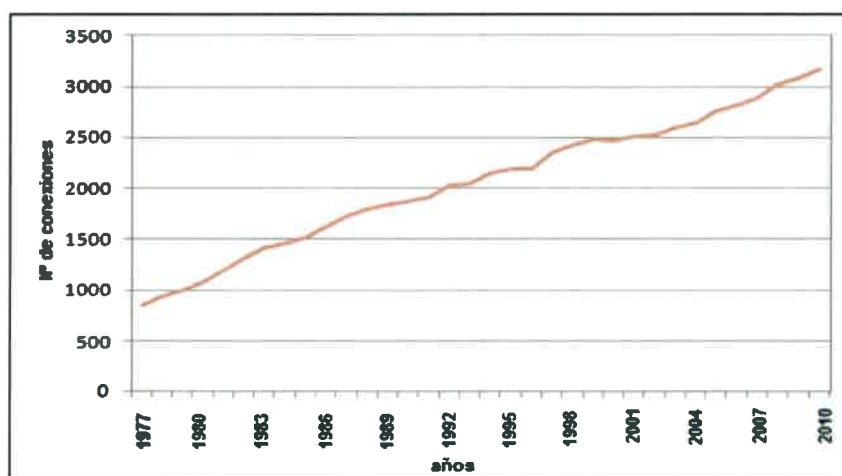


Figura 8.3: Evolución de las conexiones domiciliarias de agua potable

En lo que respecta a los volúmenes anuales consumidos, aunque solo se tengan estadísticas desde el año 1995, se puede observar en la Tabla 8.4 y en la Figura 8.4 que son directamente proporcionales a la cantidad de conexiones domiciliarias.

Tabla 8.4: Consumos promedios anuales

Año	Consumo (m ³ /año)	Año	Consumo (m ³ /año)
1995	175600	2003	265503
1996	182950	2004	260414
1997	200740	2005	284428
1998	216986	2006	321291
1999	227186	2007	330689
2000	222527	2008	371329
2001	237906	2009	364000
2002	243229	2010	359500

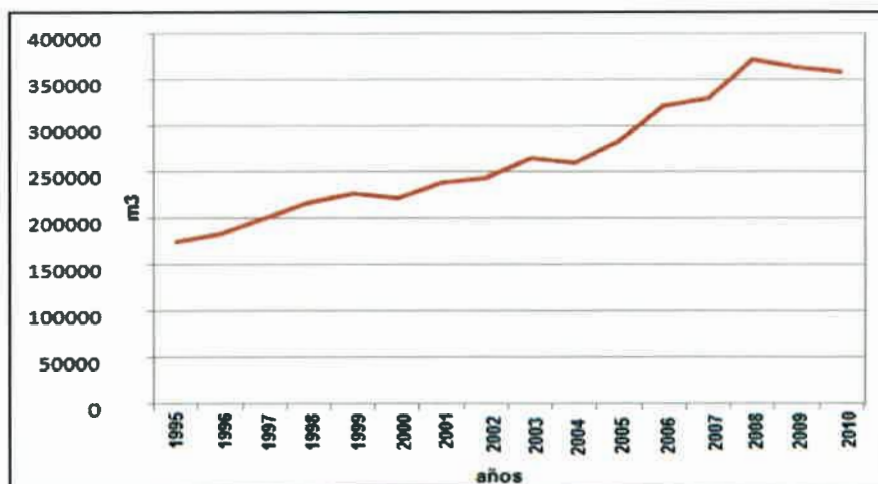


Figura 8.4: Consumos anuales de Intendente Alvear

Considerando los valores que se han tenido en cuenta en las proyecciones para el año 2020 y teniendo en cuenta el promedio diario de consumo por habitante actual que es de alrededor de 0,1289 m³/día (47,048 m³/año). Se estima que el consumo para el final de la década estará en el orden de los 483.606,39 m³/año. Lo manifestado, amerita un análisis más profundo en función de los incrementos del consumo que se han observado en la década anterior.

En efecto, si observamos la Tabla 8.5 y Figura 8.5, veremos que los consumos se han incrementado notablemente en la década pasada (2001-2010) y según proyecciones continuará en la presente década, llegando hasta los 0.483 Hm³/año (483.606 m³/año).

Tabla 8.5: Evolución y consumos p/habitantes en I. Alvear

Año	Habitantes	Cons.		
		anual m ³	p/habitante m ³ /año	P/habitante m ³ /día
1995*	5688*	175600	30.872	0.0845
2001	6990	237.906	34.035	0.0932
2010	7641	359.500	47.048	0.1288
2020*	10279*	483.606	47.048	0.1288

(*) valores proyectados

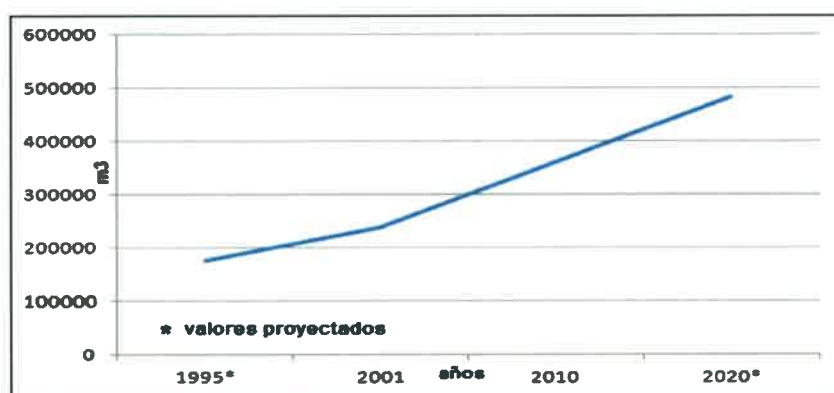


Figura 8.5: Consumos observados y proyectados

Esta será una situación bastante problemática sin dudas para el servicio, ya que si se tiene en cuenta el incremento en el consumo, que es directamente proporcional a la cantidad de habitantes, en los años futuros deberá realizarse un imprescindible replanteo del servicio que deberá contemplar una ampliación en la batería de captación y una oferta de aguas sustancialmente mayor que la actual.

8.4.- DEMANDA PARA USO RURAL

La ubicación, condiciones climáticas y composición del suelo han ejercido una particular incidencia sobre el desarrollo de la actividad agropecuaria en toda la zona del Departamento Chapaleufú a su vez amplificadas por una cultura de la producción agropecuaria propia de la población de la región de la llanura Pampeana.

La región que compone el Departamento Chapaleufú, Figura 8.6, se orienta a la agricultura y ganadería tipo invernada. En las zonas arenosas, la vegetación característica es predominantemente natural, clasificándosela como un pastizal psamófilo, de altura intermedia, perennifolio, denso, de gramíneas intermedias tales como *Elyonurus muticus* (paja amarga) y gramíneas bajas y herbáceas (Cano, *et al*, 1980).

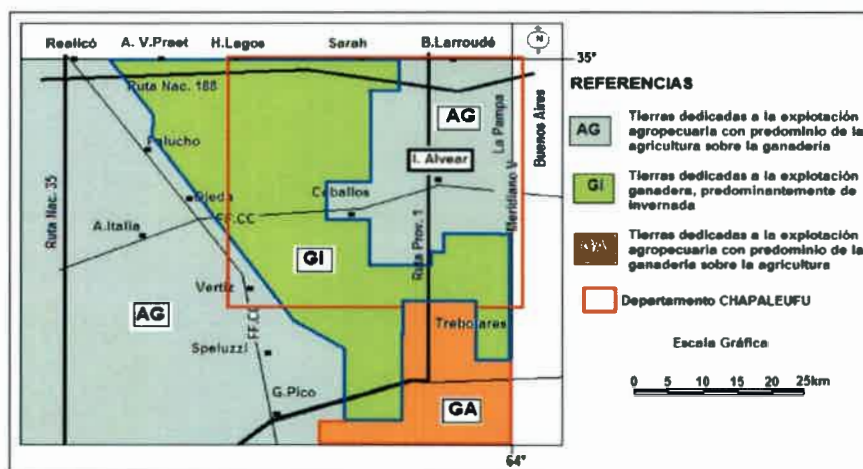


Figura 8.6: Mapa Departamental de Uso de la Tierra (Cano *et al*, 1980)

La actividad económica preponderante en el área de estudio es la rural, entendiendo a la misma como las diversas prácticas de la agricultura y a la ganadería, tanto equina como bobina. Dentro de la primera, es decir la agricultura, hay un predominio de cultivos de maíz, trigo, girasol y algunas forrajeras, aunque en los últimos años se ha incorporado también fuertemente a la soja. Esta última ha modificado la histórica práctica de la preparación de los suelos mediante barbecho, etc, y la ha cambiado por la práctica de la siembra directa, incorporando en consecuencia el uso, aunque aún no intensivo pero creciendo aceleradamente, de agroquímicos (plaguicidas y fertilizantes). Dentro de las segundas mencionadas, es muy importante la actividad económica derivada de la ganadería bobina de invernada y también en los últimos años del considerable aumento de la cría equina vinculada al deporte, ha derivado en una importante actividad producto de su excelente calidad.

La actividad industrial es casi nula y la gran cantidad de labranzas agrícolas, que es una de las características más salientes de la zona, son todas a secano, es decir que el riego complementario en la agricultura aún no existe en la actualidad, si

bien ha habido algún intento incipiente en el pasado reciente que al final no obtuvo los resultados esperados.

8.4.1.- Demanda agrícola

De acuerdo a lo observado en el punto anterior, podemos observar una descripción sobre el uso del suelo en la región en la cual se pueden determinar 3 divisiones a saber:

- ✓ **Sector de agricultura con ganadería Subordinada (AG):** La agricultura supera ampliamente a la ganadería. Es la zona típica de la pampa húmeda con un buen desarrollo de los suelos. Ocupa toda la planicie arenosa donde se ha incrementado últimamente la siembra directa. Todos los cultivos son a secano.

- ✓ **Sector de ganadería extensiva (Gi):** Esta actividad se realiza en las partes más bajas y deprimidas, zonas hidrológicas de evaporación, así como en las zonas medanosas de pasturas naturales. Ello ha permitido observar en algunos sectores, áreas de cubetas producto del sobrepastoreo y excesivo "pisoteo" de animales producto de la sobrecarga.

- ✓ **Sector Ganadero con Agricultura muy Subordinada (GA) :** Este sector se observa en las zonas medanosas donde la pastura es natural y la ganadería supera ampliamente a la agricultura por el poco desarrollo de los suelos

Como se ha manifestado, en toda la región, no existe riego de ningún tipo por lo que todo lo que se siembra en los sectores dominados por la agricultura dependen exclusivamente de las lluvias o lo que en la zona se denomina "agricultura de secano", por lo que este uso no tiene demandas de aguas subterránea. Los principales cultivos que se siembran son, en orden de importancia, soja, trigo, maíz, avena, sorgo, girasol, cebada y desde hace pocos años maní.

8.4.2.- Dotaciones para uso ganadero

De acuerdo a los datos proporcionados por la Dirección de Ganadería de la Provincia de La Pampa, el Departamento Chapaleufú tiene una superficie de 241000 Ha, y se estima una receptividad animal de 0.87 cabezas de ganado por hectárea

([www.provincia de la pampa. com.ar](http://www.provincia.de.la.pampa.com.ar)), lo que daría un total aproximado de 209.670 cabezas de ganado que consumen un promedio de 60 litros por día y por animal.

Teniendo en cuenta estos parámetros, se calcula que el consumo de agua subterránea estimada en esta área sería de 4,591 Hm³ /año. Si bien este dato es aproximado, ya que la cantidad de ganado vacuno en el área es totalmente variable y el consumo depende en gran parte de las lluvias, es útil pues brinda con certeza que el principal consumo en la región es el uso ganadero.

8.5.- CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Este es un tópico de fundamental importancia en cualquier proyecto de Planificación Hidrológica ya que las características de la misma definirá la calidad de cada demanda.

