

INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Editorial		
Instrucciones para autores		
Evaluación de impacto ambiental de la reconstrucción de la Ruta Provincial N° 4. Tramo: Laguna de los Platos - Ruiz Díaz de Guzmán. Dtos: Juárez Celman y Presidente Roque Sáenz Peña. Provincia de Córdoba.	<i>Norberto Jorge Bejerman y Sandra Cabral</i>	1
Algunas estrategias para la protección del recurso hídrico subterráneo. Aspecto Legal	<i>M^a del Pilar Cebollada y Verdaguer</i>	13
Hidroquímica de las aguas superficiales y subterráneas en las vecindades de San Miguel del Monte	<i>Ana María Fazio, Griselda Galindo, Alicia Fernández Cirelli</i>	29
Características hidrodinámicas e hidroquímicas del acuífero freático, en la cuenca inferior del arroyo Cristiano Muerto, Localidad de Orense. Pdo. de Tres Arroyos. Pcia. de Buenos Aires.	<i>Fresina M. E., Guarino M.M.</i>	41
Características de los principales acuíferos de la Provincia de La Pampa	<i>Santiago B. Giai y Jorge O. Tullio</i>	51
Caracterización geotécnica de las Unidades Geoambientales del Espacio Geológico Urbano (EGU) del gran Salta, Salta, Argentina.	<i>Marcuzzi J.J., Torrejon D., Peralta C.M, N.J. Bejerman ,</i>	69
Caracterización de los recursos hídricos en la zona del sistema de las lagunas encadenadas de Chascomus. Provincia de Buenos Aires. Estudios Preliminares.	<i>Miretzky, P.S., Herrero, M.A., Galindo, G., Fernandez Cirelli, A.,</i>	85
Características geológicas y geotécnicas del área urbana de Tucumán y poblaciones vecinas	<i>Ricardo Mon</i>	101
Mapa geológico ambiental del departamento Uruguay, Entre Ríos, Argentina	<i>Lic. Luis A. Muñoz , Ing. Pablo F. Blanc</i>	113
Procesos de remoción en masa en un sector de la Cordillera Principal (Mendoza) .Una aproximación geomorfológica.	<i>Fernando X. Pereyra y Daniela Villegas</i>	123
Implicancias ambientales del uso del suelo sobre el acuífero freático de la cuenca del Arroyo Conchitas Buenos Aires, Argentina	<i>Adrián Silva; Oscar R. Olivares</i>	141
Sumario de trabajos publicados en Actas y Publicaciones Especiales de la ASAGAI		155

Número 12 ■ 1998

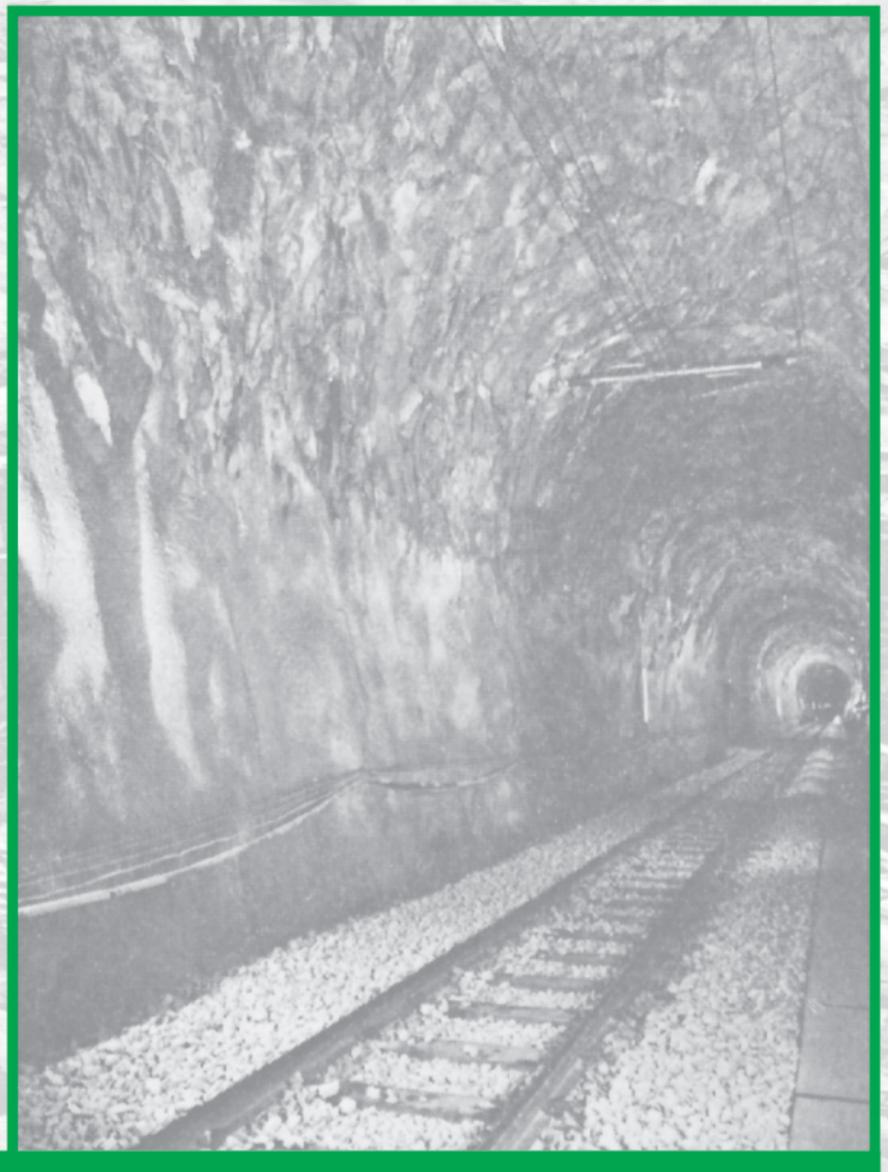
ISSN 0326-1921

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



Publicación Oficial de la

ASOCIACION ARGENTINA
DE GEOLOGIA APLICADA
A LA INGENIERIA



Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



Publicación Oficial de la

ASOCIACION ARGENTINA
DE GEOLOGIA APLICADA
A LA INGENIERIA

Número 12 ■ 1998

ISSN 0326-1921

COMISIÓN DIRECTIVA

PRESIDENTE	<i>Dr. Horacio V. Rimoldi</i>
VICEPRESIDENTE	<i>Lic. Carlos Di Salvo</i>
SECRETARIO	<i>Geól. Norberto Jorge Bejerman</i>
PROSECRETARIA	<i>Lic. María Alejandra González</i>
TESORERO	<i>Dr. Armando Massabie</i>
PROTESORERO	<i>Dr. Walter Sander</i>
VOCAL TITULAR	<i>Lic. Augusto Adur</i>
VOCAL TITULAR	<i>Ing. José F. Speziale</i>
VOCAL TITULAR	<i>Lic. Rubén O. Cuesta</i>
VOCAL SUPLENTE	<i>Lic. Martín Guichón</i>
VOCAL SUPLENTE	<i>Lic. María Carolina del Valle</i>

COMITÉ EDITORIAL

DIRECTOR:	<i>Dr. Horacio V. Rimoldi</i>
EDITOR ASOCIADO:	<i>Geól. Norberto Jorge Bejerman</i>
COMITÉ EDITORIAL:	<i>Dr. Jorge O. Codignotto</i>
	<i>Geól. Juan Carlos Malecki</i>
	<i>Dr. Jorge Médici</i>
	<i>Dr. Ricardo Mon</i>
	<i>Dr. Jorge Santa Cruz</i>
	<i>Ing. José Speziale</i>
	<i>Ing. Oscar Vardé</i>
	<i>Dr. Bernardo Zakalik</i>

DELEGADOS REGIONALES (1997-1999)

REGIÓN NOROESTE	Titular: <i>Felipe Rivelli</i> Suplente: <i>Carlos Mir</i>
REGIÓN CENTRO NORTE	Titular: <i>Eliseo Popolizio</i> Suplente: <i>Roberto Torra</i>
REGIÓN MESOPOTAMIA	Titular: <i>Luis Muñoz</i> Suplente: <i>Horacio Prez</i>
REGIÓN LITORAL	Titular: <i>Mario Fili</i> Suplente: <i>Oscar Albert</i>
REGIÓN CUYO	Titular: <i>Bernardo Zakalik</i> Suplente: <i>Rodolfo Cantarelli</i>
REGIÓN CENTRO	Titular: <i>Juan Carlos Malecki</i> Suplente: <i>Alberto E. Ruscullada</i>
REGIÓN PATAGONIA NORTE	Titular: <i>Eloy Depiante</i> Suplente: <i>Carlos Yema</i>
REGIÓN PATAGONIA SUR	Titular: <i>Nestor Hirtz</i> Suplente: <i>Mario Grizinik</i>
REGIÓN OESTE	Titular: <i>Jorge Romero</i>



EDITORIAL

La publicación editada por la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería (ASAGAI) sobre la base de una resolución de la Comisión Directiva, en función de lo solicitado por un sinnúmero de asociados, tal como se puede apreciar ha cambiado su tradicional nominación y presentación. A partir de la fecha las antiguas Actas serán reemplazadas por la Revista, ya que las características de la publicación permiten dicha modificación.

Dicho cambio permite, a su vez, la inclusión de la temática ambiental tan representativa en estos días del quehacer geológico. Esto ha llevado a que el nombre de la Publicación Oficial de la Asociación tome el nombre de "Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente".

Este tomo reúne una serie de trabajos presentados durante el transcurso del presente año, abarcando diversas temáticas.

La Asociación, a lo largo de su historia, ha publicado once tomos de Actas y tres publicaciones especiales, dos de ellas editadas en Córdoba, y la tercera en San Juan. Dichas publicaciones incluyen trabajos correspondientes a los cinco simposios ya realizados y a las tres reu-

niones de comunicaciones efectuadas sobre temas de geología aplicada a la ingeniería. A ellas se le suman los ocho tomos editados en ocasión de la celebración del Quinto Congreso Internacional de la International Association of Engineering Geology, realizado en la ciudad de Buenos Aires en el año 1986, lo que permite conformar un total de 22 tomos editados por este grupo nacional de IAEG.

A todo ello cabe sumar los numerosos cursos materializados en las ciudades de Córdoba, San Juan y Buenos Aires, lo que brinda un conocimiento acabado de la importancia de la labor realizada hasta la fecha por la Asociación en estos veinticuatro años de labor.

Hoy estamos en vísperas de organizar, en el marco de los festejos por los 25 años, el Sexto Simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente y Tercera reunión sobre preparación y uso de Mapas Temáticos, previsto para mayo de 1999 en la ciudad de San Carlos de Bariloche.

Todo este esfuerzo, que confiamos sepan comprender nuestro asociados, sólo pudo ser realizado gracias al apoyo prestado por los numerosos consocios que en todo momento nos apoyaron posibilitando los éxitos logrados.

El Director

INSTRUCCIONES para autores

En atención al procedimiento de arbitraje, se solicita a los autores leer y seguir estrictamente las siguientes instrucciones:

- La versión original, en dos (2) ejemplares, se enviará en papel blanco tamaño A4 (21 x 29,7 cm) y en disquetes de 3,5" editados en Microsoft Word 2.0 o 6.0 para Windows, DOS o Macintosh; Wordperfect 5.2 o 6.0 para Windows, DOS o Macintosh, indicando que versión se utilizó. En el caso de figuras y/o gráficos se deberá indicar el programa y la versión utilizada en su elaboración.
- Los trabajos deberán tener una extensión máxima de 20 páginas.
- El título y el nombre de los autores, así como la institución o empresa a la que pertenecen, con su correspondiente dirección postal y electrónica, deberán constar al comienzo del trabajo, en líneas separadas y destacados con claridad del resto del texto.
- Se deberá incluir el resumen del trabajo como primera sección del mismo.
- Todo el texto deberá estar a un espacio de interlínea, sin sangrías (ya sea mediante tabulador o espacios) y sin doble espacios entre párrafos. Se conservarán, no obstante, los destacados que el autor considere convenientes, así como los correspondientes a determinados términos científicos o expresiones latinas o extranjeras.
- Cuando una abreviatura aparezca en el texto por primera vez, deberá ser aclarada en forma completa entre paréntesis. No se deben utilizar notas al pie.
- Las expresiones matemáticas deberán identificarse, evitando ambigüedades. Las ecuaciones deberán numerarse consecutivamente, colocándose el número correspondiente entre paréntesis y a la derecha de cada ecuación. La secuencia de paréntesis deberá ser la usual en Matemática:)}}.
- La totalidad del trabajo deberá estar en un solo archivo.
- Los artículos en publicaciones periódicas se citarán:
Carranza Torres, C.M., 1991. Cálculo analítico de redes de filtración. Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería Volumen VI: 250-267.
- Los artículos en textos:
Mateos Ruiz, R.M. & M. Ferrer Gijón, 1994. Met-

hodology for landslides hazard map 1:1 0,000 in the area of Monachil (Granada, Spain). En R. Oliveira, L.F. Rodrigues, A.G. Coelho & A.P. Cunha (eds.) 7th International Congress International Association of Engineering Geology, Volume III: 2059-2064, Rotterdam.

- Los libros de textos:
Dearman, W.R., 1991. Engineering geological mapping. Butterworth-Heinemann Ltd, 387 pp. Oxford.
 - Las figuras se presentarán por separado, convenientemente numeradas y deberán limitarse como máximo a una caja de 15 x 23 cm, pero deberá tenerse en cuenta el espacio ocupado por el epígrafe. Se presentarán como originales en blanco y negro sobre papel blanco. Se deberá utilizar impresora de chorro de tinta o láser, no impresora de puntos. Deberán ir acompañadas por escala gráfica y referencias adecuadas a todos los símbolos. Las leyendas del interior de la figura serán claras y de dimensiones que permitan su lectura, aun producida su eventual reducción al 50%.
 - En el caso que los autores incluyan mapas y/o gráficos con un tamaño mayor al indicado en el punto anterior que requieran ser plegables para el tamaño de la revista, se podrán incluir en ésta pero los costos derivados de su impresión correrán por cuenta de los autores.
 - El número de la figura se escribirá con lápiz fuera de los límites de la caja. Las leyendas de las ilustraciones se listarán en una hoja aparte. No obstante, tanto las figuras como las tablas deberán ser adecuadamente citadas en el texto.
 - Si el autor lo cree conveniente, podrá enviar las figuras en disquete, en cuyo caso lo hará en un documento aparte y en el que se aclarará debidamente el trabajo al que pertenece y el número de cada figura. Esto no exime, sin embargo, del cumplimiento de los puntos anteriores, pues no siempre es posible una adecuada transferencia entre programas.
 - Las fotografías serán en blanco y negro, de óptima definición, copiadas en papel brillante y sin pegar.
- El Director y el Editor Asociado no se harán responsables por ilustraciones, tanto figuras como fotografías, que no se ajusten a estas normas o cuya calidad sea deficiente.*



Evaluación de impacto ambiental de la reconstrucción de la Ruta Provincial N° 4.

Tramo: Laguna de los Platos - Ruiz Díaz de Guzmán.
Dtos: Juárez Celman y Presidente Roque Sáenz Peña.
Provincia de Córdoba.

Norberto Jorge Bejerman ✉ y Sandra Cabral
Dirección de Vialidad – Córdoba - Argentina
✉ Casilla de Correo 846 – 5000 Córdoba

Fecha de Aceptación: Julio de 1998

Resumen

Bajo los auspicios del Programa Caminos Provinciales, del Banco Mundial, se llevó a cabo la Evaluación de Impacto Ambiental (E.I.A.) correspondiente a la reconstrucción del tramo Laguna de los Platos - Ruiz Díaz de Guzmán de la Ruta Provincial N° 4.

Con tal fin se hizo un análisis del estado operacional del tramo y considerando el proyecto previsto se preparó la Evaluación de Impacto Ambiental (E.I.A.), para lo que se elaboró una metodología que permite valorar la relación acciones/factores ambientales por medio de un algoritmo preparado con tal fin.

En función de dicha relación se preparó el plan de mitigación de impactos y el programa de vigilancia ambiental pertinentes.

1. INTRODUCCIÓN

Se presenta la Evaluación del Impacto Ambiental (E.I.A.) del tramo Laguna de los Platos - Ruiz Díaz de Guzmán de la Ruta Provincial N° 4, el que se sitúa en los Departamentos Juárez Celman y Presidente Roque Sáenz Peña de la Provincia de Córdoba.

La misma deja evidencia sobre la modificación que podría producir la obra y se propone el plan de mitigación de impactos y el programa de control ambiental pertinentes.

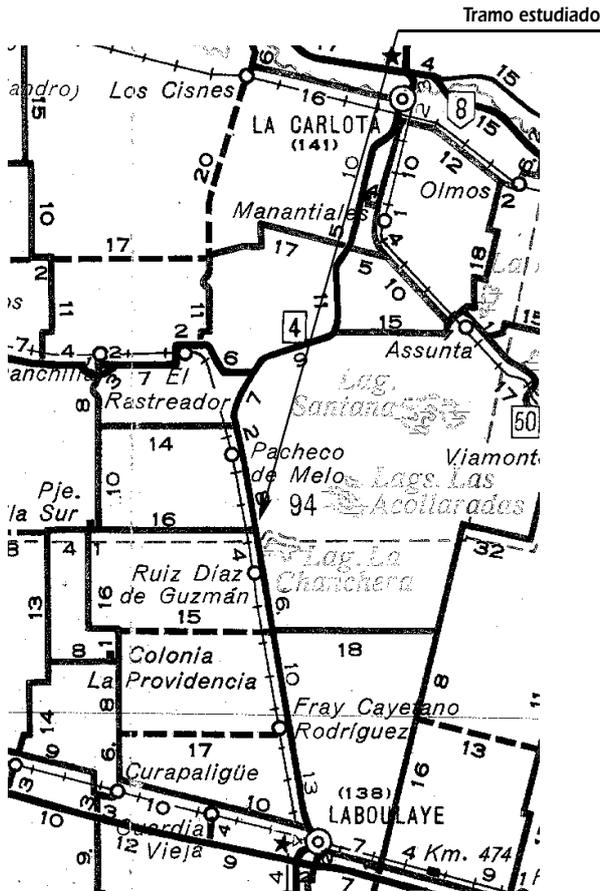
2. CARACTERÍSTICAS DE LOS DEPARTAMENTOS

Juárez Celman y Presidente Roque Sáenz Peña

A. DEPARTAMENTO JUAREZ CELMAN

a. Ubicación

Forma parte del grupo de departamentos del sur de la Provincia. Se encuentra situado entre los 32° 40' y los 33° 46' de latitud sur y los 64° 05' de longitud oeste. Abarca una superficie de 8.902 km², lo que representa el 5,28% de la superficie provincial.



b. Relieve e Hidrografía

El relieve es del tipo de las llanuras suborientales de la Provincia, de muy bajas pendientes (entre 4 y 1 por mil), orientadas al este y este-sudeste. Las alturas descienden desde los 350 m.s.n.m. en el ángulo noroccidental hasta los 120 m.s.n.m. en el extremo oriental.

La hidrografía es típicamente endorreica, excepto por el Río Chocancharava que anega los Bañados del Saladillo, y desagua al sistema del Carcaraña-Paraná.

Al sur del Río Chocancharava no se distinguen cauces de importancia, mientras que el sector septentrional recibe los desagües del piedemonte serrano por los arroyos Chucul y Carnerillo.

Se destacan, además, los bañados formados por los abundantes cursos temporarios que no logran conformar redes hídricas jerarquizadas debido a la alta permeabilidad de los suelos del área.

c. Suelos

Los materiales constitutivos del suelo son limos lóxicos arenosos y sedimentos arenosos fluviales en el valle del Río Chocancharava.

Hacia el sudoeste se disponen suaves lomadas eólicas algo más arenosas. Se trata de médanos ya estabilizados, de muy baja altura (menos de 5 metros).

d. Clima

El clima es semiseco con tendencia a subhúmedo, con invierno térmico con una temperatura media anual de 17° C, una máxima media de 25° C y una mínima media de 9° C. El déficit hídrico es de 100 a 150 mm/año. Las precipitaciones generan encharcamientos que se mantienen por períodos prolongados, formando lagunas temporarias en las depresiones del terreno (generalmente de origen eólico).

En la rosa de los vientos son más notables los del noreste, sudeste y sudoeste, por lo cual el gráfico se aproxima a un rectángulo de orientación noreste a sudoeste.

e. Flora y fauna

La vegetación natural, actualmente reemplazada por las prácticas de manejo agropecuario, corresponde al espinal en el norte y noroeste, y a la estepa pampeana en el resto del departamento.

La fauna corresponde a la de la estepa pampeana (comadrejas, zorros, vizcachas, cuises, liebres, perdices, horneros, gaviotas, caranchos, tordos, etc.), agregándose, en las zonas de bañados, aves como biguá, garza, patos, etc., y pueden encontrarse pumas, gatos de los pajonales, nutrias.

f. Caracterización demográfica

El relevamiento censal de mayo de 1991 registró en el departamento Juárez Celman un caudal poblacional de 51.526 habitantes, que representan el 2% del total provincial.

g. Actividad económica

1) Sector agropecuario

La actividad agropecuaria es de destacada relevancia al ser favorecida por su ubicación en una zona de propicias condiciones agroecológicas,

2) Minería

La única actividad minera que se registra en el departamento es la extracción de arena y canto rodado, de poca significación en la actividad extractiva general de la provincia.

3) Industria

La actividad industrial del departamento Juárez Celman es moderada dentro del contexto provincial.

B. DEPARTAMENTO ROQUE SÁENZ PEÑA

a. Ubicación

Está ubicado en el extremo sureste de la provincia entre los 33° 50' y los 34° 32' de latitud sur y los 62° 35' - 64° 13' de longitud oeste. Abarca una superficie de 8.228 km², lo que representa el 5% de la superficie provincial.

b. *Relieve e Hidrografía*

Fisiográficamente forma parte de las planicies orientales y dentro de éstas se desarrolla casi totalmente sobre la planicie medanosa.

El paisaje más frecuente corresponde a lomadas de origen eólico, de poca altura y suave pendiente, con médanos estabilizados naturalmente, en especial al oeste del departamento. También se destacan la zona de los bañados de La Amarga, ubicada al suroeste, y la laguna La Chanchera en el norte del departamento.

El tramo final del río Popopis es el sistema hídrico de mayor importancia en el departamento. Nace en las Sierras de San Luis, luego de transitar 80 km. penetra en territorio cordobés y forma el límite entre los departamentos Río Cuarto y General Roca. Atraviesa la planicie medanosa hasta alcanzar los bañados de La Amarga.

Actualmente sus aguas inundan extensas áreas, como consecuencia de la débil pendiente de la planicie. Llega a desbordar el límite de La Amarga y continúa hacia el sureste en una zona de lagunas (del Siete, el Arbol, etc.), provocando perjudiciales inundaciones en localidades como Jovita, ubicada en el departamento General Roca.

c. *Suelos*

Los suelos son sueltos, netamente arenosos en el Oeste, muy susceptibles de erosión, con médanos vivos. Hacia el este los suelos son más firmes.

d. *Clima*

En el sector oeste del departamento las precipitaciones principalmente estivales oscilan entre los 600-700 mm. anuales, el déficit hídrico es de 100 mm. La temperatura media anual es de 17° C, con una máxima media anual de 25° C y una mínima media de 9° C.

Los vientos predominantes son del norte y sur, con aumento de los del este en enero y de los del oeste y suroeste en julio.

e. *Flora y fauna*

La vegetación natural dominante es la estepa pampeana en la que resalta como característica importante la ausencia casi total de árboles.

En el oeste, por sus condiciones climáticas y edáficas, la vegetación natural es xerófila.

En cuanto a la fauna encontramos comadrejas, liebre, zorro, lauchas, cuises, gato de los pajonales, vizcacha, puma, nutria. Entre las aves, perdices, martineta, carancho, lechuzas, gaviotas, horneros, tordo, tijereta, calandria, y en zona de bañados, patos, biguá, garzas, tero, etc.

f. *Caracterización demográfica*

Según los datos provisorios del censo de 1991, la po-

blación departamental ha crecido algo más del 6 % con respecto a 1980, con un total censado de 34.519 habitantes.

g. *Actividad económica*

1) Sector agropecuario

Este departamento se encuentra localizado en llanura Sur de la Provincia, con clima subhúmedo, oscilando las precipitaciones medias anuales en los 650-800 mm. Los suelos son sueltos, netamente arenosos en el Oeste, muy susceptibles de erosión, con médanos vivos. Hacia el Este los suelos son más firmes, particularmente en el sector que se encuentra al Oriente de la ciudad de Laboulaye, donde la zona adquiere la característica de la Pampa Húmeda, permitiendo el desarrollo agrícola con significativos niveles de producción en cultivos como, trigo, girasol, maíz, sorgo, soja.

2) Industria

La actividad industrial del departamento Presidente Roque S. Peña es irrelevante en el contexto provincial.

3. ESTADO PREOPERACIONAL

La reconstrucción a efectuar se hará sobre el actual pavimento, tomando a éste como sub-base. No están previstos alteos por no haber existido problemas de drenaje.

El tramo puede ser caracterizado del siguiente modo:

- Relieve llano. Según la cartografía el tramo está situado a 140 m.s.n.m.
- Escurrimiento superficial, de sentido O-E, de tipo laminar favorecido por la pendiente topográfica.
- Uso del suelo predominantemente agrícola-ganadero.
- Precipitaciones entre 600 y 800 mm. anuales.
- Vientos predominantes del N y S.

En algunos sectores se ha observado la presencia de agua en fondo de cuneta, en lagunas ocupando campos aledaños al préstamo y en lagunas permanentes a ambos lados de la ruta ocupando zona de cuneta y campos aledaños, por ejemplo La Chanchera.

En ningún caso el agua ha afectado el paquete estructural, debido a la altura del terraplén, ni ocupa la calzada.

4. PROYECTO A EJECUTAR

Está previsto el ensanche de un metro hacia el lado derecho, construcción de base granular y carpeta de rodadura de concreto asfáltico de 0,04 m. de espesor. Demarcación horizontal y señalización vertical. Ejecución y conservación de camino auxiliar.

5. MARCO LEGAL

La provincia de Córdoba, en el Capítulo IX de la



Ley 7343, promulgada el 18 de setiembre de 1985 bajo el título "Ley de preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente", habla 'Del Impacto Ambiental'.

Dicho capítulo, de cuatro artículos (49, 50, 51 y 52), establece la obligación de las personas públicas o privadas de presentar estudios e informes de Evaluación de Impacto Ambiental para proyectos de obras y/o acciones que degraden o sean susceptibles de degradar el ambiente al Consejo Provincial del Ambiente, ha sido reglamentado mediante el Decreto N° 3290. En éste, de 27 artículos, se deja planteada la obligación de presentar un Aviso de Proyecto.

Se deberá, además, respetar la legislación nacional, provincial y/o municipal que corresponda, y que estén referidas a aspectos ambientales que puedan ser afectados por la obra vial.

6. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Realizada a los fines de analizar la interacción obra-ambiente, permite evaluar los efectos que producirán las distintas acciones sobre los diversos medios (natural, socio-cultural y socio-económico), y plantear las medidas de mitigación pertinentes.

Con tal objeto se desarrolló una metodología basada en el uso de matriz causa-efecto, con la característica de haber incorporado la valoración cualitativa mediante un algoritmo que permite acotar la relación acción/factores.

7. METODOLOGÍA UTILIZADA

Con el objeto de identificar la relación entre las acciones previstas en el proyecto y los factores ambientales, se elaboró una metodología que permite valorar la interrelación acciones/factores ambientales mediante un algoritmo que considera atributos de valoración expeditiva y que, una vez integrados, permiten identificar la mencionada interrelación así como predecir la magnitud del impacto. Los atributos seleccionados con tal fin son los siguientes:

1. *Naturaleza*. Hace referencia al carácter beneficioso o perjudicial de las acciones. También se califica el carácter "Previsible pero difícil de calificar" para el ca-

so de efectos cambiantes difíciles de predecir.

2. *Intensidad (I)*. Se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor. Se la califica como baja, media o alta.
3. *Extensión (E)*. Se refiere al área de influencia teórica del impacto con el entorno del proyecto (porcentaje de área, respecto al entorno, en que se manifiesta el efecto). Se la califica como puntual, parcial y extensa (todo el ámbito).
4. *Momento en que se produce (MO)*. Alude al plazo de manifestación del impacto, es decir el tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto. Puede ser inmediato, mediato o a largo plazo.
5. *Persistencia (PE)*. Se refiere al tiempo que presuntamente permanecería el efecto, a partir de la aparición de la acción. La caracterización como temporal o permanente es genérica por cuanto no se han supuesto espacios de tiempo discretos ligados con tales categorías y porque resulta complicado discernir sobre el carácter temporal o permanente de los efectos.
6. *Reversibilidad (RV)*. Se refiere a la posibilidad de reconstrucción de las condiciones iniciales una vez producido el efecto. Es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones previas a la acción por medios naturales y una vez que esta deja de actuar sobre el medio. Se la caracteriza como a corto plazo, a medio plazo, a largo plazo e irreversible.
7. *Recuperabilidad (MC)*. Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia de la acción ejecutada. Es decir que refleja la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras).

La ponderación de cada atributo es efectuada de acuerdo al esquema planteado en la Tabla I. De tal modo, la expresión "-3aA2cC" representará un impacto perjudicial de intensidad alta, de extensión puntual, que se produce en forma inmediata, con persistencia permanente de los efectos, reversible en el largo plazo y mitigable, parcialmente recuperable.

- En el algoritmo la secuencia es: Naturaleza – Intensidad – Extensión – Momento en que se produce – Persistencia – Reversibilidad del efecto - Recuperabilidad
- En el caso de impactos Beneficiosos **no se valoran Reversibilidad ni Recuperabilidad**
- En Generación de empleo solo se valora la Persistencia

Tabla I

1. NATURALEZA	2. INTENSIDAD (I)	3. EXTENSIÓN (E)	4. MOMENTO EN QUE SE PRODUCE (MO)
+ Beneficioso	1 Baja	a Puntual	A Inmediato
- Perjudicial	2 Media	b Parcial	B Mediato
x Previsible pero difícil de calificar	3 Alta	c Extenso (todo el ámbito)	C Largo plazo
5. PERSISTENCIA (PE)	6. REVERSIBILIDAD DEL EFECTO (RV)		7. RECUPERABILIDAD (MC)
1 Temporal	a Corto plazo		A Mitigable, totalmente recuperable de manera inmediata
2 Permanente	b Mediano plazo		B Mitigable, totalmente recuperable a mediano plazo
	c Largo plazo		C Mitigable, parcialmente recuperable.
	d Irreversible		D Irrecuperable

8. MATRIZ DE IMPACTO

En función de las acciones previstas en el proyecto, se elaboraron matrices de impacto para las diversas etapas (construcción y operación). En el Anexo I se incluyen las mismas.

9. ANÁLISIS DE LAS MATRICES

A. ETAPA EJECUCIÓN

I. Medio natural

A partir de la observación de los algoritmos generados, se puede concluir:

- que los suelos son afectados previéndose que la disminución de la calidad edáfica se revierta en el corto plazo.
- que los niveles de inmisión y sonoros se consideran aceptables teniendo en cuenta que se trata de una zona rural abierta de baja densidad poblacional.
- que la vegetación y la fauna, vinculada al suelo en la zona de camino, alcanzan niveles de afectación elevado y difícil de recuperar.
- que la modificación de los factores del paisaje es recuperable en distinto grado.
- que la influencia del obrador sobre la calidad de agua es mitigable.

- que operar sobre las obras de arte produce efectos beneficiosos sobre el drenaje.

II. Medios socio-económico y socio-cultural

Su análisis muestra un franco predominio de efectos positivos.

En el caso de aquellos calificados como perjudiciales, poseen la característica de ser mitigables.

B. ETAPA OPERACIÓN

Los impactos valorados como perjudiciales poseen la característica común de tener baja intensidad y ser mitigables, por lo que la calidad ambiental del tramo durante esta etapa será función del cumplimiento del Programa de Vigilancia Ambiental que se establezca con tal fin.

Los niveles de inmisión y sonoros provocados por la circulación de vehículos, se consideran aceptables teniendo en cuenta que se trata de una zona rural abierta de baja densidad poblacional.

La relación del tránsito con los accidentes se valora como beneficiosa, por considerar que la mejora en la calidad de la vía producirá la disminución de los mismos.

10. PLAN DE MITIGACIÓN DE IMPACTOS

En función de los impactos previstos para la etapa de ejecución de la Obra, se considera necesario implementar medidas para cada una de las acciones.

a. Movimiento de suelos

La acción deberá realizarse solamente en la franja de terreno a ser ocupada por la obra de forma tal de producir la mínima perturbación sobre el medio biótico vinculado

Los suelos no utilizados deberán ser distribuidos de forma tal que no modifiquen el drenaje ni la calidad visual del área.

Se deberán arbitrar los medios para que la maquinaria involucrada en la tarea posea la tecnología que permita la menor modificación de la calidad de aire y los niveles de ruido.

b. Desobstrucción de Obras de Arte

Todas las obras de arte que existan dentro de la zona de camino deberán ser limpiadas, cuando éstas lo requieran, y serán mantenidas limpias hasta que venza el período de responsabilidad por Defecto (o plazo de garantía) de la obra.

Los residuos sólidos producidos por la limpieza de las obras de arte deberán ser distribuidos en capas horizontales, o enterrados, de forma tal que no modifiquen el drenaje ni el paisaje natural.

Se prohíbe la quema de todo residuo proveniente obras de arte que hayan estado obstruidas.

Se deberá señalar el camino al momento de ejecutar la tarea, de modo tal que los vehículos que transiten por la misma tomen las precauciones del caso.

c. Ejecución de Camino Auxiliar

El camino auxiliar deberá contar con todas las obras necesarias, de forma tal que no distorsione el drenaje natural. Estas deben estar diseñadas para un tiempo de recurrencia compatible con la vida útil del camino auxiliar

La zona de ocupación de la obra deberá ser la menor posible, ajustándose a las características del tránsito.

Una vez finalizada la necesidad del desvío, se deberá restituir la zona afectada por este a las condiciones previas (paisaje, topografía, drenaje, etc.) a su construcción.

Se deberá señalar adecuadamente el desvío en todos sus puntos, mientras este permanezca en uso. El desvío deberá conservarse en forma permanentemente.

d. Acopio de materiales.

Los acopios de material se deberán ubicar de forma tal que no modifiquen substancialmente la visibilidad ni signifiquen una intrusión visual importante. Se deberán tomar precauciones respecto de accidentes laborales en el momento de agregar o quitar material de las pilas

Una vez finalizada la obra, el contratista deberá quitar del lugar donde fuera emplazado el material sobrante del acopiado en la etapa de ejecución de la obra y restituir el suelo de la zona afectada al estado previo a la implementación del acopio.

e. Uso de áridos

Se deberá exigir al ejecutar la Obra que el o los proveedores presenten la autorización o habilitación expedida a tal fin por el organismo oficial pertinente según lo estipulado en la Ley Provincial 8529 (Ley de áridos).

f. Explotación yacimientos de suelos.

Se deberá fijar la localización del mismo a no menos de 200 m del eje y fuera de la vista del camino, excepto cuando se demuestre su imposibilidad.

El contratista deberá solicitar, para explotar el yacimiento, la autorización por intermedio de la inspección de obra quien, en su carácter de Representante Ambiental, autorizará el sitio elegido así como la técnica de explotación a utilizar. Una vez finalizada la misma se deberá conformar el terreno afectado, de modo tal de minimizar los impactos perjudiciales que genere esta actividad. Asimismo deberá reponer el suelo vegetal, que debe ser puesto a resguardo en el inicio de la explotación del yacimiento.

g. Preparación de mezcla asfáltica.

La planta se deberán ubicar de forma tal que no modifique substancialmente (la calidad visual del área) la visibilidad ni signifiquen una intrusión visual importante.

La planta deberá estar orientada de forma tal que los gases insalubres no afecten las zonas pobladas, para lo cual se deberá tener en cuenta la orientación de los vientos. Se deberá controlar la polución mediante el uso de colectores de polvo

En el caso de estar ubicada en la cercanía de áreas urbanas, las tareas se deberán realizar en horario diurno con una emisión sonora que no supere los niveles tolerados por el oído humano.

La prueba del funcionamiento de los equipos empleados para la ejecución de los mismos (picos del camión regador), deberá ser realizado en los lugares indicados por la Inspección de Obras, con el fin de no contaminar cursos de agua, o producir deterioro de la vegetación existente. El lugar de prueba deberá ser debidamente recuperado por el contratista.

El acceso a la planta deberá estar convenientemente señalado y deberá ser diseñado de modo tal de inhibir la posibilidad de accidentes al momento de ingreso o salida de vehículos.

h. Instalación de Obrador

El obrador se deberá ubicar de forma tal que no modifique substancialmente la visibilidad ni signifiquen una intrusión visual importante.

Se evitará la captación de aguas en fuentes susceptibles de secarse o que presenten conflictos con los usos por parte de las comunidades locales.

Por ningún motivo el contratista podrá efectuar tareas de limpieza de sus vehículos o maquinaria en cursos de agua o quebradas ni arrojar allí sus desperdicios. Se prohíbe cualquier acción que modifique la calidad y aptitud de las aguas superficiales o subterráneas en el área de la obra. Los materiales o elementos contaminantes, tales como combustibles, lubricantes, aguas servidas no tratadas, no deberán ser descargados en, o cerca de, ningún cuerpo de agua, sean éstos naturales o artificiales.

En ningún caso los campamentos quedarán ubicados aguas arriba de las fuentes de abastecimiento de agua de núcleos poblados, por los riesgos sanitarios que esto implica.

Todos los campamentos contarán con pozos sépticos. Por ningún motivo se verterán aguas servidas en los cuerpos de agua.

No se arrojarán desperdicios sólidos de los campamentos a las corrientes o a media ladera. Estos se depositarán en un pequeño relleno sanitario manual, debiéndose cubrir los mismos con una capa de material suelto con una frecuencia no mayor a 15 (quince) días.

El pozo séptico y la fosa de residuos sólidos deberán cumplir con los requerimientos ambientales de impermeabilización y tubería de infiltración.

Se deberá señalar adecuadamente su acceso, teniendo en cuenta el movimiento de vehículos y peatones.

Con anterioridad a la emisión del acta de recepción de la obra se deberá recuperar ambientalmente y restaurar la zona ocupada.

Una vez finalizada la obra, el contratista deberá quitar el obrador del lugar donde fuera emplazado y restituir el suelo de la zona afectada a su estado anterior.

i. Demarcación horizontal. Señalización vertical.

Se deberá señalar adecuadamente mientras se estén desarrollando las tareas.

j. Tránsito maquinarias.

Se deberá requerir el buen funcionamiento de los vehículos de forma tal que procuren la menor modificación de la calidad del aire y del nivel de ruido.

k. Control de maleza y vegetales en zona de camino.

Se deberá restringir el uso de herbicidas, de modo tal de no afectar las especies vegetales presentes en banquetas y taludes que resulten beneficiosas a los fines de la obra y su operación. queda prohibido el uso de productos químicos que no estén incluidos en el listado mencionado en la Ley de Agroquímicos de la Provincia de Córdoba (Ley N° 6629).

Toda maleza y plaga vegetal, tras su corte, deberá quedar distribuida en toda la superficie de trabajo quedando prohibida su acumulación de modo tal que no modifiquen el drenaje ni el paisaje natural. Queda prohibida la quema de malezas y plagas vegetales.

Se deberá señalar el camino al momento de ejecutar la tarea, de modo tal que los vehículos que transiten por la misma tomen las precauciones del caso.

11. Programa de VIGILANCIA Ambiental

El Programa a establecer parte del concepto de Análisis Post-proyecto (APP). El mismo debe implementarse durante la ejecución de la obra con el fin de verificar el cumplimiento del Plan de Medidas Correctoras, así como actuar sobre los impactos residuales o no previstos que pudieran surgir.

Su puesta en funcionamiento permitirá prevenir los impactos negativos inesperados frente a súbitos cambios en las tendencias de los impactos.

Las acciones relacionadas con el presente programa, además, permitirán determinar la eficacia de las medidas correctoras para su eventual modificación.

En función de lo antedicho se establecerán acciones que permitan:

- a) Controlar el cumplimiento del plan de mitigación de impactos.
- b) Hacer un seguimiento sobre la evolución de los impactos.
- c) Actuar sobre impactos residuales que pudieran surgir.
- d) Actuar en el caso que surjan situaciones no previstas y que resulte necesario evaluar.

12. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

CONESA FDEZ. - VÍTORA, V., (1997).

Guía metodológica para la evaluación de Impacto Ambiental.
Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, (1991).

Censo nacional de Población y Vivienda. Buenos Aires.

MOPU, (1995).

Guía metodológica para la elaboración de estudios de impacto ambiental. 1.
Carreteras y Ferrocarriles. Madrid.

SUB-UNIDAD CENTRAL VIAL P.S.F. Y D.E.P.A., (1996).

Manual de Operaciones vol. III (Manual Ambiental para Obras Viales).
Ministerio del Interior. Buenos Aires

SUBSECRETARÍA DE LA FUNCIÓN PÚBLICA, (1994).

Departamentos Juárez Celman y Roque Sáenz Peña. Córdoba.