Tabla 8.6: Normativa sobre consumo de agua potable en La Pampa (mg/l)

Conductividad	1	mg/litro
pH		-
Residuo Seco (105 °C)	2	2000
Alcalinidad de Carbonatos	3	-
Alcalinidad de Bicarbonatos	3	Min 30- Máx 400
Alcalinidad de Hidróxidos	3	-
Alcalinidad total	3	-
Dureza Total	3	200
Cloruros	4	700
Sulfatos	4	300
Calcio	4	-
Magnesio	4	-
Potasio	4	-
Sodio	4	-
Fluór	4	1,20 a 1,80
Arsénico	4	0,15 a 0,18
Nitratos	5	45
Nitritos	6	Máx 0,1
Amonio	7	No debe contener
Hierro (Fe ⁺³)		0.1

Valores Máximos Normales (ppm= mg/l), 1: Micro-mho/cm; 2: ppm; 3: ppmCaCO₃; 4: ppm ion; 5: ppm NO₃; 6: ppm NO₂; 7: ppm NH₄

En la Provincia de La Pampa la legislación vigente a la fecha (Ley n° 1027 y Decreto Reglamentario N° 193) solamente contempla algunos elementos para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público, tal como se muestra en la Tabla 8.6. El resto de los usos no están reglamentados por lo que crea grandes dificultades a la hora de planificar y gestionar el recurso.

8.5.1.- Variaciones temporales de elementos químicos en agua potable

La intencionalidad de este punto ha sido efectuar un análisis de la evolución temporal de los análisis físico-químicos de las bombas ubicadas en la zona de explotación y de cómo evolucionan algunos componentes del agua que se suministra a la población que, que cuando exceden los límites permisibles para consumo humano, se constituyen en nocivos para salud. Para ello se han tomado los análisis físico-químicos de las 14 bombas de explotación, Tabla 8.7, con que cuenta el servicio de provisión de agua potable de Intendente Alvear y de los dos tanques elevados de distribución, T1 y T2 con que cuenta el mismo.

Tabla 8.7: Evolución química de SDT, Flúor y Arsénico en T1 y T2

FECHA	RESIDUO	F-	As	FECHA	RESIDUO	F-	As
	SECO				SECO		
	mg/l				mg/l		
28/10/1997	737	1.67	0.03	28/10/1997	758	1.73	0.03
15/04/1998	688	1.98	0.05	15/04/1998	733	1.84	0.06
26/11/2001	996	1.61	0.06	26/11/2001	1011	1.61	0.06
25/09/2002	1098	2.14	0.06	25/09/2002	1082	2.14	0.06
18/03/2003	1022	1.86	0.06	22/07/2003	1137	2.03	0.05
22/07/2003	1145	2.04	0.05	01/06/2004	1123	1.62	0.05
01/06/2004	1073	1.65	0.04	07/09/2004	1165	1.47	0.04
07/09/2004	1155	1.60	0.03	20/09/2005	1105	2.16	0.06
20/09/2005	1200	2.06	0.06	23/05/2006	1090	2.02	0.06
23/05/2006	1109	2.08	0.06	12/09/2006	962	1.93	0.06
12/09/2006	934	1.91	0.05	05/10/2007	1176	2.46	0.05
05/10/2007	1141	2.32	0.05	10/09/2008	1267	2.31	0.06
10/09/2008	1276	2.18	0.07	12/05/2009	1054	2.07	0.08
12/05/2009	1049	2.05	0.08	29/07/2010	1485	2.04	0.06
29/07/2010	1473	2.15	0.05	Promedio	1082	1.96	0.06
Prom	1073.066667	1.95	0.05	Max	1485	2.46	0.08
Max	1473	2.32	0.08	Min	733	1.47	0.03
Min	688	1.60	0.03				

Se analizará la variación temporal de los SDT, flúor y arsénico, por ser estos los más sensibles y problemáticos en la zona. Los tanques elevados 1 y 2 contienen la mezcla de las aguas de las 14 bombas de explotación.

8.5.1.1.- Evolución temporal de los Sólidos Disueltos Totales en T1 y T2

Los valores observados en ambos tanques guardan valores muy similares, situación lógica y muy razonable si tenemos en cuenta que el agua que contienen los mismos es una mezcla como se ha citado. En consecuencia, en la Figura 8.7 se citará solo uno de ellos asumiendo su representatividad.

En el mismo se puede observar como el aumento progresivo de la salinidad ha ido evolucionando con el tiempo y desde valores de 700 mg/L en el año 1997 ha trepado casi hasta duplicarlos en el año 2010. Sin lugar a dudas, ello debe estar vinculado al crecimiento demográfico, al aumento de las conexiones domiciliarias y consecuentemente a una alta presión en la explotación productos de los mayores consumos. Llamativamente en el transcurso del año 2009 se observa una sensible baja en la salinidad. Si bien los análisis corresponden a invierno, época de menor consumo, es de citar que justamente en el año 2009 fue un año de marcada sequía. Tal vez amerite la circunstancia descrita en el futuro, a un estudio más puntual y específico.

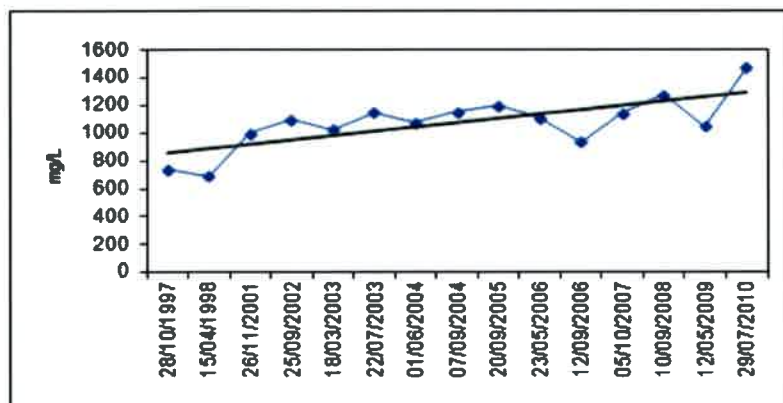


Figura 8.7: Evolución Temporal de la Salinidad en Tanque Elevado

8.5.1.2.- Evolución temporal del Flúor en T1 y T2

El comportamiento temporal del Flúor, Figura 8.8, guarda cierta similitud, en líneas generales con el SDT. Ambos tienen una tendencia positiva y algunas variaciones negativas, como en el año 2004, que se cree puede deberse a circunstancias relacionadas con un aumento de la recarga producto de las precipitaciones de ese año.

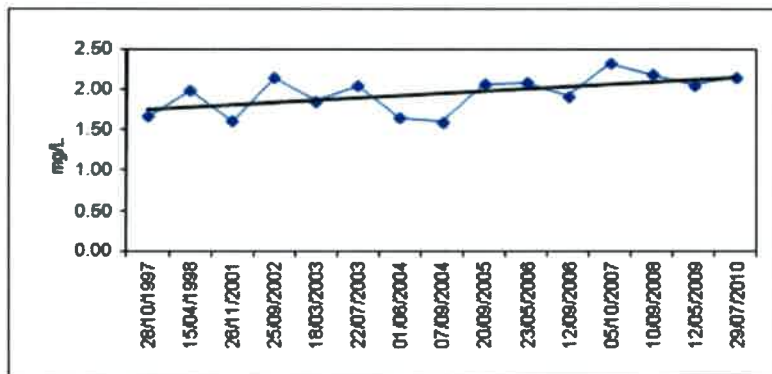


Figura 8.8: Evolución temporal del Flúor

No obstante ello, se observa que casi por lo general supera levemente lo permisible para consumo humano. Se ha podido observar en el capítulo respectivo que las Bombas 4,8, 11, 12 y 13 superan los valores permisibles para consumo humano.

8.5.1.3.- Evolución temporal del Arsénico Total en T1 y T2

Como rasgo distintivo de este metaloide presenta una variación importante de valores. En ocasiones a bajos valores de SDT, corresponden altos valores de As^{+5} sugiriendo una proporcionalidad inversa, como por ejemplo ocurre en el transcurso del año 2009 e incipientemente en algún otro año. Sin embargo esta proporcionalidad inversa no acompaña el comportamiento del Arsénico en el resto del período de la serie y en alguno de ellos actúa exactamente en sentido contrario.

Lo citado precedentemente se puede observar en la Figura 8.9, además de presentar una tendencia positiva en la serie analizada.

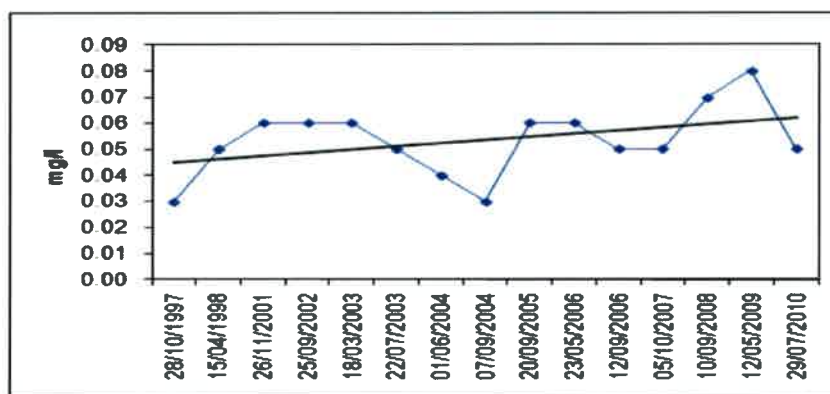


Figura 8.9: Variación temporal del Arsénico

A manera de síntesis de este punto se concluye que tanto la salinidad, como ambos elementos han incrementado su presencia en las aguas subterráneas como consecuencia de la explotación y que según lo observado, es muy probable que este incremento ha de continuar en el tiempo.

8.6.- CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS PARA DISTINTOS USOS

8.6.1: Consumo humano:

Las aguas subterráneas en la zona estudiada y sus alrededores son utilizadas en su totalidad para consumo humano y uso ganadero. Con respecto al primer uso, las mismas se nutren de perforaciones de poca profundidad ubicadas en el cordón medanoso y en la periferia del mismo que presenta valores aptos para consumo humano, según el código alimentario argentino y la Ley 1027 de la Provincia de La Pampa. La población total departamental que se abastece de agua potable en la actualidad alcanza aproximadamente a unos 11.500 habitantes y en líneas generales no se ha detectado un gran deterioro en la calidad de la misma, aunque sí variaciones temporales en algunos elementos que se analizará en puntos siguientes. Si se considera el quimismo de las muestras para la ingesta humana, podemos observar que el 20 % presenta valores de SDT y sulfatos que exceden los límites recomendados (2.000 y 300 mg/l respectivamente), tratándose puntualmente de las mismas muestras en ambos casos. Además, el 5% presenta valores excedidos de Cloruros (700 mg/l) y el 61% de las muestras censadas, entre molinos y bombas, que superan lo permisible para consumo humano.

La principal restricción en la obtención de agua para el consumo humano está dada por la presencia de elevados tenores de Flúor y en menor medida el Arsénico, según el censo de aguadas realizado por la Administración Provincial del Agua (Malán, *et al.*, 1981), (Castro, *et al.*, 1990). Es ese sentido, no ha sido posible encontrar una relación ni patrones hidrogeoquímicos que nos permitan relacionar, con rigurosidad científica, el comportamiento homogéneo o sistemático, con otros iones presentes en las aguas.

Párrafo aparte merece la consideración de los Nitratos. El 26,47 % tienen valores excedidos para consumo humano, presentando llamativamente algunas de

ellas (Muestra 71) valores de 970 mg/L sobre muestras diluidas. Otras tantas se exceden en sus tenores de nitratos proveniente de la actividad antrópica debido a la escasa profundidad del NE y lo incipiente y permeable de la ZNS.

8.6.2.- Consumo ganadero

Sin lugar a dudas es el consumo ganadero el de mayor significación en la región. No obstante ello, debe contemplarse que cualquier límite a la restricción del uso del recurso adoptado no debiera considerarse como absoluto debido a la multiplicidad de factores que pueden incidir y el efecto que pueden tener en la ingesta del agua sobre la ganadería.