ANEXO I

**MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL RUTA PROVINCIAL N° 4
TRAMO: LAGUNA DE LOS PLATOS - RUIZ DÍAZ DE GUZMÁN**

ACCIONES	ETAPA EJECUCIÓN				
	Control de malezas y vegetales	Movimiento de suelos	Desobstruc. obras de arte	Explotación yacimiento de suelos	Acopio de materiales
FACTORES AMBIENTALES					
<i>MEDIO NATURAL</i>					
GEOMORFOLOGÍA					
Sitio de interés geológico					
Aumento de inestabilidad de ladera					
SUELOS					
Disminución calidad edáfica		-1aA1bC		-1aA1dB	-1aA1bB
Remoción horizonte superficial		-3bA2dD			
Erosión					
CALIDAD DE AIRE					
Aumento niveles inmisión		-1cA1aA		-1cA1aA	
RUIDO					
Incremento niveles sonoros		-1cA1aA		-1aA1aA	
HIDROLOGÍA					
Modificación calidad del agua					
Efecto barrera					
Cambio en los flujos de caudales			+3aA2		
Erosión hídrica	+1cC2				
Afección masas de agua superficial					
VEGETACIÓN					
Grado de pérdida de comunidades vegetales		-3bA2dD			
Riesgo de incendios					
FAUNA					
Desaparición de microfauna (edáfica)		-3bA2dD			
Pérdida de macrofauna					
Efecto barrera para la dispersión					
Incremento de riesgo de atropello					
Puntos de paso y vías migratorias					
PAISAJE					
Visibilidad					
Intrusión visual	-1aA1aA				-1aA1aA
Denudación de superficies					
Cambio en la estructura paisajística				-2aA1dC	-1aA1aB
<i>MEDIO SOCIO-CULTURAL</i>					
Efectos en la población activa					
Efectos sobre la salud	+3cA1		+3cA1		
Efecto barrera sobre la población					
Cambios en las condiciones de circulación					
Patrimonio cultural/histórico					
Modificación costumbres					
Cambios en la accesibilidad transversal	+3cA1		+3cA1		
<i>MEDIO SOCIO-ECONÓMICO</i>					
Generación de empleo	+1	+1	+1	+1	
Actividades económicas inducidas					
Cambios de usos del suelo				x1aA1cC	
Costo del transporte					
Accidentes	+3cA1	-1aA1C			
Modificación urbanística					

ACCIONES	ETAPA EJECUCIÓN					
	Prolongación de alcantarillas	Ejecución camino auxiliar	Preparación de mezcla asfáltica	Ensanche subrasante	Ejecución base	Riego de liga
FACTORES AMBIENTALES						
<i>MEDIO NATURAL</i>						
GEOMORFOLOGÍA						
Sitio de interés geológico						
Aumento de inestabilidad de ladera						
SUELOS						
Disminución calidad edáfica		-2bA1bB				
Remoción horizonte superficial			-3bB1dD	-3cA2dD		
Erosión						
CALIDAD DE AIRE						
Aumento niveles inmisión		-2bA1aA	-3bA1aA	-2bA1aA	-2bA1aA	-2bA1aA
RUIDO						
Incremento niveles sonoros		-2bA1aA	-3bA1aA	-2bA1aA	-2bA1aA	-2bA1aA
HIDROLOGÍA						
Modificación calidad del agua						
Efecto barrera		-2bA1aB				
Cambio en los flujos de caudales	+3aA2					
Erosión hídrica						
Afección masas de agua superficial						
VEGETACIÓN						
Grado de pérdida de comunidades vegetales		-3bA1dD		-3cA2dD		
Riesgo de incendios						
FAUNA						
Desaparición de microfauna (edáfica)		-3bA1dD		-3cA2dD		
Pérdida de macrofauna						
Efecto barrera para la dispersión						
Incremento de riesgo de atropello						
Puntos de paso y vías migratorias						
PAISAJE						
Visibilidad						
Intrusión visual		-2bA1bC	-1aA1aA			
Denudación de superficies						
Cambio en la estructura paisajística		-2bA1bC				
<i>MEDIO SOCIO-CULTURAL</i>						
Efectos en la población activa						
Efectos sobre la salud			-2aB1C			
Efecto barrera sobre la población						
Cambios en las condiciones de circulación						
Patrimonio cultural/histórico						
Modificación costumbres						
Cambios en la accesibilidad transversal	+ 3cA1	-1aA1aA				
<i>MEDIO SOCIO-ECONÓMICO</i>						
Generación de empleo	+1	+1	+1	+1	+1	+1
Actividades económicas inducidas						
Cambios de usos del suelo						
Costo del transporte						
Accidentes	-1aA1C	-1aA1C	-1aA1C	-1aA1C	-1aA1C	-1aA1C
Modificación urbanística						

ACCIONES	ETAPA EJECUCIÓN				
	Ejecución carpeta	Instalación obrador	Demarcación horizontal	Señalización vertical	Tránsito maquinarias
FACTORES AMBIENTALES					
<i>MEDIO NATURAL</i>					
GEOMORFOLOGÍA					
Sitio de interés geológico					
Aumento de inestabilidad de ladera					
SUELOS					
Disminución calidad edáfica		-1aB1bB			-1bA1Bb
Remoción horizonte superficial					
Erosión					
CALIDAD DE AIRE					
Aumento niveles inmisión	-2bA1aA				-2bA1aA
RUIDO					
Incremento niveles sonoros	-2bA1aA				-2bA1aA
HIDROLOGÍA					
Modificación calidad del agua		-1aB1bB			
Efecto barrera					
Cambio en los flujos de caudales					
Erosión hídrica					
Afección masas de agua superficial					
VEGETACIÓN					
Grado de pérdida de comunidades vegetales					-2bA1bC
Riesgo de incendios					
FAUNA					
Desaparición de microfauna (edáfica)					
Pérdida de macrofauna					
Efecto barrera para la dispersión					
Incremento de riesgo de atropello					
Puntos de paso y vías migratorias					
PAISAJE					
Visibilidad					
Intrusión visual		-2aA1aA			
Denudación de superficies					
Cambio en la estructura paisajística					
<i>MEDIO SOCIO-CULTURAL</i>					
Efectos en la población activa					
Efectos sobre la salud					
Efecto barrera sobre la población					
Cambios en las condiciones de circulación					
Patrimonio cultural/histórico					
Modificación costumbres					
Cambios en la accesibilidad transversal					
<i>MEDIO SOCIO-ECONÓMICO</i>					
Generación de empleo	+1		+1	+1	
Actividades económicas inducidas					
Cambios de usos del suelo				x1aA1cC	
Costo del transporte					
Accidentes	-1aA1C	-1aA1C	-1aA1C	-1aA1C	-1aA1C
Modificación urbanística					

ACCIONES	ETAPA EJECUCIÓN		
	Tránsito	Accesos	Conservación Permanente
FACTORES AMBIENTALES			
<i>MEDIO NATURAL</i>			
GEOMORFOLOGÍA			
Sitio de interés geológico			
Aumento de inestabilidad de ladera			
SUELOS			
Disminución calidad edáfica			
Remoción horizonte superficial			
Erosión			+3cA2
CALIDAD DE AIRE			
Aumento niveles inmisión	-1cA1aC		
RUIDO			
Incremento niveles sonoros	-1cA1aC		
HIDROLOGÍA			
Modificación calidad del agua			
Efecto barrera			
Cambio en los flujos de caudales			
Erosión hídrica			+3cA2
Afección masas de agua superficial			
VEGETACIÓN			
Grado de pérdida de comunidades vegetales			+3cA2
Riesgo de incendios			+3cA2
FAUNA			
Desaparición de microfauna (edáfica)			
Pérdida de macrofauna			
Efecto barrera para la dispersión			
Incremento de riesgo de atropello	-1aA2C		
Puntos de paso y vías migratorias			
PAISAJE			
Visibilidad			+3cA2
Intrusión visual			
Denudación de superficies			
Cambio en la estructura paisajística			
<i>MEDIO SOCIO-CULTURAL</i>			
Efectos en la población activa			+1cA2
Efectos sobre la salud	-1cA1aC		
Efecto barrera sobre la población	-1aA1C		
Cambios en las condiciones de circulación	+2cA2		
Patrimonio cultural/histórico			
Modificación costumbres			
Cambios en la accesibilidad transversal	+3aA2		
<i>MEDIO SOCIO-ECONÓMICO</i>			
Generación de empleo			+1
Actividades económicas inducidas			
Cambios de usos del suelo			
Costo del transporte	+2cA2		
Accidentes	+3cA2	-1aA1c	+3cA2
Modificación urbanística			

- En el algoritmo la secuencia es: Naturaleza - Intensidad - Extensión - Momento en que se produce - Persistencia - Reversibilidad del efecto - Recuperabilidad.
- En el caso de impactos beneficiosos no se valoran Reversibilidad ni Recuperabilidad.
- En Generación de empleo solo se valora la Persistencia.



Algunas estrategias para la protección del recurso hídrico subterráneo

Aspecto Legal

M^a del Pilar Cebollada y Verdaguer

- Dpto. Recursos Hídricos - Sector Hidrogeología - D.A.S. - Humberto Primero N° 607 - 5000 Córdoba
- Cátedra de Hidrogeología- Dpto Geología - Fac. Cs. Exactas Físicas y Naturales - Univ. Nac. de Córdoba

Fecha de Aceptación: Octubre de 1998

INTRODUCCIÓN

Toda actividad humana necesita para funcionar de insumos, de un espacio donde desarrollarla y de un lugar donde depositar sus efluentes y residuos.

El recurso hídrico, en términos de desarrollo sostenible, cumple las funciones como fuente, soporte y receptor.

La necesidad de conservar los recursos de agua subterránea, han conducido tanto a la regulación de su exploración y utilización, como a reforzar las medidas para su protección contra la contaminación y sobreexplotación.

El agua subterránea es un recurso susceptible de perder su carácter de renovable, cuando se lo explota por encima de su tasa de recarga anual o interanual, salvo en casos excepcionales por crisis climática.

Existen a nivel Nacional y Provincial diversas medidas legales, para Proteger y Conservar el recurso hídrico.

Como consecuencia de ello cualquier particular o empresa privada y / o estatal que desee ejecutar un sondeo o perforación, deberá solicitar el permiso correspondiente a la autoridad de aplicación de la Provincia, donde se sitúe el o los posibles acuíferos a explotar.

Actualmente se han reforzado las medidas protectoras contra la contaminación mediante las Leyes de Protección Ambiental a nivel Provincial; su control tiende ahora a preservar la calidad natural de las aguas y a proteger el medio ambiente que depende de estas, disminuyendo los actuales niveles de contaminación a la vez que se protege a la salud pública y se asegura los suministros de agua potable para el futuro.

Ante el creciente incremento de polígonos industriales, de extensas áreas sometidas a riego suplementario con aguas subterráneas, de la desecación de zonas inundadas y del mayor uso de agroquímicos, ha hecho necesario realizar un análisis preliminar de la legislación existente referente aguas, en diversas Provincias para establecer si las mismas presentan medidas especiales para proteger la vulnerabilidad del recurso subterráneo frente a la sobreexplotación y / o la contaminación.

OBJETIVOS

- *Objetivo General:* Realizar una recopilación y descripción de la normativa vigente a nivel Nacional y Provincial
- *Objetivo Particular:* Detectar los aspectos que favore-

cen y /o dificultan con las leyes vigentes la protección del recurso hídrico

ANTECEDENTES LEGALES - INSTITUCIONALES

La protección del recurso hídrico, requieren disponer de un marco jurídico - administrativo que permita su instrumentación, es decir, se precisa de por lo menos dos elementos: una base legal (leyes, reglamentos, normas); y una base institucional (una autoridad), que se ocupe de exigir, definir y controlar.

▪ Características del Marco Administrativo

Las características Hidrogeológicas, Geomorfológicas e Hidrogeológicas de nuestro país, hace que sus recursos hídricos sean parte de cuencas internacionales e

interprovinciales. Para su estudio, explotación y protección existen Organismos (1) Interjurisdiccionales, Nacionales y Provinciales.

Organismos Interjurisdiccionales

En los Organismos Interjurisdiccionales participan la Nación y las Jurisdicciones Provinciales; en la década de los años setenta se firmaron diversos convenios y tratados a nivel Nacional, para crear Comités de Cuenca, Organismos y Comisiones como ser en está última la Comisión Regional del río Bermejo.

En lo que se refiere a los Comités de Cuenca, solo dos, de los nueve existentes, son los que atañen a la Provincia de Córdoba. Fijándose como función de los mismos las de promover y coordinar las investigaciones, estudios, planes, programas y proyectos relacionados con la admi-

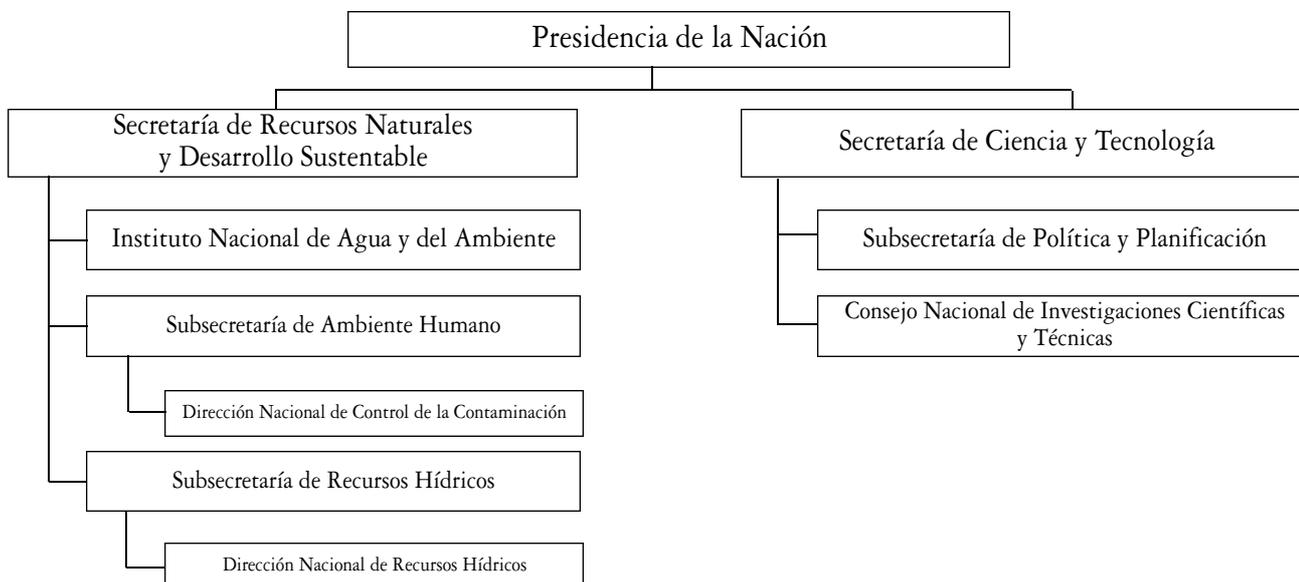
TABLA 1 ORGANISMOS INTERJURIDICIONALES EN LOS QUE INTERVIENE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Denominacion del Comité	Fecha del Convenio	Norma Nacional de aprobación	Provincias participantes y normas de aprobacion
<i>de la cuenca del</i> Río Salí-Dulce	18/02/71	Decreto Nº 4362/71	Leyes Nº: <ul style="list-style-type: none"> • 5335/71 de Córdoba • 2429/71 de Catamarca • 4444/71 de Salta • 370071 de Santiago del Estero • 3769/71 de Tucumán
<i>de cuenca del</i> Río Quinto - Conlara	10/09/79	(3)	Leyes Nº: <ul style="list-style-type: none"> • 6390/80 de Córdoba • 4040/79 de San Luis

(3) No fue nunca aprobado por Ley Nacional, habiendo, asimismo, expirado el término de duración establecido en el mismo convenio.

Y organismos como el Centro Regional del Agua Subterránea, el Ente Ejecutivo de la Presa de Embalse Casa de Piedra y la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro.

ORGANISMOS NACIONALES



nistración, aprovechamiento integral, preservación, conservación y protección de una cuenca hídrica, de un tramo de la misma o de una región integrada por un grupo de cuencas hídricas subterráneas o superficiales.

Organismos de la Provincia de Córdoba

En la estructura administrativa de la Provincia de Córdoba, existen las siguientes Direcciones, que tienen injerencia sobre el Recurso Hídrico Provincial que son: Dirección de Agua y Saneamiento (*Ley N°8548 / 96 Ley Orgánica de su creación*), que depende del Ministerio de O.S.P. y Vivienda; teniendo por misión la conservación y explotación del recurso hídrico, la provisión y control de la preservación de los servicios de agua potable, la recolección y tratamiento de los líquidos cloacales y residuales, riego y saneamiento rural en todas las áreas del territorio de la provincia.

Dirección de Coordinación y Control Ambiental, que depende del Ministerio de Salud se ocupa de toda la política ambiental a nivel provincial.

La Secretaria de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables, por intermedio de la Dirección de Recursos Naturales se ocupa del manejo de suelos y de los sistemas

de riego. Conjuntamente con Dirección de Minería dependen del Ministerio de la Producción y el Trabajo. Esta última tiene un sector referido a la Hidrogeología, el cual realiza algunos asesoramientos en tal materia algunas poblaciones del interior provincial. C.E.P.R.O.C.O.R. en el mismo se realizan todos los procesamientos de muestras de aguas, tanto superficiales como subterráneas, como así también de los efluentes en todo el ámbito provincial; depende del Ministerio de la Producción y el Trabajo.

Los Comités de Cuencas, fueron creados a finales de la década de los ochenta y durante los dos primeros años del noventa. De casi aproximadamente la formación de catorce Comités de cuencas, el correspondiente "COMITÉ REGIONAL PARA EL APROVECHAMIENTO HÍDRICO INTEGRAL DEL VALLE DEL CONLARA Y DE LA FALDA OCCIDENTAL DE LAS SIERRAS GRANDES Y COMENCHINGONES"; define con precisión las funciones del mismo, contemplando la optimización del uso del agua del subsuelo; y teniendo en cuenta para ello los estudios Hidrogeológicos, realizados con anterioridad.

Las *Leyes 7773/89, 7862/89, 7863/89, 7864/89, 8005/90, 8031/91, 8032/91, 8075/91, 8148/92, 8225,*

TABLA 2 COMITÉS DE CUENCAS

Denominación del Comité	Ley Provincial	Participantes del Comité
<i>del Río Chocancharava o Cuarto</i>	N° 8130/91	<ul style="list-style-type: none"> • Ministerio de Obras y Servicios Públicos <ul style="list-style-type: none"> • Dirección de Coordinación y Control Ambiental . • Dirección de Agua y Saneamiento • Dirección de Recursos Naturales Renovables • Dirección de Asuntos Municipales y Comunales • Municipalidades cuyos ejidos respectivos coincidan con las áreas de aportes de los sistemas hídricos involucrados y a determinar en los estudios técnicos respectivos.
<i>Regional para el Aprovechamiento Hídrico Integral del Valle de Conlara y de la falda Occidental de las sierras Grandes y Comechingones.</i>	N°7831/89	<ul style="list-style-type: none"> • Dirección de Agua y Saneamiento • Dirección de Recursos Naturales Renovables • Dirección de Coordinación y Control Ambiental • Municipios y Comisiones Vecinales • Consorcio de Usuarios de Riego y otros usos del agua del Sistema Río Los Sauces • Representantes de los restantes consorcios regantes del sistema en explotación de la región. • Representante de los Sistemas no explotados • Representante por el I.N.T.A. • Representante de la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Oeste de Córdoba • Dos representantes por las asociaciones ruralistas de la región.

8185 y 7947 crean sendos comités de cuencas de los Lagos San Roque, Medina Allende o de La Viña, Cruz del Eje (hoy Arturo Illia), Dique y Río Pichanas, Dique Los Molinos, Cuenca Baja del Río Calamuchita, Cuenca Media del Río Calamuchita, Cuenca del Río Quinto (Popopis), Cuenca del Valle del Sol Norte y sus afluentes en las Cuencas de los Ríos Salsipuedes, Carnero y Jesús María, Cuenca del Embalse Río Tercero, Cuenca del Río Segundo o Xanaes y Cuenca Dique Los Molinos, organismos que tienen como objetivo promover las medidas y desarrollar las políticas necesarias tendientes a lograr en forma inmediata, la eliminación de los factores contaminantes de las respectivas masas lacustres y de los cursos de agua que conforman las cuencas.

▪ Régimen Jurídico

En todos los niveles de gobierno del país existe un amplio conjunto normativo que legisla sobre los Recursos Hídricos y que fundamentalmente establece marcos regulatorios para su aprovechamiento, conservación y protección.

Otro conjunto de normas toca el tema en forma indirecta, pues regula procesos en los que interviene el hombre (como los procesos productivos) y que lo afectan.

La evolución histórica de las instituciones de nuestro pueblo, desde la época colonial hasta nuestros días; trajo aparejado una serie de normas coloniales, códigos rurales y leyes, que tenían (1) como objetivo el derecho a la propiedad, a la salud de los trabajadores comprometidos en cada área y en la preservación o mejor aprovechamiento de los recursos naturales en función de la producción, de la mayor cantidad de riqueza o del mayor ingreso en las arcas fiscales.

En Argentina, la reforma de la Constitución Nacional en el año 1994 y de las Constituciones Provinciales acontecidas en la década de los años 80, han dado paso a una nueva Legislación constituida por un conjunto de normas jurídicas que regulan las relaciones entre las conductas humanas y el medio que se denomina **LEGISLACIÓN AMBIENTAL**.

Es a partir de ese hito histórico cuando el Recurso Hídrico se lo interrelaciona con los demás recursos naturales y el accionar de la sociedad, se comienzan a generar normas que contemplan su protección y explotación racional, en el contexto del concepto de sustentabilidad.

Quedando el mismo explicitado en el *Art. N°41* de la Constitución, Nacional de 1994. La mayoría de las provincias argentinas han modificado sus viejas constituciones, incorporando disposiciones precisas sobre el aspecto ambiental.

En las que se emplea la expresión “medio ambien-

te” (Bs. As., *Art. 31*; La Rioja, *Art. 66*; Salta, *Art. 30*; San Luis, *Preámbulo*; Jujuy, *Art. 22*; Río Negro, *Art. 84 y 85*; Córdoba, *Art. 66*; Tierra del Fuego, *Art. 25*; La Pampa, *Art. 18*) Existen dos(3) aspectos fundamentales de los cuales se ocupa una legislación en materia de aguas son los referidos al dominio y al uso y aprovechamiento de las aguas subterráneas.

Este tipo de legislación, dentro del orden jurídico ambiental se encuadran en las correspondientes al tipo sectorial y casual.

Régimen Jurídico Nacional Aplicable al Recurso Hídrico Subterráneo

De acuerdo a la organización institucional de nuestro país; sistema de gobierno federal, existen tres niveles de gobierno: Nacional, Provincial y Municipal, en donde las provincias se reservan ciertas materias en las que legislan y organizan en forma independiente. La Reforma de la Constitución de la República Argentina, publicada en 1994, en su *Art. N°121*: “Las provincias conservan todo el poder no delegado por esta Constitución al Gobierno Federal”... Si las provincias no han cedido sus bienes, conservan el dominio de las aguas.

El *Art. N°124*: “Corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio”... Ello implica que las mismas son propietarias de sus recursos hídricos.

El *Art. N°41* especifica que le corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección al ambiente, a la utilización racional de los recursos naturales, entre otros; y las provincias pueden dictar las necesarias para completarlas.

Este mismo artículo habla sobre el daño ambiental y la obligación de recomponer lo alterado según lo establezca la ley. También taxativamente se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, lo que implica en forma directa la preservación del recurso hídrico, a nivel Nacional.

El *Art. N°43* se refiere quienes pueden interponer un recurso de amparo, en el caso de un daño ambiental “... en lo relativo a los derechos que protegen al medio ambiente,... el afectado, el defensor del pueblo y las asociaciones que propendan estos fines,...”

El Estado Nacional, por su parte, según el *Art. N°75 inc 12*. “Corresponde al Congreso dictar los Códigos Civil... Minería... sin que tales códigos alteren las jurisdicciones locales, correspondiendo su aplicación a los tribunales federales o provinciales, según las cosas o las personas caesen bajo sus respectivas jurisdicciones”. Entre las leyes

de relevancia ambiental casual se encuentra el Código Civil, los artículos que a continuación se comentan son una aplicación implícita del artículo 121 de la Constitución Nacional.

En el Código Civil, se incluyó en detalle de los bienes que se consideraban públicos de las provincias.

- El *Art. 2339 C. Civil* "Las cosas son bienes públicos de la Nación o de las Provincias, según el lugar donde se encuentren...", aclara que le corresponden a las provincias los situados dentro de su territorio.
- *Art. 2340 C. Civil*: "quedan comprendidos entre los bienes públicos...", establece la enunciación general de los bienes públicos.

Inc. 3 los ríos ... Y toda otra agua que tenga o adquiera la aptitud de satisfacer usos de interés general, comprendiéndose las aguas subterráneas, sin perjuicio del ejercicio regular del derecho del propietario del fundo de extraer aguas subterráneas en la medida de su interés y con sujeción a la reglamentación...

En este inciso (4) el Código Civil ha reconocido que corresponde a los estados particulares el dominio público de las aguas, mediante el mismo, la Nación respeta los derechos que sobre tales bienes preexistentes y que las provincias no habían delegado. Además en el mismo, se expresa claramente que las aguas que no corren por la superficie (subterráneas, o freáticas y subálveas) son consideradas públicas.

- *Art. 2341 C Civil*: "Las personas particulares tienen el uso y goce de los bienes públicos del Estado o de los Estados, pero estarán sujetas a disposiciones de este Código y a las ordenanzas generales o locales. El dueño del fundo puede usarlas en la medida de su interés (que es más que su necesidad)

Leyes Nacionales

Entre la Leyes Nacionales que de forma indirecta protege el agua subterránea se encuentra la *Ley N° 24051 / 91* de Residuos Peligrosos en la cual se excluye a residuos domésticos y radiactivos, y se establece los requisitos para generadores, transportistas, plantas de tratamiento y disposición final y el Decreto N° 831 / 93 que define los requisitos mínimos y las principales restricciones para relleños de seguridad.

Otra de las Leyes es la referida al Marco Jurídico Ambiental para la Actividad Minera *Ley N° 24.585*. Esta Ley tiene un carácter ambiental y se encuadran dentro de una Normativa Complementaria de Presupuestos Mí-

nimos como lo establece el *Art. N° 41* de la Constitución Nacional.

Régimen Jurídico Provincial

La idea de utilización de los recursos naturales, fueron incorporadas desde los orígenes de la República, por los constituyentes provinciales a las Constituciones de las provincias argentinas. Hasta mediados de la década de los cincuenta, no existían restricciones en el uso de los recursos naturales.

Ya que el derecho a usar, gozar y destruir los bienes estaba consagrado dentro de los atributos del dominio. A mediados de la misma, varias provincias sancionan sus Constituciones, incluyendo en las mismas, temas relacionados con el uso racional del suelo y la utilización integrada de los elementos del ambiente. Así lo hizo la Constitución de la Provincia del Chaco(1957), y la Constitución de la provincia de La Pampa en su *Art. N° 34* respectivamente.

A su vez el *Art. N° 41* de esta última, afirma que el aprovechamiento de las aguas públicas superficiales y las corrientes subterránea, será reglado por ley especial y el poder ejecutivo promoverá la celebración de convenios con otras provincias y la Nación, para el aprovechamiento de los cursos de aguas comunes, los que deberán ser considerados como "Unidad de Cuenca".

En la década de los años ochenta las provincias introducen plenamente la temática ambiental en sus Cartas Magnas. A mediados de la misma se produce la reforma constitucional en trece provincias. En las cuales se reconoce entre los derechos que tienen los ciudadanos los que hacen a la calidad de vida y la defensa de la estabilidad ambiental.

Es aquí donde el recurso hídrico se lo interrelaciona con los otros recursos y se lo enfoca desde el punto de vista de la sustentabilidad. En algunas Constituciones provinciales, el tema hídrico es materia de su contenido, tal es el caso de Jujuy, Río Negro, Neuquén, La Pampa y Tierra del Fuego. A causa de reconocer en jurisdicción provincial la regulación de las aguas públicas, casi todas las provincias han dictado sus leyes de aguas o códigos especializados.

Estas no legislan en materia del dominio de agua ; sino, sobre su uso, aprovechamiento y preservación. Las leyes locales establecen claros principios de política hídrica, como así también lo referente al aprovechamiento de la aguas subterráneas interprovinciales.

Las provincias tienen condominio sobre las mismas, pues no delegan esa facultad a la Nación, pudiendo firmar tratados conforme el *Art. 125* de la Constitución Nacional.

Provincia de Jujuy

- Constitución Provincial

Artículo que hace referencia explícita al tema Agua:

Art N° 75 especifica sobre el régimen de las aguas, fija el dominio de las mismas, especifica a cargo de quién estará la administración del recurso. Define la prioridad de las concesiones de agua de acuerdo a sus usos; establece la necesidad de un informe técnico del organismo competente para acordar nuevas concesiones. El inciso 5to determina que se deberá dictar legislación orgánica en materia de... pozos surgentes y explotación racional y técnica de aguas subterráneas.

Provincia de Río Negro

- Constitución Provincial

Artículos que hacen referencia explícita al tema Agua:

Art N° 70 Establece el dominio de los recursos naturales y destaca su conservación y aprovechamiento racional e integral...

Art. N° 71 Habla del dominio de las aguas públicas; hace referencia a que la autoridad competente debe otorgar la concesión de uso de las aguas, establece que el Código de Aguas regla el gobierno, administración, manejo unificado e integral del recurso. También expresa que la provincia concentrará con las otras jurisdicciones el uso y el aprovechamiento de las cuencas hídricas comunes.

- Entre las Garantías que establece el Estado:

Art. N° 85 se refiere a la legitimación procesal "... Los habitantes están legitimados para accionar ante las autoridades en defensa de los intereses ecológicos reconocidos..."

▪ Leyes, Decretos y Resoluciones

Ley N° 2.342 / 89 Efectos Degradativos del Medio Ambiente. Prevención. Régimen El art. Primero establece el objeto de la misma, el cual es la de prevenir los efectos degradativos del medio ambiente garantizando una mejor calidad de vida para esta generación y las venideras. En su artículo séptimo se fija la necesidad e realizar de un diagnóstico ambiental de la prov. De Río Negro, para establecer líneas de acción prioritarias de acuerdo a la problemática ambiental relevante en cada región.

Ley N° 2392 / 92 Régimen de Control de Calidad y Protección de los Recursos Hídricos Provinciales.

Decreto N° 1894 / 91 Protección de los Recursos Hídricos Provinciales.

Resolución N° 1443 / 92 Control de Calidad y protección de los Recursos Hídricos.

Provincia de Neuquén

- Constitución Provincial

De las Atribuciones del Poder Legislativo: *Art. N° 101* Fija que el Poder Legislativo debe dictar el Código de Aguas...

- Leyes

Ley N° 1875 / 90 sobre Preservación, Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente. El objeto de la ley es establecer dentro de la política de desarrollo integral de la Provincia, los principios rectores para la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente, para lograr y mantener una óptima calidad de vida para sus habitantes. Los artículos 4to y 5to hacen referencia al agua en cuanto a los criterios a establecer para el uso, manejo y volcamiento de efluentes en los cuerpos de agua.

Los *art. 6to y 7mo* expresan la necesidad de establecer medidas de recuperación en caso que el recurso hídrico fuera alterado; a su vez la necesidad de establecer sistemas de control de vigilancia ambiental.

El *art. 8vo* fija que el responsable de las modificaciones del cuerpo de agua deberá realizar acciones tendientes a que el medio recupere su uso fijado.

Ley N° 899 / 75 Código de Aguas

El *art. N° 2* establece como bienes públicos de la provincia los ríos sean o no navegables, lagos navegables y sus lechos, las aguas pluviales y toda otra agua que tenga o adquiera la aptitud de satisfacer usos de interés general.

Medidas de prevención para evitar la contaminación:

Art. N° 42 de la sección IV, prohíbe explícitamente contaminar en forma directa o indirecta las aguas públicas o privadas sean estas corrientes o dormidas, exteriores o subterráneas.

Art. N° 43 establece que los propietarios de establecimientos fabriles, comerciales e industriales, deben construir en un plazo determinado las instalaciones necesarias para el tratamiento y vertido de sus efluentes. No se permitirá la habilitación de nuevos emprendimientos sin la previa autorización definitiva de la autoridad de aplicación sobre el sistema de tratamiento y disposición de sustancias; en forma tal que las mismas resulten inofensivas para la salud de las personas y los sistemas acuáticos terrestres.

Art. N° 62 referente al capítulo de Aguas Subterráneas, expresa que no se pueden realizar pozos con propósito de drenaje, ni con fines de drenaje cloacal que puedan producir la contaminación de las aguas.

Medidas de protección de captaciones:

Art. N° 63 en lo que se refiere a la ejecución de nue-

vas perforaciones y /o alumbramientos de aguas subterráneas dentro de /o no de áreas de tutela gozarán de un perímetro de protección. En la cual no se ejecutarán nuevos alumbramientos, si un estudio previo en cuanto a su reserva y acorde a las reglamentaciones de la Dirección de Agua.

Art. N° 68 especifica que no se conceden permisos de perforación, cuando la realización de tales obras perjudique los derechos a terceros, causar entrampamientos que perjudiquen áreas vecinas, modificar el sentido del escurrimiento del agua o cualquier otra alteración o perturbación.

Provincia de La Pampa

- Constitución Provincial

Artículo que hace referencia explícita al tema Agua:

El inciso b) del *Art. N° 18* dice que los poderes públicos dictaran normas que aseguren un adecuado manejo y utilización de las aguas.

El *Art. N° 41* hace referencia que “el aprovechamiento de las aguas públicas superficiales y subterráneas será reglado por ley especial...”

De las Atribuciones del Poder Legislativo:

El *inciso 16 del art. N° 68* fija que entre las Atribuciones y Deberes de la Cámara de Diputados esta la de dictar el Código de Aguas.

Entre las Garantías que establece el Estado:

Art. N° 20 se refiere a la legitimación procesal “El Ministerio Público o toda persona física o jurídica podrán requerir las medidas legales tendientes a garantizar los derechos consagrados...”

- Leyes

Ley N° 1352 / 91 Régimen de procedimiento para el amparo de los Intereses Difusos o Derechos Colectivos.

Dicha Ley regula el procedimiento para el amparo de los intereses difusos o derechos colectivos, relacionados con la defensa del medio ambiente, para preservar entre otras la degradación de las aguas.

Y prevee acciones de tipo preventivo, de reparación en especie y de reparación pecuniaria por el daño colectivo.

Ley N° 607 / 74 Código de Aguas

El objeto de dicha ley es el de regir y regula la protección, manejo y aprovechamiento del agua del dominio público privado.

Medidas de prevención para evitar la contaminación:

Art. N° 114 la Autoridad de Aplicación podrá determinar dentro de la superficie de protección las actividades que se podrán desarrollar, siempre que las mismas no signifiquen una contaminación del agua subterránea cercana, o la transforme en inepta para el consumo humano, abrevaje de ganado o riego.

Artículos del Capítulo II sobre la Defensa contra la alteración o infección de las aguas:

Art. N° 154 define que se entiende por contaminación o infección de las aguas. Es toda la alteración de color temperatura, sabor o cualidades fisico-químicas de las aguas que la hagan inaptas para cualquier uso a que puedan destinarse.

Art. N° 156 prohíbe a los organismos públicos o privados y a las personas físicas o jurídicas, el envío de afluentes residuales, sólidos líquidos o gaseosos, a canales, acequias, arroyos, riachos, ríos y a toda otra fuente o curso receptor de agua superficial o subterránea, que signifique un desmedro en la calidad del agua, de la Provincia; sin previo tratamiento de depuración o neutralización.

Art. N° 157 establece que todo establecimiento que desee iniciar sus actividades, deberá obtener la habilitación correspondiente (no provisoria) y la aprobación de las instalaciones de provisión de agua y de los afluentes residuales respectivos.

Art. N° 158 determina que los permisos de descargas residuales a cuerpos de agua superficiales o subterráneos, otorgados o a otorgar serán de carácter precario y estarán sujetos por su índole a las modificaciones, que exijan la ley orgánica respectiva.

Medidas de protección de captaciones los arts del Capítulo de Aguas subterráneas:

Art. N° 111 faculta al organismo competente a fijar las zonas dentro de cuyos límites superficiales se establezcan reservas de explotación, extracción y / o ventilación de aguas subterráneas.

Art. N° 112 los contratos de utilización o permisos de utilización de agua subterránea se declaran de utilidad pública en las zonas reservadas.

Art. N° 113 establece que el propietario de un predio ubicado en la zona de reserva provincial, está facultado para abrevar ganado, o para consumo humano de una familia, para el riego de un establecimiento de una superficie no mayor de dos hectáreas y que la extracción del agua se haga por medio no mecánicos.

Art. N° 114 determina la necesidad de dejar un pe-

rímetro de protección alrededor de la captación con el objeto de protegerla y por lo tanto la prohibición de realizar perforaciones en la misma.

Provincia de San Juan

- Leyes

Ley N° 5824 / 87 "Ley para la Preservación de los Recursos de Agua, Suelo y Aire y Control de la Contaminación de la Provincia de San Juan".

El objetivo de la misma es el control de contaminación por efluentes industriales, domésticos y agrícolas.

Es una Ley retrospectiva, ya que en el *Art. N° 2* dice... "Todo establecimiento industrial radicado o a radicarse en la provincia, deberá adecuar sus efluentes a las disposiciones de la presente ley..."

Medidas de prevención para evitar la contaminación el:

Art. N° 2 dice... "Todo establecimiento industrial radicado o a radicarse en la provincia, deberá adecuar sus efluentes a las disposiciones de la presente ley..."

Art. N° 4 prohíbe el vuelco de residuos sólidos, áridos, escombros o basuras, cualquiera sea la cantidad o calidad a los distintos cuerpos receptores. Establece que los Municipios determinarán el destino final de los diversos residuos.

Art. N° 5 prohíbe la descarga de efluentes industriales a pozos absorbentes, excavados o perforados, conectado a cualquier acuífero libre o confinado, con excepción de los casos que autorice la autoridad competente.

Art. N° 14 establece que todo establecimiento que desee iniciar sus actividades, deberá obtener la autorización correspondiente de la descarga de efluentes ..."

Ley N° 4392 / 78 Código de Aguas

Entre los objetivos que establece la presente Ley están los referidos al aprovechamiento, conservación y preservación de los recursos hídricos, perteneciente al dominio público

Medidas de prevención para evitar la contaminación:

Art. N° 12 prohíbe explícitamente la contaminación en forma directa o indirecta de las aguas públicas o privadas, que sean corrientes o no, superficiales o subterráneas...

Art. N° 92 se refiere a que los establecimientos industriales no pueden contaminar las aguas debido a sus actividades, de ser así se puede ordenar la suspensión de las actividades.

Art. N° 114 hace referencia que durante la etapas de exploración y explotación minera y / o de hidrocarburos,

se deberá proteger el recurso hídrico subterráneo, si se lo hallará.

Art. N° 189 se prohíbe la realización de obras que causen o faciliten que las aguas subterráneas se contaminen o se tornen inaptas para el consumo humano.

Art. N° 190 para poder preservar las aguas subterráneas en cuanto a su agotamiento, salinización y sobreexplotación; se refiere que las nuevas perforaciones ejecutadas en las áreas agrícolas solo podrán ser destinadas al uso conjunto para reforzar las dotaciones de las concesiones otorgadas.

Sobre las medidas de protección de captaciones los arts del Capítulo de Aguas subterráneas expresan que:

Art. N° 176 establece distancias mínimas entre pozos, los cuales serán de 100 mts con respecto a los pozos preexistentes. Debiéndose demostrar que dicha distancia no causara interferencia entre los pozos.

Art. N° 177 establece distancias mínimas con respecto a las riberas y bordes de los ríos y arroyos con caudal permanente, siendo la misma de 200 mts.

Art. N° 178 Obras Sanitarias puede determinar distancias mayores con arreglo a la *Ley 13.577*

Art. N° 187 expresa que todo pozo gozará de un área de protección, dentro de la cual no se realizarán nuevas perforaciones para extraer agua.

Provincia de Tierra del Fuego

- Constitución Provincial

Artículo que hace referencia explícita al tema Agua:

Art. N° 83 Se refiere a que el uso de las aguas superficiales y subterráneas del dominio público, será reglamentado mediante ley orgánica con el objeto de evitar su contaminación y agotamiento.

Entre las Garantías que establece el Estado:

Art. N° 49 se refiere a la Protección de los Intereses Difusos

- Leyes

Ley N° 55 / 92 "Ambiente y Recursos Naturales. Preservación, Conservación, Mejoramiento y Defensa".

Tiene por objeto la preservación, conservación, defensa del medio ambiente y define el ámbito de aplicación, como así también el dominio de la provincia sobre los recursos naturales. Por otro lado fija los principios de la política ambientalista, como objetivos, entre los que se encuentran la protección y saneamiento del ambiente.

El capítulo II del Título II se refiere a la defensa jurisdiccional del medio, estando expresado en sus *Art. n° 16 y 17* en los cuales se reconoce la legitimación procesal y prevee acciones de protección y de reparación de los daños colectivos. El *Art. N° 92* dice que toda persona física o jurídica, podrá denunciar ante la autoridad de aplicación, cualquier acción que deteriore los recursos naturales o contamine o degrade el ambiente.

En el marco de las Disposiciones Especiales, existe un capítulo específico de las aguas y su contaminación, en el cual dice que deberán fijarse una serie de criterios para proteger la calidad de los Recursos Hídricos; además, se deberán elaborar una serie de normas de calidad de aguas para cada masa de agua, que deberán ser tenidas en cuenta juntamente con las normas de emisión para el vuelco, descarga o inyección de efluentes contaminantes.

El *Art. N° 38* establece que la autoridad de aplicación debe identificar aquellas cuencas hídricas que deban ser preservadas de la actividad antrópica contaminante a los fines de protección del recurso hídrico para abastecimiento de agua potable.

Provincia de Córdoba

- Constitución Provincial

A partir del dictado de la nueva constitución en 1987, se incorpora la problemática ambiental de manera integral, considerándose tanto los deberes y derechos de los ciudadanos, como la instrumentación de los distintos poderes del Estado, para una protección adecuada del ambiente.

Artículo que hace referencia explícita al tema Agua:

Art. N° 68 “Las aguas que sean de dominio público y su aprovechamiento, están sujetas al interés general. El Estado reglamenta su uso racional y adopta las medidas conducentes para evitar su contaminación.....”

Artículos que hacen referencia a los Principios Ambientales:

Art. N° 11, “El Estado resguarda el equilibrio ecológico, protege el medio ambiente y preserva los recursos naturales”

Art. N° 38, Entre los deberes de los ciudadanos dispone: “evitar la contaminación y participar en la defensa ecológica”.

Cap. 3°, *Art. N° 66*. El capítulo se refiere “a la ecología” en el título que trata sobre “medio ambiente y calidad de vida”, regula los principales aspectos en relación al derecho de gozar de un ambiente sano, la conservación de los recursos, la preservación de los mismos, entre otros.

Art. N° 110 con respecto a las atribuciones del Poder Legislativo le corresponde el “Dictar las leyes o códigos sobre la materia”

Políticas especiales del Estado:

Art. N° 11, con respecto al deber del Estado, en relación a los recursos naturales y el medio ambiente: “ El Estado provincial resguarda el equilibrio ecológico, protege el medio ambiente y preserva los recursos naturales”.

Art. N° 66 “Toda persona tiene derecho a gozar, de un medio ambiente sano...”

El agua, el suelo y el aire como elementos vitales para el hombre, son materia de especial protección en la Provincia.

El Estado Provincial protege el medio ambiente, preserva los recursos naturales ordenando su uso y explotación, y resguarda el equilibrio ...”

Art. N° 68 “ El Estado Provincial defiende los recursos naturales renovables y no renovables, en base a su aprovechamiento racional e integral que preserve ..., y la protección del medio ambiente...”

Las aguas que sean de dominio público y su aprovechamiento, están sujetas al interés general. El Estado reglamenta su uso racional y adopta las medidas conducentes para evitar su contaminación.....”

Garantías que establece el Estado:

Art. N° 48, se refiere a la interposición de recursos de amparo.”... se restrinjan, alteren, amenacen o lesionen, con arbitrariedad o ilegalidad manifiesta, derechos o garantías reconocidos por esta constitución o por la Constitución Nacional, y no exista otra vía pronta y eficaz para evitar un grave daño, la persona afectada puede pedir el amparo a los jueces en la forma que determine la ley”

Art. N° 53, el reconocimiento y protección de los intereses difusos o colectivos “sin perjuicio de la responsabilidad del Estado, la legitimación para obtener de las autoridades la protección de los intereses difusos, ecológico...”

Art. N° 124 establece que “... Defensor del Pueblo, como comisionado para la defensa de los derechos colectivos o difusos....”

De las Atribuciones del Poder Legislativo:

Respecto a la Competencia Material de los Municipios y Comunas:

Art. N° 186, Inciso 7, determina que la protección del medio ambiente está dentro de las funciones, atribuciones y finalidades de los Municipios. “... Atender las

siguientes materias... uso de calles y subsuelo; control de construcción; protección del medio ambiente.....”

- *Leyes*

Ley N° 6.964 /83 Ley de Areas Naturales de la Provincia de Córdoba. Clasifica y agrupa las áreas naturales de la prov. según las modalidades de su utilización e intervención del Estado. Establece que el régimen específico de cada área lo establecerá el P.E. Decreto reglamentario 3.442/83.

El capítulo VI de Reservas Hídricas, establece su caracterización y objetivo como así también su administración y uso.

Ley N° 6.930 / 83 Convenio suscripto con la Nación sobre el aprovechamiento de los Recursos Hídricos situados al Sur del paralelo 32 S en el territorio provincial.

Trata sobre los excedentes hídricos su control, aprovechamiento y manejo; como así también la propuesta de diversas obras de regulación.

Realizan una primera aproximación de un análisis integrado, de los diversos factores que intervienen en la cuenca, con lo cual se aproximan en sus conclusiones finales a una ordenación y sistematización del recurso hídrico.

Cabe destacar que se realizó un análisis de la morfología y dinámica de la capa freática del área de estudio.

Ley N° 7.088 /84 Convenio con la Universidad Nac. De Córdoba con el objeto de promover la investigación científica y tecnológica y su aplicación en el manejo de los recursos naturales provinciales.

Ley N° 7.343/ 85 Provincial del Ambiente

Las aguas también se encuentran reguladas por la *Ley 7.343 /85 Ley del Ambiente de la Provincia de Córdoba* - “Principios rectores para la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del Ambiente.

Esta ley establece los principios generales en materia ambiental y también establece prohibiciones generales en las secciones destinadas a la contaminación de las aguas, los suelos y la atmósfera. Estos aspectos no han sido reglamentados.

En el caso del agua prohíbe “el vuelco, descarga o inyección de efluentes contaminantes a las masas superficiales o subterráneas de aguas, cuando tales efluentes superen los valores fijados para cada masa hídrica. Se aplica también cuando afecte la flora, la fauna, la salud humana y los bienes. En términos similares establece la prohibición para la descarga en la atmósfera o en el suelo.

En este sentido la ley sienta principios para su posterior regulación específica, es por este motivo que son pro-

hibiciones generales y medidas a tener en cuenta por las autoridades de aplicación, para ser luego reglamentadas.

La Ley N° 8300 modifica el título V de la *Ley N° 7343* sobre las “contravenciones y sanciones”, y entre otras cosas hace referencia a la contaminación de los cursos de agua (art. 63): se alude a las personas físicas o jurídicas que contaminasen cursos de agua (ríos, arroyos, etc.) que se aprovechen para diversos usos (consumo humano, riego, actividades agropecuarias, etc.)

Todas las sanciones son equivalentes a precio de nafta ecológica, la acción procede por denuncia o de oficio y la Autoridad de Aplicación es la Subsecretaría del Medio Ambiente.

Decreto 3.290 /90, reglamenta el capítulo IX de la ley Provincial del Ambiente “sobre Impacto Ambiental” *Art. 49 a 52*.

Ley N° 7.721 / 88 Obras Hidráulicas. Autorización para su construcción.

Ley N° 7.883/90 Adhiere a la *Ley 23.615 C.O.F.A.P.YS.*
Ley N° 5.589/ 73 Código de Aguas

Por medio de la *Ley 5.589* del año 1973 se promulgo el Código de Aguas, el cual es una Norma legal, que reforzada por diversas Resoluciones emitidas por el Organismo de Aplicación correspondiente, regulando en la forma que el Recurso Hídrico Provincial será explotado y protegido contra la contaminación.

Por lo tanto el Bien jurídico protegido es el agua, su aprovechamiento, conservación y defensa contra los efectos nocivos; álveos, obras hidráulicas.

La autoridad de aplicación controla y vigila el uso de las aguas procurando a través de su política hídrica de conocerla, administrarla aprovecharla y preservarla.

Para ello puede adoptar medidas como declarar la reserva de determinados recursos hídricos, la veda de los mismos, limitar un uso determinado o estimular usos en detrimento de otros fijando zonas de protección.

Por esta razón y a estos efectos la entidad reguladora controla y regula el uso de las aguas privadas, estableciendo restricciones tendientes a no perjudicar a terceros.

Es por ello que los particulares están obligados a registrar las aguas privadas sobre las que pretenden ejercer sus derechos.

Las aguas de dominio privado, y las aguas de dominio público otorgadas en uso mediante concesión o permiso y las empresas perforadoras que efectúan la extracción de aguas subterráneas deben inscribirse en los registros que para estos fines, lleva la autoridad de aplicación.

Asimismo el Código hace referencia a aquellos casos en que la disponibilidad del agua puede verse comprometida con concesiones y permisos acordados. Para evitar esto puede tomar recaudos tendientes a evitar el agotamiento de la fuente, tales como denegar solicitudes de concesión o permiso, fijar prioridades para el otorgamiento y ejercicio de las concesiones cuando concurren solicitudes que tengan por objeto distintos aprovechamientos.

También el Código tiene un título dedicado específicamente al uso, exploración y explotación de las aguas subterráneas. En este título se estipulan los requisitos que se deben satisfacer ante la autoridad de aplicación los solicitantes de concesión de aguas subterráneas.

Frente a estos requerimientos, la entidad reguladora a los fines de proteger y conservar el recurso podrá designar los acuíferos en donde se pueden extraer agua, los métodos, sistemas o instalaciones a utilizar, las pruebas de bombeo, muestras de agua y controlar el caudal de extracción a través de dispositivos que deberán poseer los pozos.

- *Resoluciones de la D.A.S.:*

Nº 12.586 / 86: Establece el Límite máximo admisible para el cromo hexavalente para efluentes descargados en cursos de agua.

Nº 740 / 87: Establece los requisitos para considerar las solicitudes de autorización de descarga de líquidos residuales o cloacales en cursos de aguas superficiales y subterráneos.

Nº 2.976 / 89: Establece los límites máximos admisibles para las descargas a pozos absorbentes y perforaciones coincidente con el B.O. Nº 4.427 e incluyendo el valor máximo permisible para el cromo hexavalente.

Nº 3.779 / 90: Establece los límites máximos admisibles para las descargas con carácter precario en pozos, perforaciones absorbentes o en fuentes superficiales.

Nº 1204 / 94: sobre Normas para la ejecución de pozos y perforaciones particulares, la autoridad reguladora es la encargada de aprobar o denegar los permisos a tal efecto.

Dicha Resolución, regla las condiciones que debe reunir cualquier empresa perforadora, individual, particular o ilimitada que desee excavar o perforar un pozo o captar un manantial.

- *Convenios Interprovinciales*

Ley Nº 5.335 / 72 Comités de Cuencas Hídricas- Adhesión al Convenio celebrado entre la Subsecretaría de

Recursos Hídricos de la Nación y las provincias de Catamarca, Jujuy, Salta, Sgo. Del estero y Tucumán con destino a su creación.

Ley Nº 6.390 / 80: Convenio suscripto por la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación y la Pcia de San Luis referente a la constitución del Comité de Cuencas Hídricas de los ríos Quinto y Conlara - Aprobación.

Ley Nº 7.260 / 85: Convenio de Cooperación Técnica en recursos hídricos suscripto el 27-12-84 entre la prov. y la Sec de Rec. Hídricos de la Nación - Aprobación.

Ley Nº 7.559 / 87: Convenio celebrado entre la Sec. Min. de Planeamiento y Coordinación y la Comisión Nac. De Investigac. Espaciales a fin de evaluar los recursos naturales de la provincia, su utilización controlada y su mejoramiento o recuperación.

Ley Nº 8.145 / 92 Acta constitutiva del Consejo Federal del Ambiente (COFEMA) suscripto el 31-8-90 en la ciudad de La Rioja por los representantes de las siguientes provincias: Buenos Aires, Catamarca, Córdoba, Formosa, La Rioja, Mendoza, Neuquén, Salta, San Juan, Santa Fe, Tucumán y Municipalidad de la Ciudad de Buenos Aires. - Aprobación-

Síntesis Analítica

Mediante una recopilación preliminar de la Legislación vigente, con respecto al tema agua, a nivel Nacional y Provincial se han detectado los aspectos más relevantes de la misma. En términos generales se puede inferir que tanto el Marco Administrativo como Legal está en un constante cambio.

- Las Provincias conservan el dominio de sus aguas de acuerdo al Art. Nº 124 de la Constitución del año 1994; por lo tanto el aprovechamiento hídrico corresponde a la jurisdicción provincial.
- Existen Leyes nacionales y provinciales relativas al agua; entre las primeras existen dos Códigos de fondo que se refieren en alguna manera al tema. El Código Penal (*ley 11.179*) incrimina entre los delitos contra la propiedad el uso ilícito y doloso de las aguas públicas o privadas. Y el Código Civil, que ha establecido entre otras cosas, cuáles son las aguas que corresponden al dominio público de los Estados provinciales y ha dispuesto el sistema de concesión administrativa para ellas cuando se dispusiera su aprovechamiento por particulares. En el mismo se estableció las aguas que deben ser consideradas del dominio privado y las restricciones que sobre ellas pesan.
- Entre la Leyes Nacionales que de forma indirecta

protege el agua subterránea se encuentra la *Ley N° 24.051 / 91* de Residuos Peligrosos en la cual se excluye a residuos domésticos y radiactivos, y se establece los requisitos para generadores, transportistas, plantas de tratamiento y disposición final y el Decreto N° 831 / 93 que define los requisitos mínimos y las principales restricciones para rellenos de seguridad.

Otra de las Leyes es la referida al Marco Jurídico Ambiental para la Actividad Minera *Ley N° 24.585*. Esta Ley tiene un carácter ambiental y se encuadra dentro de una Normativa Complementaria de Presupuestos Mínimos como lo establece el *Art. N° 41* de la Constitución Nacional.

- Las provincias tienen disposiciones de carácter local, pertinentes al agua; están representadas por medio de leyes o códigos especiales, también poseen una legislación ambiental, en la cual se contempla la protección del recurso hídrico desde un punto de vista integral y por último Leyes de protección del recurso hídrico específicas.
- Las medidas protectoras contra la contaminación están reforzadas mediante las Leyes provinciales de protección ambiental y las específicamente relativas sobre el recurso hídrico.
- De acuerdo a sus lineamientos, las Leyes de protección ambiental se pueden agrupar de la siguiente manera:
 - a) Las que tienen por objetivo la preservación, defensa y mejoramiento del ambiente para lograr una óptima calidad de vida. Entre las disposiciones especiales que las caracterizan, se destacan una serie de artículos que hacen referencia al recurso hídrico, en lo que hace al estudio y clasificación de las masas de agua; de modo tal que se puedan establecer parámetros de volcamiento acorde a los criterios de uso y calidad del mismo. Entre las cuales, se encuentran las de la provincia de Córdoba (*Ley N° 7343/85*), Neuquén (*Ley N° 1875/90*), Tierra del Fuego (*Ley N° 55/92*) y Tucumán (*Ley N° 6.253/91*), entre otras.
 - b) Las que tiene por objetivo prevenir y preservar el medio ambiente de los efectos degradativos, con lo que la única finalidad es la de resguardar el equilibrio ecológico y el desarrollo sustentable. Este tipo de leyes establecen la necesidad de hacer un relevamiento ambiental de la provincia, para proponer líneas de acción a desarrollar para la prevención y control de los problemas ambientales. Entre las provincias que se encuadran en este tipo de normativa se encuentran la

de Mendoza (*Ley N° 5961/92*) y la de Río Negro (*Ley N° 2.342/89*).

- c) Las Provincias de Santa Fe (*Ley N° 10.000/86*) y La Pampa (*Ley N° 1352/91*), no han dictado Leyes de Protección Ambientales específicas, pero han incurrido en la temática de la legitimación procesal como del delito ecológico, para establecer la relación entre el ambiente y la responsabilidad penal. En las cuales los delitos referidos a la contaminación del recurso hídrico subterráneo quedan incluidos. Ambas provincias han legislado sobre el régimen del procedimiento del amparo de los Intereses Difusos.
- d) Provincias como Santiago del Estero (*Ley N° 4.802/79*) y Misiones (*Ley N° 2557/94*) tienen Leyes Ambientales, que ponen un énfasis mayor en la protección de los recursos naturales renovables.
 - Las Leyes de protección del recurso hídrico específicas, han contemplado más profundamente la normativa referente a la contaminación del agua subterránea, previniendo su contaminación potencial y controlando la existente; no son leyes ambientales propiamente dichas, ya que no contemplan la integridad del ambiente. Se refieren fundamentalmente a la prevención y control de la contaminación por la disposición y / o tratamientos con descarga al subsuelo de efluentes.

Poseen un carácter restrictivo y retrospectivo; puesto que se tiene en cuenta para emplazamiento de cualquier nuevo emprendimiento, dos factores fundamentales que son la calidad del agua subterránea y profundidad de la misma, y en segundo término exige que se adecuen las actividades ya iniciadas antes de la presente legislación a las normativas sancionadas. Provincias como San Juan (*Ley N° 5.284/87*); Río Negro (*Ley N° 2.392/90*); Chubut (*Ley N° 1.503/77*) y Santa Cruz (*Ley N° 1.451/82*), presentan este tipo de legislación.

 - Que los Códigos de aguas provinciales establecen sólidos principios de política hídrica y han reglado más profundamente lo que se refiere a las prioridades para los distintos usos del agua, a la forma de obtener permisos que incluyen las concesiones de extracción; permisos de exploración y perforación de aguas subterráneas; planificación con respecto a constituir sectores de explotación con el objeto de regular su extracción, perímetros de protección y establece el control de la contaminación que pueden producir las diversas actividades humanas.
 - Provincias como La Pampa, Córdoba, Rioja, Santiago del Estero, Neuquén, Formosa, San Juan entre

otras, han incluido lo relativo a las aguas subterráneas como un capítulo del código de aguas provincial. La provincia de Mendoza (*Leyes N°s 4.035; 4.036* y su decreto reglamentario N° 1.839/74; y la Resolución N° 563/75), tiene una serie de Leyes específicas en lo que hace al Recurso Hídrico Subterráneo.

- Según los lineamientos de las normativas provinciales analizadas, en cuanto a códigos de agua, se destacan a nivel de país dos grupos.
 - a) Los que contemplan en su articulado en forma específica, la protección del recurso contra los efectos dañinos de la contaminación, el otorgamiento del permiso de volcamiento a cuerpos receptores de los efluentes producidos por las diversas actividades humanas y por último en lo que hace en declarar zonas de protección de captaciones desde la óptica de la explotación del recurso. Quedando comprendidas en el mismo, las provincias de San Juan (*Ley N° 4.392/78*), Neuquén (*Ley N° 899/75*) y La Pampa (*Ley N° 607/74*).
 - b) Aquellos Códigos en donde la prevención y control de la contaminación producida por las actividades humanas, presenta disposiciones generales, y las exigencias técnicas que se han establecido a posteriori para el volcamiento de los efluentes son de carácter físico - químico y no contemplan las aptitudes del medio físico para tal fin. De igual forma el aspecto correspondiente a la determinación de áreas de protección de captaciones es una disposición general,
- no especificando la distancia mínima a la que puede ser ejecutada una perforación de otra. En este caso se encuentran las provincias de Córdoba (*Ley N° 5.589/73*), La Rioja (*Ley N° 4295/83*), Santiago del Estero (*Ley N° 4.869/80*) y Formosa (*Ley N° 398/76*) entre otras.
- La mayoría de la legislación existente deberá enfatizar las medidas protectoras contra los efectos de la sobreexplotación. También se deberá prever entre otras cosas un drenaje adecuado de los acuíferos allí donde ocurre inundaciones, salinización, u otros efectos dañinos en zonas de ascenso de los niveles freáticos. Otro aspecto que no se contempla en la legislación es la referida a la subsidencia de terrenos al descender los niveles piezométricos y compactarse los acuíferos freáticos.
- En las medidas legislativas ya adoptadas en algunas provincias deberían especificar, la necesidad de establecer una planificación general con énfasis en la ordenación del territorio de acuerdo a sus aptitudes, perímetros de protección, prohibición de vertidos encima de acuíferos, normas más estrictas para impedir la contaminación y el sobreexplotación.
- Las reformas que puedan hacerse en el futuro a la (5) legislación sobre aguas, deben estar esencialmente dirigidas a asegurar, en base a su disponibilidad, un uso sostenible del recurso y su conservación, para satisfacer en el presente y en el futuro las demandas de cada tipo de utilización.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ING. CLAUDIO LABORANTI; ING GUILLERMO V. MALINOW; 1995
Diagnostico Preleminar sobre la Gestión de los Recursos Hídricos en la Argentina,
Subsecretaría de recursos Hídricos, Dirección Nacional de Recursos Hídricos.
- (2) DR. VICTOR H. MARTÍNEZ, 1994.
Ambiente y Responsabilidad Penal,
De Depalma, Buenos Aires (RA)
- (3) DR. LEILA DEVIA, 1992.
Algunas Cuestiones Legales Sobre Aguas Subterráneas,
Montivideo, Uruguay.
- (4) DR. EDUARDO A. PIGRETTI; 1993.
Derecho Ambiental,
de Depalma, Buenos Aires (RA), p.102 y 104
- (5) O.N.U. 1986.
“Groundwater Legislation in ECE Region”
Comisión Económica para Europa, Ginebra.

TABLA 3 LEYES NACIONALES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS

Materia	Ambito	Disposiciones	Observaciones	
RECURSOS HIDRICOS	NACIONAL	Ley	2797/1891	Prohíbe el volcado de aguas cloacales y residuos industriales sin tratamiento a los ríos.
			6546 / 09	Aprovechamiento de las aguas de los ríos Negro y Limay, Neuquén, Segundo, Tercero, Quinto, Seco, De Los Sauces, Mendoza, Atuel y otros.
			6816 / 09	Confeción del Mapa Hidrológico de la Argentina
			13273 / 48	Ley de riqueza forestal. Contiene Normas referidas a la protección de las fuentes de agua en relación al recurso bosque
			13577 / 49	Ley Orgánica de Obras Sanitarias de la Nación, cuyo objetivo es la protección de los cursos de agua que sirven como fuente del suministro, bajo su jurisdicción. Modificada por la ley 20324
			17405	Crea la Comisión Nacional de la Cuenca del Plata. Integrada por todos los países con jurisdicción en el área, tiende a establecer una política integral del manejo regional de sus recursos naturales.
			22507 /81	Aprueba el tratado sobre la prohibición del emplazamiento de armas nucleares y otros artefactos de destrucción masiva en los fondos marinos, océanos y subsuelos.
		Resol.	75185 / 86 O. S.N	Obras Sanitarias de la Nación Reglamento para las instalaciones sanitarias internas y perforaciones de Obras Sanitarias de la Nación.
			23879 / 90	Impone la evaluación de consecuencias ambientales que producen o podrían producir en territorio argentino las represas construida, en construcción o planificadas, nacionales o extranjeras.
		Decreto	674 / 89	Principio contaminador - Pagador (pago de cuota de resarcimiento por parte de aquellos que vuelcan efluentes industriales a las aguas lindantes).Reemplaza al Decreto 2125 / 78
RESIDUOS	NACIONAL	Ley	24051 / 91	Ley de residuos peligrosos .Excluye a residuos domésticos y radiactivos. Establece los requisitos para generadores, transportistas, plantas de tratamiento y disposición final. Sanciones
			831 / 93 Decreto	Establece los requisitos mínimos y las principales restricciones para rellenos de seguridad.

TABLA 4 LEYES NACIONALES AMBIENTALES

Materia	Ambito	Disposiciones	Observaciones	
AMBIENTAL	NACIONAL	Leyes	Ley N° 24.051	de Residuos Peligrosos
			Ley N° 24.585	de Protección Ambiental para la Actividad Minera
			Ley N° 17.319.	de Hidrocarburos
			Ley N° 24.196	de Promoción de Inversiones Míneras.
			Ley N° 22.428	de Conservación de Suelos
			Ley N° 23.879	de Evaluación de las Consecuencias Ambientales de la Construcción de Grandes Represas en Territorio Argentino
			Ley N° 24.228.	de ratificación del "Acuerdo Federal Minero"
			Ley N° 24.585	Normativa Complementaria de Presupuestos Mínimos: "Marco Jurídico Ambiental para la Actividad Minera"
			Resoluciones 60/95 y 61/95	del Ente Nacional Regulador Nuclear del Ente Nacional Regulador Nuclear
				Manual de Evaluaciones Ambientales de la Dirección Nacional de Vialidad
	Guías Ambientales del COFAPyS (ENOSA)			

TABLA 5 LEYES PROVINCIALES AMBIENTALES

Materia	Ambito	Disposiciones	Observaciones
AMBIENTAL	Córdoba	Ley N° 7.343	de Preservación Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente. 29/8/85
	Bs.As.	Ley N° 11.723	Ley Integral del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales
	Chubut	Ley N° 4.032	de Necesidad de hacer Estudios de Impacto Ambiental
		Ley N° 3.856	sobre Contratos de Prospección Geológica y Explotación Minera
	Misiones	Ley N° 3.079	de Responsabilidades y Criterios para la Implementación de la Evaluación del Impacto Ambiental
		Art. 20 de la Ley N° 2557	Código del Ambiente Humano y de los Recursos Naturales Renovables
	R.Negro	Ley N° 2.342	de Impacto Ambiental
	Neuquén	Ley N° 1.875	sobre la Preservación Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente. 21/12/90
		Ley 6253 de 16/9/91	Medio Ambiente - Normas para su conservación y Defensa.
	Tucumán	Decreto N° 2204 -25/10/91	Evaluación del Impacto Ambiental - Definición -Contenido - Metodología
		Ley N° 55. 1/12/92	sobre la Preservación Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente y Rec. Naturales
	T.del Fuego	Ley N° 5.961 de 26/11/92	Preservación del Medio Ambiente
	Mendoza	437/93	Normas para el Control Ambiental de la producción de Hidrocarburos
		Ley N° 6.207	Almacenamiento de Desechos Radiactivos
	San Juan	Ley N° 5824	Para la Preservación de los Recursos de Agua Suelo y Aire y Control de la Contaminación 9/11/87
	S.del Es-tero	Ley N° 4802	de la Protección de los Recursos Naturales Renovables 20/10/79
	La Pampa	Ley N° 1352	Régimen de Procedimiento para el Amparo de los Intereses Difusos o Derechos Colectivos 14/11/91 Régimen de Procedimiento para el Amparo de los Intereses Difusos o Derechos Colectivos 14/11/91

TABLA 6 RÉGIMEN PENAL

Ley	Artículo	Contenido
11.179 Código Penal	187°	Título VII Trata los delitos contra la seguridad pública Capítulo IV Establece cuales son los delitos contra la salud pública. Tipifica delitos de contaminación atmosférica y de suelos .
	200°	Tipifica la figura de contaminación del agua, perceptuando que será reprimido con reclusión o prisión de tres a diez años el que envenenase o adulterase de un modo peligroso para la salud de las aguas potables o sustancias alimenticias o medicinales destinada al uso público o al consumo de una colectividad de personas

TABLA 7 LEYES PROVINCIALES RELATIVAS AL RECURSO HÍDRICO

Materia	Ambito	Disposiciones	Observaciones
RECURSOS HIDRICOS	Córdoba	N° 5589/73 Cód. de Aguas	Reglamenta el aprovechamiento de las aguas, la conservación, defensa contra sus efectos nocivos, el uso y defensa de los álveos, las obras hidráulicas, y las limitaciones al dominio en interés de su uso.
	Neuquén	N° 899/87 Cód. de Aguas	
	San Juan	N° 4.392 / 78 Cód. de Aguas	Establece el aprovechamiento, conservación y preservación de los recursos hídricos pertenecientes al dominio público.
	La Rioja	N° 4.295 Cód. de Aguas	Reglamenta el aprovechamiento de las aguas, la conservación, defensa contra sus efectos nocivos, el uso y defensa de los álveos, las obras hidráulicas, y las limitaciones al dominio en interés de su uso.
	Santa Cruz	N° 1451/82 Aguas públ. Prov no Marítimas. Regul. de su estudio uso y preserv.	Establece que la administración de las aguas debe hacerse en forma armónica y coordinando los requerimientos de los distintos usos tomando en cuenta la preservación del recurso y del medio ambiente, las posibilidades de las zonas atender, la realización de obras de aprovechamiento múltiple, en orden de maximizar los beneficios económicos sociales.
	S. del Estero	N° 4869//80 Cód. de Aguas	Establece el régimen jurídico que rige las restricciones al dominio privado y todas las actividades relacionadas con el aprovechamiento, conservación y la defensa contra los efectos nocivos de las aguas, álveos y obras hidráulicas
	San Luis	N° 3.876/78 Cód. de Aguas	Define la autoridad de aplicación como así también sus funciones, entre las que se destacan la sistematización de los estudios hidrológicos, climatológicos, geohidrológicos, edafológicos, e hidrogeológicos. Establece el nivel de prioridades para los distintos usos del agua.
	La Pampa	N° 607/74 Cód. de Aguas	
	Fornosa	N°389/76 Cód. de Aguas	
	Chubut	N° 1.503/77	Ley para la Protección de las Aguas y la Atmósfera



Hidroquímica de las aguas superficiales y subterráneas en las vecindades de San Miguel del Monte

Ana María Fazio ¹ - Griselda Galindo ² - Alicia Fernández Cirelli ³

¹ Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, U.B.A.

² CONICET y Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, U.B.A.

³ CONICET y Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, U.B.A.

Fecha de Aceptación: Agosto de 1998

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene por objeto efectuar un relevamiento del estado actual de las aguas superficiales y subterráneas de un sector de la cuenca del río Salado, en la Provincia de Buenos Aires, que incluye el sistema lagunar de San Miguel del Monte y su principal afluente, el arroyo Totoral.

OBJETIVOS DEL TRABAJO

Dadas las características geomorfológicas, climáticas y edafológicas de la región, los niveles freáticos, altamente vulnerables, son los más utilizados para la provisión de agua, mientras que la Laguna de Monte se utiliza para actividades recreativas y pesca deportiva durante todo el año. De ahí la importancia de conocer el estado del sistema, a través de un relevamiento realizado en el verano de 1998, antes de que se produjera el fenómeno meteorológico de El Niño, que introducirá indudablemente anomalías importantes en las variables a medir.

La investigación realizada apunta también a verificar las posibilidades de utilización de las aguas subterráneas para riego, dado el interés que se observa en los últimos años por la práctica de cultivos intensivos y la siembra directa, que requieren de una buena provisión de agua para desarrollarse a pleno.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La zona en estudio está comprendida entre los meridianos 58° 34' y 58° 55' de longitud Oeste de Greenwich y los paralelos 35° 15' y 35° 45' de latitud Sur, cubriendo un área de 1900 Km². Está ubicada dentro de lo que se conoce como la Pampa Deprimida, una llanura de pendiente muy suave, cuyo eje coincide con el curso del río Salado, que atravesando la Provincia de Buenos Aires en dirección NO - SE, desemboca en la Bahía de San Borombón. El centro urbano más importante es la ciudad de San Miguel del Monte, cabecera del partido del mismo nombre.

La región está cruzada por la ruta nacional 3 y la provincial 41, además de otros caminos rurales, y la red ferroviaria une la ciudad de San Miguel del Monte con Buenos Aires, corriendo en el tramo en estudio de forma más o menos paralela a la ruta nacional N° 3 (ver mapa de la figura 1).

POBLACIÓN, ACTIVIDADES DE LA ZONA Y OCUPACIÓN DEL TERRENO

De acuerdo a los datos estadísticos elaborados por el Indec (*Censo Nacional de Población, 1991*) en el año 1991 la población del partido de San Miguel del Monte era de 15.042 habitantes, con una proyección para el año 1998 de 18.000 habitantes.

Del total poblacional del año 1991, 10.777 vivían en zonas urbanizadas, y 4.702 lo hacían en zonas rurales, por lo que la relación de población urbana a rural es de 2,3:1.

Por otra parte, sobre un total de 4392 viviendas, el 42% de las mismas se abastece de agua por medio de la red pública, y sólo el 30,3% cuenta con servicios cloacales.

Las actividades económicas de la zona son fundamentalmente las explotaciones agropecuarias, para las cuales los últimos datos registrados pertenecen al Censo Agrícola-Ganadero realizado en el año 1988.

De las 184.754 Ha que tiene el partido de San Miguel del Monte, 163.622,8 Ha están dedicadas a las explotaciones agropecuarias, que representan un 88,56% del total.

Si se considera el uso de la tierra, de las 163.622,8 Ha el 26,5% de las mismas (43.360 Ha) están ocupadas por cultivos. El 73,5% restante (120.263 Ha) se distribuye de la siguiente manera: un 47,3% en pasturas (77.394 Ha), un 14,2% en superficies aptas no utilizadas (23.234 Ha), un 12% (19.635 Ha) ocupadas por montes naturales, caminos, parques, viviendas, etc.

Si se discrimina la superficie implantada según el tipo de cultivo, el 69,12% de la misma se dedica a forrajeras, el 15,81% a oleaginosas, el 14,45 a granos y el 0,63% a otros cultivos.

En cuanto a las actividades ganaderas en el partido, en el año 1988 existían 385 establecimientos dedicados a la explotación de bovinos con un total de 120.831 cabezas; 89 establecimientos dedicados a ovinos con 7.197 cabezas; 356 a equinos, con 3.843 cabezas, y por último 37 establecimientos dedicados a la explotación de porcinos con 5.136 cabezas.

GEOMORFOLOGÍA

La depresión por la que corre el cauce del río Salado es una cubeta de deflación, amplia y chata, presenta numerosos sistemas lagunares y un drenaje deficiente por la falta de pendiente. No debe excluirse un control estructural debido al movimiento de bloques profundos entre fracturas reactivadas en épocas recientes.

La falta de un drenaje adecuado provoca que las aguas superficiales escurran por cauces meandrosos y a menudo se foman sistemas lagunares efímeros que sólo en épocas de creciente alcanzan a desaguar en el cauce del Salado.

Así, en la región existe como sistema lagunar perenne el formado por las lagunas de San Miguel del Monte y Las Perdices, que cubren un área de 13 Km², y otras como las lagunas San Jorge, Santa Rosa, El Seco, etc, que tienen un régimen efímero.

El sistema lagunar Monte -Las Perdices, tiene una orientación NO - SE y su principal afluente es el arroyo

Totoral, que desemboca en el extremo NE de la laguna de San Miguel de Monte.

Existen en la región numerosas canalizaciones y terraplenes para modificar el curso de los arroyos transitorios y perennes, de manera de mejorar el drenaje en épocas de inundación. El resultado es la alteración del régimen natural de desagüe con las consecuentes modificaciones del paisaje.

CLIMA

El clima de la región puede clasificarse como templado húmedo, con una precipitación media anual de 911 mm, y una alternancia de períodos de sequías y excesos hídricos. La estación seca es el invierno, con una media de 48 mm para el mes de julio que es el mes de menores precipitaciones. El verano, en cambio, es la estación más lluviosa, con un máximo en el mes de marzo de 117 mm. de media.

La temperatura media anual es de 16° C, con un media de 25° C en el mes de enero que es el mes más cálido y una mínima de 9° C en el mes de junio que es el mes más frío. Los vientos predominantes son de dirección Norte, Noreste y Sudeste. Estos valores se tomaron de la estadística meteorológica elaborada por el Servicio Meteorológico Nacional para el trienio 1950-1980.

GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA DEL SUBSUELO

Siguiendo a Sala, (Sala, 1973) quien toma como unidad hidrológica de referencia la sección paraniense, por ser la de distribución areal más extendida en la pampa deprimida y límite de las perforaciones más profundas para la producción de agua subterránea, se pueden distinguir en el subsuelo otras dos secciones más a saber: la hipoparaniense que se apoya sobre el basamento impermeable y subyace a la primera ya mencionada y la epiparaniense que se superpone a las otras dos.

El basamento impermeable es un acuífugo formado por rocas precámbricas y paleozoicas sin porosidad primaria. De existir porosidad secundaria, producto del diaclasamiento, podría haber acumulaciones de agua que dependería del tamaño y aberturas de las fisuras, el grado de aporte recibido por infiltraciones de acuíferos vecinos, etc.

La sección hipoparaniense es una sucesión de sedimentos de origen continental, constituida por arcillas y areniscas rojas, con yeso, anhidrita y vidrio volcánico, cuya porción superior, perteneciente al Mioceno inferior, es denominada comúnmente "el Rojo".

Sobre la precedente se apoya la ya mencionada sección paraniense, resultado de una ingresión marina, compuesta por arcillas de colores verdes o azulados, con abundantes intercalaciones de yeso, anhidrita, arenas y alto contenido de fósiles marinos. Tiene características típicamente acuícludas o acuitardas, pero la presencia de intercalaciones de

granulometrías más gruesas confiere a esas áreas carácter de acuíferos o lentes de extensión limitada. Se le denomina también comúnmente “el Verde” y pertenecería al Mioceno Superior.

Por último culmina la columna la sección epiparanaiana, la más explotada para la producción de agua y la única en relación directa con el ciclo hidrológico externo.

Dentro de esta sección se pueden distinguir tres unidades diferentes a saber:

- a) Arenas Puelches: está constituida fundamentalmente por arenas medianas y finas de origen continental y de edad plio-pleistocena, con características acuíferas con salinidad superior a 2gr/l.
- b) *Sedimentos Pampeanos*: fundamentalmente pelíticos, limo- loessoides de origen eólico, de baja permeabilidad, (según Sala estaría alrededor de 0.5m por día). La mineralogía incluye abundante vidrio volcánico, además de arcillas y proporciones menores de carbonato de calcio y yeso. Se comporta hidrológicamente como acuitardo, cuyo contenido salino aumenta con la profundidad, por lo que en general se explotan los niveles superiores. En la zona en estudio afloran en las partes más elevada de las lomadas. Se le asigna una edad Pleistocena.
- c) *Sedimentos Postpampeanos*, de edad Holocena, se los encuentra en las partes bajas del relieve, tales como fondos lagunares y cubetas de deflación (Dangavs, 1973). Son de origen fluvio-lacustres, constituidos por arenas limosas que van gradando a arcillas en las capas superiores. Se comporta como acuífero o acuitardo cuya salinidad varía de acuerdo a su granulometría.

SUELOS

De acuerdo a la Carta de Suelos elaborada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 1987), se reconocen en la región las series Udaondo, Monte, Goyeneche, Abbot y Saladillo, que corresponden fundamentalmente a Hapludoles thapto árgicos y nátricos. En áreas subordinadas existen también Argiudoles ácuicos y Natralboles típicos. En general son suelos de colores pardo oscuro a grisáceos con horizontes A de estructura franco-limosa y horizontes B con contenidos variables de concreciones de óxidos de hierro y manganeso y calcáreas.

Los porcentajes de limo varían entre 15% y 55%, y los de arcillas entre 18% y 29%. Para el horizonte A el contenido de materia orgánica varía entre 3 y 5% y los valores de pH medidos en la pasta oscilan desde 6 en superficie hasta 8.7 para los horizontes más profundos.

En las zonas deprimidas se observan suelos con síntomas de alcalinización y halomorfismo, debido al elevado contenido de sodio (Dangavs, 1973). La saturación de los niveles inferiores con sodio, debido al lavado de las sales solubles de los niveles superiores, provoca la dispersión de los coloides minerales y orgánicos presentes, con la consecuente migración de los mismos. El resultado final es la formación de horizontes impermeables (solonetz), de estructuras columnares y compactas, no aptas para los cultivos en general (Peinemann - 1997).

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se realizó un relevamiento de las aguas superficiales y de pozos conectados al nivel freático, utilizados para la provisión de agua en el ámbito rural y urbano. Se tomaron muestras entre el 15 de febrero y el 30 de marzo de 1998, determinándose en el lugar el contenido de oxígeno disuelto, el pH y la conductividad específica. Las muestras, refrigeradas a 4 °C, fueron analizadas en el laboratorio. Se tomaron dos series de muestra: una serie sin agregados de conservantes, para determinar carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, sodio y potasio y una segunda serie, con el agregado de 50 mgr de cloruro mercúrico para determinar nitratos, nitritos y amonio.

Las mediciones de campo fueron realizadas con pechímetro Hanna HI 9025, conductímetro Hanna HI 9033 y medidor de oxígeno disuelto Hanna HI 9142, los que fueron calibrados en el día de la toma de muestra con soluciones patrón. En el mapa de la fig 1 se puede apreciar la ubicación de los puntos de muestreo.

Las determinaciones de cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos se realizaron por volumetría, mientras que sodio, potasio, calcio y magnesio se analizaron por absorción atómica. Se realizaron colorimetrías para nitrato, nitrito y amonio usando como reactivos para cada uno de ellos brucina, alfa-naftil-amina y reactivo de Nessler respectivamente.

Las determinaciones de hierro, sílice y manganeso se realizaron también por espectrofotometría con molibdato de amonio, ortofenantrolina y periodato de potasio respectivamente. El contenido de arsénico se determinó por excitación por plasma (ICP). Con los datos obtenidos se confeccionaron las tablas 1 y 2 correspondientes a aguas subterráneas y superficiales respectivamente.

Para algunos puntos de muestreo, se compararon los datos obtenidos en esta oportunidad con datos pertenecientes a un relevamiento preliminar realizado en noviembre de 1997. (tabla 3). De dichos puntos además se dispone de datos de análisis de trazas realizados por ICP-MS en el Instituto de Ciencias de la Tierra Jaime Almerá de Barcelona, España (tabla 4).

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Con los valores de las tablas 1 y 2 se construyeron los diagramas de Piper, (ROCKWORKS), donde se representan los valores de aniones y cationes expresados en milieq./litro para aguas subterráneas y superficiales respectivamente (figs. 2 y 3).

La caracterización obtenida por el gráfico de Piper para aguas subterráneas indica un amplio predominio de las aguas bicarbonatadas sódicas, con tenores salinos de 1100 a 1900 ppm de sólidos disueltos. Salvo una muestra, todas son fuertemente alcalinas (el contenido de sodio más potasio supera el 75% del total del contenido catiónico).

Para las aguas superficiales, en cambio, el contenido de cloruros aumenta, a pesar de lo cual se mantiene la clasificación de bicarbonatadas sódicas fuertemente alcalinas. En este caso, la salinidad varía entre 450 y 1850 ppm. La mayor variación observada en el rango de salinidades y composición debe ser atribuida al hecho de que las aguas superficiales están en contacto directo con el ciclo hidrológico externo, recibiendo el aporte de las lluvias y escurremientos y sometidas a evaporación atmosférica, mientras que las subterráneas sufren el efecto moderador de la capa edáfica, que retarda estos efectos.

Los datos disponibles de elementos trazas indican contenidos apreciables de hierro, manganeso, arsénico y sílice, que se corresponden perfectamente con la litología del subsuelo, y representarían el aporte debido a la disolución del vidrio volcánico y concreciones de óxidos. Las aguas superficiales tienen mayores contenidos de hierro y manganeso que las subterráneas. Ambos elementos forman complejos muy estables con los ácidos húmicos presentes en el suelo, y de esta manera, permanecen en solución y son transportados por las aguas superficiales o retenidos en la capa edáfica. En el subsuelo, los ascensos y descensos sucesivos de la capa freática provocan la reprecipitación de los óxidos, generando las concreciones citadas en la descripción de los suelos.

El contenido de sílice en las aguas subterráneas es mayor que en las superficiales, y además los tenores son muy similares para todas las muestras. La sílice es aportada por la meteorización de los sedimentos, y las características del loess pampeano en cuanto a granulometría y composición mineralógica lo hacen vulnerable a este proceso. El fenómeno se ve incrementado cuando el tiempo de contacto entre las aguas meteorizantes y los sedimentos es mayor y cuando el pH es más alcalino, lo que explicaría las diferencias observadas.

Un comportamiento similar se observa para el arsénico, pero aunque los tenores de las aguas subterráneas superan a los de las superficiales, los datos tienen una dispersión mayor que los de sílice. La disolución del arsénico también

se favorece en medios alcalinos, pero el contenido en rocas y sedimentos es a nivel de trazas, y sumamente variable, de acuerdo al origen de los mismos. Los tenores de sílice, por ser un componente mayoritario en todo tipo de rocas presentan mucha menor variación. Por lo tanto, es de esperar que la anisotropía típica de los depósitos sedimentarios pampeanos y postpampeanos determine la variabilidad espacial de los contenidos de arsénico.

En cuanto al contenido de nitratos, se observa una dispersión aleatoria de los datos para las aguas subterráneas con tenores superiores a los de las superficiales. Esto indica plumas de contaminación puntuales debida a la presencia de pozos ciegos o lugares de concentración de animales, tales como comederos o bebederos en las proximidades de las tomas de agua. Sin embargo es de hacer notar que un 30% de las muestras de aguas subterráneas dieron valores de nitratos por encima de 50 pm.