Tales factores podrían sintetizarse en la variación estacional de los consumos, el tipo de forraje suministrado y el tiempo y grado de adaptación del ganado a aguas de determinada tipo de composición. De este análisis resulta un claro predominio de agua buenas a muy buenas (Bavera *et al.*, 1979) para hacienda tanto de cría como de tambo-invernada. Un bajo porcentaje de las muestras se agrupa en tres categorías de aptitud de aguas que varían desde muy buena hasta aceptables para los dos tipos de ganado mencionados.

8.6.3.- Riego

Si bien en la zona no se tienen antecedentes de alguna experiencia de riego complementario, la aplicación del mismo en pequeñas escalas es una actividad en desarrollo en la provincia de La Pampa y existe desde hace algunos años un organismo oficial específico que ha realizado experiencias pilotos en diversos lugares provinciales.

Se tiene conocimiento además que en la región ha habido consultas a cerca de la clasificación de aguas para riego, de potenciales interesados de explorar dichas posibilidades, es en función de ello que se aborda el presente punto a efectos de comenzar a considerar esta alternativa en los estudios básicos sobre calidad de aguas.

Si bien es otra la finalidad del presente estudio, es menester siempre, para cualquier emprendimiento de una experiencia de riego deben considerarse, en primer lugar, la aptitud del agua, Figura 8.10, y esta debe ponderarse conjuntamente con las condiciones climáticas, edáficas y geomorfológicas del área en cuestión, así como también con las características del cultivo a regar, el carácter del riego y la dotación de agua a utilizar.

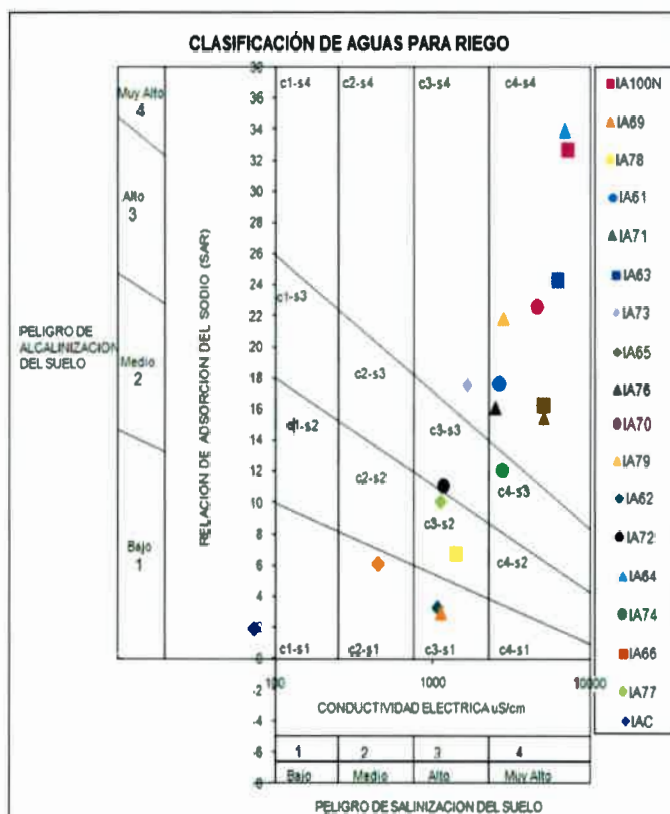


Figura 8.10: Clasificación de Aguas Para Riego Complementario

En una primera aproximación a ello, diremos que en la zona estudiada el 50 % de las muestras corresponden a la clase C4, el 33% a la clase C3, una a la Clase C2 y una a la Clase C1. En lo que respecta al peligro de salinización en las dos primeras clases, se puede decir que pese a las características del suelo y a ser fácilmente drenado, existe un alto a muy alto peligro de salinización.

Desde el punto de vista del peligro de sodificación, más del 50% se encuentran en muy alto peligro, dos muestras (72 y 74) con alto peligro y el resto de bajo a medio peligro de sodificación.

8.7.- SOBRE LA NECESIDAD DE UN MARCO REGULATORIO

La legislación sobre los recursos hídricos en la región, fundamentalmente en lo que hace a la regulación de los usos, presenta un alto grado de debilidad y ello repercute negativamente porque no cumplen con los objetivos propuestos por la Ley 607/74 hasta hace poco tiempo y Ley 2581/11 recientemente sancionada. Existen en el ámbito provincial por lo menos cuatro instituciones que sobreponen atribuciones y eluden responsabilidades y así, cada institución constituye su propio hábitat, con sus propias políticas, actividades, decisiones y objetivos, totalmente unos disociados de los otros.

Una prueba de ello es la cantidad de legislación que ha sido promulgada hasta la fecha en la Provincia, con variado rango normativo en un intento a veces infructuoso de acomodarse a las cambiantes circunstancias socioeconómicas, culturales, políticas, geográficas e incluso de supervivencia, como en los casos puntuales de sobreexplotación y contaminación de acuíferos. En algunos casos, los Recursos Hídricos Subterráneos carecen de un marco legislativo uniforme con criterio integral, donde no se alcanza a regular los aspectos que en la actualidad no poseen legislación o que, la existente resulta insuficiente y con una disparidad de realidades muy contrastantes, fundamentalmente entre aquellas comarcas con poca tradición en el uso de aguas subterráneas.

Específicamente, si nos referimos a la región pampeana, donde muchos conceptos de la hidrología clásica "*per sé*" no pueden explicar, al menos por ahora la hidrodinámica del agua subterránea, crea un problema aún mayor y obliga a un conocimiento regional aún más acabado. Es aquí donde cobra dimensión en la zona de llanura el concepto de región hídrica, palabra poco incorporada en la hidrogeología clásica y en las legislaciones vigentes y además resistidos por muchas autoridades de aplicación de ámbitos provinciales.

En e mismo sentido, el concepto de acuífero interprovincial en las zonas de llanura, también es una temática hasta la fecha no estudiado ni discutida en profundidad, así como tampoco incorporada en las legislaciones vigentes. Esto ocasiona a veces consecuencias a la hora de la toma de decisiones de índole provincial en la proyección de obras hidráulicas, más aún si se tiene en cuenta que los

límites físicos políticos entre las provincias no necesariamente reflejan una identidad de límites con los de un acuífero, definición ésta que pareciera desconocerse por parte de las autoridades provinciales de aplicación, siendo que es justamente función del estado crear marcos regulatorios sobre el uso del agua donde indefectiblemente deben estar representados la comunidad de usuarios y ejercer de manera efectiva e insoslayable su poder de policía.

Lamentablemente en la actualidad, no existen dichos marcos y si existen no se cumplen. Esta desgraciada circunstancia para el recurso se ve favorecida desde hace muchos años debido a la falta de idoneidad e ineptitud de los funcionarios designados políticamente que dirigen a tales organismos de aplicación que no tienen una formación acorde como para entender el recurso ni la esencia del mismo. Claro ejemplo de ello es que el organismo de aplicación provincial ha tenido administradores con formación de Contadores Públicos, Ingenieros Civiles, Mecánicos, Electromecánicos, Abogados, etc., en clara contradicción con la ley de creación del organismo N° 773, que en su artículo 4° establece que el administrador debe tener título afín y ser idóneo en la materia.

Derivado del párrafo anterior, la problemática hídrica de los últimos 30 años en la provincia no ha tenido las respuestas científicas ni políticas que satisfagan armónicamente las necesidades de los usuarios y a partir de allí vislumbrar las soluciones integrales, fundamentalmente de carácter interprovincial.

Para concluir, pese a que el acuífero regional en estudio constituye un soporte económico en la región que aporta una gran parte (cerca del 27%) del PBI de La Pampa, proveyendo de agua potable a miles de personas y ciento de miles cabezas de ganado, no ha sido considerado como una región hídrica común al patrimonio de los habitantes de la región, ni ha sido estudiado en su integralidad.

CAPITULO 9

MODELO CONCEPTUAL DEL SISTEMA

9.1.- MODELO CONCEPTUAL DE FLUJO

9.2.- MODELO HIDROGEOQUIMICO

CAPITULO 9

9.- MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Uno de los principales objetivos de la presente tesis ha sido resolver y determinar el funcionamiento hidrogeológico del acuífero que hasta el momento, y en el futuro inmediato, constituye la única fuente de abastecimiento a la población de agua potable y para todos los usos en la región. Se presenta aquí una aproximación general del funcionamiento hidrogeológico en la zona estudiada, integrándose la totalidad de la información volcada en los distintos capítulos que componen el presente trabajo.

La integración e interacción de las distintas herramientas utilizadas y la observación del grado de coherencia existente entre ellas, permiten plantear con una razonable robustez el modelo conceptual geológico e hidrogeológico propuesto en el área de estudio, donde de manera preliminar, solo se conocían algunas pocas características generales acerca de la porción de acuífero que abastece de agua potable a la zona. En este trabajo se ha profundizado el conocimiento del mismo, sobre todo en lo particular, como la extensión y sus límites, su potencial, sus características geológicas, geomorfológicas, hidráulicas e hidroquímicas y su interrelación con las demás actividades realizadas en la región, fundamentalmente en lo que respecta a sus distintos usos. Además, se han compatibilizado todos estos aspectos con un capítulo de planificación y gestión del recurso.

Asimismo y por las particularidades de la zona portadora de agua potable que se han detallado en el transcurso del desarrollo de la presente tesis, la explotación intensiva y no planificada de las mismas que en el futuro indudablemente las puede afectar y consecuentemente presentar distintos inconvenientes como, aunque en menor escala, ya se produjeron en años anteriores con el reemplazo por problemas de salinización y puesta fuera de servicio de algunos pozos de explotación.

9.1.- Modelo Conceptual de Flujo:

La vinculación de la génesis sedimentaria en la región de estudio a un sistema de planicies arenosas, medanosas, con médanos y eriales, mas las ingentes actividades de tipo agropecuaria del hombre producto del desmonte y de las malas prácticas de labranzas, originaron la formación de una serie de cuerpos y acumulaciones arenosas de apreciable tamaño. Su posterior modelado, principalmente eólico, aunque también es posible la acción fluvial, en el cual se asocian los estratos acuíferos y acuitardos de la Formación Cerro Azul (Linares, et-al, 1980), ha permitido establecer que la columna sedimentaria se comporta bastante homogéneamente, sin grandes diferenciaciones y con algunas intercalaciones de material más fino, aunque ello no amerite la posibilidad de constituirse en otros acuíferos. En la Figura 9.1 se muestra que el funcionamiento hidrodinámico del sistema se encuentra íntimamente relacionado con tres factores principales, como lo son el clima, la litología y la geomorfología, ésta ultima de preponderante significación ya que condiciona algunas veces y en otras facilita los procesos la recarga .

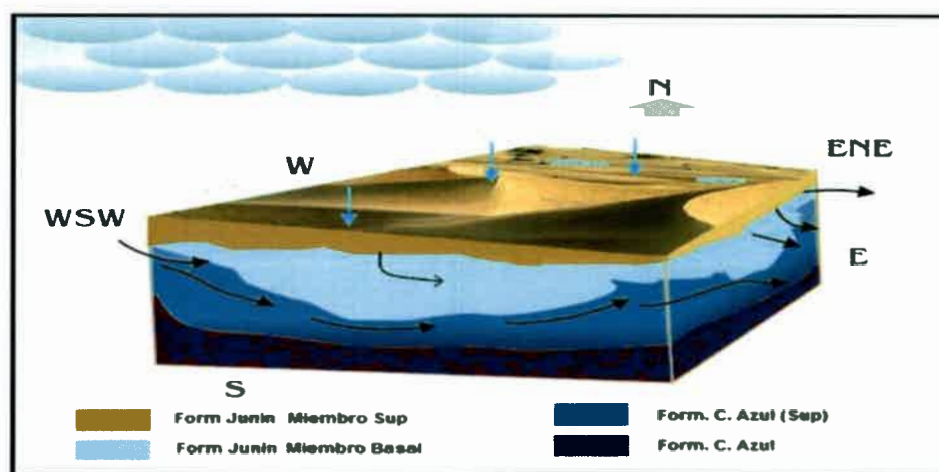


Figura 9.1: Modelo conceptual de movimiento de flujo

La interrelación de estos tres importantes factores crea las condiciones bajo las cuales se regirá el agua subterránea, condiciones tales como zonas preferenciales de alimentación y tasa de recarga, velocidad de circulación y zonas de descarga, asociada con otros factores como humedad en el suelo y salinidad del agua.

Si pudiéramos esquematizar un sistema de flujo local simple, podríamos también decir o plantear que en el área de estudio existirían tres zonas interconectadas entre sí: **a)** Una zona de recarga, **b)** una zona intermedia o de

transferencia o de conducción donde también influye una recarga menor a la anterior y
c) una zona básicamente de descarga.

a) En la zona de recarga coexisten dos zonas medanosas importantes, que desde el punto de vista topográfico sobresalen nítidamente del resto. Una de ellas vegetada con pasturas naturales “tipo páramo” y la otra desnuda o llamada de “medanos vivos”. En ambas áreas los procesos de infiltración y recarga presentan mayor importancia, particularmente el de medanos vivos. Aquí los flujos se manifiestan en forma vertical descendente y tienen una rápida infiltración hacia niveles inferiores incorporándose prestamente a la zona saturada y formando un “lentejón de agua dulce” que sobreyace al agua mas cargada de sales que traen los flujos desde el Oeste.

b) La zona intermedia o de transferencia (conducción) está constituida por las planicies arenosas y medanosas que conectan a las zonas a) y c). Se trata de áreas arenosas, permeables, con desarrollo de un incipiente suelo lo que permite su cultivo y que, aparte de ser zonas de transferencias, también actúan como áreas menores de recarga. Su importancia difiere según se encuentren cultivadas o no. Se puede observar, desde el punto de vista químico, que presentan salinidades mayores a la zona anterior y la evolución de la caracterización hidroquímica es en el sentido del flujo. Aquí los mismos presentan dos componentes. Un componente vertical de poco desarrollo y magnitud, muy incipiente y una componente horizontal mucho más desarrollada e importante.

c) Las zonas de descargas se puede observar en áreas topográficamente más bajas que las mencionadas y pueden encontrarse desde distribuidas entre las zonas anteriores, como así también constituyendo zonas preponderantemente de descarga y transferencia de agua hacia la atmosfera constituyendo salitrales y bajos salinos donde se observa muy claramente la acción de los procesos evaporantes. Aquí los flujos subterráneos tienen una componente cuasi vertical ascendente.

Obviamente y como resalta de lo expuesto hasta aquí, la simplicidad del sistema planteado desde lo hidrogeológico no respondería a algunas cuestiones que puedan explicarnos más en detalle algunas de las heterogeneidades presentes, fundamentalmente químicas, que se han manifestado en el desarrollo de los anteriores capítulos. En virtud de ello entonces, cabría suponer la existencia de más de un área

de recarga, varias zonas de descarga con distinto orden de importancia y en consecuencia también de distintos zonas de transferencia, según el lugar y la profundidad.

Podemos inferir entonces de acuerdo a lo planteado en este modelo conceptual, con aceptable razonabilidad, que estaríamos en presencia de un sistema un poco más complejo donde se podrían distinguir a su vez dos subsistemas de flujo esenciales, los puntuales o locales y los regionales, aunque en ocasiones conviene considerar una situación de subsistemas intermedios.

Lo cierto es que ambos presentan apreciables diferencias absolutamente comprobables en la hidroquímica y manifestados por diferencias de tiempo de tránsito y calidad del agua. Los límites entre los subsistemas son, en general netos y, suelen caracterizarse por cambios en la calidad del agua. Estos límites no son estables y suelen sufrir variaciones en el tiempo respondiendo al ciclo hidrológico. Ello se pone en evidencia, tal cual lo manifestado en el punto b), con lo ocurrido en la zona de transferencia en épocas de precipitaciones importantes, ya que mejoran notablemente la calidad del agua subterránea casi inmediatamente después del evento, disminuyendo de manera considerable su salinidad, verificándose entonces que efectivamente, estas zonas también actúan como zonas menores de recarga, como trata de reflejarse en la Figura 9.2.

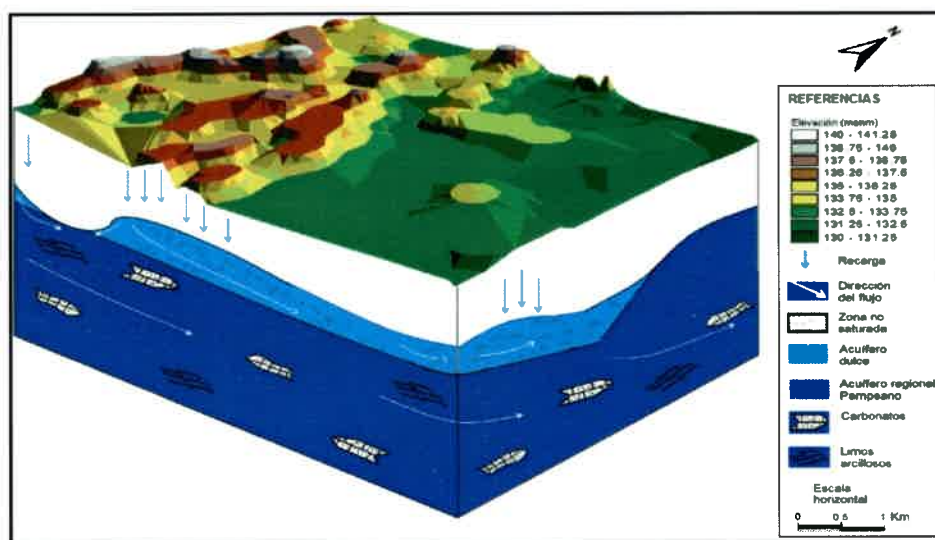


Figura 9.2: Subsistemas del Modelo Conceptual

9.2.- Modelo Hidrogeoquímico:

En función de lo expuesto hasta el presente, amerita consignar entonces que se puede inferir con un alto grado de certeza que, debido principalmente a las distintas áreas geomorfológicas que determinan distintas zonas de recarga, conducción y descarga, las aguas subterráneas en la zona de estudio presentan distintas facies hidroquímicas que se pueden plantear en el modelo conceptual hidroquímico de la Figura 9.3.

En el mismo se diferencian en los siguientes grupos:

a) En primer lugar y como consecuencia de la recarga directa procedente de las precipitaciones en el área central del acuífero caracterizada por un cordón medanoso con rumbo S-N, que ha manera de “horqueta” y/o puntas de flecha se bifurca en dos ramas, una oriental y otra occidental.

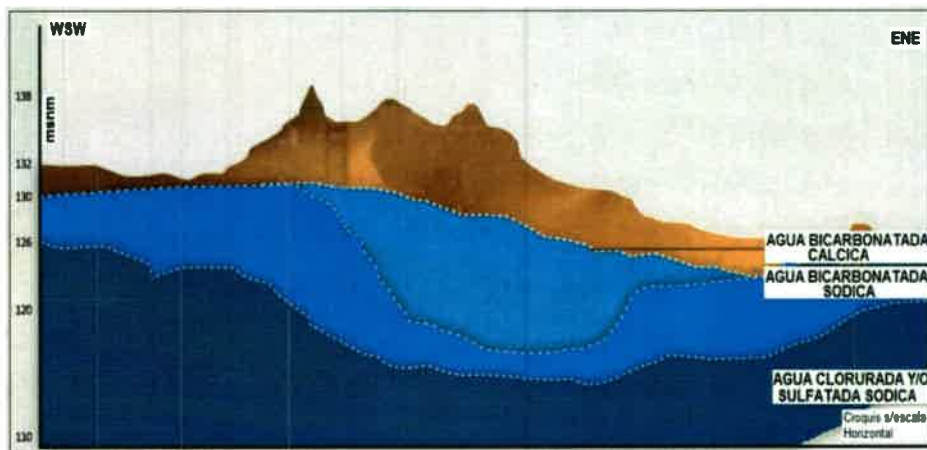


Figura 9.3.: Modelo Hidrogeoquímico

En esta geoforma existen dos caracterizaciones condicionadas por la profundidad: **a.1)** Si se extrae agua alojada en las arenas del miembro basal de la Fm. Junín, presenta una facie predominantemente bicarbonatada cálcica y mixtas. Son las captaciones correspondientes a molinos. **a.2)** Si en las mismas zonas anteriores se penetra mas en el acuífero y la extracción es una mezcla de agua que corresponde al sector arenoso de la formación antes mencionada y una buena parte de la Formación Cerro Azul, las aguas tienen características de facies Bicarbonatadas Sódicas y también Cloruradas y/o sulfatadas sódicas.

b)Esta zona está representada geomorfológicamente por las planicies medanosas, las zonas interdunales (Malagnino, E, 1989) o intermedanos, y es la zona de transferencia o conducción. Aquí la caracterización hidroquímica es Cloruradas o sulfatadas sódicas.

c)La tercera zona correspondería a zonas topográficamente bajas, de descarga y que se encuentran en forma saltuaria dentro de la zona de estudio y fundamentalmente en el sector NNE donde hay evidencias de salitres y zonas pantanosas. Su caracterización hidroquímica son por lo general cloruradas y/o sulfatadas sódicas con altas mineralizaciones.

La descripción de estas tres zonas, coincide también con un incremento progresivo del grado de mineralización en el sentido del flujo al acercarnos a las zonas de descarga, aunque sus valores máximos, superiores a los 3500 mg/l de SDT, corresponden a aquellas aguas afectadas por la disolución, constituyendo típicas facies cloruradas sódicas.

De la observación directa de los resultados de los análisis físico químico y los cálculos realizados en el capítulo correspondiente, se podría decir que gran parte de la química del agua observada en la zona podría estar controlada por minerales carbonáticos. La presencia de calcretas (Toscas) o rocas carbonáticas dominantes en la zona, es un fenómeno ampliamente comprobado en la región. En función de ello entonces, se puede determinar que el primer fenómeno que ocurre es que el agua de lluvia en su tránsito de infiltración incorpora iones tales como yeso, carbonatos y silicatos, y que a medida que percola y se desplaza en el sentido de flujo disuelve iones de calcio, magnesio, carbonatos y sulfatos que son los principales que determinan el quimismo del agua subterránea en la zona.

En el transcurso de esa circulación, el agua que contiene sulfatos reacciona con el agua cargada con bicarbonato produciendo una reacción de calcitización. Ello determina que los iones calcio, magnesio y sulfatos aumenten y junto a ello precipite calcita tal cual queda reflejado en el elevado IS (0.3).

En líneas generales entonces, se estima que se trata de un sistema abierto con mezclas de aguas debido a las diferentes litologías por las que transitan las mismas y a sedimentos detríticos en cuya mineralogía dominan los silicatos y presentan sectores, por ejemplo en gran parte de la Fm Co Azul (Linares, 1980) muy cementadas con carbonatos, yesos, etc., que son las que determinan la existencia de iones Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{-2} y HCO_3^- .

Merece destacarse asimismo la importancia del papel que desempeña la hidrólisis y el intercambio iónico. En efecto, en la zona estudiada y tal como se ha visto en capítulos anteriores, los resultados de los análisis granulométricos han indicado que en los niveles superiores se encuentran hasta los 8 m preponderantemente fracciones de arena fina a media, debajo de la cual se encuentran arenas más gruesas y que el loess recién se encuentran en la parte superior de la Fm Cerro Azul (Linares, *et al.*, 1980) entre 9 y 12 m de profundidad. Esto sin dudas se vincula con la precipitación de minerales, donde se debe resaltar la importancia de fenómenos tales como la hidrólisis y consecuentemente los intercambios iónicos que devienen de ella que amerita en un futuro cercano y como continuación de la presente tesis, de un estudio más en detalle de tal fenómeno.

CAPITULO 10

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1.- CONSIDERACIONES GENERALES

10.2.- CONCLUSIONES

10.2.1.- Climatología

10.2.2.- Geológicas

10.2.3.- Geomorfología

10.2.4.- Hidrogeológicas

10.2.5.- Hidrogeoquímicas

10.2.6.- Gestión y usos del agua

10.3.- RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 10

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1.- CONSIDERACIONES GENERALES

El presente estudio ha abordado el modelo conceptual hidrogeológico e hidrogeoquímico de manera integral y el análisis del funcionamiento de un sistema acuífero, único con características de potabilidad en el área, el cual se utiliza íntegramente para abastecimiento de agua potable a las localidades de Intendente Alvear y Ceballos y además para la totalidad de las actividades agropecuarias de la región, que por otro lado, es una de las más importantes de la provincia de la Provincia de La Pampa.