Por otro lado, para evaluar la posibilidad del uso de las aguas tanto superficiales como subterráneas para riego de los cultivos sin producir excesiva salinización de los suelos, se utilizaron las normas del U.S. Salinity Laboratory Staff of Riverside (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954). Para esto se calculó para cada muestra el RAS o índice de adsorción de sodio, definido como:

$$\text{RAS} = \frac{\text{meq/l Na}}{\{(\text{meq/l Ca} + \text{meq/l Mg}) / 2\}^{1/2}}$$

Con los valores de las tablas 1 y 2 se calcularon los sólidos totales disueltos (TDS), y se confeccionó la tabla 5.

Se representaron los tenores salinos totales versus el RAS (QGRAF) como se ve en el gráfico de la figura 2, donde se delimitan distintos dominios según los valores de las variables. De acuerdo a las normas Riverside tanto las aguas superficiales como las profundas son ligeramente salinas, ya que los TDS no superan los 3000 ppm. Se observa que, salvo una, las demás muestras tienen valores de salinidad que caen en el rango de medio a muy elevado peligro de salinización del suelo, (C3 y C4 de la clasificación de Riverside) y solamente pueden ser empleadas en terrenos con muy buen drenaje y cultivos tolerantes a las sales.

Los valores del RAS, en cambio, muestran una mayor dispersión, a pesar de lo cual un 90% de los mismos caen en el ámbito de peligro medio a muy elevado de alcalinización del suelo, (S2 a S4 de la clasificación de Riverside).

Por último, si se comparan los valores de los datos obtenidos en el muestreo preliminar de noviembre con los de marzo (tablas 1, 2, y 3 y fig. 2 y 3), se observa que efectivamente hay una disminución general del contenido sali-

no, por el efecto de dilución producido por las lluvias de la época estival. Este efecto, como era de esperar, es mucho más notorio en las muestras de aguas superficiales que en las subterráneas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las variaciones del contenido salino indican que para las aguas subterráneas la salinidad se incrementa de Norte a Sur y de Oeste a Este. Esto concuerda con lo sostenido por la bibliografía existente (*Sala, 1975; Dangavs, 1973*) y con las condiciones geomorfológicas generales de la región.

A pesar de que el contenido salino de las muestras no supera en ningún caso los 3000 ppm, los datos precedentes indican que en la zona son ciertos los peligros de alcalinización de los suelos por el uso del agua subterránea para riego. La existencia de suelos alcalinos en las áreas de drenaje deficiente confirma estos resultados.

El riego con aguas salinas debe ser cuidadosamente planificado en cuanto a cantidad, épocas e intervalos de lavado de los suelos. Los métodos de riego por aspersión son peligrosos en cultivos que sufran daños foliares por el contacto directo con aguas de alta salinidad, siendo más recomendable el riego por goteo. También son aconsejables las enmiendas con yeso y calcáreos que ayudan a mejorar las condiciones de los suelos.

La explotación de los acuíferos en la zona deberá tener en cuenta la posibilidad de salinización de los pozos por infiltración de los excesos del riego, con la consiguiente acumulación de sales en los niveles más cercanos a la superficie (*Custodio, 1983*). Asimismo, la sobreexplotación de los pozos puede producir una modificación en los potenciales hidráulicos que permita el ingreso de aguas más profundas en la captación, aguas que en general son de tenores más salinos. De manera que en caso de que las actividades agrícolas de la zona se intensifiquen y requieran de una mayor provisión de agua subterránea, deberán realizarse cuidadosos estudios hidrogeológicos para evaluar las condiciones de explotación del recurso en cuanto a caudales de extracción, profundidad de las perforaciones y drenaje de los excesos del riego.

Por otro lado, dada la presencia de altos contenidos de nitratos en áreas rurales donde no se emplean fertilizantes en forma habitual, indica que la contaminación es

fundamentalmente domiciliaria, y debida sobre todo a la ausencia de encamisado de los pozos. El problema es bastante grave en la zona por la poca profundidad de las perforaciones de extracción, que los hace altamente vulnerables a la entrada de contaminantes.

En las zonas urbanas, por otra parte, si se tiene en cuenta que el 70% de la población no cuenta con redes cloacales, la contaminación de los acuíferos se debe a las descargas de las aguas servidas de los pozos ciegos. El servicio de agua corriente es abastecido a través de la explotación de pozos ubicados en áreas rurales alejadas del centro urbano. Esto puede acarrear que se produzca un ascenso de los niveles freáticos, sobre todo en épocas de lluvias intensas, con el consiguiente ascenso de las plumas de contaminación, un problema que ya ha sido estudiado en otros sectores de la Provincia de Buenos Aires (*Auge et al. 1989*).

Los tenores de oligoelementos, por otra parte, indican para hierro, manganeso y arsénico valores que superan en algunos casos los aceptables para el agua de bebida (ver tabla de la fig 5). En particular se conocen bien las sintomatologías derivadas del consumo de aguas con contenidos elevados de arsénico, (úlceras en la cavidad bucal, hiperqueratosis palmo-plantal, etc.).

Recientes estudios realizados en áreas aledañas del partido de Chascomús, al SE de la zona elegida para el presente trabajo, también en la cuenca inferior del río Salado, (*Miretzky et al.*, en prensa para su publicación), indican un comportamiento similar para los contenidos de arsénico y sílice. La caracterización de las aguas, en cambio, revela una mayor dispersión en los contenidos y relaciones iónicas, con un aumento en la proporción de los cloruros a expensas de una disminución de los bicarbonatos, debida a la mayor circulación regional de las aguas, con la consiguiente evolución de bicarbonatadas a cloruradas.

La presencia de arsénico es frecuente en el ámbito de la llanura pampeana, (*Trelles et al., 1970, Nicolli et al., 1985*) y ante la imposibilidad de contar con aguas de tenores más reducidos se debe llegar a una situación de compromiso entre los valores aceptados por las normas internacionales y las disponibilidades de la región.

Por último, queremos destacar que el presente trabajo se continuará con sucesivos muestreos a realizar en distintas épocas del año. De esta manera se podrán establecer con mayor detalle tanto las influencias del fenómeno de El Niño como las áreas críticas de la zona en cuanto

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

AUGE, M.P. & MUGNI, J.R., 1989.

Estudio Hidrogeológico para el drenaje de Marcos Paz, Provincia de Buenos Aires, Argentina
Actas de la Segunda Conferencia Latinoamericana de Hidrogeología Urbana
Buenos Aires, Argentina. Pags. 34-56.

- CUSTODIO,E & LLLAMAS M.R., 1983.
Hidrología Subterránea. Edic Omega, 2350 pp. Barcelona, España.
- DANGAVS, N.V., 1973.
Estudios Geológicos en la Laguna de San Miguel del Monte
Revista del Museo de la Plata- TomoVIII.Pags 281-311.
- FERNÁNDEZ TURIEL J.L., GALINDO G.,FERNÁNDEZ CIRELLI A., ANTICH N., HERRERO A., Y LLORENS J.F., 1998.
Development of control and decision systems applied to the management of complex hydrological resources.
European Geophysical Society.XXIII General Asembly. Nice.France.
- INTA, 1987.
Carta de Suelos de la República Argentina - Hoja 3560 -30. Pags. 1-19..
- MIRETZKY P, HERRERO A., GALINDO G., FERNÁNDEZ CIRELLI A., 1998.
Caracterización de los Recursos Hídricos en la zona del Sistema de las Lagunas Encadenadas de Chascomús, Provincia de Buenos Aires.
Estudios preliminares.Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería. Volumen XII. pág. 69.
- NICOLLI ET AL.,1985.
Geoquímica del arsénico y de otros oligoelementos en aguas subterráneas de la llanura suroriental de la Provincia de Córdoba.
Miscelánea N° 71 de la Academia Nacional de Ciencias de la Provincia de Córdoba.
- PEINEMANN N., 1997.
Formación, clasificación, manejo y recuperación de suelos salinos y sódicos
Ediciones Sur;120 pp.La Plata, República argentina.
- QGRAF SOFTWARE
Representación del Quimismo de aguas Subterráneas.
- ROCKWORKS - ROCKSTAT-PIPER DIAGRAM.ROCKWARE SCIENTIFIC SOFTWARE
- SALA,J.M., 1975.
Recursos Hídricos (Especial mención de las aguas subterráneas).
Relatorio Geología de la Provincia de Buenos Aires.
VI Congreso Geológico Argentino. Pags 169-193.Buenos Aires.
- TRELLES, R., LARGHI, A. & PÁEZ J.P., 1970.
El problema sanitario de las aguas destinadas a la bebida humana, con contenidos elevados de arsénico, vanadio y flúor.
Revista del Instituto de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires. Publicación N° 4.
- U.S.SALINITY LABORATORY STAFF, 1954.
Diagnosis and improvement of saline and alkaly soils.
U.S. Depart. of Agriculture Handbook N° 60.

Figura 1. MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA de las muestras y de la zona en estudio.

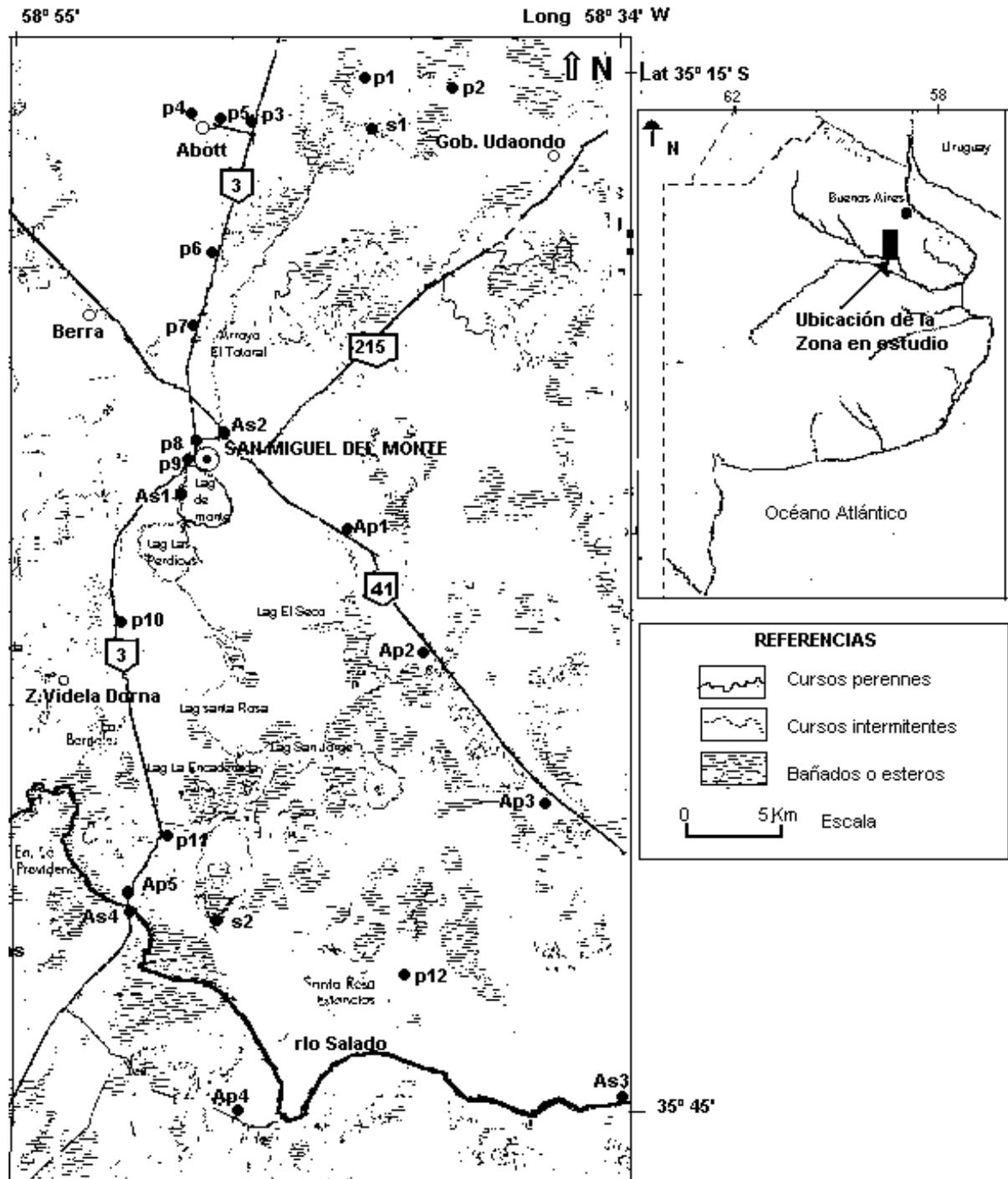


Tabla 1. AGUAS SUBTERRÁNEAS

Resultados del muestreo realizado en marzo de 1998.

MUESTRA	SODIO ppm	POTASIO ppm	CALCIO ppm	MAGNESIO ppm	AMONIO ppm	HIERRO ppm	MANGANESO ppm	CLORUROS ppm	SULFATOS ppm
AP 1	454	12	11	10	<0,05	0.10	0.10	186	230
AP 2	519	13	14	42	<0,05	0.15	0.10	502	173
AP 3	325	8	10	17	<0,05	—	—	37	58
AP 4	202	39	79	54	<0,05	—	—	78	58
AP 5	395	20	19	23	<0,05	0.12	0.10	74	134
p1	422	30	39	28	<0,05	0.13	0.10	190	125
p2	298	38	44	31	<0,05	—	—	70	154
p3	283	24	26	18	<0,05	0.10	0.15	56	134
p4	387	18	17	19	<0,05	0.12	0.10	104	154
p5	303	32	41	28	<0,05	0.15	0.20	84	115
p6	387	18	8	20	<0,05	0.12	—	74	154
p7	262	25	41	31	<0,05	—	—	65	115
p8	303	18	15	15	<0,05	—	0.10	42	96
p9	417	40	60	53	<0,05	0.15	0.15	353	156
p10	312	20	17	16	<0,05	0.12	0.20	84	115
p11	479	24	21	24	<0,05	0.10	0.10	195	269
p12	312	35	43	32	<0,05	0.15	0.10	130	150

MUESTRA	CARBON. ppm	BICARB. ppm	NITRAT. ppm	NITRIT. ppm	SILICE ppm	ARS ppb	pH	CONDUCT. ms/cm	OXIGENO ppm
AP 1	13	724	32	<0,005	58	82	7,68	2,16	5,2
AP 2	26	542	3	<0,005	58	68	7,76	3,01	5,8
AP 3	53	689	28	<0,005	56	82	7,75	1,60	6,1
AP4	13	769	187	<0,005	60	<5	7,22	1,69	6,6
AP 5	51	913	38	0,15	60	<5	7,56	2,09	6,1
p1	-	718	339	<0,005	52	20	7,79	2,70	5,9
p2	-	718	18	0,2	52	<5	7,45	1,84	8,5
p3	-	635	12	<0,005	56	<5	7,56	1,26	9,1
p4	-	691	55	<0,005	52	89	7,46	1,60	9,0
p5	-	774	64	<0,005	58	14	7,20	1,65	9,2
p6	-	829	<5	<0,005	56	20	7,35	1,66	9,2
p7	-	635	67	<0,005	58	49	7,40	1,55	8,8
p8	-	718	6	<0,005	60	73	7,40	1,34	9,3
p9	-	608	31	<0,005	60	24	7,52	2,40	9,8
p10	-	691	6	<0,005	62	<5	7,39	1,47	9,4
p11	-	857	<5	<0,005	59	94	7,52	2,10	9,4
p12	-	746	55	<0,005	59	36	7,02	1,70	10

Tabla 2. AGUAS SUPERFICIALES

Resultados del muestreo realizado en marzo de 1998.

MUESTRA	SODIO ppm	POTASIO ppm	CALCIO ppm	MAGNESIO ppm	AMONIO ppm	HIERRO ppm	MANGANESO ppm	CLORUROS ppm	SULFATOS ppm
AS 1	405	13	7	12	0,05	0.18	—	297	269
AS 2	354	21	37	28	0,10	0.15	0.10	233	269
AS 3	510	30	26	22	0,10	0.40	0.30	428	312
AS4	505	30	22	23	0,05	0.60	0.30	428	307
s1	104	18	9	5	0,10	0.15	0.10	46	58
s2	461	25	40	36	0,05	0.10	0.20	230	445

MUESTRA	CARBON. ppm	BICARBON. ppm	NITRATOS ppm	NITRITOS ppm	SILICE ppm	ARSENICO ppb	PH	CONDUCT. ms/cm	OXIGENO ppm
AS 1	42	250	4	<0,005	8	36	9,40	1,82	7,5
AS 2	-	561	4	<0,005	30	20	7,58	1,97	3,1
AS 3	13	482	5	<0,005	29	25	8,22	2,20	6,1
AS4	13	510	4	<0,005	26	30	8,25	2,82	6,2
s1	-	193	6	0,02	34	<5	7,46	0,44	9,0
s2	-	442	<5	<0,005	36	23	8,15	2,50	9,4

Las muestras AS1 y AS2 fueron tomadas en la laguna de Monte y en la desembocadura del arroyo Totoral respectivamente, mientras que las AS3 y AS4 pertenecen ambas a dos sectores del río Salado (ver mapa figura 1). Es cuanto a la muestra s1, fue tomada en las nacientes del arroyo Totoral y la s2 en un arroyo de régimen intermitente que lleva al río Salado las aguas del sistema lagunar de Las Encadenadas, situado al SO de la laguna de San Miguel del Monte.

Tabla 3. DATOS DEL MUESTREO PRELIMINAR DE NOVIEMBRE

MUESTRA	SODIO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO	AMONIO	CLORURO	SULFATO
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
p12	555	42	94	62	0,05	557	384
AP 5	472	33	26	12	<0,05	84	154
AS 2	1088	48	110	120	0,10	1253	845
s2	5285	163	520	840	0,10	8588	3792
AS 4	1087	42	97	110	0,20	1133	883
AS 1	542	25	21	26	0,10	371	268
AS 2	642	30	30	37	0,50	390	499

MUESTRA	CARBONATO	BICARBONATO	NITRATO	NITRITO	PH	CONDUCTIV.	OXIGENO
	ppm	ppm	ppm	ppm		ms/cm	ppm
p12	—	859	185	0,01	7,07	3,4	5,7
AP 5	—	1127	54	0,10	7,63	2,1	3,9
AS 3	53	671	6	0,005	8,45	5,9	7,2
s2	53	429	7	0,005	7,9	29,7	16,5
AS 4	53	644	4	<0,005	8,36	6,7	8,0
AS 1	185	309	1	<0,005	9,25	2,3	12,5
AS 2	40	671	10		8,05	2,7	3,6

Tabla 4. DATOS PUBLICADOS DE ELEMENTOS TRAZAS (F. Turiel et al. 1998)

MUESTRA	HIERRO	MANGANESO	ARSENICO	SILICE	CROMO	PLOMO
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppb
p12	0.171	0.009	0.116	36	57.00	0.25
AP 5	0.171	0.133	0.208	18	14.65	0.19
AS 3	2.037	0.382	0.081	10	2.43	1.88
s2	0.178	3.078	0.049	12	1.23	0.83
AS 4	0.771	0.271	0.085	7	1.69	1.48
AS 1	0.254	0.101	0.063	3	0.28	1.32
AS 2	0.112	0.078	0.093	2	0.20	0.64
MAC (x)	0.3	0.05	0.05	10	50	50

(x) MAC: Concentración Máxima Aceptable para el agua de bebida según normas de la Organización Mundial de la Salud y la EPA (Environmental Protection Agency).

Figura 2. DIAGRAMA DE PIPER PARA AGUAS SUBTERRANEAS.

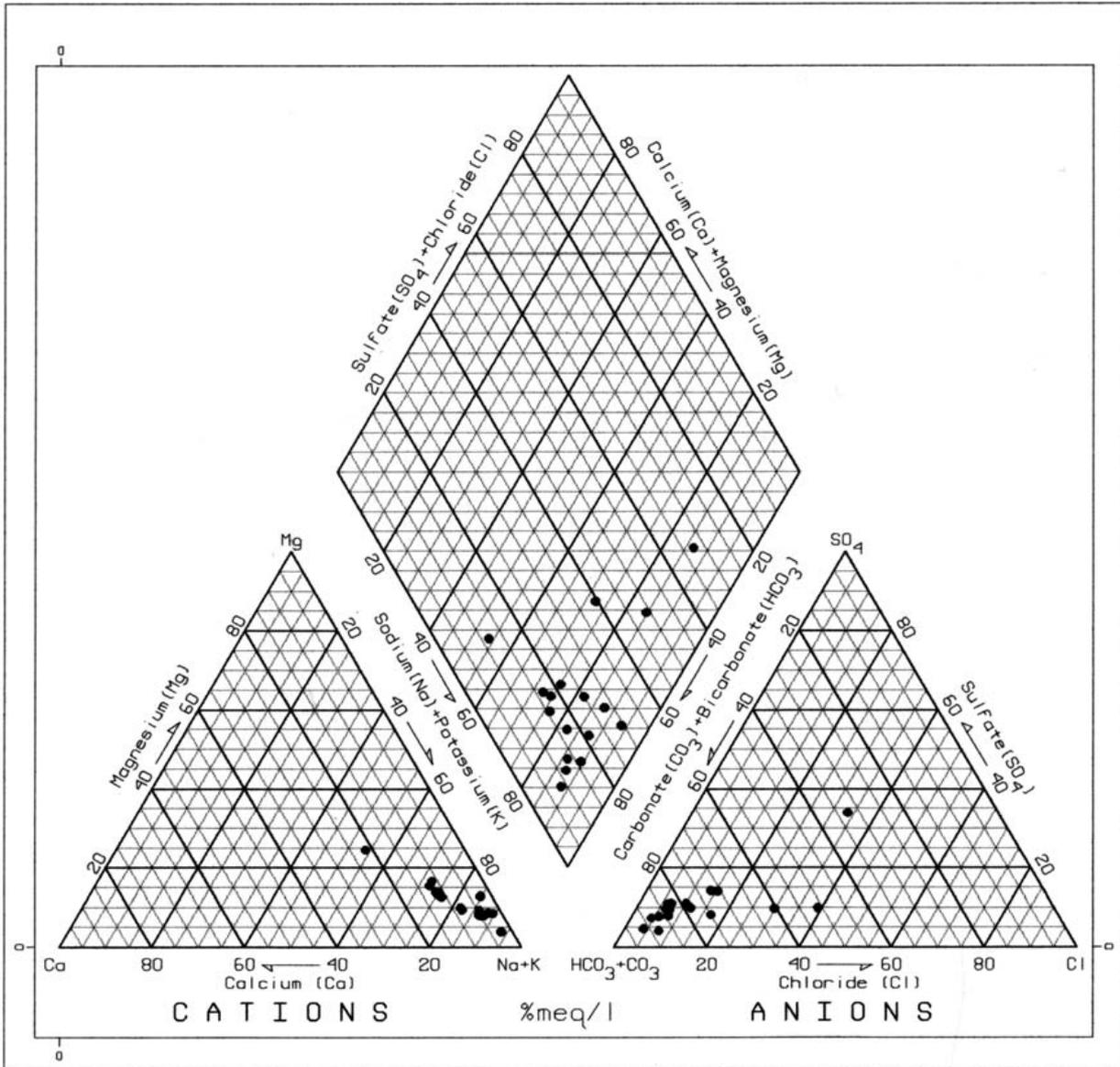


Figura 3. DIAGRAMA DE PIPER PARA AGUAS SUPERFICIALES.

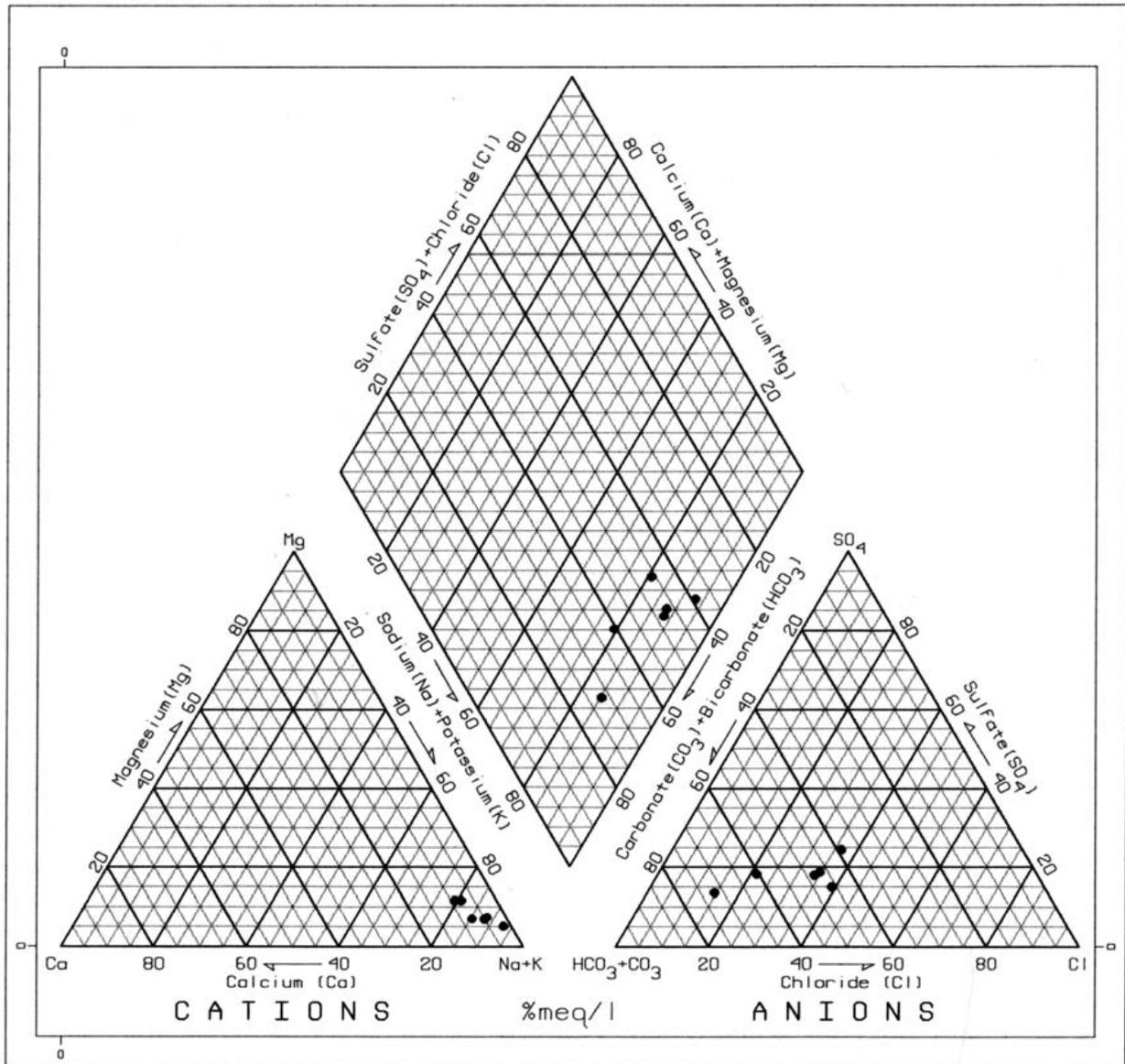


Figura 4. NORMAS RIVERSIDE PARA AGUAS DE RIEGO.

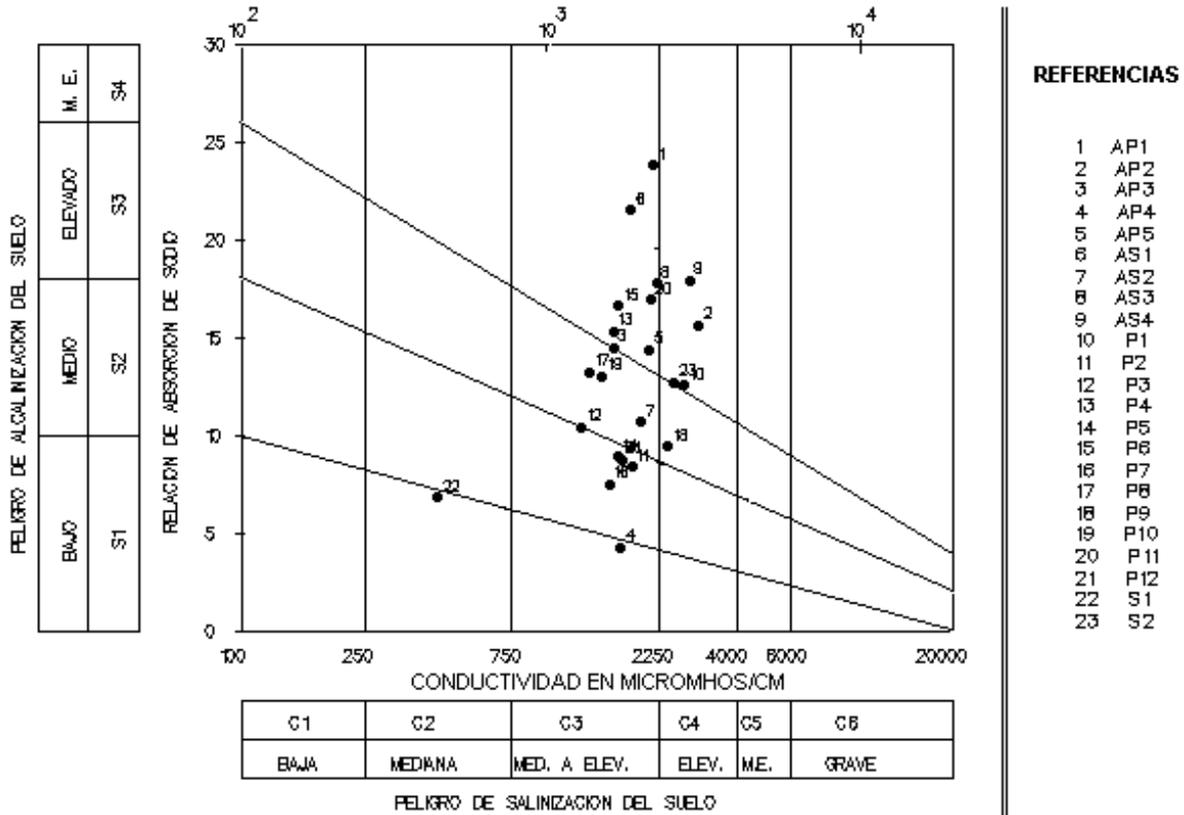


TABLA 5- DATOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA SEGÚN LAS NORMAS RIVERSIDE

Muestra	Conductividad micromhos/cm	TDS ppm	R.A.S.	Clasificación
AP 1	2160	1637	23.85	C3S4
AP 2	3010	1818	15.67	C4S4
AP 3	1600	1173	14.51	C3S3
AP 4	1690	1304	4.29	C3S1
AP 5	2090	1607	14.42	C3S4
AS 1	1820	1274	21.55	C3S4
AS 2	1970	1503	10.69	C3S2
AS 3	2200	1817	17.80	C3S4
AS 4	2820	1832	17.97	C4S4
p1	2700	1586	12.59	C4S4
p2	1840	1355	8.42	C3S2
p3	1260	1177	10.45	C3S2
p4	1600	1396	15.33	C3S3
p5	1650	1383	8.94	C3S2
p6	1660	1490	16.65	C3S4
p7	1550	1181	7.52	C3S2
p8	1340	1208	13.24	C3S3
p9	2400	1690	9.46	C4S3
p10	1470	1256	13.05	C3S3
p11	2100	1869	16.95	C3S4
p12	1700	1454	8.78	C3S2
s1	440	434	6.90	C2S1
s2	2500	1679	12.74	C4S3



Características hidrodinámicas e hidroquímicas del acuífero freático, en la cuenca inferior del arroyo Cristiano Muerto,

Localidad de Orense. Pdo. de Tres Arroyos.
Pcia. de Buenos Aires.

Fresina M. E., Guarino M.M.

■ Departamento de Ciencias Geológicas. F.C.E. Y N. - U.B.A.

Fecha de Aceptación: Agosto de 1998

Resumen

En el presente trabajo se han investigado las características físico-químicas del acuífero subterráneo de la cuenca del Arroyo Cristiano Muerto. Localidad de Orense. Pcia de Buenos Aires.

El acuífero superior o libre, dentro de la Formación Pampeana, posee un espesor de 28 m. Su calidad química es apta para todo uso, a pesar de tener valores elevado de sulfatos y cloruros. L subyace un acuífero semiconfinado, alojado en un sedimento arenolimoso que posee un espesor de unos 100 m, es de alta salinidad, siendo su empleo limitado para el ganado y no recomendable para el riego.

I) UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

La región estudiada abarca un área de 7060 Has, se extiende entre los 38° 38' y 38° 47' de Latitud Sur y los 59° 38' y 59° 45' de Longitud W aproximadamente.

Se encuentra a 15 Km al NE del balneario de Orense, en el partido de Tres Arroyos, sobre la margen derecha, de la Cuenca Baja del A° Cristiano Muerto y a 8 Km de su desembocadura en el Mar Argentino.

El cauce posee una dirección general O.N.O. a E.S.E., con algunas lagunas y bañados en su recorrido final, (Figura 1).

II) CLIMA

El clima de la región, es templado, con una marcada influencia oceánica, que se hace sentir también tierra adentro, hasta las ciudades de Tres Arroyos y San Cayetano.

El ambiente climático está influenciado por la corriente fría de las Malvinas que incide sobre la costa a la latitud del Cabo Corrientes.

Las temperaturas medias no ofrecen con respecto a las de las zonas ribereñas del Plata un contraste muy notable, pero el invierno es más duradero y el verano mas frio. La media anual es de 13.9° C, la media de ene-

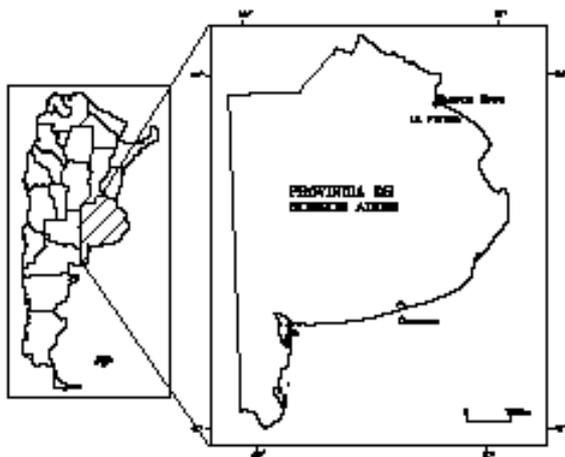
ro 19, 7° C y la media de julio de 8, 4° C, lo que da una amplitud anual de 11.3° C.

La marcha dinámica de la temperatura revela la influencia del mar, con una mínima en enero a las 5 horas y una máxima a las 12 horas, ya que la brisa que sopla desde el mar impide, después de esa hora, el aumento de la temperatura. En el mes de julio también la amplitud dinámica no asciende a más de 7° C, entre las 7 y las 14 horas.

La humedad relativa tiene un promedio anual de 76 %. Los vientos más frecuentes son los del nordeste y sudoeste, aunque muy a menudo soplan del norte y noroeste y las heladas en la zona se presentan de abril a noviembre.

Las precipitaciones se producen en forma de lluvia, granizo ó nieve, aunque esta última solo excepcionalmente. Las lluvias se distribuyen uniformemente a lo largo del año, alcanza en Tres Arroyos a 760 mm. Se nota una disminución de nordeste a sudoeste, con un predominio de las lluvias de otoño. La evapotranspiración potencial es de 750 mm anuales.

FIG. 1 MAPA DE UBICACIÓN



III) HIDROGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA

La cuenca del A° Cristiano Muerto, cuya cabecera totalmente demarcada se encuentra en la región comprendida entre los sistemas de Tandilia y Ventania, se extiende en forma longitudinal a dicho sistema orográfico para prolongarse en la adyacente llanura pedemontana hasta la costa Atlántica.

El sistema hidrográfico de este arroyo, presenta un diseño de avenamiento dendrítico a subparalelo, con pendiente regional hacia el S.S.E.

Las geoformas que caracterizan a este valle, están directamente relacionadas con los factores litológicos predo-

minantes en el área.

El arroyo en su parte superior, presenta un conjunto de cárcavas que dan lugar a la formación de cursos permanentes, que se van integrando dendríticamente, para permitir la constitución de una unidad geomorfológica notablemente mas amplia y con rasgos mas moderados.

Desde aquí en adelante, el curso comienza a labrar su valle en forma gradual en los sedimentos modernos de la llanura. Se puede observar aquí la presencia de terrazas muy suavemente recortadas, que bajan hacia las planicies aluviales del arroyo.

A medida que disminuye la pendiente en la parte media e inferior, se deja notar claramente su tendencia a la formación de meandros con sus típicas divagaciones.

La llanura llega a la costa del mar donde termina en una ancha faja de dunas costeras de unos 10 a 15 metros de altura.

La cota mas alta es de 30 m s.n.m., corresponde a la estación Cristiano Muerto, ubicada en el sector N de la zona de estudio y la mas baja de 20 m s.n.m. en el sector S, a orillas del Arroyo mencionado, con una pendiente, de norte a sur del orden del 0.1 %, (Figura 2).

IV) GEOLOGIA

La región se encuentra ubicada dentro del ámbito de la Llanura Interserrana Bonaerense, limitada por las sierras del Sistema de Tandilia, al norte y noroeste, y las de Ventania al oeste-sudoeste. Geológicamente, el área de estudio se caracteriza por la presencia de una potente columna de sedimentos terciarios y cuaternarios que apoyan directamente sobre el basamento Precámbrico-Paleozoico Inferior, (Rossi, L, 1994).

Solamente se describen las Unidades Estratigráficas del Cuaternario, por su importancia como formaciones conductoras o portadoras de agua subterránea.

El Plio-Pleistoceno, está representado por sedimentos de origen eólico, "loess pampeano" y fluviales y se destaca como el elemento hidrogeológico mas importante de la región. De acuerdo a la prospección geoelectrica (Rossi, op. cit.), la cubierta sedimentaria cenozoica y en particular los sedimentos pampeanos, en la zona se desarrollarían por encima de los 130 m de profundidad.

En general consiste en arenas limosas y limos arenosos donde, si bien predomina la fracción fina, el contenido de arcilla es escaso (Teruggi et. al., 1957). La presencia de material calcáreo, es variable a lo largo del perfil, con presencia de muñecos, venillas y reticulados carbonáticos.

El Holoceno está representado por el material actual. Son arenas y gravas de diversos tamaños ubicados a lo largo del lecho de los cursos de agua (terrazas aluviales).

V) CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA

El esquema hidrogeológico se definió en base a la revisión y análisis de la información disponible referida a la zona, al reconocimiento de campo, al inventario regional de puntos de agua y a la prospección geoeléctrica.

El agua meteórica receptada en la cuenca no se infiltra uniformemente en toda la superficie, la morfología del relieve, las características estructurales y litológicas de los afloramientos como así también la cubierta vegetal y contenido de humedad del suelo controlan el volumen de infiltración y escurrimiento de agua.

El agua de lluvia se integra en un denso avenamiento de diseño dendrítico a rectangular, rasgo impreso por características estructurales dominantes que se presentan en las cabeceras de las subcuencas imbríferas. Los colectores de cada una son de régimen torrencial, de corta o mediana longitud y con gran poder erosivo, los mismos arrastran una importante cantidad de material hacia las partes bajas de las quebradas, formando un relleno aluvial de alta permeabilidad, que durante las precipitaciones abundantes, se satura de agua funcionando como una vía de conducción del agua hacia el valle. La circulación se mantiene aún después de las lluvias, debido posiblemente al flujo proveniente de formaciones inferiores y al escurrimiento subterráneo remanente. Así, cada quebrada se desempeña como un conducto de alimentación del complejo acuífero del valle.

En el cauce del arroyo Cristiano Muerto es posible observar, en distintos tramos, variaciones notables de caudal, lo que indica una importante circulación subálvea.

En los lugares ocupados por la planicie de inundación del arroyo se han desarrollado extensas áreas de cultivo (trigo, girasol, papas y forrajes). Aquí la infiltración está restringida por la cubierta vegetal que aumenta notablemente la evapotranspiración. También, el grano fino de los sedimentos que constituye el suelo, retardan el movimiento vertical del agua la que no alcanza a llegar a la zona de saturación o por lo menos lo hace después de un tiempo relativamente largo posterior a la precipitación.

En la zona de estudio se ha reconocido, además de la capa libre, la existencia de un acuífero confinado.

Acuífero semiconfinado

El techo se encuentra aproximadamente a los 40 m de profundidad, desconociéndose la ubicación exacta del piso en el lugar, aunque la información recopilada, indica que llega a los 130 m (*Rossi, op. cit.*). Correspondería a materiales del Terciario Superior, si bien no se han reconocido formaciones, el material acuífero se compone de conglomerados basales con arenas y arcillas intercaladas.

Esta cubierto por una capa acuitarda (semipermeable) de 5 a 10 m de espesor, correspondiendo a niveles limoarcillosos del Terciario.

Acuífero libre

La unidad superior, acuífero freático, es de gran importancia y constituye la principal fuente de abastecimiento. La profundidad en la que ha sido alumbrado varía entre los 2 y 40 m b.b.p, sobre la terraza baja de la cuenca inferior del arroyo.

El espesor varía entre 18 y 38 m y el nivel estático se ubica entre 2.4 y 3.8 m. En el material que constituye el acuífero se pudo distinguir varias capas de: arena mediana color castaño rojiza, arena fina algo arcillosa color castaño rojiza con nódulos calcáreos. Cada una de las capas se conectan entre sí, formando un acuífero multiunitario de mediana a buena permeabilidad (4 m/d, *Luque, J.A. et al, 1979*).

La prospección geoeléctrica (*Ponti, N., 1997*), realizada para este estudio, indica la presencia de un acuífero libre, ubicado por encima de los 40 m de profundidad.

La prospección geoeléctrica, en base a los 14 Sev realizados en el predio (*Ponti op cit*), indica que las áreas con mejores espesores serían las ubicadas cerca del arroyo y en el sector norte, ambas con un espesor de 40 m.

Se considera como valor de resistividad de interés la curva de 12 ohm. como límite inferior. En base a la misma se determina que los lotes ubicados en la región central-oeste, son los mas resistivos, con resistividades de hasta 20 ohm.m. El resto de la región, presenta resistividades entre 12 y 9 ohm.m, (*Ponti op. cit*).