Si bien existía algún informe de anteriores trabajos con datos incompletos y aislados de perforaciones sin información y algunos parámetros geológicos, geomorfológicos de las vecindades que no habían sido tratados en forma integral, desconociéndose límites y estructuras de los estratos componentes del sistema, al igual que otros procesos y fenómenos intervinientes en el agua desde su ingreso en el acuífero hasta su descarga, este trabajo sin dudas representa una contribución muy importante a la dilucidación de los mismos. Es por ello que esta tesis contribuye al aporte del conocimiento hidrogeológico e hidrogeoquímico de la región, constituyendo un elemento de consulta obligado a partir del cual se abre el camino a futuras investigaciones de carácter más específico y que sin dudas se complementarán con la presente tesis.

En ese sentido, y siguiendo un orden de lo descripto, se enumerarán las conclusiones más relevantes, según se cree, a las cuales se ha arribado.

10.2.- CONCLUSIONES:

10.2.1.- Climatología:

*Desde el punto de vista Climatológico se ha determinado un gradiente pluviométrico en el Departamento Chapaleufú de 1 mm/km en sentido ENE

*Mediante distintos métodos, se ha establecido una Evapotranspiración Real de que oscila entre 653 y 838mm/año.

*Se ha efectuado una clasificación Climática (Thornthwaite, 1948) del área que corresponde a Húmedo II, Mesotérmico, con pequeña falta de agua y concentración estival de la eficacia térmica del 24%

10.2.2.- Geológicas:

*Se ha identificado una nueva formación geológica-estratigráfica en la región, la Form. Puesto Marsiglio (Castro E, Tullio J, 1991).

10.2.3.- Geomorfológicas:

*Los factores geológicos-geomorfológicos locales condicionan fuertemente a la hidrogeología del área.

*Se han definido, identificado y clasificado unidades geomorfológicas en el área.

*Se han definido tres categorías de geoformas de origen eólico en acumulaciones de arenas: Acumulaciones de campos de arenas, Campos de dunas, Cordones longitudinales de médanos y cubetas de deflación.

10.2.4.- Hidrogeológicas:

*Se han definido tres subzonas morfosedimentológicas que definen ambientes hidrogeológicos.

*Se ha determinado una modificación espacial de flujos subterráneos como consecuencia de la presencia del cordón central del área medanosa.

*Se ha identificado y definido un acuífero libre con drenaje diferido o retardado, determinando su índice de retraso.

*Se han sectorizado las distintas zonas de recarga, zonas de conducción y zonas de descarga en un mapa hidrogeomórfico.

*Se ha determinado la Infiltración Eficaz a través de cinco metodologías distintas oscilando su valor entre 116 y 163mm/año.

*Se ha determinado el valor umbral de la recarga en mm/año.

10.2.5.- Hidrogeoquímicas:

*Se ha determinado que existe una zonación de la evolución geoquímica del acuífero, diferenciada en por lo menos en tres partes, que se corresponden con el

sentido de flujo y cuyas aguas oscilan desde bicarbonatadas cálcicas o mixtas a sulfatadas o cloruradas mixtas y sulfatadas o cloruradas sódicas.

*Las particularidades del subsuelo condicionan la química del agua subterránea que corresponde a un número reducido de fases reactivas y el líneas generales, la química del agua observada en la zona podría estar controlada por minerales carbonáticos.

*Se han establecido y considerado los aportes atmosféricos, la evaporación y evapotranspiración, las reacciones con el medio carbonatado, los procesos de intercambio iónico, fuerza iónica, sistemas de disolución y la mezcla de aguas.

*Se estima que se trata de un sistema abierto con mezclas de aguas debido a las diferentes litologías por las que transitan las mismas y a sedimentos detríticos en cuya mineralogía dominan los silicatos y presentan sectores, por ejemplo en gran parte de la Fm Co Azul (Linares, 1980) muy cementadas con carbonatos, yesos, etc., que son las que determinan la existencia de iones Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{-2} y HCO_3^- .

*Gran parte de los fenómenos mencionados referente a la precipitación de minerales, deben estar relacionados a fenómenos tales como la hidrólisis y consecuentemente los intercambios iónicos que devienen de ella.

10.2.6.-Gestión y Usos del agua:

*Se ha efectuado un análisis de la prestación del servicio, crecimientos urbanos y consumos, actuales y futuros.

*Se ha efectuado un análisis de la evolución química de algunos elementos

*Sobre la necesidad de un marco regulatorio

10.3.- RECOMENDACIONES:

Se plantean algunas recomendaciones para que sean consideradas en futuros estudios en la región:

*Continuar la medición sistemática de los niveles piezométricos y la recolección de muestras en la red freaticométrica para su posterior análisis físico-químico, por lo menos mensualmente. Dichos análisis deberían ser completos a efectos de realizar determinaciones precisas, en cuanto a equilibrios químicos, campos de estabilidad, etc.

*Se deberán recolectar muestras de agua de lluvias de todos los eventos para los correspondientes análisis físico-químicos y determinaciones radioisotópicas. Un registro temporal de la composición química del agua de lluvia permitiría mejorar el estudio de la recarga y de los procesos que ocurren en el agua luego de su infiltración.

*Para complementar el objetivo de la sugerencia anterior se recomienda realizar un análisis mineralógico descriptivo de los sedimentos que componen el sistema acuífero en los distintos niveles y realizar ensayos de laboratorio relacionados con la capacidad de determinar intercambio catiónico y merituar procesos de hidrólisis.

*Se deberá estudiar en detalle la geoquímica de algunos elementos problemáticos para la zona tales como el Flúor , Arsénico, Vanadio y Selenio.

*Se sugiere contemplar la posibilidad de efectuar perforaciones de hasta 250 a 300 m de profundidad, con la recolección de muestras sedimentológicas y niveles acuíferos atravesados. No hay información al respecto de esas profundidades en el área.

*Se propone llevar adelante estudios isotópicos, de geofísica, modelación de flujo y, a partir del análisis de todas estas disciplinas, junto a los ya elaborados en la presente tesis, formular pautas de gestión sostenible en el uso de este único recurso potable en la región, tan importante para el desarrollo económico y social de la comarca.



BIBLIOGRAFIA

- Aggarwal, P.K., Fuller, M.E., Gurgas, M.M., Manning, J.F., and Dillon, M.A. 1997.** Use of stable oxygen and carbon analyses for monitoring the pathways and rates of intrinsic and enhanced in situ biodegradation. *Environ. Sci. Technol.* 31, 590-596
- Albero, M.C. y Panarello, H.O., 1981.** Tritio and stable isotopes in precipitation water in South America. *Interamerican Symposium of Isotope Hydrology, IAEA, Collumbia*, 91-109.
- Albouy, R y E. Castro, 2008.** Drenaje diferido en sedimentos pampeanos. Análisis de ensayos de bombeo. Actas del VI Congreso Latinoamericano de Hidrología para el Desarrollo. Quito. Ecuador.
- Allen, R.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. 1998.** Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO. Roma. 300pp
- Appelo y Parkhurst (2007).** User's Guide to PHREEQC —A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations
- Appelo, C. y D. Postma. 1996.** Geochemistry, groundwater and pollution. Balkema, 239-295. Rotterdam. ISBN 90 5410 105 9. 536 p.
- Arango M., 1980.** Modelo Físico de elevación topográfica de La Pampa. Administración Provincial del Agua. La Pampa. Inedito.
- Aravena, R. 2002.** Use of Environmental Isotopes in contaminant studies in groundwater. XXXII IAH & VI ALHSUD "Groundwater and Human development" Congress , Volume (CD): Bocanegra, E - Martínez, D - Massone, H (Eds.) - ISBN 987-544-063-9: 1920-1925.
- Aravena, R., Auge, M., Bucich, N., and Nagy, M. I., 1999.** Evaluation of the origin of groundwater nitrate in the city of La Plata, Argentina, using isotope techniques. In: Proceeding XXIX IAH Congress, Hydrogeology and Land Use Management, Bratislava, September 6-10, 5 pp.
- Arigós, L., 1969.** El Agua Subterránea en el Oeste de la Provincia de Buenos Aires. Comisión de Investigaciones Científicas. Relatorio. pp.51-78. La Plata. Buenos Aires.
- Balestri, L y Schulz Carlos, 2009.** Revisando los costos de los Servicios de agua en la Provincia de La Pampa, Argentina. Planificación y Gestión de Aguas Subterráneas del VI Congreso Argentino de Hidrogeología, IV Seminario Hispano-Latinoamericano de temas actuales en Hidrología Subterránea. Editores L. Vives, E. Custodio Gimena y Leticia Rodríguez. Pag. 205-214. ISBN 978-987-1082-38-4. Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- Baldi, G, J.P. Guerschman, and J.M.Paruelo. 2006.** Characterizing fragmentation in temperate South America grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 116:197-208
- Bavera, G.A., Rodriguez, E. ,Beguet H.A, Bocco O.A y Sanchez, J.C., 1979.** Aguas y Aguadas. Ed. Hemisferio Sur, 284 p., Buenos Aires.
- Benítez, A. 1972.** Captación de aguas subterráneas. Nuevos métodos de prospección y cálculo de caudales. Editorial Dossat, S.A. Madrid. 619 p.
- Bigeleisen, J.. 1952.** The effects of isotopic substitutions on the rates of chemical reactions. *J. Phys. Chem.* 56: 823-828.
- Bigeleisen, J. y Mayer, M.G., 1947.** Calculation of equilibrium constants for isotopic exchange reactions. *J. Chem. Phys.* 15: 261-267.
- Bigeleisen J., 1965.** Chemistry of Isotopes. *Science* 147: 463-471.
- Bisceglia, H., 1973.** Estudio de Fuentes de Ceballos. La Pampa. Dir. Gral. del SAPSA. Informe Interno. A.P.A., Santa Rosa.
- Blarasin M., A. Cabrera, E. Matteoda, G. Damilano y J. Giuliano Albo, 2008.** Indicadores para evaluar cambios ambientales en acuíferos. Consideraciones sobre el fondo natural de la calidad de agua. En "Evaluación de la sustentabilidad ambiental en sistemas agropecuarios" Cantú, Becker, Bedano eds. ISBN 978-987-1003-58-7 pag. 69-80 Ed. UNRC
- Blarasin M., Cabrera A., S. Bettera, C. Frigerio y M. Pagliaricci, 2001.** Escenarios e indicadores de contam. urbana en medio anaerobio y aerobio acuíf. freático, Río Cuarto, Arg. V. 1: 17-25, ISBN 84-7840-427-9. Ed. IGTME. España.
- Blarasin M., G. Damilano, A. Cabrera y E. Matteoda, 2006.** Hidrogeoquímica del acuífero freático en un agroecosistema y consideraciones sobre el cálculo de línea de base de calidad del agua. Actas en CD Congr. Latinoam. de Hidrol. Subt. Paraguay. 25 pág.

- Blarasin M., J.C. Bedano, M.L. Tione, E. Matteoda y A. Cabrera, 2007.** Caracterización de un acuífero loésico e identificación preliminar de microinvertebrados: ecosistema y consideraciones ambientales. Pag 409-421. Actas V Congreso Argentino de Hidrogeología. Paraná E.Ríos
- Blarasin, M., Cabrera A., Felizzia J., Frigerio C. Y Bettera S., 2001.** Los geoindicadores y la problemática ambiental urbana relac. a cambios de niveles y calidad de aguas subt. Simposio especial geoindicadores amb. Mar del Plata.
- Blarasin, M., S. Degiovanni, A. Cabrera y M. Villegas, 2005.** Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: una perspectiva geambiental. Libro editado por Ed UNRC. ISBN: 950-665-350-X 319 pag
- Bonorino A.G., 1989.** Caracterización química de la lluvia en la región del suroeste bonaerense. Seminario Internacional Hidrología de Grandes Llanuras. Actas. Buenos Aires Argentina.
- Bonorino A.G., 1991.** Evaluación de la recarga de agua subterránea en el área de la vertiente occidental de las Sierras Australes, Provincia de Buenos Aires. Asociación geológica Argentina Rev. , XLVI (1-2): 93-102
- Braccacini, O.,1980.** Cuenca del Salado. II simposio de Geología Regional Argentina. Vol.II. pp.879-917.Academia Nacional de Ciencias. Córdoba. Argentina.
- Burgos J. y A. Vidal, 1951.** Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thomthwaite. Revista Meteoros I(1). Buenos Aires.
- Burgos, J; A. Troha y J. Forte Lay, 1983.** Capacidad de agua y verificación de modelos de estimación de valores mínimos de almacenaje en algunos suelos áridos y semiáridos. IDIA (INTA). Argentina. Suplemento (36):87-95.
- Cabrera, A.; M. Blarasin; E. Matteoda y G. Damilano, 2008.** Evidencias del control morfoestructural sobre la geoquímica del acuífero freático en la llanura del Sur de Córdoba. Argentina. IX Congreso de Hidrología Subterránea y Expo Agua 2008. Actas en CD.Quito .Ecuador
- Cano E, G. Casagrande, J.C.Salazar Lea Plaza, D. Maldonado Pinedo, H.Martinez, R Hevia, C.O. Scoppa, , B. Fernandez, M. Montes, J.C. Musto, A Pittaluga. 1980.** Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria., Universidad Nacional de la Provincia de La Pampa y Gobierno de La Pampa.
- Carrica, J., A. Bonorino, G. Alvarez y R. Torrente, 1988.** Evaluación de métodos empíricos para el cálculo de la evapotranspiración real en el ámbito de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses. Actas:589-598. Bahía Blanca.
- Carrica, J. C., Rossi S. P., Albouy E. R. y A.G. Bonorino, 1992.** Hidroquímica del agua subterránea del sector pedemontano de la vertiente sudoccidental de las Sierras Australes, provincia de Buenos Aires. III Jornadas Geol. Bonaerenses, Actas: 159-164. La Plata.
- Carrica J., 1993.** Balshort: Un programa de balance hidrológico diario del suelo aplicado a la región sudoccidental pampeana. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas Tomo VI:243-248.
- Carrica J, Bonorino A.,1988.** Evaluación de métodos empíricos para el cálculo de Evapotranspiración real en el Ambito de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. Actas II Jornadas Geol.Bonaerenses. pp.589-598. Bahía Blanca. Buenos Aires.
- Castany G. 1971.** Tratado práctico de las aguas subterráneas. Ed. Omega S.A. Barcelona. 672 p.
- Castro, E.,1990.** Estudio Hidrogeológico para aprovechamiento Industrial en la localidad de Intendente Alvear. APA. Dir. Rec. Hídricos. Informe Interno 14 pp. Santa Rosa. La Pampa. Arg.
- Castro, E., Tullio J.,1989.** Informe preliminar de los pozos de Exploración en la localidad de Intendente Alvear. Consideraciones Geológicas y Geomorfológicas. Informe Interno. Dir. de R.Hídricos. Santa Rosa. La Pampa.
- Castro E, Tullio J, 1991.** Estudio de Fuentes de Intendente Alvear - Replanteo y Adecuación del Servicio. APA. Dir. Rec.Hídricos. Trabajo Publicado V Jornadas C.Naturales. II Tomo.pp.19-26. Santa Rosa. La Pampa.
- Castro, E; Schulz, C y Mariño, E.,, 1997,** Análisis Hidrogeoquímico del Flúor en la Provincia de La Pampa. Actas y Resúmenes del Congreso Internacional sobre Aguas-Workshop sobre

Química Ambiental y Salud. AIH. Grupo Montevideo. Facultad de Derecho de la UBA. Buenos Aires. Pag. Secc. III-59.

Comité de Investigación de Aguas Subterráneas, 1970. Cartografía Temática de Intendente Alvear y Gral.Pico. M.O.P., APA. Informe Interno. Santa Rosa. La Pampa.

Consejo Federal de Inversiones., 1975. Mapa geológico de la Provincia de Buenos Aires. Convenio CFI- MOP.M.A.A. Buenos Aires.

Consultora Amilcar Risiga y Asociados SRL., 1988. Estudio para Ajustar el Conocimiento Hidrogeológico del Acuífero Pico-Dorila y el Funcionamiento Hidráulico de la Batería de Pozos que Abastecerán al Servicio de Agua Potable de la Ciudad de General Pico, 1988, Administración Provincial de Agua.

Consultores del Plata-Deane Emmet SRL, Ingemar SRL.,1973.Estudio Hidrogeológico de General Pico-Vertiz. Provincia de La Pampa. Informe de Avance. Buenos Aires.

Craig, H., 1961. Isotope variations in meteoric waters. Science 133: 1702-1703.

Custodio, E., Llamas M.,1976. Hidrología Subterránea. II Tomos. Edición Omega. Barcelona.

Custodio E. y M R Llamas, 1976. Hidrología Subterránea. Primera Edición. Ed.Omega Barcelona. 2259 p.

Custodio E, Poncela P, Badiela A, Bayo Dalmau A, 1992. Técnicas Hidrogeoquímicas e isotópicas ambientales aplicadas al estudio Hidrogeológico de la Serra Nord de Mallorca. España. V Simposio de Hidrogeología. Asociación Española de Hidrología Subterránea. Alicante. España

Davis S. y R De Wiest, 1971. Hidrogeología. Ed. Ariel, Barcelona. 566 p.

Dansgaard, W.,1964. Stable isotopes in precipitation. Tellus 16: 436-468.

Dapeña, C., 2007. Isótopos Ambientales livianos: su aplicación en hidrología e hidrogeología. Tesis Doctoral. Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias y Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Tesis 4282. 442p

Dapeña, C. y Panarello, H.O., 1999. Development of the National Network for Isotopes in Precipitation of Argentina. II Simposio Sudamericano de Geología Isotópica (IISAGI), Córdoba, Actas: 503-507.

Dapeña, C. y Panarello, H.O., 2002. Red Nacional de Colectores de Isótopos en precipitación en Argentina: su importancia en estudios hidrogeológicos. Congreso Agua Subterránea y Desarrollo Humano. Bocanegra, E., Martínez, D., Massone, H. (Eds.), Vol. (CD), 1053-1060.

Dapeña, C. y Panarello, H.O., 2005. Evolución y estado actual de la Red Nacional de Colectores de Isótopos en Precipitación de la República Argentina. Actas del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, II: 635-642.

Dapeña, C. y Panarello, H.O., 2007a. Application of environmental isotopes techniques to selected hydrological Pampean Systems. Argentina. International Symposium on Advances in Isotope Hydrology and its role in Sustainable Water Resources Management (HIS-2007), IAEA Proceedings. Vol. 1: 251-260. CN151-90. Vienna, Austria.

Dapeña, C. y Panarello, H.O., 2007b. Composición isotópica de la precipitación de la Estación Santa Fe. Red Nacional de Colectores. Argentina. V Congreso Argentino de Hidrogeología, Actas: 187-198.

Dapeña, C. y Panarello, H.O., 2008. Isótopos en precipitación en Argentina. Aplicaciones en estudios Hidrológicos e Hidrogeológicos. IX Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. ALHSUD Volumen CD T-100. 8p. Quito, Ecuador.

Degiovanni S. y M. Blarasin, 2008. Nitratos en el acuífero freático y su relación con aspectos morfolitológicos y de uso del territorio. Cuenca Achiras-del Gato. Córdoba, Argentina. IX Congreso de Hidrología Subterránea y Expo Agua 2008. Actas en CD.Quito .Ecuador

Degiovanni, S., M. Villegas, M. Blarasin y G. Sagripanti, 2005. Hoja Geológica Río Cuarto-3263-III- SEGEMAR. ISSN 0328-2333, 90 pág.

Degiovanni, S.,N. Doffo y M. Villegas, 2008. Rejuvenecimiento de la red de drenaje del Sur de Córdoba como consecuencia del cambio climático durante la última centuria. Ed. Especial sobre Geomorfología y Cambio Climático. Sayago y Collantes (Eds), INGEMA

Degiovanni S. y M. Blarasin, 2008. Nitratos en el acuífero freático y su relación con aspectos morfolitológicos y de uso del territorio. Cuenca Achiras-del Gato. Córdoba, Argentina. IX Congreso de Hidrología Subterránea y Expo Agua 2008. Actas en CD.Quito .Ecuador

- D'Elia M., Tujchneider O., Paris M., Perez M. y Aravena R. 2006.** Técnicas isotópicas en la caracterización de sistemas de flujo subterráneo en Esperanza y Paraná, Argentina. *Revista Latinoamericana de Hidrogeología*, Volumen 5: 31-38
- de Elorriaga E y J.O.Tullio, 1998.** Relieve Superficial y Estructuras del Subsuelo y su influencia en la morfología en el Norte de la Provincia de La Pampa. 8vo. Congreso Latinoamericano de Geología. Buenos Aires.
- de Ormaechea J, Malán J,1979.** Informe Hidrogeológico preliminar para provisión de Agua Potable a Ceballos. La Pampa. Dir. Rec. Hídricos. Santa Rosa.
- De Salvo E, Cecci J, Dillon A,1969.** Caracteres geológicos de los depósitos eólicos del pleistoceno superior de Junín. Pcia. de Buenos Aires. IV jornadas Geológicas Argentinas. T.I, pp.269-290. Buenos Aires.
- Dirección Nacional de Geología y Minería, 1958.** Perfiles de perforaciones. Publicación N° 146
- Di Salvo, C., Rodríguez, K. y Celli, A., 2008.** Informe Geológico y Geotécnico de Inventario, Río Colorado, Prov. De La Pampa y Río Negro. Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires. (Inédito).
- Drever, J., 2002.** The Geochemistry of natural waters, surface and groundwater environments. 3rd. edition. Prentice Hall. ISBN 0-13-272790-0.
- Epstein, S. and Mayeda, T., 1953.** Variation of $O^{18}O$ content of water from natural sources. *Geochimica and Cosmochimica Acta* 4: 213-224.
- Fagundo Castillo J.R, Valdez Ramos J y Rodriguez R,j, 1996.** Hidroquímica del Karst. Grupo de investigaciones de Recursos Hídricos y Geología Ambiental. La Habana. República de Cuba. ISBN 84-921345-8-X. Ediciones Osuna.
- Fiering, M. B. (1982).** Alternative indices of resilience. *Wat. Resour. Res.* 18, 33-39.
- Fili M., Tujchneider O., Paris M., Perez M. y D'Elia M. 1999.** Variables hidrogeológicas regionalizadas. Casos de estudio. Centro de Publicaciones de la UNL. Santa Fe, Argentina. 156pp.
- Folguera A y M, Zárate. 2009.** La sedimentación neógena continental en el sector extrandino de Argentina central. *Revista de la Asociación Geológica Argentina.* v 64 (n4). Buenos Aires.
- Forte Lay J y J Burgos, 1978b.** Verificación de métodos de estimación de la variación del almacenaje de agua en los suelos pampeanos. Taller argentino-estadounidense sobre sequías. CONICET. Mar del Plata. Ed. J Burgos. Buenos Aires . Argentina. Noviembre de 1983. p 162-180.
- Forte Lay J y R Del Barrio, 1983.** Método para la estimación de las necesidades de riego complementario en la región pampeana. XI Congreso Nacional del Agua, Actas Tomo IV:127-149. Córdoba. Argentina.
- Forte Lay J y M Villagra, 1983.** El balance hidrológico de Thornthwaite y Mather (1955) aplicado bajo diferentes unidades de tiempo. Verificación con valores observados y comparación de resultados. XI Congreso Nacional del agua. Aguas Superficiales (I):89-119.
- Forte Lay J, J Troha y M Villagra, 1985.** Estudio de las variaciones de agua edáfica en pradera permanente, barbecho y cultivos estacionales. XII Congreso Nacional del Agua. Mendoza. Argentina. Vol. Agroecología. Tomo (II):181-202.
- Friedman, I., 1953.** Deuterium content of natural water and other substances. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 4: 89-103.
- Fritz, P. Y Fontes, J. CH. (eds). 1989.** Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. The Marine Environment, A. Volume 3. Elsevier. 429pp.
- Fritz, P. Y Fontes, J. CH. (eds.) 1980.** Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. The Terrestrial Environment, A. Volume 1. Elsevier. 545pp.
- Fritz, P. Y Fontes, J. CH. (eds.) 1986.** Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. The Terrestrial Environment, B. Volume 2. Elsevier. 557pp.
- Froehlich, K., Gibson, J.J. y Aggarwal, P., 2002.** Deuterium excess in precipitation and its climatological significance. En: Study of environmental change using isotope techniques, C&S Papers Series 13/P: 54-65. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- Giai S, De Ormaechea J, 1972.** Informe preliminar sobre Fuentes de Intendente Alvear. Informe Interno. Santa Rosa. La Pampa.
- Giai S., 1975.** Plan de Investigación de Aguas Subterráneas. Informe preliminar. Inédito. Dirección de Aguas Subterráneas. La Pampa.