VII) HIDRODINAMICA

Se pudo establecer el esquema hidrodinámico general en base al inventario de puntos de agua hallados en la zona, 16 molinos, 5 bombas de mano y 1 motor eléctrico. A partir de esta información (Ver Tabla 2), se confeccionó el mapa de potencial hidráulico de la capa freática, (Figura 3).

Su estudio permite definir los grandes rasgos de la circulación de las aguas subterráneas en la llanura aluvial de la cuenca. La superficie freática es algo irregular como consecuencia de la combinación de los mantos desarrollados en la zona de pie de monte y los relacionados con los cursos de agua superficial.

La profundidad de la misma en relación al nivel del suelo varía entre 20.0 y 26.6 m, es mayor en las partes altas del relieve y decrece hacia las partes bajas del valle del A° Cristiano Muerto y de los cursos secundarios que en él desembocan.

El eje local del flujo subterráneo es de dirección SSE - NNW, y su gradiente hidráulico del orden del 1.3 ‰, coincide con la pendiente topográfica regional de la llanura. En el sector oriental, las curvas piezométricas tienden a disponerse paralelamente al relieve serrano, lo que pone de manifiesto una alimentación lateral desde este sector. En el sector occidental, el drenaje está compensado por la descarga en el arroyo principal, determinado por el diseño que presentan dichas curvas con su concavidad hacia la parte alta del terreno, lo que revela una estructura que caracteriza a los mantos interfluviales.

Tanto la geología como la geomorfología controlan el comportamiento hidrodinámico del sistema. El escurrimiento superficial preferencial es hacia la costa, con una componente importante norte-sur.

Recarga

La recarga del complejo acuífero del relleno aluvial proviene principalmente de:

- a) Desde la cuenca superior, que corre por un cauce pavimentado por depósitos de alta permeabilidad. Durante las estaciones de otoño y primavera, se produce la principal recarga del acuífero libre, ubicado en la base de la Formación Pampeana, el que se halla intercomunicado con la base del arroyo. Este hecho pudo comprobarse en un pozo de observación que atraviesa la formación mencionada, ubicado a unos 250 m del arroyo. El registro del freatómetro señaló un ascenso de la superficie freática de 0.30 m motivado por la elevación del nivel del agua del arroyo, que se produjo 12 horas después de un precipitación de 50 mm.
- b) En gran parte debido al agua superficial que circula por los tributarios principales, la que se insume en las partes altas de la cuenca. Durante la época de creciente, las aguas desbordan los cauces, pasan hacia los depósitos marginales de alta permeabilidad, formados por conos aluviales y de pié de sierra y se infiltran en ellos rápidamente. Este proceso representa la principal fuente de recarga del complejo acuífero.
- c) El agua de precipitación infiltrada directamente sobre la superficie del terreno de cultivo, la cual tiene su importancia en la reconstitución del stock de humedad del suelo, siendo ínfimo el volumen que puede llegar a ingresar a la superficie freática comparado con los que se incorporan por los mecanismos mencionados anteriormente. Al no observarse conexión superficial con otras cuencas se ha descartado el aporte subterráneo proveniente de cuencas vecinas.

Descarga

La descarga natural se produce por el proceso de evapotranspiración, escurrimiento superficial y subterráneo

hacia el arroyo y por descarga directa del mismo. Existe una descarga artificial, realizada por el hombre, mediante la extracción de pozos.

Los caudales de extracción del acuífero confinado, son de 60 a 120 m³/h, de acuerdo a la información obtenida de perforaciones para riego y para agua potable. Los caudales específicos para la zona son de alrededor de 2.9 m³/h/m, la Transmisividad es de 87 m³/d/m, y el Coeficiente de Almacenamiento del orden de 10⁻² a 10⁻³, (Aceguinolaza, F., 1982).

Las profundidades de explotación son por lo general entre 60 y 80 m.

La descarga por explotación, del acuífero libre, es la siguiente: en un área de 7060 Hectáreas se censaron 13 molinos, los mismos permiten un caudal de extracción promedio de 4.5 m³/h, y un caudal específico promedio de 3.3 m³/h/m, lo que indica una descarga artificial de unos 73 m³/año/Ha.

Las profundidades de explotación son por lo general entre 6 y 12 m.

Captación del agua subterránea

El área que presenta condiciones más favorables para realizar nuevas obras de captación se ubica en la zona central, debido a su calidad química (2650 umhos/cm), aún siendo el sector de menor espesor.

VIII) HIDROQUIMICA

La caracterización química del agua superficial y subterránea de la región se basó en los análisis realizados por el Laboratorio de Análisis de la Cátedra de Edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.

Por tratarse de una zona rural, la población se abastece de la utilización de bombas manuales tipo sapo y de molinos, los que se emplean con fines domésticos, para riego y ganadero. Estos, no están encamisados. Las mediciones realizadas en la Estancia El Guanaco, corresponden a pozos con diámetros de 4 a 5" con una profundidad entre 6 y 12 m.

Agua Superficial:

Se midió la conductividad de 5 muestras del Arroyo Cristiano Muerto, dentro del área estudiada, distribuída de norte a sur cada 2 Km, y de 2 pequeños afluentes del mismo.

Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 1.

Agua Subterránea:

Acuífero libre: se midieron las conductividades de 22 puntos de agua en el acuífero libre, las que se muestran en la Tabla 2.

Con los datos de los análisis químicos se realizaron los mapas de: conductividad eléctrica, (Figura 4), de isoconcentraciones de sulfatos, (Figura 5), de isoconcentración de cloruros (Figura 6) y de isoconcentración de sodio (Figura 7).

Los rangos de salinidad varían entre 1700 y 2400 mg/l, los sulfatos entre 20 y 400 mg/l, los cloruros entre 400 y 700 mg/l, y el sodio entre 440 y 620 mg/l.

En los mismos se observa que los valores de salinidad disminuyen hacia el NO, es decir en la dirección del flujo subterráneo.

Para la clasificación química se utilizó el Diagrama de Piper, (Figura 8) y para la clasificación del agua para riego, el de Wilcox - Thorne, (Figura 9). La mayoría de las aguas subterráneas son del tipo cloruradas sódicas - sulfatadas cálcicas.

Acuífero confinado: de una muestra tomada en la Ea La Celina (vecina a la zona de trabajo), en donde la conductividad arrojó un valor de 4580 $\mu\text{mhos/cm}$ y por datos recopilados en la región, el agua de este acuífero presenta muy alta salinidad y dureza, con pH levemente alcalino.

El agua presenta potencial riesgo de sodificación y salinización.

VIII) RESULTADOS

Los aspectos hidrogeológicos observados permiten definir un sustrato homogéneo. Los rasgos químicos se conservan poco constantes.

El comportamiento hidrodinámico del acuífero evidencia un escurrimiento preferencial hacia la Costa Atlántica, con una componente local en el sentido SSE - NNW, con variaciones en la zona cercana al arroyo.

El agua superficial, es de baja conductividad en general, disminuyendo aún más debido a los distintos aportes de pequeñas vertientes en su recorrido hacia la desembocadura en el Atlántico.

Las características químicas analizadas permiten definir como potable el agua subterránea del acuífero li-

bre, de acuerdo a las normas de aptitud de la A.G.O.S.-B.A. y considerando los límites tolerables para definir la aptitud química del agua. Aunque se debe tener en cuenta que los tenores, tanto de sulfatos como de cloruros se encuentran en casos muy cercanos al límite tolerable.

No es así en el acuífero profundo, donde los tenores de salinidad promedian los 3000 mg/l, haciéndolo no potable debido a los altos contenidos de sulfatos y cloruros.

IX) CONCLUSIONES

- El acuífero libre presenta manifiesta resistividades promedio entre 12 y 16 ohm.m , aumentando hacia las zonas más bajas.
- Las condiciones cuali-cuantitativas del agua subterránea en el predio, en general presentan pocas perspectivas para su explotación. Se debe considerar que el bombeo continuo de los pozos provocaría alteraciones en la calidad química.
- En base a la prospección eléctrica realizada en el predio y la información regional existente en los perfiles geológicos, el corte geológico corresponde, a los primeros 30 m aproximadamente a los depósitos sedimentarios que pueden contener aguas de calidad apta para consumo humano o ganadería. Desde los 30 m de profundidad en adelante las calidades no son favorables para emprendimientos de riego por su elevada salinidad.
- La clasificación de Riverside para riego, es del tipo C3S4, es decir, "No aconsejable para regar por el elevado contenido de sodio y sales", y C4S4.

Se recomienda evitar el uso de estos acuíferos para riego, debido a la alta salinidad de las capas inferiores, que con un bombeo intensivo se incrementa, desmejorando al acuífero libre, que con una explotación limitada, conserva su buena calidad

X) TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ACEGUINOLAZA, F., W. ARIAS, G. DEVITT, C. OSPITAL, 1982.

Cuencas de Arroyos del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires.

Inédito. Buenos Aires.

HUIDOBRO, O.J. Y M.V.SOSIC, 1980.

Aguas Subterráneas.

Seg. Simposio de Geología Regional Argentina. VII. pp 1676. Córdoba.

LOPEZ, C. Y M.E.FRESINA, 1992.

Evolución de las características químicas y bacteriológicas del Arroyo Claromecó,
Pdo de Tres Arroyos, Pcia de Buenos Aires.

IX Simposio Científico. Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo. Mar del Plata.

PONTI N. Y ASOCIADOS, 1997.

Prospección eléctrica en la zona de Orense.

Inédito. San Juan.

ROSSI, L.F., 1994.

Estudio Geohidrológico de Mar del Sur.

Actas Asoc. Arg. Geol. Apl. Ing. Vol. VIII, 172-188. Buenos Aires.

FIG. 2 - MAPA TOPOGRAFICO Y UBICACION DE MUESTRAS

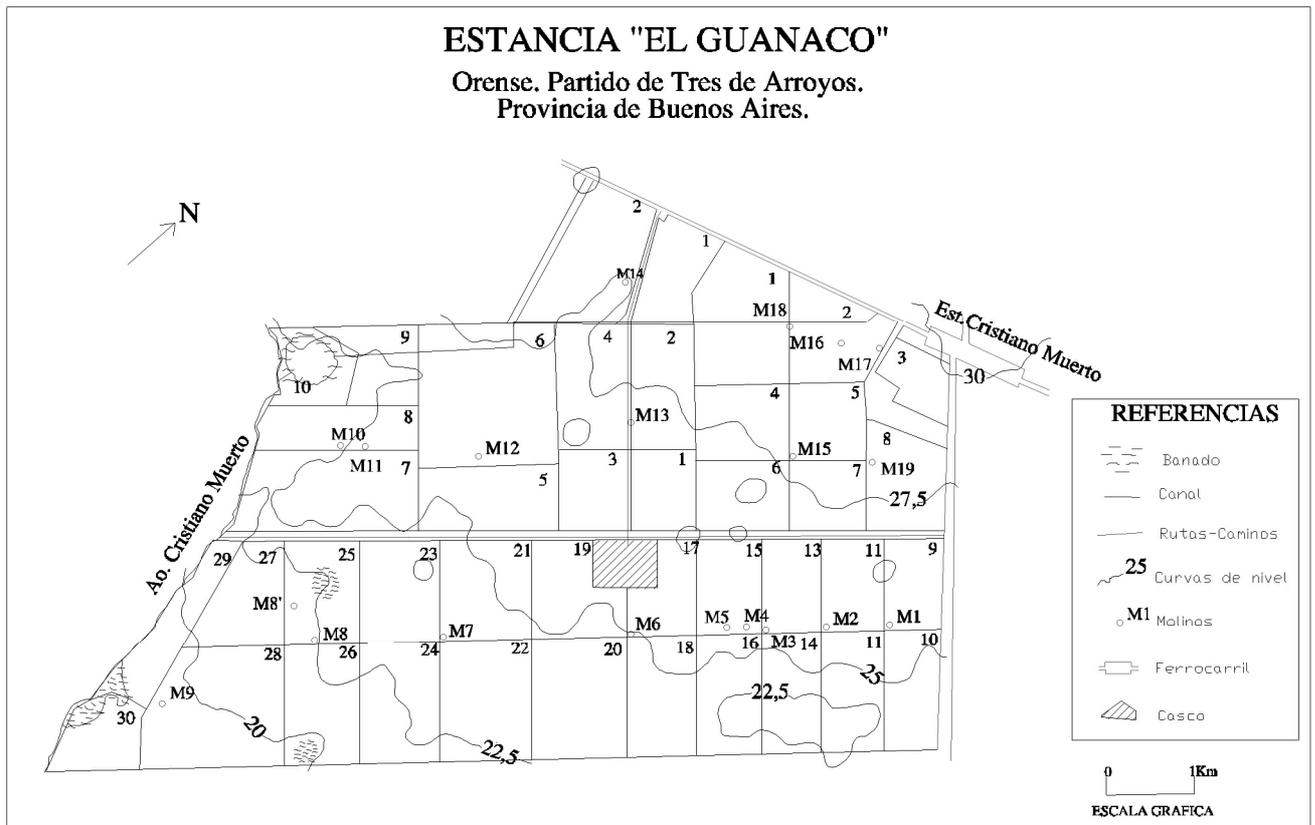


FIG. 3 - MAPA ISOFREATICO

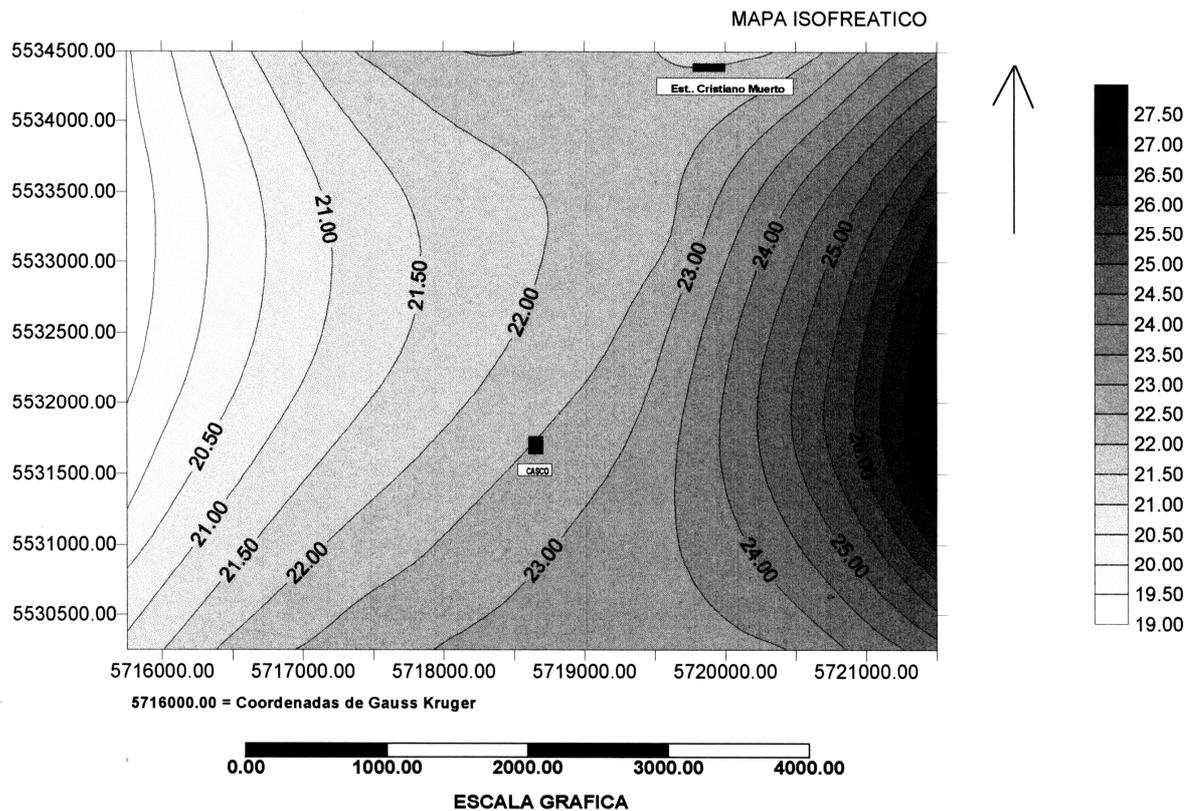


FIG. 4 - MAPA DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

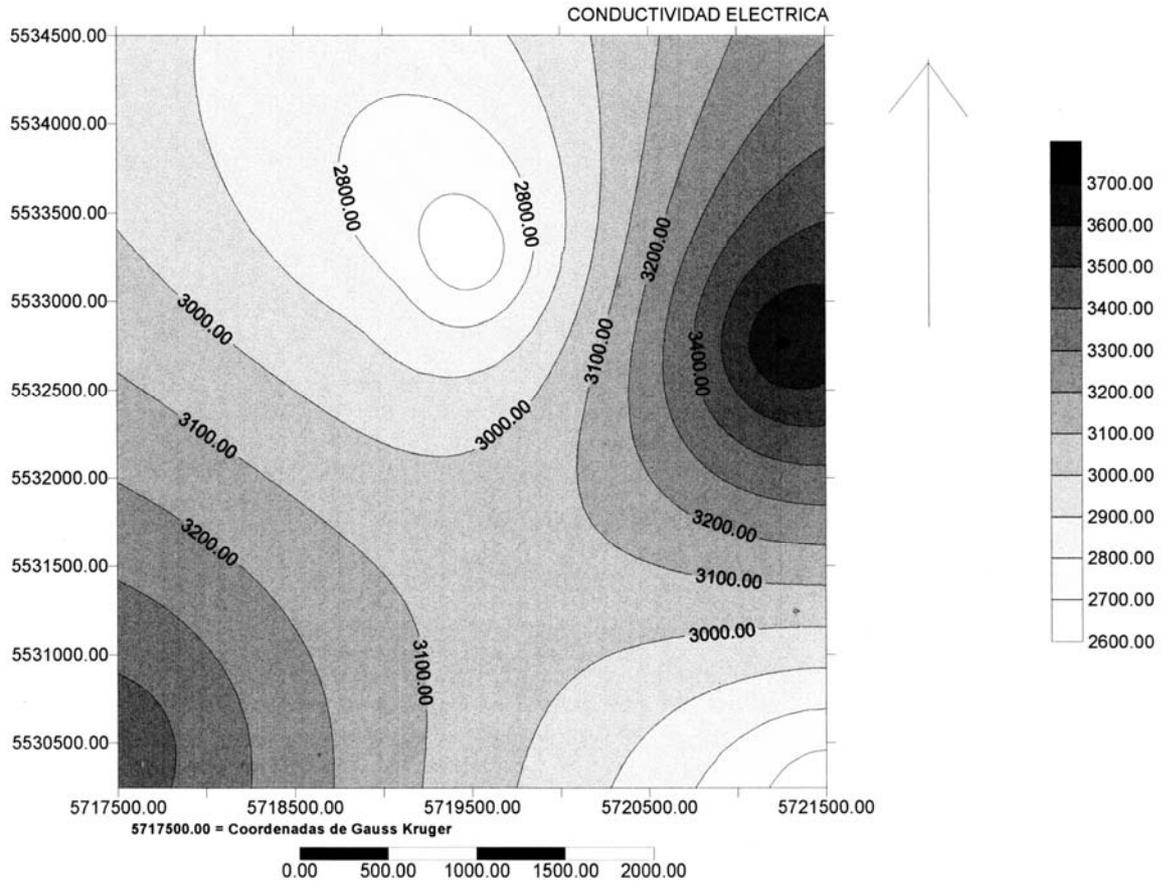


FIG. 5 - MAPA DE ISOCONCENTRACION DE SULFATOS

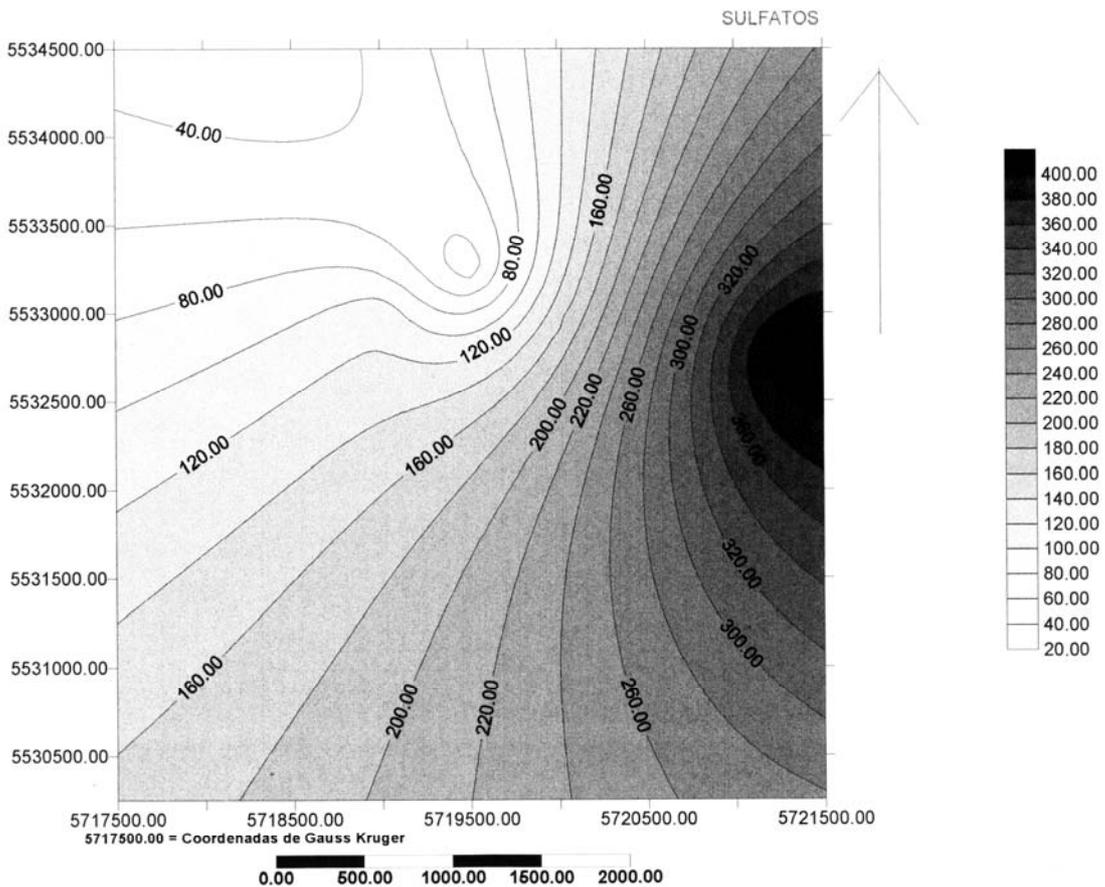


FIG. 6 - MAPA DE ISOCONCENTRACION DE CLORUROS

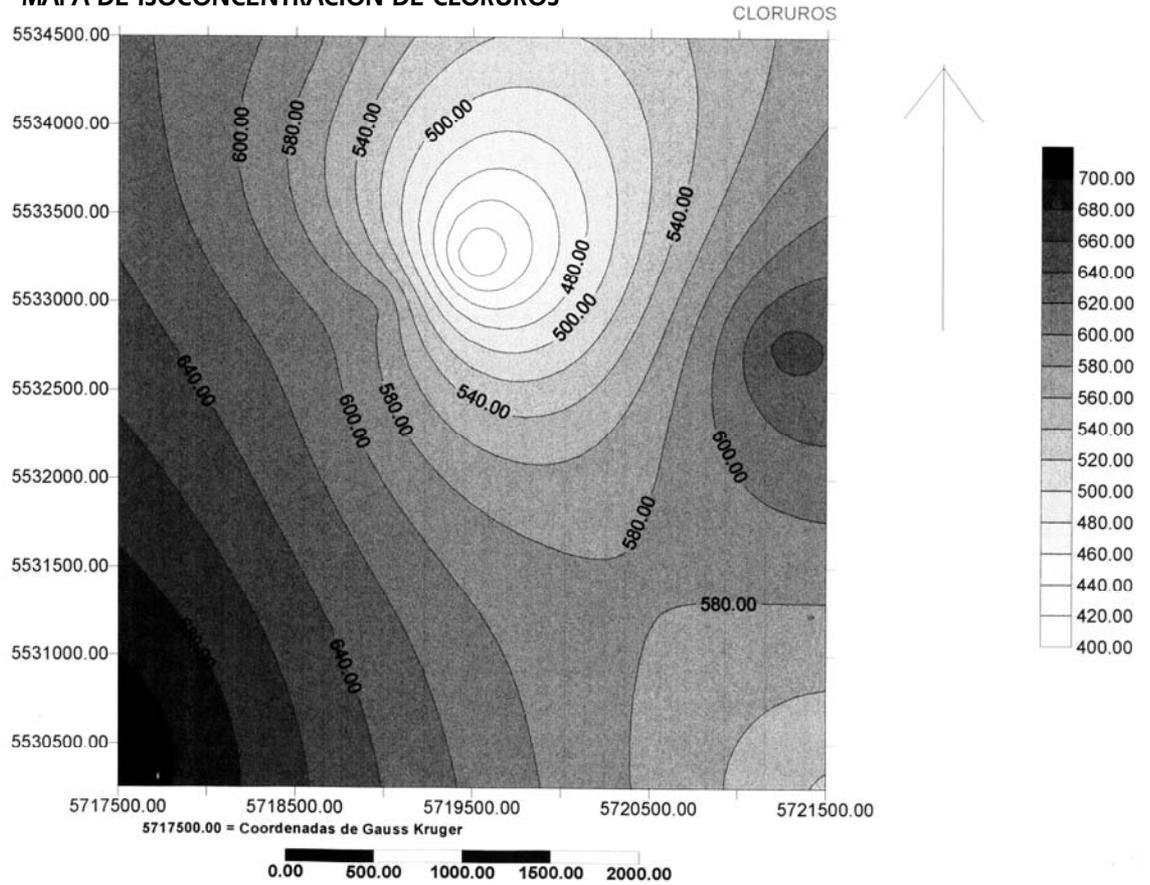


FIG. 7 - MAPA DE ISOCONCENTRACION DE SODIO

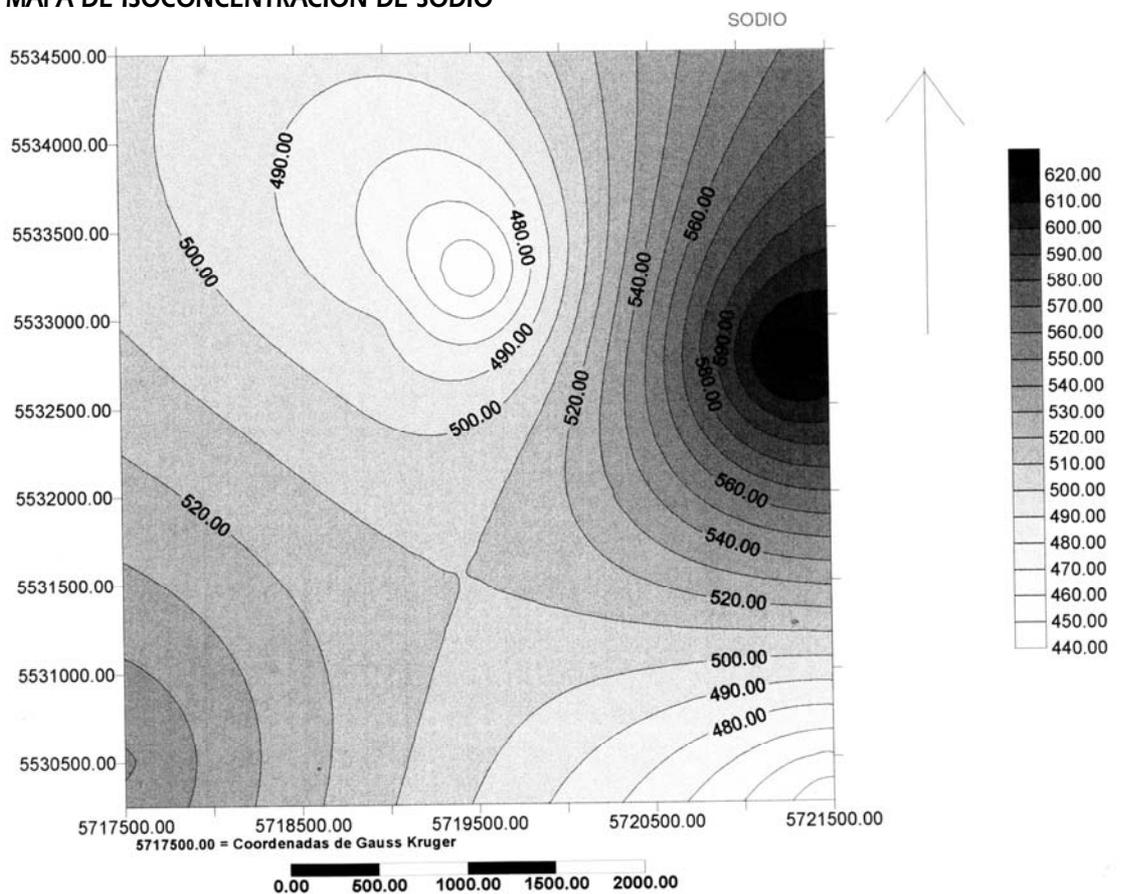


FIG. 8 - DIAGRAMA DE PIPER

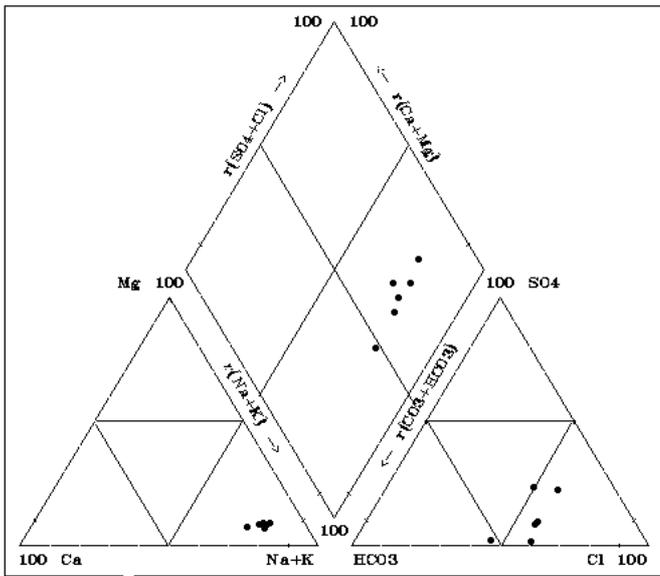


TABLA 1

M	630
S1	1900
S2	1430
S3	1444
S4	1300
S5	1290
S6	400
S7	630

FIG. 9 - CLASIFICACION PARA RIEGO

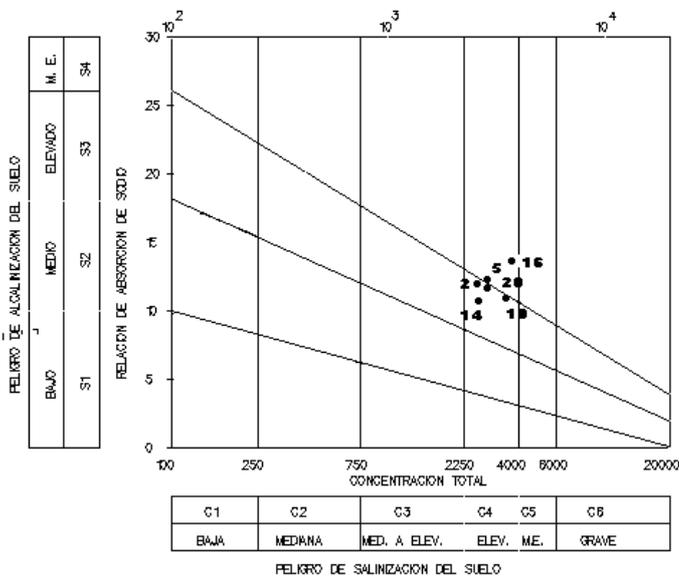


TABLA 2

MUESTRA	NIVEL ESTÁTICO	TIPO DE	CONDUCT.
Ac. LIBRE	(m.b.b.p.)	EXTRACCION	(umhos/cm)
1		molino	3690
2	3.2	bomba de mano	3120
3		molino	3470
4		molino	3000
5	3.03	bomba de mano	3000
6		molino	3100
7		molino	2160
8	2.45	molino	3020
8'		molino	3480
9		molino	3250
10		bomba de mano	3270
11	2.55	molino	—
12	3.8	bomba de mano	—
13		molino	3190
14	2.7	molino	2340
15		molino	2910
16	2.4	molino	—
16'		bomba de mano	3570
17		molino	3570
18		molino	3470
19		molino	2910
20	4.5	motor eléctrico	2650



Características de los principales acuíferos de la Provincia de La Pampa

Santiago B. Giai y Jorge O. Tullio

■ Facultad de Ciencias Humanas UNLPam y Dirección de Aguas de La Pampa
Cnel. Gil 353 - 2° piso - Santa Rosa (LP).

Fecha de Aceptación: Junio de 1998

Resumen

Para la provincia de La Pampa el agua subterránea es de vital importancia para la población y sus actividades productivas, debido a que carece de cursos de agua superficial en la mayor parte de su territorio. A raíz de ello, desde las primeras décadas de este siglo se efectuaron trabajos exploratorios, que si bien tuvieron discontinuidades, para la fecha de redacción de este informe, forman un considerable volumen de información.

La misma ha puesto en evidencia algunas áreas en las que el acuífero freático y los asociados, son de buena calidad. Cinco de ellas, además, poseen una extensión significativa que les da cierta importancia, mientras que las restantes, a pesar de su menor desarrollo relativo tienen su relevancia debido a su ubicación estratégica.

En el trabajo se pasa una revista sumaria a las contribuciones más significativas que aportaron al conocimiento del recurso hídrico subterráneo, para a continuación describir a grandes rasgos cada uno de los acuíferos de mejor calidad, haciendo referencia a su ubicación, geología, hidráulica, hidroquímica y sus reservas reguladoras, con el grado de conocimiento alcanzado.

INTRODUCCIÓN

El agua subterránea fue y es de vital importancia en la provincia de La Pampa, ya que exceptuando la ribera del río Colorado y, hasta la década de 1950, los escurrimientos del río Atuel, toda el agua para consumo humano y la requerida por las actividades productivas, es extraída del subsuelo.

El conocimiento científico de las mismas, podemos decir que comenzó con los trabajos de Stapembeck (1913, 1943), Tapia (1930, 1938, 1962), Cannelle (1950), Bojanich (1964, 1978) y Salso (1966, 1967, 1972). Entre una y otra contribución, cabe mencionar que se fueron in-

corporando al patrimonio del conocimiento del tema, varias perforaciones de exploración realizadas por la Dirección Nacional de Geología y Minería (actualmente Servicio Geológico Nacional), efectuadas en distintos puntos de la provincia, en general apuntando a resolver el problema de abastecimiento de agua para el ferrocarril.

A fines de la década de 1950, se produce un cambio cuali-cuantitativo en el estudio del recurso hídrico subterráneo, al implementarse planes de exploración regional, orientados a conocer integralmente las aguas del subsuelo sobre grandes regiones.

A ello debe sumarse, a partir de la década de 1970, como consecuencia de la implementación en el país del

Plan Nacional de Agua Potable, los estudios específicos para abastecer con ella a los centros urbanos, realizados por la actual Dirección del Agua, primitivamente denominada Dirección de Hidrogeología y Perforaciones, y en distintos períodos, Departamento (luego Dirección) de Aguas Subterráneas y Dirección de Hidrología.

Entre las ideas que fueron evolucionando a medida que se conocía el recurso, cabe destacar la relativa al rol desempeñado por las acumulaciones arenosas en la generación de un acuífero de buena calidad. Si bien el hecho de la presencia de aguas dulces en coincidencia con áreas medanosas ya era conocida por los araucanos, hasta los años setenta la presencia de cantidades importantes de agua subterránea de esa naturaleza, era explicada recurriendo a complejos mecanismos de circulación, atribuyéndole un origen "extra local" (Salso, J., 1967).

El levantamiento hidrogeológico de grandes extensiones a que se hace referencia mas arriba, puso en evidencia la correlación entre acuíferos dulces y acumulaciones de arena, de las cuales las más conspicuas son el valle Argentino-Utracán y el área de El Meauro. Paralelamente el establecimiento a grandes rasgos de las variaciones climáticas del Cuaternario, dio base a una explicación alternativa de la estratificación química inversa sobre la que se apoyaba la idea de circulación profunda "extra local". Finalmente la elucidación del origen del agua de la cuenca artesiana de Bahía Blanca (Bonorino, A.G., 1988), aportó, podemos decir, el punto final a la controversia sobre el origen del agua subterránea en nuestra región, cuyo apogeo tuvo lugar a mediados de la década de 1970.

Los distintos trabajos realizados, pusieron de manifiesto la existencia de varios acuíferos de cierta importancia, algunos por su extensión y producción potencial, y otros por su ubicación estratégica. En esta contribución se presenta una síntesis de las características de los más importantes, para cuyo conocimiento los autores han trabajado en forma directa en varios de ellos, aunque no se arrojan la totalidad de los aportes.

Existen varias acepciones para el término "acuífero" (Gonzalez, N. et al., 1986). De ellas, tal vez la más amplia sea la que define al término como "roca o sedimento que recibe, aloja y transmite agua con facilidad". En el presente trabajo se utiliza el término con un criterio más restringido, para aludir a aquellos que por alguna razón (en general por poseer una recarga superior a la de los adyacentes) se destacan en el ámbito geográfico en que se encuentran, contrastando con los de zonas vecinas.

ANTECEDENTES

Stapembeck, R. (1913) efectuó el primer reconocimiento del área comprendida entre Santa Rosa, Quehué y A. Roca, aportando información sobre profundidad y fluctuaciones del nivel freático, así como algunos análisis quí-

micos e información sobre el basamento. En una obra posterior (1943) establece a grandes rasgos la hidrogeología de la llanura pampeana, a la que asimila a una gran cono aluvial extendido desde el pie de la cordillera hasta el océano.

Tapia, A. (1930) al estudiar una gran propiedad destinada a la colonización, comunica información general sobre la presencia y calidad de las aguas subterráneas en los campos de las Estancias y Colonias Trenel S.A., a la vez que descarta en ellas la existencia de acuíferos surgentes e identifica un conjunto sedimentario de areniscas y arcillas rojas intercalado entre el "pampeano" y el basamento, a las que considera paleozoicas seguramente por su similitud con los entonces llamados "Estratos de Paganzo". En contribuciones posteriores (1938, 1962) da precisiones sobre la profundidad del basamento en varias localizaciones (Chacharramendi, Rucanelo, Rancul), vinculando acertadamente la escasez del recurso, con la posición estratigráfica del mismo.

El primero de los trabajos regionales fue realizado por el CIAS (Comité de Investigación de Aguas Subterráneas), que trabajó en el norte y este del territorio provincial en la década de 1960. Los trabajos de este comité fueron informados por Arigós, L.E. (1969), y su contribución más importante consistió en la ubicación de varios acuíferos aptos para consumo humano (Speluzzi-Dorila, Ea. Las Mercedes, El Trequén), aunque sin establecer su desarrollo vertical ni su producción potencial. Estos aspectos fueron estudiados posteriormente por Malan, J. (1983) para la zona de Gral. Pico-Dorila, Miglianelli (1984) en el acuífero de Speluzzi y Castro, E. et al. (1993) y Giai, S. et al. (1973) para la zona de Estancia Las Mercedes al suroeste de Intendente Alvear.

Le siguió en la década de 1970 el PIAS (Plan de Investigación de Aguas Subterráneas), en alguna medida, continuación de trabajos anteriores de Salso. La información obtenida por el mismo fue comunicada por Giai, S. (1975). De ellos puede rescatarse la idea del factor decisivo que representan las acumulaciones arenosas ("médanos") en la conformación de un acuífero y la ubicación espacial de dos de los más extensos: el de El Meauro y parte del Valle Argentino. Sobre sectores del área relevada, posteriormente se efectuaron trabajos a mayor escala en parte de El Meauro y en el Valle de Chapalcó, (Cavalié, C., 1982, 1987), que aportaron una mejor comprensión hidrogeológica de estas zonas, en especial de la segunda mencionada.

A continuación del anterior se desarrollaron los relevamientos de la meseta basáltica y del área de los ríos Atuel-Salado. El primero de ellos (Bisceglia, H., 1977), si bien no ubicó acuíferos de importancia (al parecer en la zona no los hay), distinguió dos áreas geomorfológicamente diferentes: la meseta basáltica y la de Chicalcó, a la vez que identificó y aforó una veintena de manantiales, relacionados genéticamente con los basaltos. El segundo, (Bojanich, E., 1978), estableció la dirección de escurrimiento subterráneo regional, así como el área hidrológicamente vinculada con el río Atuel, degradada a causa de su manejo aguas arriba.

Los planes Norte I y II (*Buteler, H., 1983; Miglianelli, C., 1985*), cartografiaron la capa freática del área y ubicaron algunas lentes de buena calidad, de extensión reducida, pero en localizaciones de interés. Asimismo, aportaron alguna información sobre la posición del basamento, en el oeste de su área de trabajo.

Los estudios entre Toay y Catrilo (*Cavalié, C.C., 1979, 1982*), mapearon el agua subterránea entre ambas localidades en una faja de unos 30 Km de ancho y exploraron mediante perforaciones el área entre Santa Rosa y Uriburu. Estos trabajos ubicaron y evaluaron un acuífero importante, distribuido en varias lentes, que en la actualidad abastece de agua a la ciudad de Santa Rosa.

El plan EASSE (Estudios de Aguas Subterráneas del Sur Este), probablemente el más ambicioso en cuanto a superficie cubierta, y del que se poseen solo informes de avance ya que está inconcluso, precisó la ubicación de la dorsal del basamento cuyo eje se desarrolla entre El Carancho y Cuchillo Có, la existencia en el sureste de acuíferos infrafreáticos poco conocidos, acotó espacialmente la presencia de oligoelementos tóxicos en un amplio sector y ubicó dos acuíferos pequeños: Bajo de las Cuatro Lagunas y Estancia La Chola (*Buteler, H., 1980, 1982*).

Además de los trabajos comentados, existen otros, numerosos, que cubren superficies menores, realizados por lo común en torno de poblaciones. En algunos casos parten de los relevamientos anteriores, establecen la potencialidad del acuífero y diseñan su explotación, mientras que otros fueron realizados con los mismos fines, pero sobre áreas no exploradas con anterioridad. En este conjunto se agrupan la totalidad de los estudios de fuentes requeridos por organismos de crédito internacional para financiar obras de agua potable, más otros efectuados para resolver problemas puntuales.