- Giauque, W. F. and Johnston, H. L., 1929.** An isotope of oxygen, mass 18. *Journal Am. Chem. Society*, 51: 1436-1441
- Giraut, M; Lupano, C; Schulz, C y Rey, C;** Cartografía hídrica superficial de la Provincia de La Pampa. Tercer Congreso de la Ciencia Cartográfica. X Semana Nacional de Cartografía. 26-29 de junio de 2006, Buenos Aires, Argentina.
- Goldschmidt, V.T,** 1954. *Geochemistry*, A Muir, ed., Clarendon Press, Oxford, 730.
- Gonfiantini, R., 1999.** Investigating the hydrological Cycle with Environmental Isotopes. Conference. II South American Symposium on Isotope Geology, Actas: 537-547
- Gonzalez Bonorino F, 1973.** Introducción a la Geoquímica. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Departamento de Asuntos Científicos. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington. USA.
- Gourcy, L., 2002.** Strengthening the use of isotope techniques for a sustainable groundwater management . XXXII IAH & VI ALHSUD "Groundwater and Human development" Congress , Volume (CD): Bocanegra, E - Martínez, D - Massone, H (Eds.) - ISBN 987-544-063-9:: 1926-1931.
- Gregori D., D. Robles, J. Kostadinoff, G. Alvarez, A. Raniolo, M. Barros y L.Strazzere. 2009.** Las cuencas del extremo noroeste de la provincia de Buenos Aires. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* v.64 n.4 Buenos Aires.
- Hirata, R. Y Varnier, C., 2002.** The use of isotopic techniques in determining groundwater pollution vulnerability - A Latin American perspective. XXXII IAH & VI ALHSUD "Groundwater and Human development" Congress , Volume (CD): Bocanegra, E –
- Howe, G.M., Slaymaker, H.O. and Harding, D.M.** 1967: Some aspects of the flood hydrology of the upper catchments of the Severn and Wye. *Transactions of the Institute of British Geographers* 41, 33–58.
- IAEA/WMO, 2002.** Global Network for Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. <http://isohis.iaea.org>.
- INTA, Provincia La Pampa, Universidad Nac.de La Pampa, 1980.** Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. Buenos Aires.
- Iriondo M y D. Kröhling, 1997.** El Sistema Eólico Pampeano. Comunicaciones Nueva Serie 5 (1). Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino. Santa Fé.
- Jensen M, 1985.** Future directions for evapotranspiration. *Advances in evapotranspiration. Proceedings of the National Conference on Advances in evapotranspiration.* Dec 1985. Chicago IL. Am. Soc. Of Agricultural Engineers: 100-104.
- Klimes, V. (1982a).** The desirable degree of rigour in the testing of rainfall-runoff models. AGU Fall Meeting 1982, San Francisco; abstract in *Eos* 63(45), 9 November, p.922.
- Klimes, V. 1983.** Conceptualization and scale in hydrology. *Journal of Hydrology*, vol. 65, issue 1-3, pp. 1-23. www.adsabs.harvard.edu/abs/1983JHyd...65...1K
- Koepfen W. 1948.** *Climatología; con un estudio de los climas de la tierra.* Fondo de Cultura Económica, México, 478 p..
- Kostadinoff J y Llambías E., 2001.** Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la Provincia de La Pampa.
- Kraynov S., Ryzhenko B., Shvarov Y., Vasilikova I., Kraynova L., 1980.** Hydrodynamic conditions for computer simulation of physicochemical interactions in a water-rock system in hydrochemical forecasting: Application to CaF₂ with solutions of various compositions. *Geochem. Internat.* 17(3), 17-29
- Leguy, C., Rindsberger, M., Zwangwil, A., Issar, A. and Gat, J.R., 1983.** The relation between the 18O and deuterium contents of rain water in the Negev Desert and air-mass trajectories. *Chem. Geol. (Iso. Geo. Sec.)*, 1, 205-218.
- Levin M., Albero M., Panarello H. O., Hernandez M., Lorenzo F. y Kersfeld A. 1988a.** Uso de isótopos ambientales (¹⁸O, ²H y ³H) para la determinación de recarga y trazado de procesos hidrodinámicos en un sector costero de la provincia de Buenos Aires. Primera parte. *Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses, Bahía Blanca; Actas: 599-607*
- Levin M., Panarello H., Albero M., Castrillo E., Grizinik M. and Amoroso A. (1987).** Groundwater recharge and subsurface flow at Comodoro Rivadavia and west area. Chubut, Argentina. Isotopic and geochemical study. In I. Simmers(ed.) *Estimation of Natural Grounwater Recharge NATO-ASI Series Volume. D. Reidel Publish. Co. Dordrecht, Holland, 377-393.*

- Linares E, Llambías E y C Latorre, 1980.** Geología de la Provincia de La Pampa y Geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas. RAGA. Tomo XXXV, N°1. pp.87-146. Buenos Aires.
- Linsley R, M Kohler and J Paulhus, 1977.** Hidrología para ingenieros. McGraw Hill. México. 386 p.
- Llambías E, 1975.** Geología de la Provincia de La Pampa y su aspecto minero. Dirección de Minas. Santa Rosa. La Pampa.
- Llambías E y C Prozzi, 1975.** Ventania. VI Congreso Geológico Argentino. Bahía Blanca Relatorio Geología de la provincia de Buenos Aires: 79-103.
- Lobdell G. (1981)** "Hydroconsolidation Potential of Palouise Loess". Journal Geotech. Engng. ASCE. Vol 107. N° GT6. pp:733-742.
- Luque J A, 1981.** Hidrología Agrícola Aplicada. Editorial Hemisferio Sur S.A. Colección de tetos de Agronomía y Veterinaria. Buenos Aires.
- Malagnino E, 1988.** Evolución del sistema fluvial de la provincia de Buenos Aires desde el Pleistoceno hasta la actualidad. Actas 2° Jornadas Geológicas Bonaerenses, Pag. 201-212. Bahía Blanca. Bs. As.
- Malagnino E, 1989.** Paleformas de origen eólico y sus relaciones con los modelos de inundación de la Provincia de Buenos Aires. IV Simposio Latinoamericano de Percepción Remota. IX Reunión Planetaria SELPER. PP.611-620. Bariloche. Argentina.
- Malán M., 1980.** Informe sobre los pozos de explotación de Conelo-Rucanello. Inédito. Administración Provincial del Agua. Santa Rosa.
- Malán J, Schulz C, 1988.** Estudio Hidrogeológico para la provisión de agua potable a la localidad de Quemú Quemú. Actas II jornadas geológicas bonaerenses, pp.567-578. Buenos Aires.
- Malán J, Miglianelli C, 1981.** Perforaciones para ampliación y mejoramiento del servicio de agua a I. Alvear. Informe Interno. APA. Santa Rosa. La Pampa.
- Martinez E, 1994.** Calidad del Agua Subterránea y características de sus contaminantes. Conicet. C.Geol. de Costas. Jornadas sobre contaminación y Sobreexplotación de Rec. Hídricos. Pp.1-32. Santa Rosa. La Pampa.
- Mariño E, 2003.** Sistema Hidrogeológico de un acuífero libre en ambiente medaneso en el área de General Pico-Dorila. Provincia de la Pampa. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.
- Mariño, E. (2007).** "Procesos que determinan las características hidroquímicas del acuífero de General Pico, La Pampa, Argentina". V Congreso Argentino de Hidrogeología, III Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea, Paraná, 16 al 19 de octubre de 2007. Actas: pp 106- 113. (ISBN 978-987-23936-2-5).
- Mariño E, Limonsin T, 1962.** Los sedimentos actuales del partido de Junín. Anales de las I Jornadas Geológicas Argentinas. Tomo II, pp.203-226. Buenos Aires.
- Mendiluce J., 1993.** Evolución histórica de los conceptos y de la práctica de la planificación hidrológica. Ed J. Abreu. Barcelona. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería
- Miotke, F. 1971.** Measurement of CO₂ in soil atmosphere. Procedure results and Significance in Karst Studies. Cave Research Meeting, Hamilton, Ontario. 1975. Abstract in: Cave and Research in Speleology, 13(5): 42-43.
- Nier, A. O., 1950.** A redetermination of the relative abundances of the isotopes of carbon, nitrogen, oxygen, argon, and potassium. Phys. Rev. 77: 789
- Nuñez M, 1987.** Clima: Evolución y Futuro. Universidad de Buenos Aires. Conicet.
- Nativ R y Mazor E, 1987.** Rain events in an arid environment. Their distribution and ionic and isotopic composition patterns: Makhtesh Ramon Basin, Israel. Journal of Hydrology, 89 (3/4): 205-237.
- Orsolini, H., E. Zimmermann y P. Basile, 2000.** Hidrología, procesos y métodos. UNR Rosario editora. ISBN 950-673 254-4.
- Ostera, H.A y Dapeña C., 2003.** "Environmental Isotopes and Geochemistry of Bañado Carilauquen. Mendoza, Argentina . IV South American Symposium on Isotope Geology, Bahía, Brasil , Short Papers ,V2: 461-464.
- Panarello, H.O. y Parica, C.A., 1984.** Isótopos del oxígeno en hidrogeología e hidrología. Primeros valores en aguas de lluvia de Buenos Aires. Asociación Geológica Argentina, Revista 39 (1-2): 3-11.
- Panarello, H.O., Araguas-Araguas, L., Gerardo Abaya, J. y Gibert, E., 1998.** The role of the "Global Network for Isotopes in precipitation, GNIP, in hydrological and hydroclimatic studies. Key note. Actas del International Symposium on Isotope Techniques in the Study of Past and

Current Environmental Changes in the Hydrosphere and the Atmosphere. International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 79-91.

Panarello H.O., 1987. Relaciones entre concentraciones de isótopos livianos utilizados como indicadores ambientales y de paleotemperaturas. *Tesis Doctoral*. Universidad de Buenos Aires. 104p.

Panarello H.O. and Dapeña C. (2003). Stable Isotope Composition of the Rio de la Plata estuary: A consequence of ITCZ movement and ENSO related phenomena. Extended Synopsis IAEA-CN-104/P-166. International Symposium on Isotope Hydrology and Integrated Water Resource management, IAEA, Vienna. TOPIC: Water cycle processes in the atmosphere and hydrosphere, including surface water, groundwater, and watershed-based studies

Panarello H.O. y Dapeña, C. 1996. Mecanismos de recarga y salinización en las cuencas de los ríos Mendoza y Tunuyán, Mendoza, República Argentina: evidenciados por isótopos ambientales. *Memorias del XII Congreso Geológico de Bolivia- Tarija, Bolivia: 531-543.*

Panarello H.O., Dapeña C. y Auge M.P. 1995. Mecanismos de salinización del agua subterránea de la zona de La Plata, Buenos Aires, Argentina: su interpretación por medio de los isótopos ambientales. *International Atomic Energy Agency Technical Document 835: 13-27*

Paoloni J y R Vázquez, 1985. Necesidades teóricas de agua de los cereales de invierno y probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones como base para el balance hídrico. *Anales de Edafología y Agrobiología, XLIII: 1545-1556.* Buenos Aires.

Parica P., 1986. Petrología y Geocronología del sector central de las Sierras de Lonco Vaca. La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina. 41,(3-4). 270-289.*

Pilla, G., E. Sacchi, G. Zuppi, G. Braga, G. Ciancetti. 2006. Hydrochemistry and isotope geochemistry as tools for groundwater hydrodynamic investigation in multilayer aquifer: a case study from Lomellina, Po plain, Italy. *Hydrogeology Journal 14 (5): 795-808.* Springer.

Plata Bedmar, A., 1979. Técnicas hidrológicas basadas en los isótopos estables del agua. Centro de estudios y experimentación de obras públicas, gabinete de aplicaciones nucleares a las obras públicas. Madrid. 53p.

Quintela R, O Canziani y S Valtorta, 1987. Nuevos enfoques para calcular la evaporación y la transpiración. *Geoacta 14 (1): 27-37.* Buenos Aires.

Quintela R, O Scarpati y R Rodríguez, 1988. Análisis comparativo de la evapotranspiración horaria (potencial y real) en zonas húmedas y semiáridas. *XV Reunión Científica de la Asoc. Argentina de geofísicos y Geodestas. Catamarca. Actas.*

Ramos, V., 1999. "Las Provincias Geológicas del Territorio Argentino". En: *Caminos, R. (Ed.). Geología Argentina.*

Ramos, V. y Cortés, J., 1984. "Estructura e interpretación tectónica". En: *Ramos, V. (Ed.), Geología y recursos naturales de la Provincia de Río Negro. IX Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 317-346.* Buenos Aires.

Rissiga A, 1988. Estudio para ajustar el conocimiento hidrogeológico del Acuífero Gral. Pico-Dorila y el funcionamiento Hidráulico de los pozos que abastecerán de agua a General Pico. 9 Tomos. Santa Rosa. La Pampa.

Roether W., 1970. Water CO₂ exchange set-up for the routine oxygen-18 assay of natural water. *International Journal Applied Rad. Isotopes, 21: 379-387*

Rozanski, K., Araguas Araguas, L. y Gonfiantini, R., 1993. Isotopic patterns in modern global precipitation. *Climate Change in Continental Isotopic Records, Geophysical Monograph 78, American Geophysical Union, 1-36.*

Salem, Z., Y. Sakura, M. Mohammed Aslam. 2005. The use of temperature, stable isotopes and water quality to determine the pattern and spatial extent of groundwater flow: Nagaoka, Japan. *Hydrogeology Journal. 12(5): 563-575.*

Samper, J. y J. Carrera. 1996. *Geoestadística. Aplicaciones a la hidrología subterránea.* CIMNE. Barcelona.

Sahuquillo A. 1993. *Datos hidrogeológicos.* Ed J. Abreu. Barcelona. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería

Sanchez G.A. 1993. *Evaluación de la Demanda: Conceptos y métodos para la planificación hidrológica.* Ed J. Abreu. Barcelona. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Pag. 257-273.

Sánchez A. 1993. *Objetivos en planificación hidrológica.* Ed J. Abreu. Barcelona. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.

- Sala J M, 1975.** Recursos hídricos de la provincia de Buenos Aires, especial mención de las aguas subterráneas. VI Congreso Geol. Argentino. Bahía Blanca, Relatorio: 169-193.
- Sala J M, N. González y E Kruse, 1983.** Generalización hidrológica de la provincia de Buenos Aires. Hidrología de Grandes Llanuras, Olavarría. Actas del Coloquio 2: 975-1009.
- Salso, J.H, 1966.** La Cuenca de Macachín. Provincia de La Pampa. Nota preliminar. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 21 (2). 107/117.
- Sato, A., Tickyj, H. y Llambías, E., 1996.** "Geología de los granitoides aflorantes en el sur de la provincia de La Pampa, Argentina". XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas5: 429-439. El Calafate.
- Schoeller H, 1962.** Les eaux sauterrains. Ed. Masson, Paris, 642 p.
- Schulz C., 1998.** Proyecto de Ley "Código de Aguas de La Pampa", Simposio "El Agua en el 2000", Economía, Planificación y Gestión de Los Recursos Hídricos, Instituto del Agua y del Medio Ambiente y Subsecretaría de Ecología de La Pampa, Santa Rosa, La Pampa.
- Schulz C. 1998.** La Planificación Hidrológica como base del código de aguas de La Pampa, XVIII Congreso Nacional del Agua y II Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur, Santa Fe.
- Schulz C., G. Bonorino, L. Vives y Dornes, P. (1997).** Estudio de Planificación y Gestión de los Recursos Hídricos del Valle Argentino, Provincia de La Pampa. Congreso Nacional de Hidrogeología, Actas: 403-414, Bahía Blanca.
- Servicios Tecnicos Sprrtsn S.A., CFI, 1981.** Proyecto de aprovechamiento minero Provincia de La Pampa. Etapas I y II. Informe parcial. Buenos Aires.
- Servicio Geológico Minero Argentino.** Anales 29 (3): 41-96. Buenos Aires.
- Stappenbeck R, 1926.** Geología y Aguas Subterráneas de La Pampa. Traducción de O'Connor y otros. Ediciones Pangeo Argentina. Córdoba.
- Steenhuis T. S. and Van der Molen W H, 1986.** The Thornthwaite - Mather Procedure as simple engineering method to predict recharge. Journal of Hydrology 84 : 221-229.
- Stumm y Morgan. (1996).** Aquatic Chemistry, John Wiley & Sons inc.3ed-1022pp
- Sumpis Villegas J. 1999.** Gestión del agua y política Agraria. Planificación Hidrológica y política hidráulica. (El Libro Blanco del Agua). Edi. A. Embid Irujo. Madrid. Pag. 257-273.
- Szadeckzy-Karddoss, 1959.** E. Seltene Elementeund Geochemie, Freiburger Forschngsh., 58,pp 5-19.
- Tapia A, 1961.** Prospección Preliminar. Estudio de Fuentes de Intendente Alvear. M.G. y O.P. Intendente Alvear. Realicó. La Pampa.
- Tickyj H, y Llambías E., 1999.** El basamento cristalino de la región sur-oriental de La Pampa: Extensión austral del orógeno Famatiniano de Sierras Pampeanas. Actas del XIV Congreso Geológico Argentino. Salta.
- Tineo, A.; C. Falcón; J. García y C. D'Urso, 1992.** Características Hidroquímicas de las Cuencas de los Ríos Colorado y Famaillá, Provincia de Tucumán, República Argentina. IIº Congreso Regional EL NOA y su Medio Ambiente. T(1): 362-366. Salta.
- Tineo, A.; 1999.** Las Cuencas Sedimentarias de edad Cuaternaria en la provincia de Tucumán. 4º Jornadas de Comunicaciones. Pág. 107. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán. San Miguel de Tucumán.
- Tineo, A., 2000.** Las Cuencas Sedimentarias de edad cuaternaria en Tucumán, Argentina. 1º Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. Fortaleza, Ceará, Brasil.
- Toran, L y Saunders, J., 1999.** Modelling alternative paths of chemical evolutions of Na-HCO3-type groundwaters nears Oak Ridge, Tennessee. USA. Hydrogeology Journal,7(4)355-364.
- Thornthwaite C W, 1948.** An approach toward a rational classification of climate. Reprinted from the Geographical Review, XXXVIII (1): 55-74.
- Thornthwaite C W y J Mather, 1955.** Instrucciones y tablas para el cómputo de la evapotranspiración potencial y el balance hídrico. INTA, Instituto de Suelos y Agrotecnia. Bol. Interno 46 (1967). Buenos Aires.
- Tricart J, 1973.** Geomorfología de la pampa deprimida. Base para estudios edafológicos y agronómicos. INTA Col. Científica XII, 202 p. Buenos Aires.
- Troha A y J Forte Lay, 1984.** Probabilidad de valores mínimos extremos de almacenaje de agua en el suelo de la provincia de Buenos Aires. Geoacta (AAGG) Vol. 12(1): 169-180.
- Troha A y J Forte Lay, 1990.** Estimación de la humedad edáfica mediante distintos métodos de balance hidrológico diario. Geoacta (AAGG) Argentina.Vol 17 (2): 69-78

- Troha A y S Falasca, 1991.** Estimación de la evapotranspiración potencial diaria mediante fórmulas poco utilizadas en la República Argentina. V Reunión Argentina de Agrometeorología realizada en La Falda (Córdoba) Octubre 1991. Actas.
- Tujchneider, O., Filí, M., Paris, M. y D'elia, M. 1994.** Investigaciones hidroquímicas e isotópicas en las aguas subterráneas de Entre Ríos. Arg.II Cong. Latinoamericano de Hidrología Subterránea. ALSHUD. Chile. Vol.2: 693-706.
- Tujchneider O., Paris M., Perez M. y D'Elia M. 2006.** Singularidad constitutiva de sistemas geohidrológicos de llanura y gestión de los recursos hídricos subterráneos. Revista Latinoamericana de Hidrogeología. Volumen 5: 117-121.
- Tullio J, 1986.** Replanteo de Fuentes de abastecimiento de localidades varias de La Pampa. Informe Interno. Santa Rosa. La Pampa.
- Tullio J, 1989.** Informe sobre las posibilidades de abastecimiento a Bernardo Larroudé. Replanteo. Informe Interno. Santa Rosa. La Pampa.
- Tullio J y Martínez H. 1979.** Sedimentos arenosos de la Formación Valle de Maracó. Inédito. Santa Rosa. La Pampa.
- United States Department of Agriculture. 1967.** Soil Survey Staff, Supplement to soil classification (7th Approximation) S.C.S.Washington D.C.
- Urey, H.C., Brickwedde, F.G. and Murphy, G.M., 1932b.** A hydrogen isotope mass 2. Physics Review, 39: 1645
- Usunoff, E.; Varni, M.; Arias, D.; Rivas, R. y Weinzettel, P. (1995).** Equilibrio químico en el acuífero freático de la cuenca del arroyo Azul, provincia de Buenos Aires. IV Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Actas 2: 247-254, Junín.
- Vengosh A., Heumann K.G., Juraske, S., and Kasher, R. 1994.** Boron isotope application for tracing sources of contamination in groundwater. *Environ. Sci. Technol.* 28, 1968-1974.
- Way, K., Fano, L. Scott, M.R. and Thew, K., 1950.** Nuclear data. A collection of experimental values of half-lives, radiation energies, relative isotopic abundances, nuclear moments and cross-sections. Natural Bureau of Standards U S Circ 499.
- Williamson R, Laurence C, 1980.** Review of methods for estimating recharge in Australia, en Proceeding of the Groundwater Recharge Conference 1980. Australian Water Resources Council. Conferences. Series N° 3.pp. 26-36.Camberra, 1981.-
- Wright J L, 1985.** Evapotranspiration and irrigation water requirements. Advances in evapotranspiration. Proceedings of the National Conference on Advances in evapotranspiration. Dec. 1985. Chicago Il. Am. Soc. Of Agricultural Engineers: 105-113.
- (www.provincia.de.la.pampa.com.ar), Pagina Oficial del Gobierno de La Pampa.
- Yrigoyen M, 1975.** Geología del subsuelo y plataforma Continental. Geología de la provincia de Buenos Aires. VI Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 139-168. Bahía Blanca.
- YPF s/f.** Datos de Sísmica de Refracción volcados em hojas varias del IGM
- Yurtsever, Y. and Gat, J. R., 1981.** Atmospheric Waters-Chapter 6. In: J.R. Gat and R. Gonfiantini (Eds.), Stable Isotope Hydrology, Deuterium and oxygen-18 in the Water Cycle, 1981. IAEA Technical Reports Series No. 210, Vienna.
- Zambrano J. 1974.** Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 29 (4): 443-469.
- Zimmerman E., 2003.** Aproximación estadística para estimar láminas de lluvia aplicada a balances hídricos mensuales seriados. III Congreso Argentino de Hidrogeología. Ed Basile et al. Pag.11-20.

72685

U.N.R.C.
Biblioteca Central



72685