PRINCIPALES ACUÍFEROS DE LA PAMPA

En la figura 1 puede apreciarse la ubicación espacial de los principales acuíferos reconocidos a la fecha. En lo que sigue se presenta una descripción sumaria de cada uno de ellos, de mayor extensión en aquellos que por su cobertura areal son potencialmente más importantes. Con referencia a la información hidráulica e hidroquímica de los mismos, si no se indica una fuente específica, queda entendido que se extrajo del Archivo de Perforaciones de la Dirección de Aguas de La Pampa (1997).

ACUÍFERO DEL VALLE ARGENTINO

Ubicación

El acuífero del Valle Argentino se encuentra dentro de una unidad geomorfológica que se extiende aproximadamente entre Chacharramendi por el oeste, hasta la provincia de Buenos Aires (donde continúa), por el este (figura

2). Se trata de una depresión alargada de rumbo general oeste-este, dentro de la cual se han acumulado arenas eólicas adoptando la forma de dunas longitudinales, combinadas con barjanas, de manera que separan dos surcos laterales: el Valle Argentino propiamente dicho al sur, y el Valle de Utracán al norte. En ambos surcos se encuentran lagunas y salitrales, y existen sedimentos fluviales que indican la presencia de un escurrimiento superficial, probablemente desaparecido en tiempos históricos, en parte por acciones antrópicas. El ancho de la depresión varía entre unos 3 a 5 Km a la longitud de Chacharramendi, pasando a tener unos 8 Km en El Carancho, 11 Km en Padre Buodo y 18 Km en Doblás, localidad a partir de la cual sus límites laterales, en especial el norte, se hacen difusos. El desarrollo longitudinal dentro de La Pampa, alcanza a los 210 Km.

Geología

El basamento hidrológico aflora en El Carancho, donde está constituido por un complejo de rocas cristalinas e ignimbritas, y poco más al este en la Ea. Quiñé Malal, donde está representado por granitos. Al oeste de El Carancho y hasta Chacharramendi, se encuentra a escasa profundidad. A la altura de Gral. Acha se ubica entre 150 y 180 m, mientras en Padre Buodo está alrededor de los 250. Por el contrario, en Macachín, a 600 m de profundidad no se alcanzó a atravesar la totalidad del espesor de la formación homónima (Mioceno), y puede deducirse a partir de perfiles obtenidos al N y S de la localidad, que bajo ella se encuentra a algunos kilómetros de profundidad.

Por sobre el basamento se encuentran sedimentos de la formación Cerro Azul (*Linares, E., et al., 1980*), compuesta en general por arenas muy finas, limosas, castañas, que suelen culminar con un encostramiento calcáreo. Desde el punto de vista hidrogeológico, constituye la roca almacén de un acuífero multicapa. Esta formación se apoya sobre el basamento o, a partir de Doblás-Macachín, en arcilitas verdes de la formación homónima de edad miocena.

Por sobre la anterior se encuentran arenas eólicas con espesores de entre decímetros y 15 m, siendo el corriente de 4-6 metros. Finalmente, dentro de los surcos laterales se encuentran sedimentos límnicos y fluviales innominados, probablemente en parte sincrónicos con las arenas.

Hidráulica

Desde el nivel freático hasta el basamento se encuentra un único acuífero multicapa. En coincidencia con la cuenca sedimentaria de Macachín, se han perforado acuíferos confinados, que escapan a esta síntesis, y cuya vinculación con el complejo multicapa superior se desconoce.

La red de flujo obtenida a partir de las líneas isofreáticas pone de manifiesto la existencia de discontinuidades al oeste de El Carancho, como consecuencia de estar el basamento cercano a la superficie. Hacia el este de este punto se manifiesta un escurrimiento regional hacia el este, sures-

te y noreste, lo cual demuestra que la recarga se opera en coincidencia con el cordón medanoso central. Esta recarga en alguna medida retorna a la atmósfera por medio de la evaporación desde las lagunas y salitrales de los surcos laterales, y desde algunos cuerpos de agua ubicados entre los médanos.

Los caudales específicos varían entre 0.2 y 1.3 m³/hm, insinuándose una tendencia a ser superiores en la parte oriental.

Hidroquímica

Desde Chacharramendi hasta la Ea. Bruzone, el residuo seco en general supera los 2000 mg/l. Entre ésta y la Ea. Quiñé Malal, toda la columna posee un contenido salino inferior a los 2000 mg/l. En Gral. Acha la situación se repite, con la particularidad de presentar una estratificación química inversa, la cual, como se indica en la introducción, indujo a pensar en un origen fuera del área (*Salso, J., 1967*). Desde Doblás hasta el límite con la provincia de Buenos Aires, la calidad del agua en general está dentro de la potabilidad hasta los 60 m de profundidad, a partir de la cual presenta variaciones locales.

Reservas

Se han efectuado estimaciones de la recarga en el extremo oeste y en el sector medio del área. Las primeras, mediante freáticos indican un valor del orden de los 22 mm/año, y las segundas, mediante el índice de cloruros, alrededor de los 64 mm/año. Teniendo en cuenta estos valores, la superficie de la cubierta arenosa que posibilita la infiltración y adoptando un criterio conservador, las reservas reguladoras del acuífero alcanzan una magnitud de 73.9 x 10⁶ m³/año (*Tullio, J.O. et al., 1990; Tullio, J.O., 1995*).

ACUÍFERO DE EL MEAUÇO

Ubicación

El acuífero de El Meauço se encuentra a unos 150 Km al W de Santa Rosa (figura 3). En la región se encuentran entre otras las estancias El Meauço y San Eduardo (anteriormente Calchué) y el paraje Jagüel del Monte. En cuanto a sus límites puede decirse que por el sur llega hasta el Valle Daza y su prolongación imaginaria hacia el oeste; en este rumbo se extiende hasta los afloramientos de rocas volcánicas de la estancia La Elbita (anteriormente El Odre); por el este llega aproximadamente hasta el meridiano de Telén y por el norte su límite es difuso, alcanzando más o menos hasta mitad de camino entre Jagüel del Monte y Telén.

Geología

El basamento del área se conoce en cuatro puntos. Por el S aflora en el fondo del Valle Daza, donde está constituido por rocas gnéissicas intruídas por pegmatitas. Por el W aflora en las cercanías del paraje El Odre, en donde se encuen-

tran pequeños cerritos de rocas porfíricas, megascópicamente traquitas. Por el E, en el bajo El Carbón, se encontró una andesita a los 205 m de profundidad, y finalmente en el Puesto La Espuma de la Ea. San Eduardo, a los 180 m de profundidad se tocaron rocas graníticas. Los afloramientos de Valle Daza y El Odre, aparentemente se verifican a través de fallas.

La estratigrafía de la zona es muy simple. Sobre el basamento se ubican los limos arenosos de la formación Cerro Azul precitada. En el desarrollo del mismo se encuentran lentes de arcilla rojiza, de hasta decenas de metros de espesor, que representan facies lacustres en el desarrollo vertical de la unidad. No se poseen evidencias sobre la edad de estos depósitos (que por otra parte aflora en muy pocos sitios), aunque por correlación con otras localidades puede ubicársela cronoestratigráficamente en la edad mamífero Huayqueriense (*Visconti, G. et al., 1996*).

Finalmente, sobre la anterior se encuentran médanos, los que adoptan la forma de complejos de surcos y crestas longitudinales de rumbo sur-suroeste-nor-noreste, con espesores desde decímetros hasta 32 metros, elaborados por vientos de ése rumbo. Por último, relacionado a ellos se encuentran lagunas, generalmente de planta oval con el eje mayor en el mismo sentido de los surcos, alimentadas por la capa freática. Típicamente el entorno inmediato de estos cuerpos se encuentra rodeado por médanos fuertemente ondulados, producto de redepósitos recientes de la arena, tal vez desencadenado por pisoteo de animales. Por correlación con acumulaciones de arena similares en Santa Rosa, puede ubicarse a éstas en el Pleistoceno final y Holoceno (*Zetti, J., 1964; Ramonell, C. et al., 1993*).

Hidráulica

Desde el nivel freático hasta el basamento, existe un único acuífero con cambios en su permeabilidad según los niveles. Esta conformación se altera en coincidencia con la aparición de los niveles arcillosos que seccionan hidráulicamente al acuífero, aunque permanece una conexión lateral. Normalmente la zona de saturación comienza en los niveles superiores de la formación Cerro Azul, pero en algunos casos está saturada la parte inferior de las arenas eólicas.

Las líneas isofreáticas presentan dos máximos de planta groseramente oval, a partir de los cuales diverge la red de flujo a los cuatro rumbos. Es notable la coincidencia de estos máximos con las acumulaciones arenosas con cobertura vegetal de bajo porte (pastizales).

Hidroquímica

La parte superior del acuífero regional, en las áreas de recarga, contiene agua con un residuo seco inferior a los 2000 mg/l, y frecuentemente menor que 1000 mg/l. Desde el punto de vista de su potabilidad, excepto pequeños sectores en la parte occidental, cuya existencia obedece a centros de descarga local, son potables.

Aguas típicas de la zona tienen un residuo seco de 500 mg/l y son de carácter bicarbonatado sódico. El contenido iónico total está en el orden de los 10 a 16 meq/l, correspondiendo 2.5 a 4 meq/l a carbonatos y bicarbonatos y 0.4 a 0.7 meq/l al cloruro. Estas aguas evolucionan geoquímicamente en el sentido del flujo, hacia un tipo clorurado-sulfatado-sódico, con un contenido iónico total en el orden de los 150 meq/l.

Reservas

Se han efectuado algunas determinaciones de recarga en el área misma a partir de freatómetros (Giai, S., 1997; Hernandez, M.A. et al., 1996) y en zonas cercanas y similares mediante balance hídrico seriado (Aimar, S., 1990) e índice de cloruros (Ruiz, E., 1982). Son aceptablemente congruentes entre sí, y de ellos se deduce una recarga para el año típico en el orden de los 26 a 40 mm/año. Teniendo en cuenta estos valores y la superficie sobre la que se opera la recarga, de unos 1000 Km², las reservas reguladoras alcanzan un valor de entre 26 x 10⁶ y 40 x 10⁶ m³/año.

ACUÍFERO DEL VALLE DE CHAPALCO

Ubicación

El acuífero del Valle de Chapalcó se encuentra unos 15 Km al suroeste de Toay, dentro del valle homónimo. Tiene forma alargada en el rumbo suroeste-noreste, con un ancho de 5 a 6 Km y unos 25 Km de largo. Dentro del valle se encuentra un cordón medanoso central. El área se conoce como Colonia Chapalcó, por haber tenido originalmente propiedades rurales de superficies relativamente pequeñas.

Geología

El basamento hidrológico, de tipo granítico, se encuentra a profundidades variables entre 75 y 170 m, excepto en la parte suroeste donde se detectó una estructura de tipo graben de 15 Km de ancho aparente, dentro de la cual no se alcanzaron rocas de este tipo hasta los 170 m de profundidad. Por geofísica (Herrero Ducloux, J., 1978), se infiere su presencia a más de 250 m de profundidad. La extensión de esta estructura se desconoce, aunque es evidente que corta al valle que aloja al acuífero, y no tiene expresión morfológica. No se ha perforado su relleno sedimentario.

Por sobre el basamento o el relleno de la fosa, la columna sedimentaria está conformada por la ya mencionada formación Cerro Azul y arenas eólicas. La primera tiene espesores comprendidos entre 80 y más de 170 m, y en su desarrollo vertical pueden distinguirse tres tipos litológicos (Cavalié, C., 1987). Uno superior, limo arenoso, otro inferior, donde predominan areniscas finas rojizas, y finalmente frecuentes intercalaciones de arcillas rojas en ambos miembros. Las arenas superiores tienen un espesor máximo de 10 m.

Hidráulica

Al igual que en los otros descriptos, este caso se trata de un acuífero multicapa albergado en arenas muy finas, limosas. En algunos sitios está seccionado por las intercalaciones de arcillas, pero persiste una comunicación lateral entre las secciones. La Parte superior del basamento posee una permeabilidad secundaria, es acuífera, y está conectada con el complejo superior de manera directa. La superficie freática levantada (Bisceglia, H., 1974), toma forma oval con flujo radial divergente en el centro del acuífero, mientras que las envolventes al domo hacia el NE tienen una tendencia a conformar una capa cilíndrica con flujo en ese rumbo. El nivel freático se encuentra alrededor de los 30 m de profundidad y los caudales específicos obtenidos en varios ensayos de bombeo varían entre 0,170 y 0,750 m³/h m (Cavalié, C., op. cit.). Este autor también destaca la coincidencia entre los médanos y la curva isosalina de 1 gr/l.

Hidroquímica

El contenido salino tiene valores entre 340 y 2060 mg/l, tratándose de aguas sulfatadas. De diez puntos en que se tomaron muestras del complejo multicapa a distintas profundidades, en nueve se verificó una estratificación química normal, con un ligero incremento en el contenido salino total con la penetración en el acuífero. En el restante, la estratificación es inversa, ya que se extrajo agua con un residuo seco de 380 mg/l en los 30 m superiores de la columna, y de 344 mg/l para el total de la misma, incluida la parte superior del basamento. Dado que el primer valor es representativo de los 30 m superiores del acuífero, mientras el último lo es de la totalidad, es razonable suponer que el agua contenida en los niveles inferiores de Cerro Azul, y aún en la superior del basamento, posee un residuo seco inferior.

Este hecho, similar al señalado para el Valle Argentino frente a Gral. Acha (Salso, J., op. cit.), podría tener su explicación al igual que aquel, en las variaciones climáticas del Cuaternario. Representan ciclos con valores de infiltración eficaz superior a la actual, sincrónicos con un período pluvial, que en razón de la baja permeabilidad del sedimento que la contiene, y/o estructuras adecuadas, no ha circulado mayormente desde su incorporación al acuífero.

Reservas

Los freatómetros instalados sobre el acuífero indican una marcada relación de las fluctuaciones del nivel con las precipitaciones, lo cual, sumado a la coincidencia de la elevación del nivel freático en las superficies arenosas y el bajo contenido salino del acuífero en estas zonas, da una pauta clara acerca del origen meteórico del agua subterránea.

La superficie arenosa que actúa como área de recarga posee una superficie de 120 Km². Sobre la zona no se han hecho estimaciones de recarga, sino que se han supuesto valores. Trabajos de este tipo en áreas cercanas (Malan, J. et

al., 1993; Gai, S.B., 1992), permiten adoptar para el Valle de Chapalcó un valor en el orden de los 40 mm/año, con el cual las reservas reguladoras alcanzan a $4,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$.

ACUÍFERO TOAY-SANTA ROSA-ANGUIL-CATRILO

Ubicación

Este reservorio se desarrolla entre las localidades de Toay y Catriló, tiene un ancho medio de 10 Km, y está constituido por varias lentes, discontinuas entre sí (figura 4).

Geología

El basamento hidrológico se ha alcanzado en Santa Rosa, donde es de carácter granítico y se encuentra a 144 m de profundidad. Hacia el este, entre Anguil y Uriburu es afectado por un sistema de fracturas que lo profundizan (Orella - na, E., 1966), de manera que en esta última localidad y hacia el este, se infiere su presencia a 4-5 Km de profundidad, dentro de la cuenca de Macachín (Salso, J., 1966). El relleno sedimentario de la misma escapa a esta síntesis, ya que el acuífero que tratamos se aloja en la formación Cerro Azul, unidad estratigráfica que traslapa los límites de la misma.

En el área que nos ocupa esta se apoya sobre el basamento o sobre la formación Macachín (Salso, J., op.cit.), arcilitas verdes de edad miocena. Su espesor máximo se da en estos casos y es del orden de los 190 m, siendo gradual el pasaje entre una y otra. Importante desde el punto de vista geohidrológico, es el hecho que entre 50 y 130 m de profundidad según los lugares (alrededor de 70-90 msnm), suele encontrarse una intercalación arcillosa que secciona al acuífero. La parte inferior por lo general es salada, mientras que la superior es dulce.

Por sobre la anterior se encuentran arenas eólicas. Salvo sectores localizados y reducidos, las mismas cubren toda el área, aunque con espesores disímiles. Los máximos se dan en lugares de acumulación de ciclos morfogénicos de tiempos históricos, y están en el orden de los 10 m. La expresión morfológica de las mismas es pobre. En algunos casos puede apreciarse un arrumbamiento de lomadas en sentido suroeste-noreste.

Hidráulica

La información de este tipo se restringe a los 100 m superiores, que contienen al acuífero apto para los usos mas restrictivos. Los caudales específicos extremos alcanzan a 5,8 y 0,2 m^3/hm , pero puede generalizarse que varían entre 0,4 y 1,1 m^3/hm (Cavalié, C.C., 1979, 1982). También puede mencionarse que por lo general son superiores en el tramo mas superficial, como consecuencia de la menor compactación de la roca almacén.

Los niveles estáticos se encuentran entre 6,5 y 11 m en la parte cercana a Anguil, notándose una tendencia a hacerse menos profundos hacia el este, donde típicamente

se lo encuentra entre 4 y 6 m. En el entorno de Santa Rosa se presenta bastante mas profundo, llegando hasta 45 m en el área urbana, consecuencia de la sobreexplotación. Asimismo, en las cercanías de las baterías de perforaciones, aunque no puedan considerarse sobreexplotadas, suelen encontrarse más profundos.

La piezometría relevada (Cavalié, C., op.cit.; Gai, S.B., 1992) pone de manifiesto un escurrimiento regional hacia el sur entre Toay y Uriburu, punto a partir del cual vira progresivamente hacia el sureste, y hacia el noreste por el flanco norte. Este patrón es modificado localmente por la presencia de algunos domos de planta oval, a partir de los cuales el escurrimiento es radial divergente. Inmediatamente al sur del acuífero comentado, se encuentra un área de descarga regional.

Hidroquímica

La conformación de la superficie freática condiciona el contenido salino, de manera que se alternan zonas de baja salinidad coincidentes con aquellas de buena infiltración, con otras de alto contenido salino (hasta 10 gr/l), en zonas de descarga local. Este aumento del contenido salino también es evidente con la penetración en el medio saturado. Valores típicos para áreas de buena calidad, muestran valores de 840 mg/l en los 30 m superiores, para llegar a los 2300 mg/l sobre la base de la intercalación arcillosa. Por debajo de la misma el contenido salino es muy superior.

Merece un comentario particularizado el comportamiento de los oligoelementos tóxicos flúor y arsénico. Los mismos varían en su contenido tanto en sentido horizontal como vertical. En este último, en algunos casos aumenta mientras que en otros disminuyen las concentraciones. La variación del contenido de flúor se ha vinculado con la del calcio (Tullio, J. et al., 1980).

Reservas

Sobre el acuífero comentado se han hecho varias estimaciones de recarga (Cavalié, C.C., op. cit.; Malan, J.M. et al., 1993, 1997; Gai, S.B. et al., 1993; Gai, S.B., 1992; Hernandez, M.A., et al., 1996) que fluctúan entre 20 y 120 mm/año. Para la ponderación de las mismas es pertinente considerar las conclusiones de algunos autores que trabajando en acuíferos comparables, han demostrado que el proceso varía entre términos amplios para un mismo acuífero, de un sitio a otro (Viswanathan, M.N. 1983; Bouwer, H., 1989), situación que, por otra parte, ha sido demostrada para el acuífero de Gral. Pico (Gai, S.B. et al., 1995). Así, hasta que se disponga de trabajos regionales sobre el tema, es válido aceptar un valor medio que, para este caso debe estar en el orden de los 60 mm/año.

Considerando que la superficie del acuífero es de 841 Km^2 (Tullio, J. et al., 1990), con esos valores de recarga se obtiene un volumen de reservas reguladoras del orden de los $50,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$.

ACUÍFERO SPELUZZI - GRAL. PICO DORILA - TRILI

Ubicación

Este acuífero se localiza en el noreste de la provincia de La Pampa, sobre una faja de unos 10 Km de ancho de rumbo nor-noroeste sur-sureste, sobre la que se encuentran varias lentes con agua de buena calidad (Figura 5).

Geología

El basamento hidrológico no se alcanzó en ningún punto del área. Inmediatamente al norte de la ciudad de Gral. Pico, entre 235 y 265 m se atravesaron areniscas cuarzosas, por debajo de 100 m de arcilitas verdes y grises asignables al Mioceno (Giai, S., et al., 1995). Con relación a las mismas y al basamento cristalino, al norte y al sur de esta zona se encuentran las cuencas sedimentarias de Laboulaye y Macachín, respectivamente. Es altamente probable que el área correspondiente a Gral. Pico represente un alto estructural entre ambas (Zambrano, J., 1974), sobre el que la ingresión miocena, por esa circunstancia, quedó representada por un reducido espesor sedimentario.

Por sobre las arcilitas se encuentran los limos arenosos del Pampeano, con espesores del orden de los 150 m, y finalmente arenas eólicas. Las mismas adoptan la forma de cordones orientados del nor-noroeste al sur-sureste (Malan, J.M., 1983), alternándose con depresiones.

Hidráulica

El nivel freático en la gran mayoría de los casos se encuentra dentro de las arenas eólicas superiores, y se continúa dentro del Pampeano infrayacente. La piezometría pone de manifiesto direcciones de escurrimiento hacia el sureste y suroeste, a partir de líneas equipotenciales en forma de V con el vértice orientado hacia el sur-sureste. Además sobre el eje del acuífero se destacan dos domos con direcciones de escurrimiento radiales divergentes. La conformación de la superficie freática hacia el este tiene pendiente uniforme y queda representada por líneas equipotenciales aproximadamente paralelas, mientras que hacia el oeste tiene una conformación más compleja, con algunas curvas cerradas y flujo convergente, por corresponder a una área de descarga regional subparalela al acuífero.

Los caudales específicos normales están en el orden de 1.3 m³/hm, aunque en el tramo superior, arenoso, puede alcanzar a 5 m³/hm.

Hidroquímica

Las sales totales en coincidencia con el cordón de médanos que actúan como área de recarga, son menores a 1 g/l. Este contenido aumenta hacia ambos lados, en especial hacia el suroeste. En las áreas de recarga es bicarbonatada cálcica. El contenido salino aumenta con la

penetración en el acuífero en forma normal, al igual que el flúor y el arsénico. Estos últimos se incrementan notablemente en el sentido del flujo. Se ha considerado (Malan, J., op. cit.) que los caracteres hidrodinámicos del acuífero guardan relación con este aumento.

El espesor útil de este acuífero desde el punto de vista de su calidad química, está en el orden de los 25 a 30 m para agua potable, y en los 100 m para otros fines que requieran agua de hasta 2000 mg/l, en algunos sectores.

Reservas

Se han efectuado varios cálculos de recarga (Malan, J., 1983; Miglianelli, C.H., 1984), a partir de freáticos, balances hídricos seriados a nivel del suelo y escurrimiento subterráneo, que arrojan valores de entre 32 y más de 100 mm/año dependiendo de la pluviometría y el método utilizado para el cálculo. De cualquier manera, para las precipitaciones medias de la zona, un valor regional conservador aceptable, es de 60 mm/año, con el cual, considerando la extensión del acuífero de 175.6 Km² (Tullio, J.O. et al., 1990), se obtiene un volumen de reservas reguladoras de 10.5 X 10⁶ m³/año.

ACUÍFEROS MENORES

Además de los reseñados, se conocen otras zonas con acuíferos de buena calidad, de extensión menor, aunque tienen importancia por su ubicación cercana a centros poblados. A continuación se presenta una síntesis de los mismos.

Acuífero de Victorica

Se encuentra al sur y oeste de la localidad, entre ésta y Telén. El acuífero está contenido en arenas eólicas que llegan a tener 30 m de potencia, apoyadas sobre una arcilla rojiza. En sus límites laterales, se encuentra en arenas limosas del Pampeano. Hacia el norte y sur el acuífero se acuña debido a la elevación del techo de la arcilla que actúa como piso, de manera que su producción disminuye sensiblemente en esas direcciones, hasta hacerse insignificante. Los caudales específicos varían entre 4.2 m³/hm y 0.25 m³/hm. Los superiores corresponden al acuífero alojado en arena y los inferiores se dan cuando lo hace en el Pampeano. Químicamente las aguas son bicarbonatadas sódicas, con un residuo seco típico de 500 mg/l. La recarga de la zona ha sido estimada por Aimar, S. (1990), quien obtiene un valor de 26 mm/año, con el cual, considerando la superficie del mismo de 98 Km² (Tullio, J. et al., op.cit.), se obtiene un volumen de reservas reguladoras de 2,55 x 10⁶ m³/año.

Acuífero de El Trequén

Este acuífero se encuentra al SE de Bernardo Larroudé. Forma una faja angosta de aproximadamente 1 Km de ancho por 7 a 8 Km de longitud. Se trata de varias len-

tes, no de un único cuerpo continuo, alojado en la parte superior, arenosa, del Pampeano. Los caudales específicos están en el orden de los 1.5 m³/hm, y el agua químicamente es del tipo bicarbonatada sódica. Este acuífero posee una marcada zonación química vertical, incrementándose rápidamente el contenido salino con la penetración en él, sin que existan discontinuidades hidráulicas, carácter que determina un alto riesgo de salinización ante el bombeo.

El flúor varía entre menos de 2 hasta 8 mg/l, lo cual limita su posibilidad para producir agua potable. Sus reservas reguladoras se han establecido para una pequeña porción de 2 Km² de su extremo norte, tomando en cuenta un valor conservador de recarga calculado para Gral. Pico (*Malan, J.M., op.cit.*), valores con los que se llega a un volumen de 0,064 x 106 m³/año. No obstante, la extensión del acuífero, conocida desde el relevamiento del CIAS (*Arigós, L.E., op. cit.*), permiten suponer que las mismas son, por lo menos, el doble.

Acuífero de Estancia Las Mercedes (I. Alvear)

Este reservorio se encuentra al suroeste de Intendente Alvear, entre esta localidad y Ceballos, en lo que hace tiempo fue una estancia. El área con agua subterránea de buena calidad posee médanos con un relieve marcado, por haberse activado en épocas recientes. El agua está contenida en la parte superior del Pampeano, de carácter arenoso, por lo cual los caudales específicos son relativamente altos, alrededor de 1,5 m³/hm, alcanzando como valor máximo 6 m³/hm. Las aguas tienen un contenido salino total comprendido entre 300 y 1400 mg/l, típicamente de 500 mg/l y son de carácter bicarbonatado sódico. El flúor, salvo excepciones, está por debajo de los 2 mg/l. Con respecto a las reservas reguladoras, se han estimado infiltraciones variables entre el 50 y el 10 % de las precipitaciones (*Castro, E., et al., 1993*), con las que se llega a un volumen de 0,91 x 106 m³/año, con la infiltración ponderada.

Acuífero de Falucho

Este acuífero se encuentra en el norte del territorio provincial, entre las localidades de Adolfo Van Praet y Falucho. Fue puesto de manifiesto por el levantamiento del Plan Norte - Zona I (*Buteler, H., 1983*) y estudiado posteriormente (*Tullio, J.O. et al., 1983; Miglianelli, C.H., 1998*).

No existen perforaciones profundas que aporten información sobre el basamento. Se lo ha perforado hasta los 40 m de profundidad, atravesándose espesores variables de arenas eólicas, de hasta 5 m, las que se apoyen en arenas muy finas, limosas, castañas, algo cementadas por carbonato de calcio, equiparables a las conocidas genéricamente como "pampeano". En los lugares perforados así como en los escasos cortes a la vista, no aparece el encostramiento calcáreo característico, aunque no se puede descartar que esté presente en algunos sectores.

Los niveles estáticos son inferiores a los 10 m y los

caudales característicos fluctúan entre 0.1 y 3.1 m³/hm. El residuo seco es inferior a los 2000 mg/l, y en la mitad central de su desarrollo, inferior a los 1000 mg/l. El contenido de flúor en la mayor parte de los casos aumenta con la penetración en el acuífero, y varía entre 0.9 y 5.4 mg/l. En cuanto al arsénico, tiene un comportamiento semejante, variando entre <0.04 y 0.15 mg/l, valor que excepcionalmente supera. El espesor útil del acuífero disminuye hacia los límites de la lente, que coinciden aproximadamente con la curva de nivel de 165 msnm y la isocona de 2 g/l.

Se ha estimado la recarga mediante índice de cloruros en 106 mm/año, balance hídrico modular considerando escurrimiento superficial 0 y evapotranspiración anual por las fórmulas de Turc y Coutagne (valores mayores a 100 mm/año), y mediante un cuidadoso análisis del escurrimiento subterráneo en 62.7 mm/año (*Miglianelli, C.H., op. cit.*). En base a la cercanía con Gral. Pico y la similitud de ambos ambientes, tanto climática como hidrogeológica, se estima como más acertado el último de los valores, con el cual y la superficie del acuífero de 16.1 Km², se llega a un valor de reserva reguladora de 1 X 106 m³/año.

Acuífero de La Puma

Se encuentra unos 10 Km al suroeste de Metileo. La información que se posee del mismo deriva únicamente de un censo convencional de puntos de agua (*Malan, J.M., et al., 1996*).

En el ámbito existe una relación estrecha entre la morfología superficial y el nivel freático, comportándose las zonas elevadas como áreas de recarga, mientras que los bajos actúan descargando al acuífero. El agua está contenida en los niveles superiores del ya mencionado "pampeano". En cuanto al subsuelo más profundo, la perforación Metileo N° 1 (Dirección Nacional de Geología y Minería, 1970), no alienta expectativas. Los contenidos salinos varían entre menos de 2000 y más de 8000 mg/l. Las porciones con mejores posibilidades se encuentran al norte, este y sur del paraje La Puma, totalizando una superficie de 80 Km², aunque la parte con agua de mejor calidad por sus tenores en flúor y arsénico, se restringe a 16 Km².

Se han hecho estimaciones de recarga mediante balances hídricos seriados de paso mensual y anuales. Los primeros indican períodos sin excesos infiltrables y otros con excesos de entre 65 y 96 mm/año. Dada su proximidad con el acuífero Speluzzi-Gral. Pico-Dorila-Trilí, del que puede considerarse una extensión occidental a la latitud de Trilí, se considera que la recarga anual no debe ser muy diferente. Teniendo en cuenta los valores del acuífero mencionado, puede aceptarse como primera aproximación un volumen de reservas reguladoras en el orden de los 4.8 X106 m³/año de agua dulce y 1.0 X106 m³/año de agua apta para consumo humano.

Acuífero de Caleufú-Conhello

Se ubica a ambos lados de la ruta provincial 9, desde inmediatamente al sur de Caleufú hasta unos 7 Km al norte de la localidad de Conhello. Fue puesto en evidencia por la cartografía del Plan Norte-Zona II (Migliani -lli, C.H., 1985).

Geomorfológicamente está asociado a un conjunto de lenguas y planos medanosos, en los cuales se intercala, en el este, una capa de ceniza volcánica de centímetros de espesor, acumulada por erupciones históricas. El espesor de la arena raramente supera el metro, excepto hacia el oeste, donde localmente se desarrollan cubetas de deflación y médanos de importancia local. Estas arenas se apoyan sobre la formación Cerro Azul ya descrita, la que en esta zona tiene un espesor de unos 150 m y es la que contiene al acuífero. Esta última se apoya, a su vez, en rocas preterciarias.

El nivel estático se ubica entre los 10 y 15 m de profundidad al sur de Caleufú, más al sur, zona de la estancia Alto Verde, se lo encuentra por lo general entre 35 y 50 m, mientras que entre la estancia Alto Verde y Conhello está en el orden de los 80/90 m de profundidad. El contenido salino de las aguas varía entre 600 y 2000 mg/l, siendo el carácter iónico bicarbonatado a bicarbonatado sulfatado sódico. Los caudales específicos en el área explotada al sur de Caleufú, oscilan entre 0.2 y 1 m³/hm.

Con el grado de conocimiento alcanzado de esta zona, no pueden más que estimarse groseramente las reservas reguladoras en 1 X 10⁶ m³/año.

Acuífero de Quemú Quemú

Se ubica en coincidencia con la localidad del mismo nombre, aunque la extensión del reservorio es mucho mayor que la parte relevada. La información que se posee del mismo deriva de la evaluación efectuada para abastecer con agua potable a Quemú Quemú (Malan, J. et al., 1988).

La composición del subsuelo profundo en el área no se conoce. La más superficial registra la presencia de limos arenosos conocidos genéricamente como "pampeano", cubierto por arenas eólicas de entre 3 y 15 m de espesor. La superficie freática acompaña, atenuada, a la topográfica, con niveles estáticos a 5/6 m de profundidad en las partes elevadas, hasta aflorar en las bajas, que actúan como áreas de descarga local.

El residuo seco es menor en general a 2000 mg/l, excepto en coincidencia con las depresiones, en las que las curvas de isocontenido presentan máximos cerrados de hasta 6000 mg/l. Estas últimas ocupan una superficie reducida. Los tenores de flúor varían entre menos de 1 y más de 8 mg/l. En profundidad, con la penetración en el acuífero dicho tenor aumenta, aunque en las secciones de menor contenido se mantiene por debajo de los 2 mg/l hasta los 24 m de profundidad.

El acuífero se comporta como libre con drenaje di-

ferido. Los caudales específicos en los limos arenosos inferiores varían entre 1.5 y 2.3 m³/hm y las transmisividades entre 100 y 200 m²/día.

Se ha estimado (Malan, J. et al., op. cit.) que la recarga está en el orden de los 50 mm/año, con la cual, en el área evaluada la reserva reguladora alcanza a 0.25 X 10⁶ m³/año, aunque, como la extensión del acuífero es mayor, estas reservas también lo son.

Acuífero Bajo de las Cuatro Lagunas

Este acuífero se encuentra 57 Km al sur de Jacinto Arauz, en el límite con la provincia de Buenos Aires, donde continúa. Fue puesto en evidencia por los trabajos del CIAS (Arigós, L.E., op. cit.) y mapeado con más detalle por el plan EASSE (Buteler, H., 1980). En el área son evidentes geoformas de origen eólico y fluvial desarrolladas en el Terciario superior y el Holoceno. Puede sintetizarse indicando que sobre una planicie de agradación se labraron niveles de degradación menores, los que a su vez fueron seccionados por valles de rumbo noroeste-sureste y suroeste-noreste, uno de los cuales se extiende desde el Salitral Negro en la provincia de La Pampa hasta la laguna de Chasicó en la de Buenos Aires.

Este geoforma aloja cubetas de deflación ocupadas por salinas y salitrales por el oeste y médanos por el este. Estos últimos adoptan la forma de cordones longitudinales y barjanes en algunos sectores, con diferencias de altura entre senos y crestas que pueden alcanzar los 10 m. La laguna de Callaqueo, que se ubica al norte del cordón medanoso mencionado, se interpreta como un pfanenn de unos 25 Km² cuyo fondo se encuentra a 42 mbnm, constituye la principal área de descarga areal, descarga que además tiene lugar en el Bajo de las Cuatro Lagunas, la laguna de la Sombra y otras menores.

El substrato precuaternario está representado por las formaciones Cerro Azul y Chasicó (Linares, E. et al., op. cit.; Fidalgo, F., et al., 1978), ya descrita. Poco al norte del área que consideramos se mencionan intercalaciones potentes de arcillas grises. Esta formación culmina en las planicies con un encostramiento calcáreo. Por el sur, continúa la secuencia con una capa de rodados patagónicos cementados, mientras que dentro de la cubeta se encuentran arenas eólicas, derrubios de ladera y relleno de cubetas, ubicables cronoestratigráficamente en el Pleistoceno final-Holoceno, por correlación con sedimentos equiparables del área de Toay (Zetti, J., op. cit.; Ramonell, C., op. cit.).

Con relación a la química del agua contenida en este acuífero, el residuo seco oscila entre 260 y 600 mg/l, y presenta, al igual que otros casos semejantes, un marcado contraste con la salinidad de áreas vecinas, la que se refleja en el trazado casi coincidente de las isoconas de 1 y 2 g/l de sales totales. La composición iónica, deducida a partir de una decena de muestras, indicaría un carácter bicarbonatado cálcico.

En cuanto a sus reservas, para el Balneario Chapalcó, distante 25 Km al este, se ha estimado la infiltración eficaz en base al índice de cloruro en el 54.8 % de las precipitaciones (Bonorino, A.G., et al., 1992). Se considera que este valor no puede ser trasladado de manera directa a esta zona, en primer lugar por la mayor profundidad del nivel freático, y en segundo término debido a que los contenidos de cloruro en el agua de lluvia deben variar de manera significativa en distancias cortas, debido a la presencia de salinas y salitrales que contienen cloruro de sodio, el que se incorpora en forma de polvo a la atmósfera. No obstante ello, teniendo en cuenta las dimensiones del acuífero de 10 Km en sentido este-oeste por 4 Km en el norte-sur, y la importante alícuota de precipitaciones infiltrada, las reservas reguladoras deben estar en el orden de los $2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$.

Acuífero de Estancia La Chola

Se encuentra en el sureste de la provincia de La Pampa, unos 55 Km al nor-noreste de la localidad de La Adela. Sobre el mismo se ubica la estancia del mismo nombre. Este acuífero fue reconocido con el levantamiento del plan EASSE (Buteler, H., 1982).

Se trata de una depresión alargada de rumbo este-sureste recortada en una planicie coronada por tosca, cubierta por médanos con elevaciones de hasta 12 m entre crestas y surcos. A ambos lados del cordón medanoso se encuentran depresiones ocupadas por salinas y salitrales, algunos de desarrollo importante. Además se encuentran lagunas en depresiones interdunales.

La geología de la zona puede deducirse a partir de

afloramientos y la perforación Anzoategui N° 1 (Dirección Nacional de Geología y Minería, 1970). De acuerdo con ésta, por arriba del "mioceno verde" se encuentran unos 200 m de espesor de limos areno arcillosos, correlacionables con las formaciones Cerro Azul y Chasicó ya citadas. En este paquete se intercala un conjunto de arcilitas y areniscas grises, que han sido nominados formación Salina El Chancho (Buteler, H., op. cit.). Probablemente se trate de una interdigitación de la formación Río Negro, aflorante inmediatamente al oeste, dentro del conjunto Cerro Azul-Chasicó. Finalmente deben mencionarse las arenas eólicas equivalentes a las de otros ámbitos.

En planta el acuífero tiene planta ligeramente trapezoidal con un desarrollo este-oeste de unos 21 Km y un ancho máximo de 9 Km en su extremo este. La salinidad fluctúa entre 400 y 800 mg/l, y al igual que en el anterior, las isoconas de 1 y 2 gr/l de sales totales, se encuentran muy próximas entre sí. Las aguas son fuertemente bicarbonatadas sódicas.

La red de flujo presenta un diseño radial divergente. Los caudales específicos varían según la formación que se explote, entre $2 \text{ m}^3/\text{hm}$ para las arenas superiores, alrededor de $1 \text{ m}^3/\text{hm}$ en el tope de los limos arenosos y en el orden de $0.1 \text{ m}^3/\text{hm}$ por debajo de los 80 m de profundidad.

No se ha evaluado la recarga en este ambiente. Los más cercanos disponibles corresponden a Balneario Chapalcó (Bonorino, A.G. et al., op. cit.). Con las mismas consideraciones que las efectuadas para el acuífero de Cuatro Lagunas, puede aceptarse una reserva reguladora en el orden de los $5.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS

AIMAR, S., 1990.

Estudio hidrogeológico de la hoja IGM 376623 Valle Daza.
Informe beca iniciación CONICET. Inédito.

ARIGÓS, L.E., 1969.

Informe técnico hidrogeológico provincia de La Pampa.
Inf. inéd., 70 p. Min. de Econom. y O. Públicas. Santa Rosa.

BISCEGLIA, H.A., 1974.

Informe preliminar de la hoja IGM 3766-18 Colonia Ferraro.
Inf. inéd., 44 p., Dir. del Agua. Santa Rosa.

- 1977. Estudio hidrogeológico de la región de la meseta basáltica, con especial referencia a los manantiales.
Inf. inéd., 92 p., Dir. del Agua. Santa Rosa.

BOJANICH, E., 1964. Evaluación de los recursos hidráulicos subterráneos. En: Estudio para un aprovechamiento integral del Valle Argentino (Dpto. Utracán, prov. de La Pampa). Min. de Econ. y A. Agrarios.
Inf. inéd. Santa Rosa.

- 1978. Investigación geológica-geomorfológica-hidrológica de la cuenca del río Atuel. Presentación ante Suprema Corte de Justicia de la Nación, III, 88 p. Santa Rosa, 1980.

BONORINO, A.G., 1986.

Pozo de explotación de aguas subterráneas planta compresora de Gas del Estado estación Las Gaviotas, provincia de La Pampa. 5 p. *Inédito.*

- 1988. Geohidrología del sistema hidrotermal profundo de la región de Bahía Blanca. Univ. Nac. del Sur, Dpto. Geología, inédito.
 - 1991. Evaluación de la recarga de agua subterránea en el área de la vertiente occidental de las Sierras Australes, provincia de Buenos Aires.
Asoc. Geol. Arg., Rev. XLVI:(1-2), 93-102. Buenos Aires.
- BONORINO, A.G. Y R. H. TORRENTE. 1992.
Balance iónico aplicado al cálculo de la infiltración eficaz en áreas de relieve medanoso.
III Jornadas Geológicas Bonaerenses, Actas, p189-194. La Plata.
- BOUWER, H., 1989.
Estimating and enhancing groundwater recharge.
En Sharma, M.L., editor, Groundwater Recharge, p 110, Balkema, Rotterdam.
- BUTELER, H., 1980.
Censo hidrogeológico de las hojas IGM escala 1:50.000 Laguna Callaqueo, Laguna Colorada Chica y La reforma.
Inédito, Administración Provincial del Agua de La Pampa. Santa Rosa.
- 1982. Estudio hidrogeológico, regional y de fuentes: informe sobre la hoja IGM 3963-8 a escala 1:100.000, Estancia La Chola.
Inédito, Administración Provincial del Agua de La Pampa. Santa Rosa.
 - 1983. Plan Norte-Zona I. Cartografía temática.
Inédito. Administración Provincial del Agua de La Pampa. Santa Rosa.
- CANNELLE, L.E., 1950.
Condiciones hidrogeológicas de la zona comprendida entre Telén y Santa Isabel y valle de los ríos Salado-Atuel-Chadileuvú.
Inf. inéd. Dir. Gral. Ind. y Minería. 28 p. Buenos Aires.
- CASTRO, E. C. Y J. O. TULLIO. 1993.
Algunas características hidrogeológicas del abastecimiento de agua a la localidad de Intendente Alvear, provincia de La Pampa.
Vas. Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Actas II: 19-25. Santa Rosa.
- 1993. Valle Argentino. Síntesis hidrogeológica preliminar. 3p, mapas, gráficos, cuadros.
Inédito. Administración Provincial del Agua de La Pampa. Santa Rosa.
- CAVALIÉ, C.C., 1979.
Estudio hidrogeológico para la provisión de agua subterránea potable a la ciudad de Santa Rosa. Acuíferos Santa Rosa-Anguila y Santa Rosa-Toay. 42 p, mapas.
Inédito. Administración Provincial del Agua de La Pampa. Santa Rosa.
- 1987. Estudio hidrogeológico Valle de Chapalcó.
Inf. inéd., 17 p., Dir. del Agua. Santa Rosa.
 - 1982. Estudio hidrogeológico area Anguila-Catrilló.
Inf. inéd., 25 p., Dir. del Agua. Santa Rosa.
- Dirección de Aguas de La Pampa, 1997. Archivo de perforaciones.
Inédito. Santa Rosa.
- Dirección Nacional de Geología y Minería, 1970. Perfiles de perforaciones. Período 1936-1945.
Publicación 153. Buenos Aires.
- FIDALGO, F., J.H. LAZA, N. PORRO Y E.P. TONNI, 1979.
Algunas características de la formación Arroyo Chasicó y sus relaciones geológicas.
VII Cong. Geol. Arg., Actas I:213-225. Neuquén.
- GIAI, S.B., 1975.
Plan de investigación de aguas subterráneas (PIAS). Informe final. 62 p, mapas, figuras.
Consejo Provincial del Agua de La Pampa, tirada reducida. Santa Rosa.
- 1991. Deducción de la recarga de acuíferos a partir del perfil de humedad del suelo.
Univ. de La Pampa. Inédito.

- 1992. Estudio hidrogeológico del sureste de Santa Rosa para la provisión de agua potable al barrio FONAVI XLII. 8p, planos.
Inédito. Administración Provincial del Agua de La Pampa. Santa Rosa.
 - 1997. Rasgos hidrogeológicos de El Meauro - Provincia de La Pampa - Con especial referencia a su freaticimetría.
1er. Congreso Nacional de Hidrogeología, Actas 105:116. Bahía Blanca.
- GIAI, S.B. Y J.A. DE ORMAECHEA, 1973.
Estudio de fuentes de Intendente Alvear. 6 p.
Inédito. Servicio de Agua Potable y Saneamiento Ambiental de La Pampa. Santa Rosa.
- GIAI, S.B. Y R.O. GATTO CÁCERES, 1995.
Ajuste de un modelo para registros freaticimétricos mensuales en Gral. Pico-La Pampa.
4as. Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Actas, 2:221-228. La Plata.
- GIAI, S.B. Y E. MARIÑO, 1993.
Comportamiento de la humedad en un suelo de médano.
Actas Vas. Jor. Pampeanas de Ciencias Naturales, II: 3237, Santa Rosa.
- GONZALEZ, N., M. A. HERNANDEZ Y C.R. VILELA, 1986.
Léxico hidrogeológico.
Publicación especial Com. Inv. Científicas de la provincia de Buenos Aires, 249 p. La Plata.
- HERNANDEZ, M.A. Y S.B. GIAI, 1996.
Variación de la recarga entre La Plata y Santa Isabel (provincias de Buenos Aires y La Pampa-Argentina). Propuesta metodológica.
3er. Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Memorias, p 3-1:3-10. San Luis Potosí (México).
- HERRERO DUCLOUX, J.J., 1978.
Informe de la prospección geofísica en la región comprendida entre los paralelos 36 y 37° 20' de latitud sur y los meridianos 64 y 66° de longitud oeste (provincia de La Pampa).
Inf. inéd., 152 p., Inst. Nac. de C. y T. Hídricas. Buenos Aires.
- LINARES, E., E.J. LLAMBÍAS Y C.O. LATORRE, 1980.
Geología de la provincia de La Pampa, república Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas.
Rev. Asoc. Geol. Arg., XXXV, 1, p 257-265. Buenos Aires.
- MALAN, J.M., 1983.
Estudio hidrogeológico para abastecimiento de agua potable a la localidad de Gral. Pico, departamento Maracó, provincia de La Pampa (RA).
Informe preliminar. Coloquio Internacional Sobre Hidrología de Grandes Llanuras, Actas p1449:1473. Olavarría.
- 1991. Evaluación geohidrológica parcial del área medanosa Telén-Victoria y propuesta de estudios ampliatorios.
Inf. inéd. Dir. del Agua. Santa Rosa.
- MALAN, J.M. Y C.J. SCHULZ, 1988.
Estudio hidrogeológico para la provisión de agua potable a Quemú Quemú, La Pampa.
IIas. Jorn. Geol. Bonaerenses, Actas, p 567-574. Bahía Blanca.
- MALAN, J.M. Y E. MARIÑO Y G. CASAGRANDE, 1993.
Aplicación de distintos métodos para la estimación de la infiltración eficaz en áreas medanosas.
Actas Vas. Jor. Pampeanas de Ciencias Naturales, II:46-51. Santa Rosa.
- MALAN, J.M., M. PIRES Y A. BARTEL, 1996.
Contribución al conocimiento geohidrológico de la hoja La Puma 3563-32-3.
VI Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Actas 151:158. Santa Rosa.
- MIGLIANELLI, C., 1984.
Resumen del estudio especial del acuífero de Speluzzi.
Pampa Geológica, 1:3, p15-27. Santa Rosa.
- 1985. Plan Norte Zona II. Cartografía temática.
Inédito. Administración Provincial del Agua de La Pampa. Santa Rosa.
 - 1998. Replanteo de la exploración en el acuífero de Falucho. 14 p, planos.
Inédito. Administración Provincial del Agua de La Pampa. Santa Rosa.

- ORELLANA, E., 1966.
Trabajos sísmicos de refracción en la provincia de La Pampa.
Inf. inéd., 4 p. *Yacimientos Petrolíferos Fiscales. Buenos Aires.*
- RAMONELL, C.G., J.O. TULLIO, A.P. CALMELS Y O.C. CARBALLO, 1993.
Unidades litoestratigráficas del Cuaternario superior en el área de Santa Rosa, provincia de La Pampa.
En: Calmels, A.P., J.O. Tullio y O.C. Carballo (editores), Introducción al estudio del Cuaternario, p233242. Santa Rosa.
- SALSO, J., 1966.
La cuenca de Macachín, provincia de La Pampa.
Asoc. Geol. Arg., revista, XXI,2, p 107:117. Buenos Aires.
- 1967. Origen del agua en la región central de La Pampa.
Actas Cong. Nac. del Agua. Neuquén.
 - 1972. Razgos hidrogeológicos de La Pampa.
Mundo Geológico. p 11-15. Buenos Aires.
- STAPPEMBECK, R., 1913.
Investigaciones hidrogeológicas de los valles de Chapalcó y Quehué y sus alrededores.
Dir. Gral. Minas, Geol. e Hidrología, bol. 4, 55p. Buenos Aires.
- 1943. Geología y aguas subterráneas de la pampa.
Resumen traducción de la obra de 1926 de la Dir. de Min., Geol. e Hidrología. Buenos Aires.
- TAPIA, A., 1930.
Condiciones hidrogeológicas de los campos de la "S.A. Estancias y Colonias Trenel", territorio nacional de La Pampa.
Dir. Gral. de Min., Geol. e Hidrología, Publ. 91, 24 p, Buenos Aires.
- 1938. Chacharramendi y alrededores.
Physis, XIV, 46. Buenos Aires.
 - 1962. Recomendaciones sobre la investigación hidrogeológica en La Pampa y algunos resultados obtenidos en investigaciones efectuadas en el norte de la misma. Min. de Econ. y O. Públicas.
Inf. inéd., 10 p, *Santa Rosa.*
- TULLIO, J.O., 1990.
Replanteo de fuentes de agua potable a Eduardo Castex. Partes 1 y 2. 15 p.
Inédito. Administración Provincial del Agua de La Pampa. Santa Rosa.
- 1995. Estudio hidrogeológico del Valle Argentino. Informe preliminar N°2. 4 p.
Inédito. Administración Provincial del Agua de La Pampa. Santa Rosa.
- TULLIO, J.O. Y S.B. GIAI, 1990 .
Ubicación y reservas de los principales acuíferos de Las Pampa. 8 p.
Inédito. Administración Provincial del Agua de La Pampa. Santa Rosa.
- TULLIO, J.O. Y J.M. MALAN, 1980.
Consideraciones geohidrológicas acerca del variable contenido de flúor de las aguas subterráneas de la provincia de La Pampa y sus posibles causas.
Inf. inéd., *Dir. del Agua, Santa Rosa.*
- TULLIO, J.O. Y C.H. MIGLIANELLI, 1983.
Informe del estudio de fuentes para Adolfo Van Praet. 2 p, planos.
Inédito. Administración Provincial del Agua de La Pampa. Santa Rosa.
- VISCONTI, G., C.I. MONTALVO, M.C. CARDONATTO Y L.A. PUGENER, 1996.
Análisis sedimentológico e interpretación paleoambiental de la Formación Cerro Azul (Mioceno tardío) en el Valle Argentino, provincia de La Pampa.
Vias. Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales. Actas, p 8688. Santa Rosa.
- VISWANATHAN, M.N., 1983.
The rainfall/water table level relationship of an unconfined aquifer. *Ground Water, Vol 21, 1, p 4956.*
- ZAMBRANO, J. J., 1974.
Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes.
Rev. Asoc. Geol. Arg., XXIX:4, p443-469. Buenos Aires.
- ZETTI, J., 1964.
El hallazgo de un Megatheriidae en el "Médano Invasor" del SW de Toay, provincia de La Pampa.
Ameghiniana, III, 9, p 257265. Buenos Aires.

FIG. 1- UBICACION DE LOS PRINCIPALES ACUIFEROS

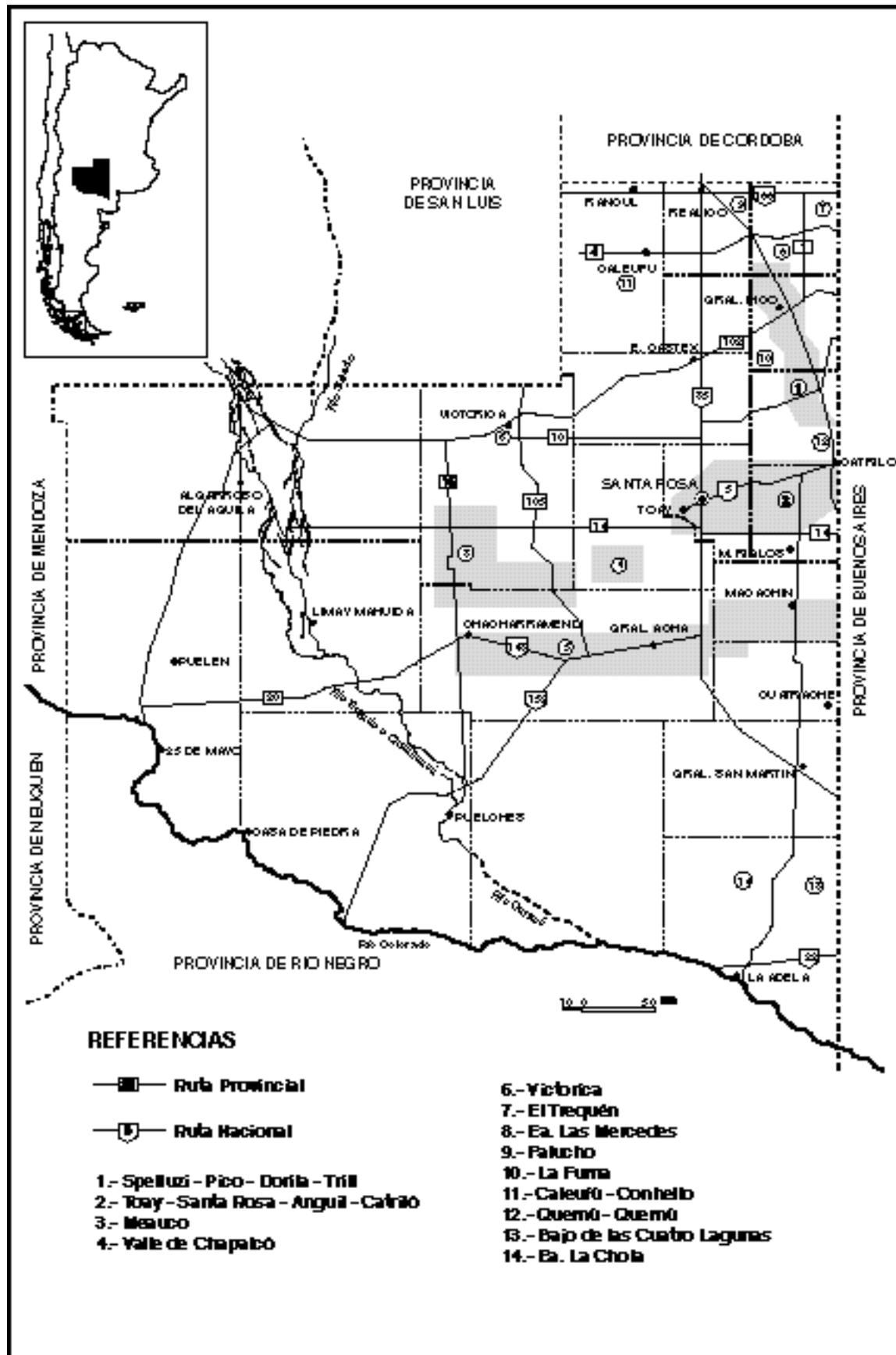


FIG. 2- ACUIFERO DEL VALLE ARGENTINO

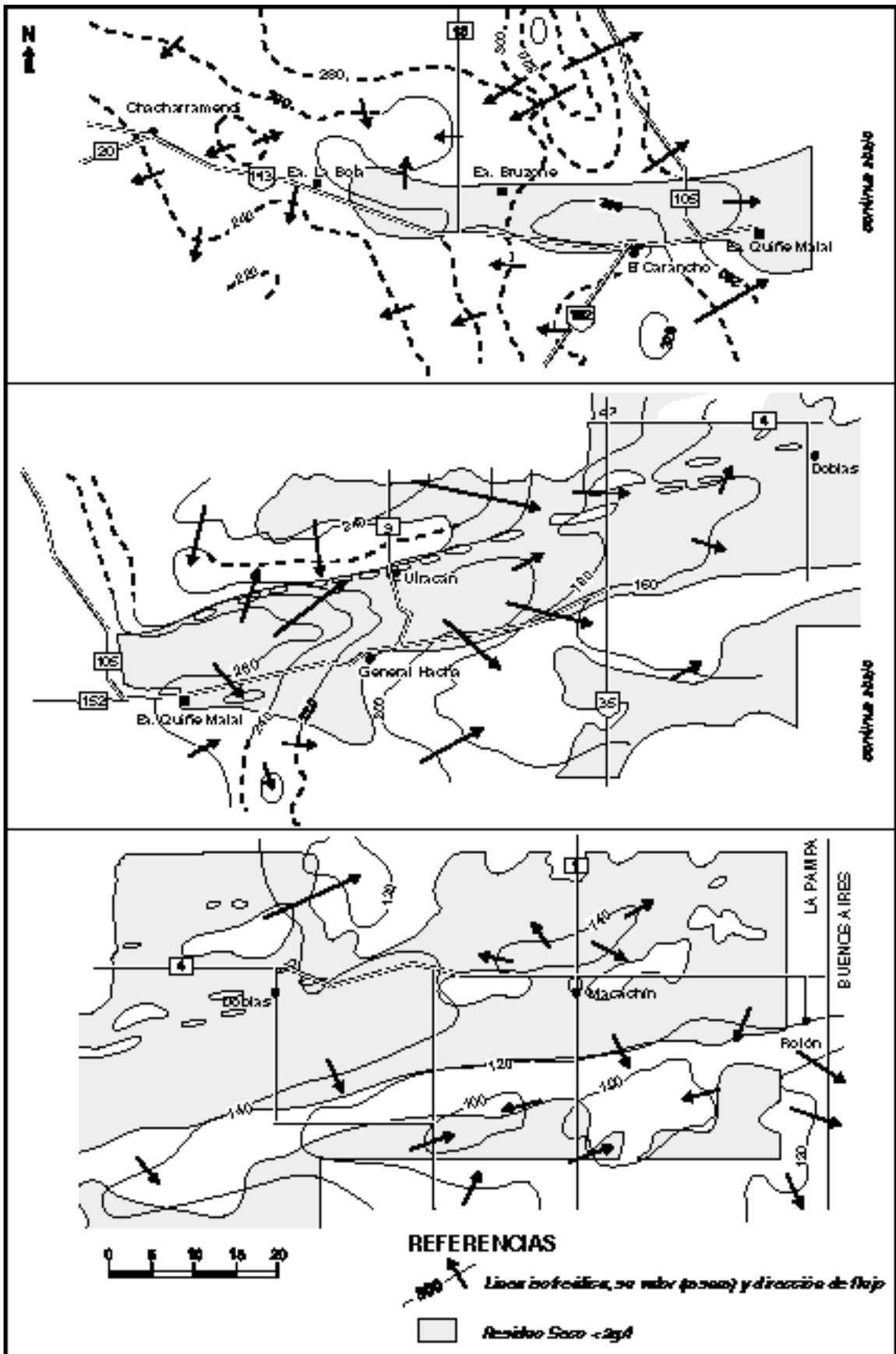


FIG. 3- ACUIFERO DE EL MEAUCO

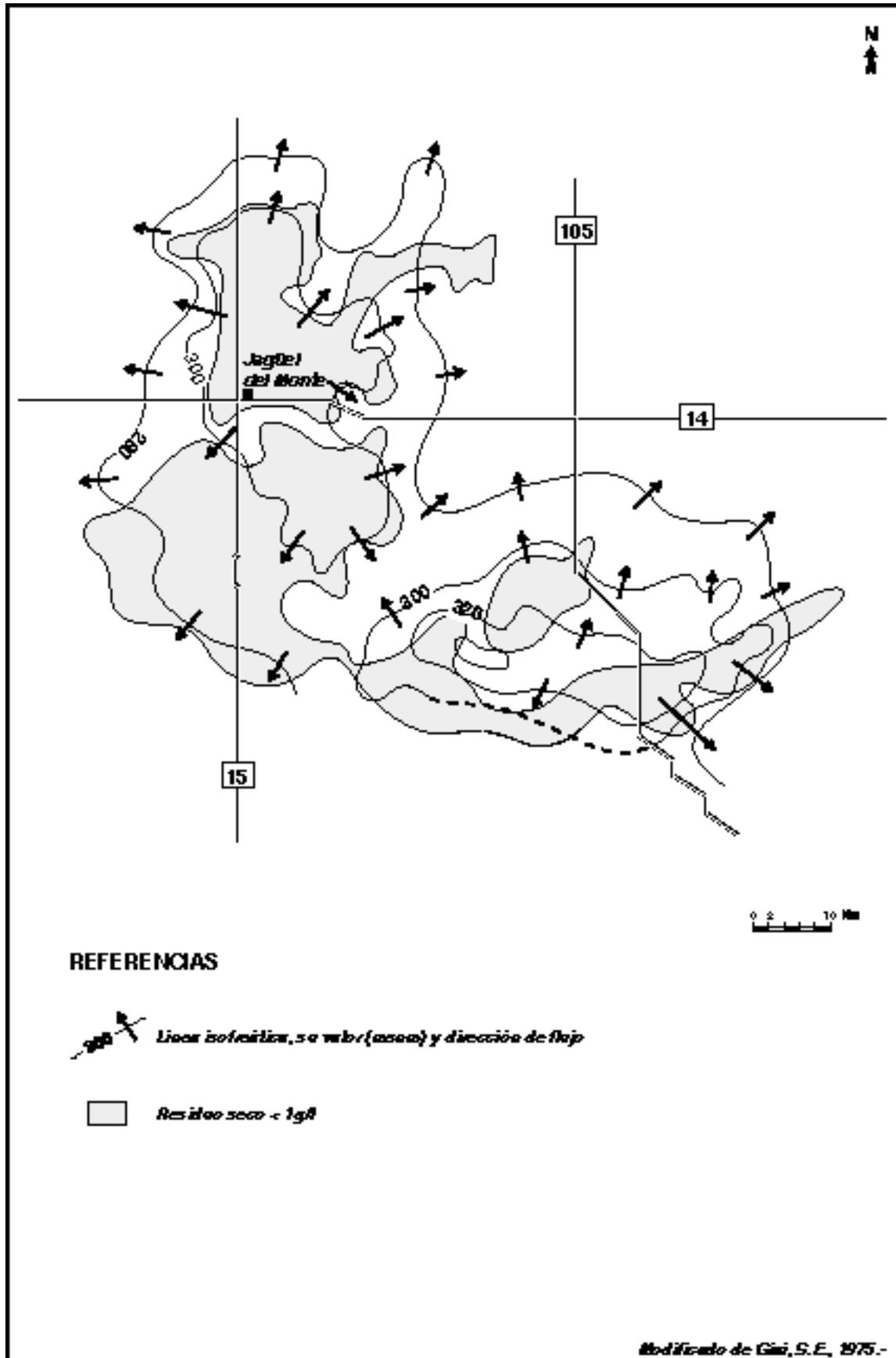


FIG. 4 - ACUIFERO TOAY - SANTA ROSA - ANGUIL - CATRILO

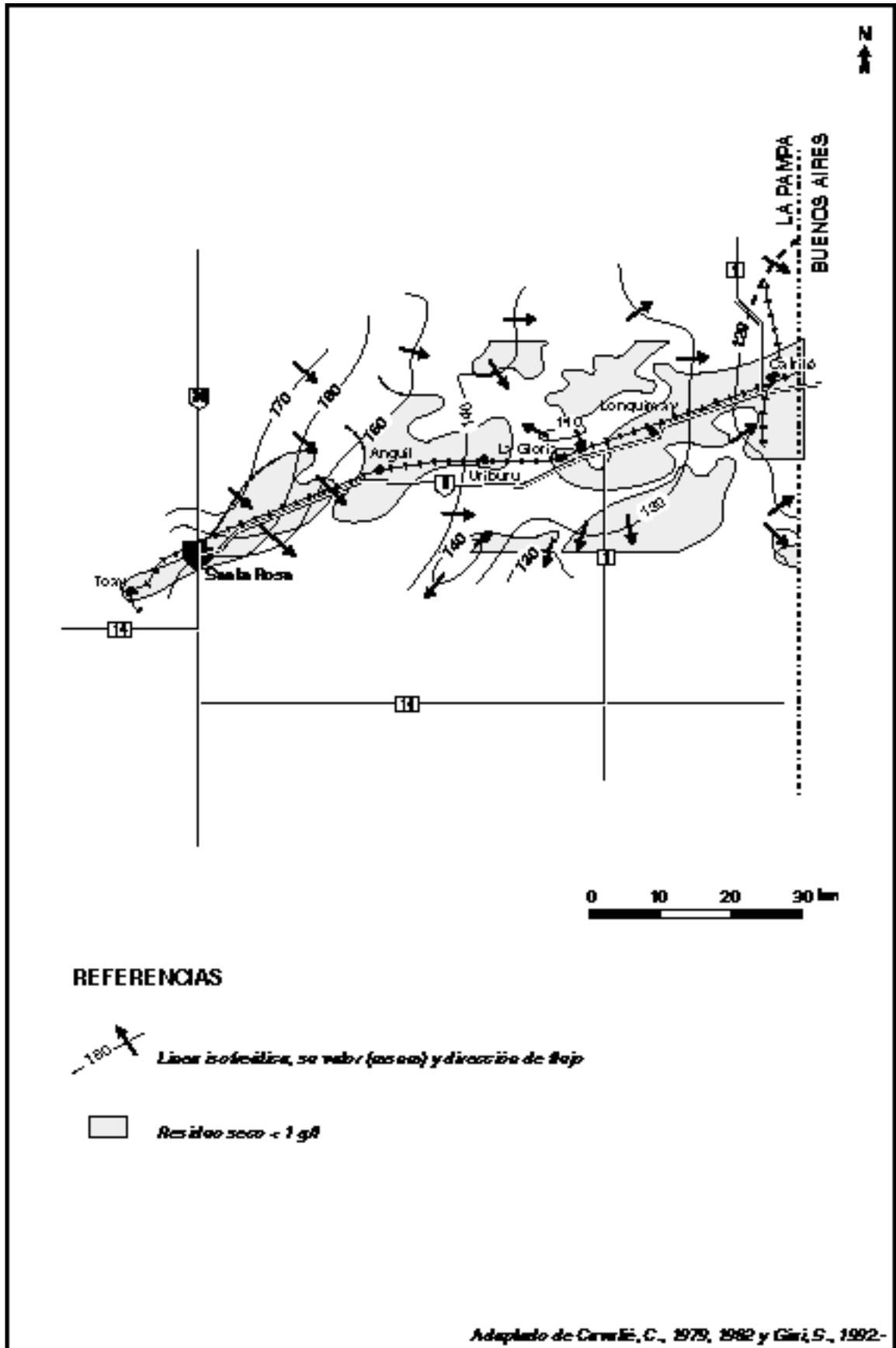
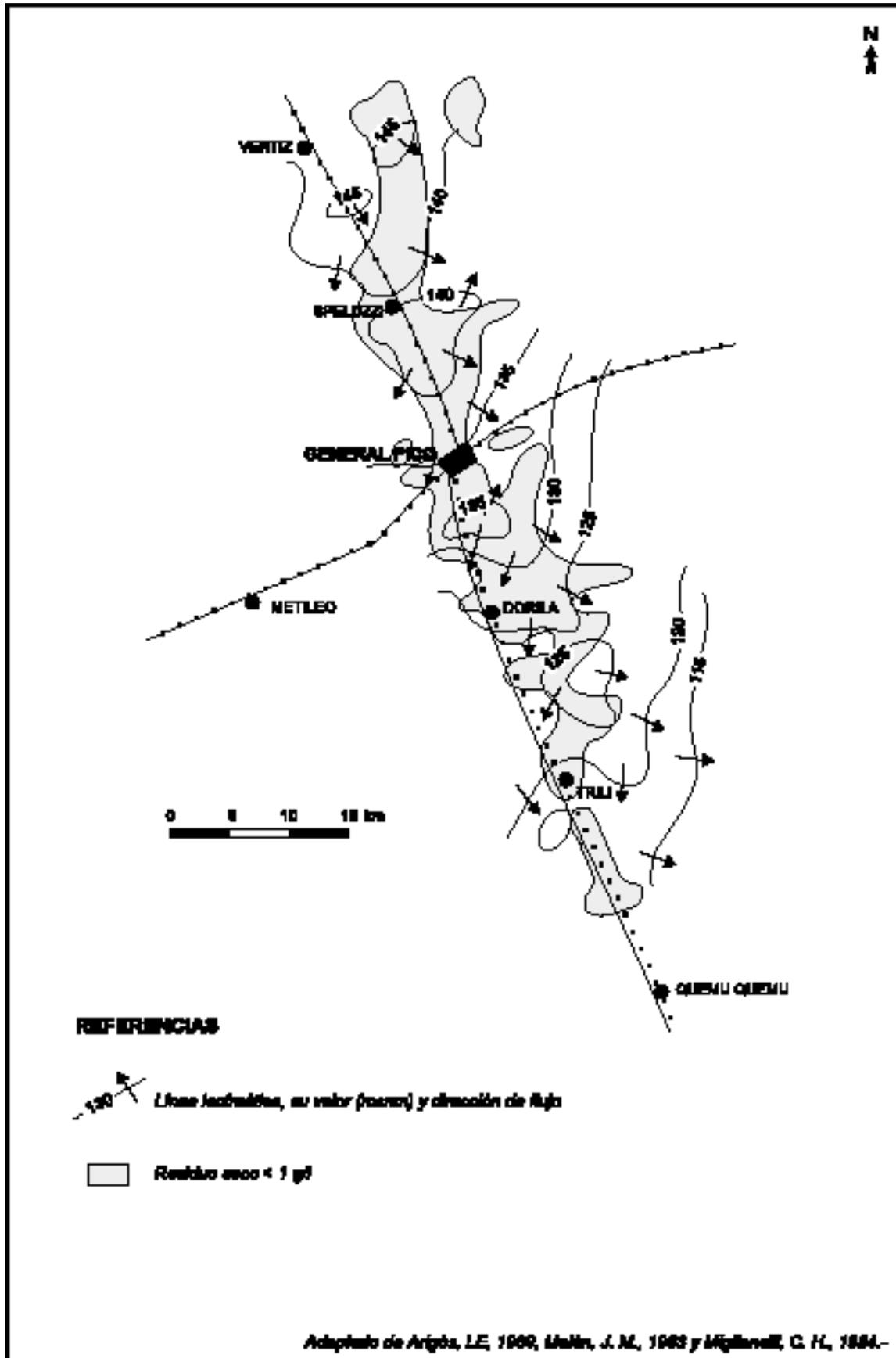


FIG. 5 - SPELUZZI - GENERAL PICO - DORILA - TRILI





Caracterización geotécnica de las Unidades Geoambientales del Espacio Geológico Urbano (EGU) del gran Salta, Salta, Argentina.

Marcuzzi J.J. ^{1,2} - Torrejon D. ² - Peralta C.M. ^{1,2} - N.J. Bejerman ³

¹ UNSa

² Dirección Provincial de Medio Ambiente y R.N. de Salta

³ Dirección de Vialidad de Córdoba

Alsina 975 4400, Salta, Argentina

Fecha de Aceptación: Setiembre de 1998

1. INTRODUCCION

Se analizan las características geotécnicas de las unidades geoambientales presentes en la subregión norte del Valle de Lerma, donde se sitúa la Ciudad de Salta (Figura 1). La misma con una población de aproximadamente 500.000 habitantes, es la capital de la provincia homónima ubicada en la Región NOA de la República Argentina. El Valle de Lerma es una consecuencia de la deformación tectónica a escala regional provocada por la interacción de la placa oceánica de Nazca y la placa continental Sudamericana, donde uno de los efectos de la subducción a escala regional fue la generación de diferentes unidades morfoestructurales: Puna, Cordillera Oriental, Sierras Subandinas y otras, con rasgos geológicos distintivos muy definidos (Figura 2). De estas, la unidad de Cordillera Oriental presenta la particularidad de concentrar un conjunto de depresiones tectónicas elongadas en sentido norte sur, una de las cuales es el graben del Valle de Lerma.

Entre los autores que trabajaron en el área se puede citar a Igarzábal et al., 1979 y Medina, 1981, quienes han reconocido diferentes unidades del relieve, sobre estas unidades Nadir et al., 1990 y 1995 realizaron estudios de clasificación pedológica de los suelos a nivel de serie. Por otro lado Gallardo et al. 1994a y 1994b ha tratado aspectos de la neotectónica y Gallardo E. (1997) identificó las formaciones del cuaternario. Los trabajos de referencia fueron tomados como base por Marcuzzi J.J. et al., 1991,

1992, 1993 y 1996 para clasificar las unidades del relieve desde el punto de vista geoambiental (Figura 3). En base a los estudios se ha observado que cada unidad posee un comportamiento particular desde el punto de vista geotécnico en relación con las obras de ingeniería que soportan, por este motivo en la presente contribución se realiza una clasificación de las unidades geoambientales y identificadas según su aptitud geotécnica.

La clasificación se sustenta en características geomecánicas, como la plasticidad, relación de vacíos, texturas y otras propiedades índices y aspectos ambientales asociados, estas se relacionan luego según su susceptibilidad para generar riesgos geológicos y se define un mapa de aptitud del medio analizado (Figura 4). Los resultados logrados sirven como base para orientar futuros trabajos de ordenamiento territorial y urbano, dada la notable correlación que existe entre ciertas patologías detectadas en obras de ingeniería, tanto en viviendas pequeñas de planta baja, edificios de altura y obras de infraestructura, además de la presencia de fenómenos de riesgos geológicos asociados como: arcillas expansivas, licuefacción de suelos, ascenso o descenso del nivel freático y asentamientos entre otros, (Figuras 5 y 6).

2. UNIDADES DEL RELIEVE

La interacción de la tectónica de placas (Figura 2) ha dado como resultado la generación de un relieve complejo

en el que de acuerdo con Zinck, 1995; se pueden reconocer diferentes categorías de geoformas. El rango de orden mayor es la geoestructura, cuya magnitud es de nivel regional y hace alusión a una porción amplia del relieve, distinguible a nivel continental por ser una megaestructura geológica, en este caso dentro de las unidades que integran esta porción del continente según se muestra la Figura 2, nos interesa la Unidad Morfoestructural de Cordillera Oriental. Esta macrounidad del relieve contiene diferentes medios biofísicos y junto con el clima definen el ambiente morfogenético responsable del modelado o estilo propio de la unidad. Es decir que el relieve resultante es controlado por procesos combinados resultantes de la geodinámica interna y externa. Por otro lado los procesos involucrados dan lugar a un conjunto de rasgos distintivos del relieve, que pueden ser de tipo estructural (serranías y valles), erosivos (lomas, filos, terrazas), deposicionales (relleno de valle, terrazas, conos aluviales) y residuales (Lomas de Medeiros).

Un análisis del área de estudio a una escala espacial más reducida, permite confirmar que el paisaje geológico dominante (Landscape) es un graben tectónico cuya evolución y modelado corresponde a un valle fluvial, en el que se distinguen diferentes unidades del relieve (Relief/molding) producto de la combinación entre factores estructurales, geología y topografía, donde el modelado resultante de procesos morfogenéticos derivados de un ambiente con condiciones morfoclimáticas propias. Así en el valle tenemos modelados periféricos de tipo estructural como las serranías de Mojotoro, Lesser y Vaqueros, otros internos caso de las lomas de Medeiros y el Cerro San Miguel. Los primeros delimitan las divisorias de aguas entre cuencas adyacentes. Dentro del valle en el sector norte (Figura 1), por efectos de la neotectónica se produce una diferencia topográfica positiva que actúa como divisoria de aguas de la cuenca del Valle de Lerma, así la escorrentía superficial del extremo norte drena hacia la cuenca del Bermejo y la del sur a la cuenca del Juramento.

Siguiendo con el análisis del relieve del valle, se distinguen otros elementos del paisaje (Landscape) que resultan de la combinación entre topografía, estructura geológica y procesos morfogenéticos específicos, que definen la presencia de un conjunto de relieves secundarios. Es necesario destacar que en este aspecto juegan un papel muy importante las diferencias altimétricas de las serranías que circundan el valle, siendo más altas las occidentales (Sra. de Lesser) que las del sector oriental (Sra. de Mojotoro). Estas diferencias del relieve tienen incidencia en las variaciones texturales y de la composición mineralógica de los sedimentos que conforman el pie de monte de ambas laderas. Las diferencias altimétricas inciden en las condiciones morfoclimáticas dominantes en cada flanco del valle y por lo tanto en la madurez y composición de los sedimentos, es decir textura y mineralogía, además de la influencia que tiene la litología de las fuentes de aporte. Entre las condiciones morfoclimáticas que controlan la evolución de los sedimentos, juega un papel importante la mayor humedad que po-

see el sector occidental por la barrera orográfica que conforman las mayores alturas conteniendo a los vientos húmedos del este y provocando mayores precipitaciones.

Dentro de las categorías menores (*Relief/Molding*), tenemos diferentes formas de acumulación y erosión, resultado de los aportes de sedimentos en sentido longitudinal o lateral al eje del valle, además de aspectos relacionados con la propia evolución geológica. Así se puede mencionar la presencia de paleocauces, terrazas fluviales, actualmente poco distinguibles por los procesos de urbanización o erosión; otras formas corresponden a las redes de drenajes naturales del EGU que actualmente se presentan cortadas por la urbanización. Un ejemplo importante de este problema es el drenaje del sector noreste de la ciudad (Chachapoyas, Figura 1), que actualmente concentra la escorrentía del pie de monte de la Sra. de Mojotoro durante las lluvias estivales sobre un antiguo drenaje que hoy pertenece a una calle principal.

Por otro lado se debe destacar la importancia de los ríos Arias y Arenales (Figura 2), cuyo trabajo erosivo y deposicional es normal al eje longitudinal del Valle, donde las características texturales y de yacencia de los sedimentos dependen de la competencia del río, por esto hacia el sur y sudeste de la ciudad estos cursos confluyen y poseen menor energía de transporte por lo que domina la presencia de suelos limosos, arenosos o arcillosos de colores grises. El área de distribución aproximada de este tipo de suelos puede tomarse desde la parte media inferior de la ciudad hacia el sur, en la parte norte del mismo dominan suelos arcillosos castaños rojizos de diferente génesis. Las Lomas de Medeiros, serían el relieve residual de un antiguo cono aluvial (*Medina, 1981*), entre estas y la Sra. de Mojotoro existe una antigua planicie aluvial, hoy correspondiente al fondo del valle donde se asienta la ciudad de Salta, con los suelos antes descritos.

La presencia de relieves estructurales (*Relief/Molding*), caso de fallas o escarpes de falla asociados son distinguibles en la Sra. de Vaqueros, Lomas de Medeiros, C° San Bernardo, además de los trazos rectilíneos de los cauces de los ríos Arias y Arenales, Vaqueros y Wierna y Mojotoro (Figura 2), que evidencian un control estructural. Como ejemplos de relieves de erosión se pueden mencionar un conjunto de microcuencas existentes en la Sras. de Lesser, también existen formas deposicionales como terrazas, pequeños conos aluviales y otras geoformas. Es importante destacar el aporte al modelado del valle que realizó el Río Toro, dando lugar a la formación de un amplio cono aluvial cuyo ápice está en la localidad de Quijano y se extiende por todo el valle, donde es posible distinguir una diferencia importante en las texturas y composición de los sedimentos aportados y que rellenan el piso del valle.

Algunos investigadores sostienen que durante la evolución del Valle de Lerma se formaron lagunas que dieron lugar depósitos lacustres (*Malamud et al, 1996; Gallardo, E. 1997*) y palustres (*Calvo A., 1997*), cuyos depósitos afloran actualmente en el piso del valle y dan lugar a diferen-

tes tipos de suelos, que como ya se explicó antes pueden diferenciarse en dos grupos, uno corresponde a las arcillas rojas, más antiguas, y otro a arcillas grises violáceas más modernas (Marcuzzi, J.J. 1992).

En cuanto las características litológicas de los relieves positivos, se puede decir que están conformados por rocas duras (cuarcitas, areniscas, ortocuarcitas y otras) especialmente en las serranías marginales del valle y por rocas blandas (pelitas, fangolitas y otras) en los piedemontes y piso del valle. Las texturas de las rocas blandas varían según un conjunto de parámetros evolutivos que han definido un predominio de fracciones gruesas en el sector occidental y parte del área de influencia del río Vaqueros, que luego disminuye hacia el este y dan lugar al dominio de sectores de limos y arcillas. En el sector norte dominan arcillas castañas rojiza, pero en profundidad hay gravas, con matriz arcillosa o arenosa y cemento de CO_3Ca .

3. OBJETIVOS Y METODOLOGIA DEL TRABAJO

De acuerdo al análisis del relieve realizado, el espacio geológico urbano (EGU) de la ciudad de Salta queda comprendido dentro del entorno fisiográfico que se observa en la Figura 2, que también incluye a los municipios de Vaqueros, San Lorenzo y Cerrillos. Esta situación genera un complejo patrón de crecimiento urbano cuya interacción con el medio natural da lugar a diversos problemas, como la alteración de los drenajes naturales, inundabilidad, erosión de suelos, anomalías en la recarga natural de acuíferos y otras situaciones. Los conflictos entre el medio natural y urbano, se expresan mediante la generación de riesgos geológicos y ambientales, de tipo natural, antrópicos y mixtos; donde la intensidad de los mismos está relacionada con las propiedades geotécnicas de los materiales presentes.

En este trabajo, de acuerdo a las características geológicas y propiedades geotécnicas de las unidades del relieve, se define una zonación del territorio que puede permitir el aprovechamiento racional del mismo mediante la planificación y ordenamiento de su ocupación. Es decir, se emplea el criterio de Meijerink (1988), que sostiene que la geomorfología aporta criterios básicos para la zonificación territorial identificando unidades del relieve, complementada luego por otros factores como génesis, litología, suelos, procesos, riesgos, acciones antrópicas, clima y otros.

Para la caracterización geotécnica de las unidades fisiográficas del EGU, se considera la síntesis de la interacción entre estructura, litología y los procesos de la geodinámica externa, especialmente los efectos del clima que definen las geoformas del relieve y los suelos asociados, aunque todavía no existe un sistema universalmente aceptado para la clasificación geotécnica de unidades del relieve y del territorio. No obstante la metodología mencionada permite distinguir en forma rápida sobre mapas geológicos o fotografías aéreas unidades del relieve, cuya aptitud geotécnica se realiza luego mediante trabajos de campo y ensayos básicos de

laboratorio. Cabe destacar que la sismicidad, por su recurrencia, es uno de los factores con mayores probabilidades de disparar fenómenos de riesgo en la comarca, otro es el accionar antrópico. Partiendo de estas premisas básicas apoyadas en la geomorfología y de un análisis del medio geológico complementado con parámetros geotécnicos, se elabora el mapa de aptitud de las unidades geoambientales (Figura 4). Este primer intento de sistematización del territorio es la base para un futuro estudio de mayor detalle, que pueda luego ser incorporado a los planes directores y códigos de edificación municipales para una urbanización racional.

4. MARCO GEOLOGICO DE LAS UNIDADES DEL RELIEVE

4.1. Basamento

(Precámbrico-Cámbrico Inferior)

Conformado por el Grupo Lerma (Salfity et al, 1975; Baldis y Omarini, 1984), está constituido por pelitas de colores claros y turbiditas arenoso-pelíticas de la Formación Puncoviscana (Turner, 1960), presentan un débil metamorfismo, apretado plegamiento y un intenso diaclasamiento, atravesados por venas de cuarzo lechoso de espesor variable. Constituyen gran parte de los núcleos de las serranías que circundan el Valle de Lerma, caso de la Sra. de Mojotoro y Sra. de Lesser. La tectónica ha jugado un papel muy importante en la fracturación y diaclasamiento de estas unidades.

4.2. Grupo Mesón

(Cámbrico Superior)

Fue reconocido en la sierra de Mojotoro y en la Sra. de Lesser, está conformado por rocas de facies de ortoconglomerados mediano a finos, con matriz de cuarcítica y predominio de clastos redondeados de cuarzo lechoso como esqueleto, le siguen cuarcitas de color rosado a morado con estratificación gruesa, también existen facies de areniscas y pelitas con estratificación mediana y luego continúan nuevamente las cuarcitas. Se presenta menos fracturado y diaclasado que la unidad anterior.

4.3. Grupo Santa Victoria

(Cámbrico Superior-Ordovicio Superior)

En la región de estudio fue definido como equivalente la Formación Mojotoro, presenta una extensa distribución en sentido meridiano y domina las serranías del este, donde se reconocen cuarcitas, areniscas y lutitas; también se presenta en la Sierra de Mojotoro, Sra. de Lesser y Cerro San Miguel. Están muy diaclasados y con pátinas de hierro.

4.4. Grupo Salta

(Cretácico-Eoceno)

Conformados por los Subgrupos Pírgua, Balbuena y Santa Bárbara afloran conglomerados, areniscas y fangoli-

tas, areniscas, areniscas calcáreas, calizas, arcilitas y limoarcilitas, pero en la comarca de estudio solamente afloran en el C° San Miguel como calizas iniciándose la secuencia con un potente fanglomerado con cuarcitas ordovícicas que subyacen a la Formación Yacoraite, calizas, que son los afloramientos más conspicuos.

4.5. Grupo Orán (Neógeno)

Está integrado por los Subgrupos Metán y Jujuy, pero en la comarca de estudio la Formación Piquete correspondiente al Subgrupo Jujuy es la más representativa arealmente. Su litología está representada por conglomerados gruesos con matriz arenosa, se observan en la Sra. de Vaqueros y Lesser en menor proporción.

4.6. Cuaternario

El Cuaternario temprano (*Gallardo E, et al, 1997*), está constituido por material clástico poco consolidado, distribuido irregularmente en todo el Valle de Lerma, incluye facies fluviales, lacustres y palustres, con granometría gravo-arenosa y arcillas con fangos. La Formación Calvimonte, la más antigua, aflora en la localidad de campo Quijano y posiblemente se hundiría hacia el centro del valle o sería tapada por otros sedimentos, está constituida por conglomerados y areniscas, además de ocasionales intercalaciones de pelitas aluviales. Luego sigue la Formación Tajamar conformada por limolitas y arcilitas castañas claras, amarillentas y rojizas de origen lacustre. Finalmente la Formación La Viña está conformada por una litología heterogénea con gravas mal y bien seleccionadas, arenas con arcillas, fangos arenosos y otras, que se les atribuye a un origen fluvial de depósitos entrelazados, con facies de canales, barras y planicies de inundación.

Como Cuaternario tardío (*Gallardo E, et al, 1997*), se designa a los depósitos heocénicos o recientes, que conforman unidades del relieve como terrazas modernas, depósitos de pie de monte, llanuras y lechos de cursos actuales que descienden de las serranías circundantes y constituyen el relleno moderno del valle de Lerma. A esta edad se asignan los depósitos de arcillas y limos grises que afloran al sur de la ciudad de Salta, expuestas en las terrazas del río Arenales hasta un poco al norte de Ceibalito, existen interdigitaciones con facies aluviales gruesas.

5. UNIDADES GEOAMBIENTALES

El Valle de Lerma es la unidad de relieve mayor y corresponde a un graben elongado en sentido norte-sur perteneciente a la unidad morfoestructural (Terrain Province) y morfoclimática de Cordillera Oriental, este contiene diferentes unidades menores (Land System), como el vigoroso relieve de las serranías del oeste, que se diferencia notablemente de las sierras del este que presentan bajas alturas. Este aspecto determina un conjunto de microclimas, que influyen en la distribución de la vegetación (Figura 2).

El sistema morfodinámico a su vez, está conformado por unidades geomorfológicas menores (Land Facet), caso de conos aluviales, pie de monte, rellenos de valle y otros.

Las variaciones y génesis del relieve mencionadas, como se expresó son consecuencia de la interacción de la tectónica de placas de borde activo con fenómenos de subducción. Esto confirma que las características geológicas del medio estudiado que luego influyen sobre el entorno físico, por ejemplo relieve, clima, suelos, sismicidad, neotectónica y otros, son una consecuencia a menor escala de los fenómenos de macroescala que tienen lugar en la corteza terrestre. Retomando la escala de estudio acorde a la geología urbana, se distinguen las siguientes unidades geoambientales (Figura 3), en estrecha conexión con el relieve existente.

5.1. Serranía de Mojotoro

Esta unidad determina el límite oriental del Valle de Lerma y corresponde a un plegamiento asimétrico resultante de esfuerzos tectónicos a escala regional. Las evidencias morfológicas indican que la edad de este cordón desde el punto de vista geológico sería reciente. Lo componen rocas sedimentarias ordovícicas marinas diagenizadas (lutitas, areniscas, ortocuarcitas) con inclinación hacia el Oeste, en sentido de la pendiente topográfica, constituyendo la ladera occidental hacia donde se expande también la ciudad.

Las laderas presentan una red de drenaje de importante desarrollo local que concentra las precipitaciones pluviales hacia el sector urbano. La urbanización en el tiempo fue ocupando cotas más elevadas. La vegetación es arbórea, sobre un suelo incipiente de tipo litosólico (*Nadir y Chafatinos, 1990*) que se encuentran muy degradados por acción antrópica.

5.2. Pie de Monte Serranía de Mojotoro

El pie de monte presenta sedimentos coluviales gravitacionales, y en ciertos casos se evidencia la acción de corrientes de agua que transportan elementos tabulares dándoles una imbricación en sentido de la misma. El espesor de los sedimentos aumenta hacia la parte inferior de la ladera y presenta componentes gruesos intercalados que pueden ser evidencias de flujos por movimientos sísmicos, precipitaciones intensas u otros factores disparadores. Otros rasgos morfológicos presentes, son conos de deyección escalonados, indicadores de la juventud de este elemento orográfico. Las pendientes topográficas varían entre 25°-30° hasta cerca de 40° acompañando, como se expresó antes, a la inclinación de los estratos que en ciertas situaciones supera los 60°.

5.3. Sierra de Vaqueros

Ubicada al norte de la ciudad de Salta es un anticlinal cerrado, con hundimiento de su eje hacia el sur y norte, formada por material conglomerádico y bancos arenosos de edad terciaria. En ambos flancos la inclinación de los estratos acompañan la pendiente topográfica cuyo promedio se

estima entre 25°-30°. En el sector oriental se presenta un depósito con importante desarrollo areal y espesores, cuyos sedimentos son de edad cuaternaria (*Ruiz Huidobro, 1968*) y sobre los cuales se asienta la población de Vaqueros.

El límite sur de la unidad es el río Vaqueros, cuyo cauce casi recto y la presencia de escarpas verticales en la serranía evidencia un control por fallas. El relieve por la composición sedimentaria de los estratos, con bajo grado de diagénesis y la acción del tectonismo, clima y otros factores, es irregular con una red de drenaje, en principio dendrítica caprichosa típica de terrenos modernos poco consolidados. Los suelos también son de escaso desarrollo, con vegetación más abundante que en la Sierra de Mojotoro, que muestra signos de una intensa depredación.

5.4. Pié de Monte Sierra de Vaqueros

Está conformado por sedimentos similares a los de la unidad anterior, donde predomina las fracciones gruesas y de tipo policmítico, muy disectadas por la erosión consecuencia de la antropización que está sufriendo el medio.

5.5. Serranía de Lesser

Estructuralmente es un anticlinal volcado hacia el este, con rumbo meridiano, en el que se pueden distinguir dos unidades sedimentarias, una occidental con las mayores alturas del área formada por rocas paleozoicas y otra oriental compuesta por sedimentos modernos blandos, que se disponen a lo largo del valle del río San Lorenzo, donde se asienta la villa homónima. El relieve de esta unidad sobresale por su vigorosidad respecto al resto de las unidades de la comarca, con pendientes muy elevadas que posiblemente superen en ciertos casos los 45°.

Sobre la unidad de rocas blandas, surcada por numerosos cauces de arroyos y vertientes naturales, se asienta principalmente la urbanización. Debido a la alta precipitación que se registra, como consecuencia de la barrera orográfica que representa la serranía a los vientos húmedos provenientes del este, la vegetación es muy densa. La precipitación también da lugar a numerosos manantiales que afloran en la zona baja del valle, por las infiltraciones en los materiales permeables de la parte superior de la serranía. Dadas las condiciones climáticas y litológicas expuestas, se observa un mejor desarrollo en los suelos, no obstante este no pasa de ser incipiente.

Los rasgos erosivos son muy evidentes y numerosos, por las mismas causas mencionadas a las que puede agregarse posiblemente la presencia de fallas activas, que ponen de manifiesto un relieve muy quebrado e irregular sometido a una intensa erosión, facilitados por el accionar del hombre.

5.6. Pie de Monte Serranía de Lesser

La unidad está conformada por depósitos sedimentarios arcillosos y en parte conglomerádicos, erosionados

por profundas cárcavas causadas por la antropización. Una unidad asociada destacable es el valle del Río San Lorenzo, conformada por depósitos de cauce del río homónimo y de la vertiente occidental de las Lomas de Medeiros. Predominan materiales de tipo coluvial no seleccionados de morfología angulosa y fluviales con cierta selección y mayor redondeamiento.

5.7. Lomas de Medeiros

Son depósitos sedimentarios formados por materiales gruesos de tipo conglomerádico a los que se imponen materiales arcillosos de mediana y alta plasticidad, con variaciones arenosas y limosas. Presentan una pendiente general NorteSur, con las mayores alturas en el sector norte, que limitan el ambiente del cauce del río Vaqueros y decrece hacia el sur desapareciendo como expresión del relieve en las adyacencias del río Arias. Constituye una unidad de separación entre el valle del río San Lorenzo y la parte baja donde está la ciudad de Salta.

Internamente en la unidad se distinguen otros relieves menores, posible consecuencia de la neotectónica cuaternaria. Presenta suelos poco desarrollados y escarpas de erosión en ambos flancos, la vegetación es de tipo herbácea con pequeños bosques de ejemplares de madera dura en las depresiones formadas por el drenaje. La ausencia de una buena cobertura vegetal en suelos de textura arcillosa e importante índice de actividad, producen retracciones y agrietamientos durante la estación seca, contribuyen a que se manifieste una agresiva erosión generando cárcavas de considerable magnitud. También está sometida a una intensa antropización.

5.8. Cono Aterrazado Lomas de Medeiros

A esta unidad se le atribuye un origen fluvial (*Ruiz Huidobro, 1968*), siendo indicativa de una condición particular de sedimentación y evolución, de acuerdo con lo que se puede observar en las imágenes satelitales. Se destacan varios niveles de terrazas consecuencia de una migración del cauce del río Vaqueros hacia el norte. Predominan las texturas arcillosas y en profundidad las gravas que se asientan en discordancia sobre formaciones terciarias. En superficie se observan bloques aislados.

5.9. Zona Urbanizada

Corresponde a una extendida faja desde el río Vaqueros hasta el río Arenales hacia el sur, entre la Serranía de Mojotoro y las lomas de Medeiros, edificada sobre diferentes unidades de suelos con características físicas distintivas tanto en superficie como en el subsuelo (*Maruzzi, 1994*). Los suelos del borde septentrional tienen una marcada influencia fluvial con materiales gruesos y relieve algo ondulado, en la parte intermedia se observan sedimentos de tipo arcillosos rojizos en superficie y

luego gravas. La parte sur presenta depósitos finos arenolimoarcillosos de mayor espesor y colores grises.

5.10. Area de Expansión Urbana

Esta unidad se toma en sentido general, para designar el área situada al sur de los ríos Arenales y Arias, caracterizada por un relieve bastante plano, elaborado por procesos propios de la dinámica fluvial. El curso de los ríos ha sufrido cambios naturales o debidos al hombre y sobre la unidad se asientan numerosos grupos urbanos. Esta área que se expande hacia el sudeste y sudoeste, constituye el sector espacial donde se concentra el crecimiento obligado de la ciudad.

Desde el punto de vista geotécnico, contrasta con la relativa uniformidad del relieve, la unidad presenta variabilidad en sus aptitudes geotécnicas para la urbanización, por cambios texturales de los suelos, consecuencia de su génesis. Donde la continúa migración de los dos ríos y los procesos de sedimentación han dado lugar a diferentes tipos de depósitos por sectores. La unidad puede ser dividida en subunidades menores por sus condiciones geológicas y geotécnicas.

5.11. Cerro San Miguel

Esta unidad se ubica al sur de la ciudad. Es un anticlinal asimétrico hundido hacia el sur, con características estructurales similares a la Serranía de Vaqueros, no así en su composición litológica, donde predominan rocas antiguas consolidadas que transmiten una relativa estabilidad al relieve. En sus inmediaciones se emplaza el pueblo de Cerrillos, hoy casi unido con los asentamientos de expansión urbana del sur de Salta. Esta unidad posee una continúa actividad de explotación de canteras de calizas.

5.12. Areas de Ambiente Fluvial

Bajo esta denominación se agrupa a las unidades que conforman la planicie de inundación y cauce activo de las principales corrientes fluviales existentes en la comarca. Se pueden distinguir tres unidades fluviales o microcuencas diferentes con características evolutivas y sedimentarias propias, que implican distintas respuestas al impacto del avance urbano. En el Norte está la microcuenca del río Wierna, al centro y centro oeste la microcuenca de los ríos Lesser-Vaqueros y al oeste y sudoeste la de los ríos San Lorenzo-Arenales.

5.13. Cono Río Toro

Corresponde a un cono aluvial formado por el Río Toro, presenta un relieve ondulado con variaciones texturales producto de las posibles migraciones del cauce del río al ingresar al Valle de Lerma. Las texturas en general son gruesas del rango de las gravas con variaciones faciales laterales a limos, arenas y arcillas, además de variaciones en la morfoscopía de los rodados

6. CARACTERÍSTICAS GEOTECNICAS DE LAS UNIDADES

Se realiza de manera concisa una descripción de las características geotécnicas de los materiales que componen las unidades geoambientales, en base a algunas propiedades índices, relacionadas a su vez con las características geológicas de la roca o sedimento. De este análisis surgen restricciones y aptitudes de uso para diferentes objetivos que exige el crecimiento urbano. Además las características geotécnicas de las unidades geoambientales permiten identificar potenciales conflictos ambientales y riesgos, producto de la interacción del medio físico y biótico, o por acción del hombre, entre unidades diferentes, ambientalmente estos problemas se conocen como conflictos de interfases.

6.1. Area Urbana

La variabilidad de suelos define con las unidades vecinas especialmente un conjunto de interfases con diferentes grados de complejidad. No obstante se pueden diferenciar dos sectores de suelos bien definidos. Hacia el norte donde dominan suelos arcillosos cohesivos, con límites de plasticidad medios a altos, relación de vacíos en función de su historia geológica y texturas con mayores o menores porcentajes de limos. Las densidades relativas indican buena consolidación del sedimento por algún proceso natural, posiblemente debidos a ciclos de humectación y desecación de las antiguas lagunas, o presencia de sobrecargas en el pasado. No obstante poseer buena capacidad portante, la alta plasticidad resultante del predominio de la fracción arcilla implican también un alto grado de compresibilidad

En la parte sur dominan arcillas, limos y arenas de colores grises. Las arcillas si bien poseen alta plasticidad, suelos del tipo CH, su distribución es restringida, siendo común encontrar mezclas de texturas que dan origen a suelos CL-ML, SM-CL, o similares. La diversidad de grupos de suelos posiblemente sea producto de la presencia de diferentes facies e interdigitaciones sedimentarias, como consecuencia de la dinámica fluvial que soportó esta parte del área urbana. Por lo expuesto es común encontrar una gran diversidad de suelos que varían desde el dominio total de suelos granulares, gravas bien gradadas tipo GW, hasta GP, arenas SW, hasta limos y arcillas con todos los rangos de mezcla intermedios. La heterogeneidad de los suelos en cuanto a sus variaciones laterales es notable y los cambios se suceden en distancias cortas, en ciertos casos en menos de un metro.

En ciertos lugares la freática juega un papel crítico importante al saturar arenas y limos, que luego potencian problemas de licuefacción. Hacia el norte y sur, es común la presencia de gravas que subyacen a arcillas superficiales y dominan en las zonas de interfases adyacentes a los cursos fluviales actuales. En general varían de depósitos de gravas muy compactas a otros de menor compacidad, pero en general son suelos de buena capacidad portante. Una situación especial de esta unidad es el riesgo geológico que

se manifiesta en la interfase que define la confluencia de los ríos Vaqueros y Wierna, cuyo cauce está sobreelevado respecto a la cota de la ciudad e implica la potencialidad de una inundación catastrófica.

6.2. Cono Río Toro y Area de Expansión Urbana

Presenta suelos con características geotécnicas similares a los descriptos para el sector sur de la ciudad de Salta. Es decir existe una gran variabilidad en sentido longitudinal y transversal al valle como consecuencia de la dinámica fluvial. En la parte oriental hay un gran dominio de suelos limosos poco compactos con baja capacidad portante, además de la presencia del nivel freático a baja profundidad, que los satura y genera fenómenos de licuefacción, inclusive por la acción de vibraciones de baja intensidad en obras sencillas, caso de zanjas de poca profundidad para redes de agua o cloacas. Los suelos en general son del tipo ML, ML-CL, ML-SM y similares. Las densidades aparentes no superan los $1,4 \text{ kg/m}^3$ en seco y la compacidad varía en función de la humedad desde suelos con alto número de golpes en los ensayos de penetración a otros de que no superan los 3 o 4 golpes.

6.3. Serranía de Mojotoro y Piedemonte Sra. de Mojotoro

La serranía se caracteriza por afloramientos de rocas duras ya descritas en el apartado de geología, geotécnicamente existen sectores estables (bancos de cuarcitas y areniscas) y otros de menor estabilidad como los afloramientos de lutitas muy fracturados, donde los RQD tienen una recuperación inferiores al 40%. Además del agravante que los buzamientos son solidarios con las pendientes.

El pie de monte está conformado por una mezcla de suelos arcillosos castaños a castaños rojizos según la proporción de óxidos de hierro y clastos angulosos provenientes de la destrucción de los bancos. Las arcillas varían entre CL y CL-ML. La freática tiene gran injerencia en el comportamiento de los suelos especialmente en el verano por percolación entre diaclasas o sectores de materiales más gruesos. Esta unidad presenta varios conflictos. Uno se relaciona con la urbanización y estabilidad de las laderas, dadas las características geológicas y pendiente topográfica, asociado con el desequilibrio de la red de drenaje natural causado por la urbanización. Otro, es el incremento de la erosión de suelos por efectos de la deforestación y explotación de los horizontes orgánicos (Aoo).

6.4. Lomas de Medeiros y Cono Aterrazado

Los suelos dominantes son similares a los descriptos en el sector norte de la zona urbana, (apartado 6.1.), es decir arcillas castañas de mediana a alta plasticidad, con índices de sobreconsolidación en los ensayos edométricos, pero con altos valores de relación de vacíos que im-

plican en algunos casos se presenten asentamientos de importante magnitud, además de problemas de expansividad y contracción de suelos por variaciones de la humedad natural, dado el dominio de la fracción arcilla en la textura. Este fenómeno afecta gran proporción de construcciones de planta baja y hasta de dos pisos. En algunos puntos, a escasa profundidad yacen gravas con matriz arcillosa, o arenosa, donde se pueden observar la influencia de la neotectónica (Marcuzzi, 1994).

Los conflictos y riesgos en las interfases son similares al anterior, pero con una mayor potencialidad de la erosión de suelos mediante cárcavas, además de deslizamientos, efectos de neotectónica y la existencia de suelos expansivos. Es conveniente limitar la urbanización de este sector y mantenerlo como reserva ecológica o espacios verdes del conjunto paisajístico del futuro Gran Salta.

6.5. Sra. de Vaqueros y Piedemonte Sra. de Vaqueros

El material que conforma el piedemonte deriva de la destrucción de las formaciones terciarias de la sierra y de sedimentos retrabajados, como se explicó en la descripción geológica de esta unidad. Los suelos con tendencia dominante son gravas del tipo GS, GP; GW-GS, GP-GS y similares, de buena compacidad y tensiones admisibles mayores a los 4 kg/cm^2 . Es importante destacar que se presentan intercalaciones de bancos de arena y otros de gravas arenosas, que si bien definen taludes estables, por problemas antrópicos asociados en las estaciones lluviosas producen deslizamientos importantes. Por esto las interfases entre la unidad y el urbanismo es crítica dado la inestabilidad que genera este fenómeno además de la deforestación. En esta unidad existen problemas graves de erosión, alteración de los drenajes naturales, deforestación y altas probabilidades de deslizamientos de laderas.

6.6. Serranía de Lesser y Piedemonte Sra. de Lesser

En esta unidad orográfica son dominantes las rocas duras pertenecientes al Precámbrico, Cámbrico y Ordovícico, muy fracturadas y con intenso diaclasamiento definido en distintos juegos, que sumados a los planos de estratificación y otros aspectos, hacen que estas formaciones sean inestables en sectores con pendientes favorables al buzamiento. Con afloramientos de extensión más reducida asoman formaciones terciarias, la erosión de estos ha dado origen a suelos arcillosos de color castaño similares a los ya descriptos en otras unidades.

Se observan fenómenos de paleodeslizamientos y recientes, otros en proceso de generación. En algunos existe una fuerte componente antrópica que altera el medio natural, caso del sobrepastoreo. Otro factor importante es el agua, con un drenaje subterráneo de importante, situación que se advierte por la existencia de gran cantidad de ma-

nantiales y la poca profundidad del nivel freático en ciertas partes. Los principales impactos son de tipo antrópico, agravados por la velocidad de urbanización del sector, sin tener en cuenta los problemas de drenaje naturales y desestabilización de laderas que pueden ser disparados por sismicidad.

6.7. Cerro San Miguel

Predominan formaciones rocosas duras fracturadas y diaclasadas, caso de los afloramientos precámbricos, ordovícicos, cretácicos y terciarios, aumentando la fracturación en forma proporcional con la edad geológica, cuya erosión genera suelos de composición textural y mineralógica muy variable. Las calizas dan lugar a los típicos suelos terra rosa, con bajos valores de plasticidad posiblemente por la presencia de carbonato de calcio. Alrededor de la unidad se han formado taludes de detritos poco consolidados, donde se han producido algunos deslizamientos como consecuencia de las explotaciones de calizas y la tala de bosques que los mantenía en equilibrio.

6.8. Areas de Ambiente Fluvial

Se realiza una descripción muy breve de las características geotécnicas de estas unidades dado que las mismas solo están ocupadas por obras de infraestructura, caso de pilas y estribos de puentes ferroviarios y carreteros. El material dominante es grava del tipo GW o GP, según las características hidráulicas que predominan en los distintos tramos del cauce. Así por ejemplo en ciertos sectores se produce la acumulación de bancos de arena, con mayor o menor contenido de la fracción arcilla, donde juegan un papel importante las litologías de las áreas de aporte, pudiendo distinguirse que en los ríos Toro y Arenales predomina el transporte de materiales finos en mayor proporción que el río Arias y Vaqueros.

7. ANALISIS DE CONFLICTOS Y RIESGOS ASOCIADOS

La identificación de riesgos geológicos y ambientales se realizó siguiendo las propuestas de Ayala Carcedo et al. (1988) y de apreciaciones de los autores según su experiencia en la identificación de acciones y factores que los producen. Se parte de la base que existe una relación directa entre riesgos, geología de la comarca, los parámetros geotécnicos dominantes en cada unidad geoambiental y la incidencia del clima. En el caso del EGU de la ciudad de Salta, las particularidades del medio geológico con la presencia de formaciones geológicas conformadas por rocas blandas desagregables y duras muy fracturadas, además de los tipos de suelos mencionados, resultan una buena combinación para generar riesgos. Estos pueden ser potenciados por la sismicidad y la tectónica que es responsable de un relieve quebrado y del diaclasamiento de las rocas.

La situación expuesta condiciona el uso indiscriminado del territorio, por lo que se considera necesario que

debe existir una planificación previa para regular la ocupación del espacio físico según las aptitudes y restricciones que imponen las características geológicas de la comarca. El accionar del hombre sobre el medio natural es otro factor dinamizante de conflictos ambientales y riesgos que influye en la estabilidad del medio natural. El desequilibrio del medio de acuerdo con las condiciones naturales y antrópicas se demuestra principalmente mediante deslizamientos de laderas, agotamiento de acuíferos, erosión de suelos, carcavamiento, contaminación de acuíferos y atmósfera, inundaciones y otros. En cuanto a la acción inversa donde ciertos riesgos geológicos provocan problemas ambientales al alterar el medio natural, caso del volcanismo o los sismos, no se tienen registros históricos importantes hasta nuestros días, salvo los mencionados por Marcuzzi, et al. (1994).

Riesgos asociados con las características geotécnicas de los sedimentos, como suelos expansivos, compresibilidad, ascenso del nivel freático, aluvionamiento de áreas y otros aspectos; son comunes e implican importantes costos económicos y sociales. Estos riesgos geológicos conllevan también implicancias ambientales y existen en el EGU de la ciudad de Salta, están relacionados con el crecimiento urbano.

7.1. Riesgos de la Geodinámica Interna:

El fenómeno con mayores antecedentes y posibilidades de recurrencia son los terremotos y las fallas activas, aunque de estas últimas no existe un relevamiento exhaustivo. La presunción se basa por las características geodinámicas de la comarca (*Gallardo et al, 1994*). El volcanismo es un riesgo que por ahora solo ha afectado al EGU del Gran Salta con caídas de cenizas volcánicas en los años 1986 y 1993, además de algunos registros en suelos.

7.2. Riesgos de la Geodinámica Externa:

Los riesgos naturales producidos por la geodinámica externa poseen mayor frecuencia y variedad, caso de inundaciones, desertificación y erosión. En cuanto a las características geomecánicas de los sedimentos, existen riesgos relacionados con suelos expansivos, deslizamientos de laderas y subsidencias naturales o provocadas por la sobreexplotación de acuíferos. La microsismicidad parece ser una componente importante asociada con múltiples factores. Los riesgos mixtos e inducidos presentan una situación similar predominando la erosión, inundaciones, salinización de suelos y desertización.

7.3. Riesgos por la Actividad Antrópica:

Los principales riesgos ambientales de origen antrópico están asociados con el crecimiento urbano descontrolado. Los de mayor impacto son: la contaminación de ríos, aguas subterráneas, deficiencias del manejo final de las basuras, vertidos de líquidos cloacales a canales pluviales, lagunas negras, espacios verdes convertidos en basurales y la

degradación de ambientes por asentamientos marginales que explotan irracionalmente el medio circundante para su subsistencia.

El posible agotamiento de los recursos hídricos no está aún evaluado, pero existe una sobreexplotación y contaminación de corrientes fluviales y aguas subterráneas. Se sospecha incluso que la sobreexplotación de acuíferos produzca subsidencia del subsuelo. Se destaca la contaminación de pozos de agua potable por efluentes industriales de boro, así como por basurales y pozos sanitarios absorbentes. Los gases tóxicos producidos por automotores en el centro urbano contaminan la atmósfera, sin que se tenga una evaluación del impacto y la influencia que los edificios de altura ejercen sobre la dinámica de circulación del aire, en relación con la depresión topográfica en que se encuentra la ciudad.

Los riesgos antrópicos relacionados con aspectos geotécnicos están en función directa con la ocupación de sectores no aptos para la urbanización, caso de antiguas canteras de arcillas para fabricar ladrillos y cerámicas, la ocupación de laderas con pendientes inestables, o de las llanuras de inundación conformadas por suelos limo-arcillosos saturados que provocan el derrumbe de viviendas precarias, también el diseño de fundaciones sin tener en cuenta la calidad geotécnica de los suelos, son algunos de los problemas que caben en el análisis de este apartado.

Los suelos limo-arcillosos no bien estructurados y fácilmente erodables, contribuyen a difundir ciertas patologías de salud, relacionadas también directamente con el avance de la urbanización, este es el caso de enfermedades bronquiales del tipo neumoconiosis, conjuntivitis, alergias, asma y otras. El aumento de su difusión es consecuencia del incremento en el aire de partículas en suspensión, ayudados por el crecimiento urbano y del tráfico automotor en calles sin pavimentar, potenciadas por las características climáticas, de una comarca semiárida con estación seca facilita una mayor concentración de partículas de polvo en el aire por acción de los vientos (*Lou - tayf, J.J., 1996 com. personal*).

La reseña realizada muestra que los conflictos que generan riesgos son numerosos y que la mitigación de los mismos requieren de un plan de ordenamiento y monitoreo continuo. La investigación de los factores geológicos del territorio, reviste suma importancia, porque el crecimiento de la ciudad está acotado por el grado de vulnerabilidad del escenario natural. Las condiciones geoambientales de la región, propicias para la generación de riesgos naturales, antrópicos y mixtos, con toda su variedad de interfaces ambientales conflictivas, se completa con la potencialidad de riesgos producidos por la liberación de grandes concentraciones de energía, sismos y volcanismo. Este último con escasos registros.

8. CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado muestra que la ocupación del EGU del Gran Salta, de continuar en el futuro los presentes patrones de ocupación territorial y la degradación del paisaje, causarán graves impactos ambientales. Sin embargo también existen potencialidades para contrarrestarlos. La primera potencialidad manifiesta es que las interfaces conflictivas del EGU, representan problemas a una escala manejable si se toman medidas inmediatas para definir las soluciones. Es importante para la toma de decisiones un marco legal acorde con los aspectos conflictivos que deben resolverse, acompañados por un sistema de contralor eficaz.

El aspecto institucional se considera fundamental entre las potencialidades para brindar soluciones, esto requiere que los entes relacionados con los problemas ambientales actúen en forma coordinada para su solución y planifiquen la investigación y monitoreo ambiental, con el apoyo de las universidades locales. La tercera potencialidad es educacional, tendiente a crear una conciencia ambiental en la población sobre los problemas. El trabajo debe realizarse en todos los niveles sociales difundiendo los aspectos físicos del medio del Gran Salta, sus conflictos y potencialidades, y las consecuencias sobre su desequilibrio.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- AYALA CARCEDO, F. Y J. JORDÁ PARDO, 1988.
Geología Ambiental.
Inst. Tecnológico Geominero de España, pp 257, Madrid.
- BIANCHI, A.R. Y C.E. YAÑEZ, 1992.
Las Precipitaciones en el Noroeste Argentino.
INTA, SAGyP, Estación Experimental Agrop. Salta, 383 pp., Salta.
- CALVO, A. N; 1997.
Reconocimiento y Caracterización preliminar de las Principales Depósitos de Arcillas en el Valle de Lerma.
Universidad Nacional de Salta. Tesis Profesional. Inédita.

- CHAFATINOS, T. Y R.A. NADIR, 1973.
Problemas de Erosión e Inundación en la Ciudad de Salta.
Sec. Est. de la Producción, Depto. Suelos. Inédito, pp 35, Salta..
- FERRARY, M., MARCUZZI, J.J. Y O. BARROS, 1994.
Ordenamiento y Sistematización Geoambiental del Tramo Urbano del Río Arenales, Ciudad de Salta, R. Argentina.
7º Cong. Geol. Chileno, Vol.1:62362, Concepción.
- GALLARDO, A., MARCUZZI, J.J. Y R. ARGANARAZ, 1994.
Neotectónica del Espacio Geológico Urbano (EGU) de Salta, Argentina,
I: Entorno Subregional del Valle de Lerma. 7º Cong. Geol. Chileno, Vol. 1:294298, Concepción.
- GALLARDO, A., MARCUZZI, J.J. Y R. ARGANARAZ, 1994.
Neotectónica del Espacio Geológico Urbano (EGU) de Salta, Argentina II: Evidencia de Fallamiento Reciente en el Ejido de la Ciudad de Salta.
7º Cong. Geol. Chileno, Vol. 1:628632, Concepción.
- GALLARDO, E.; AGUILERA, N.; DAVIES D. Y R. ALONSO; 1997.
Estratigrafía del Valle de Lerma, Provincia de Salta, Argentina.
Memorias del XII Cong. Geol. de Bolivia, Tarija pags. 483-493.
- GARZÓN HEYDT, G., 1988.
Geología y Zonificación de Unidades Territoriales.
En Ayala Carcedo, J.F. y J.F. Jordá Pardo (Ed.) Geología Ambiental. Inst. Tecnol. Geominero de España, pp 231-238, Madrid.
- MALAMUD, B.; JORDAN, T.; ALONSO, R.; GALLARDO, E.; GONZÁLES, R. Y S. KELLY; 1996.
Pleistocene Lake Lerma, Salta Province, NW Argentina.
XII Cong. Geol. Arg. Y III Cong. De Exploración de Hidrocarburos, Actas IV: 103-114. Buenos Aires.
- MARCUZZI, J.J., ARGANARAZ, R. Y V. MARCÓN, 1992.
Riesgos Naturales y Aspectos Geotécnicos del Subsuelo de la Ciudad de Salta. R. Argentina. III Cong. Geol. de España y VIII Cong. Latinoamericano de Geología, Simposio T2: 650659, Salamanca.
- MARCUZZI, J.J., ARGANARAZ, R., BEJERMAN, J. Y R. BATTAGLIA; 1993.
El Empleo de Mapas Temáticos GeológicosGeotécnicos para la Planificación Urbanística de la Ciudad de Salta.
Asoc. Arg. de Geol. Aplicada a la Ingeniería (ASAGAI). Publicación Especial N°1, pp151165, Córdoba.
- MARCUZZI, J.J., WAYNE, W.J. Y R.N. ALONSO, 1994.
Geologic Hazards of Salta Province, Argentina.
7th International IAEG Congress, Balkema, ISBN 9054105038, pp 2039-2048, Rotterdam.
- MARCUZZI, J.J., ARGANARAZ, R. Y J. BEJERMAN, 1994.
Bases para el Ordenamiento Urbano del Gran Salta. Salta, R. Argentina.
7º Cong. Geol. Chileno, Vol. 1:648652, Concepción.
- MEIJERINK, A.M., 1988.
Data Acquisition and data Capture Through Terrain Mapping Units.
ITC Journal 1988-1, pp 23-44.
- NADIR, A. Y T. CHAFATINOS, 1990.
Los Suelos del N.O.A., (Salta y Jujuy).
Tomos 1 y 2. Contribución del Fondo Especial del Tabaco, Salta.
- RUIZ HUIDOBRO, O.J., 1968.
Descripción Geológica de la Hoja 7e, Salta. Prov. de Salta y Jujuy:
Buenos Aires, Instituto Nac. De Geología y Minería, Boletín 109.

FIGURA 1

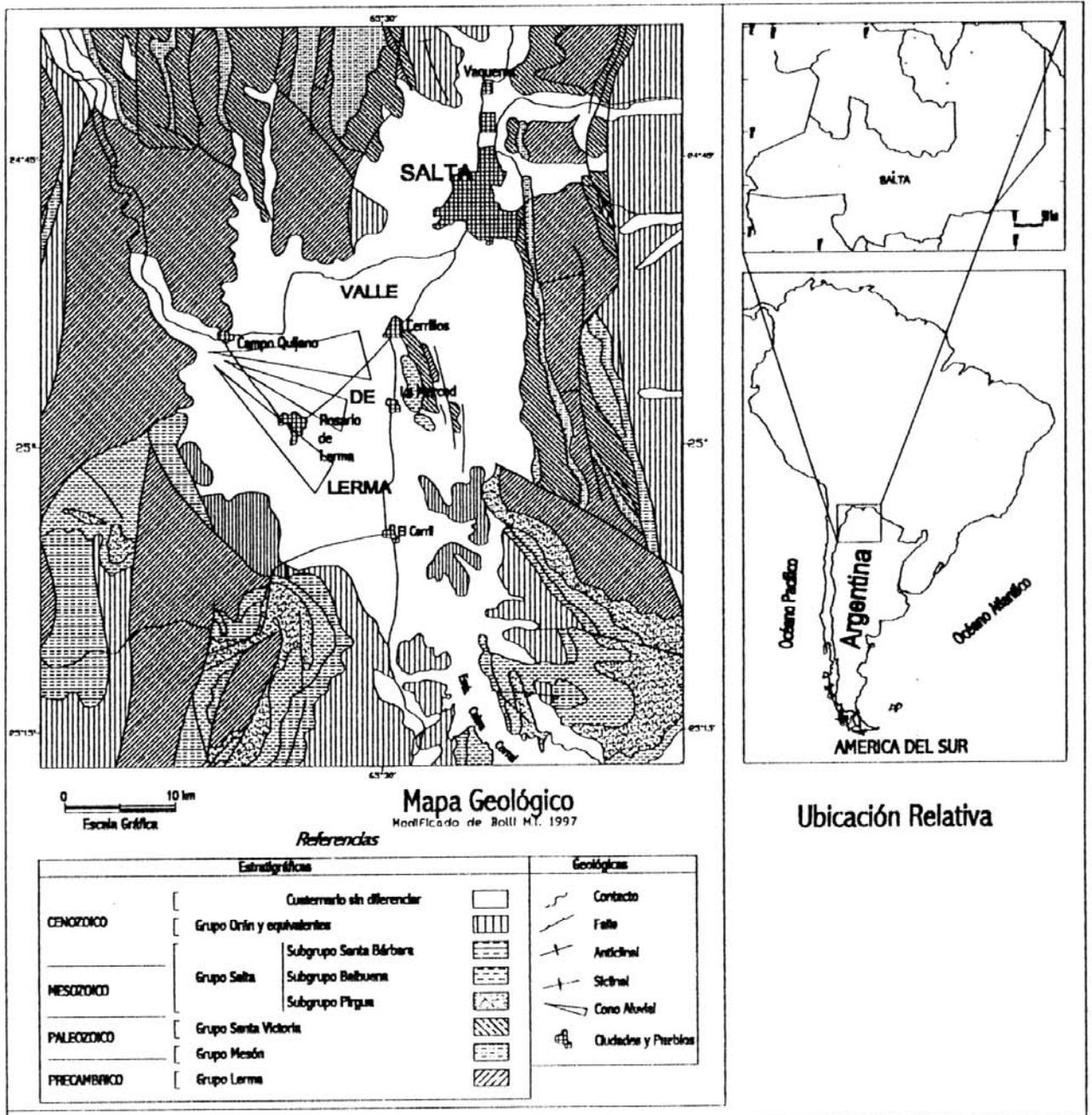


FIGURA 2

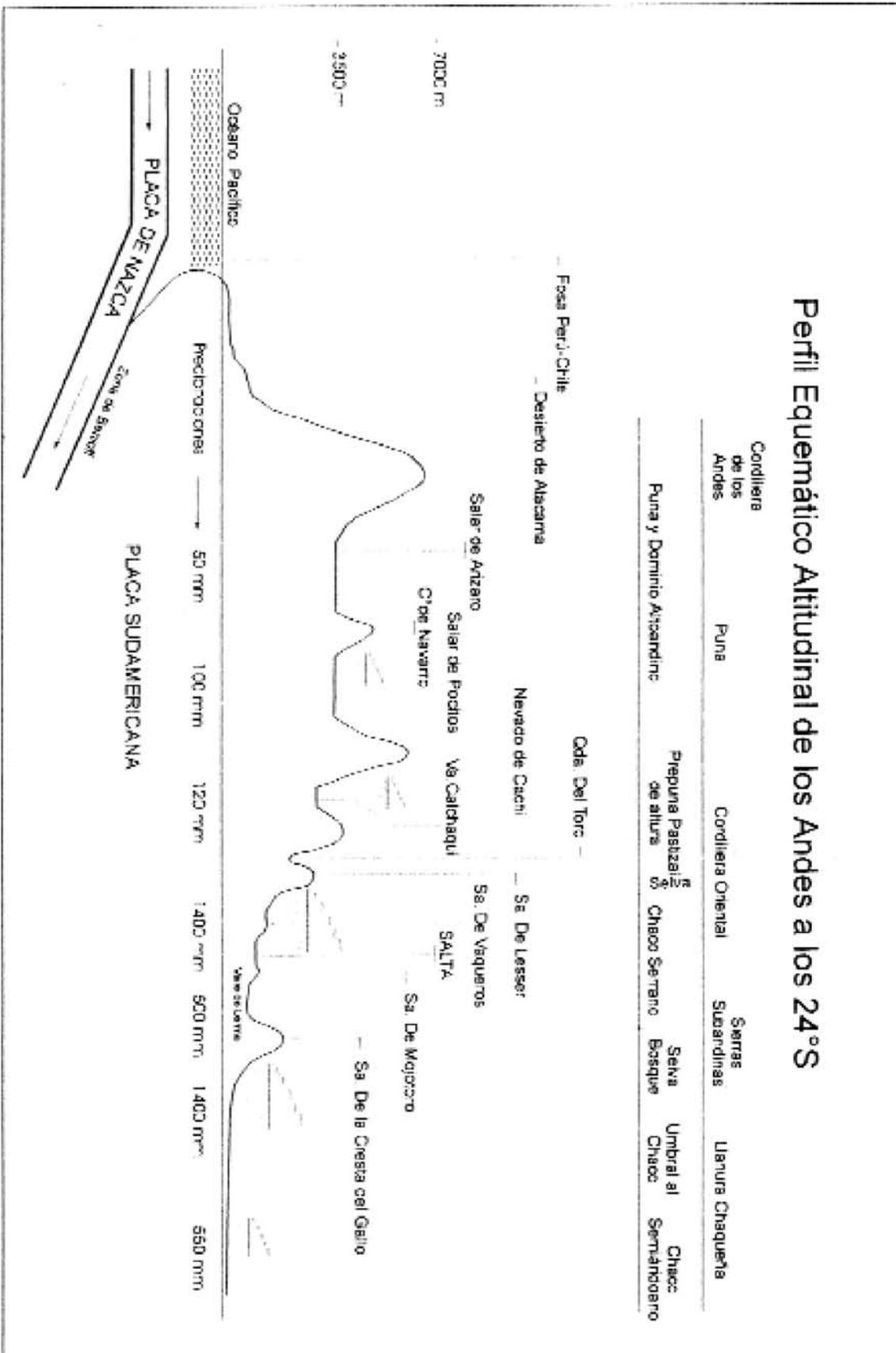


FIGURA 3

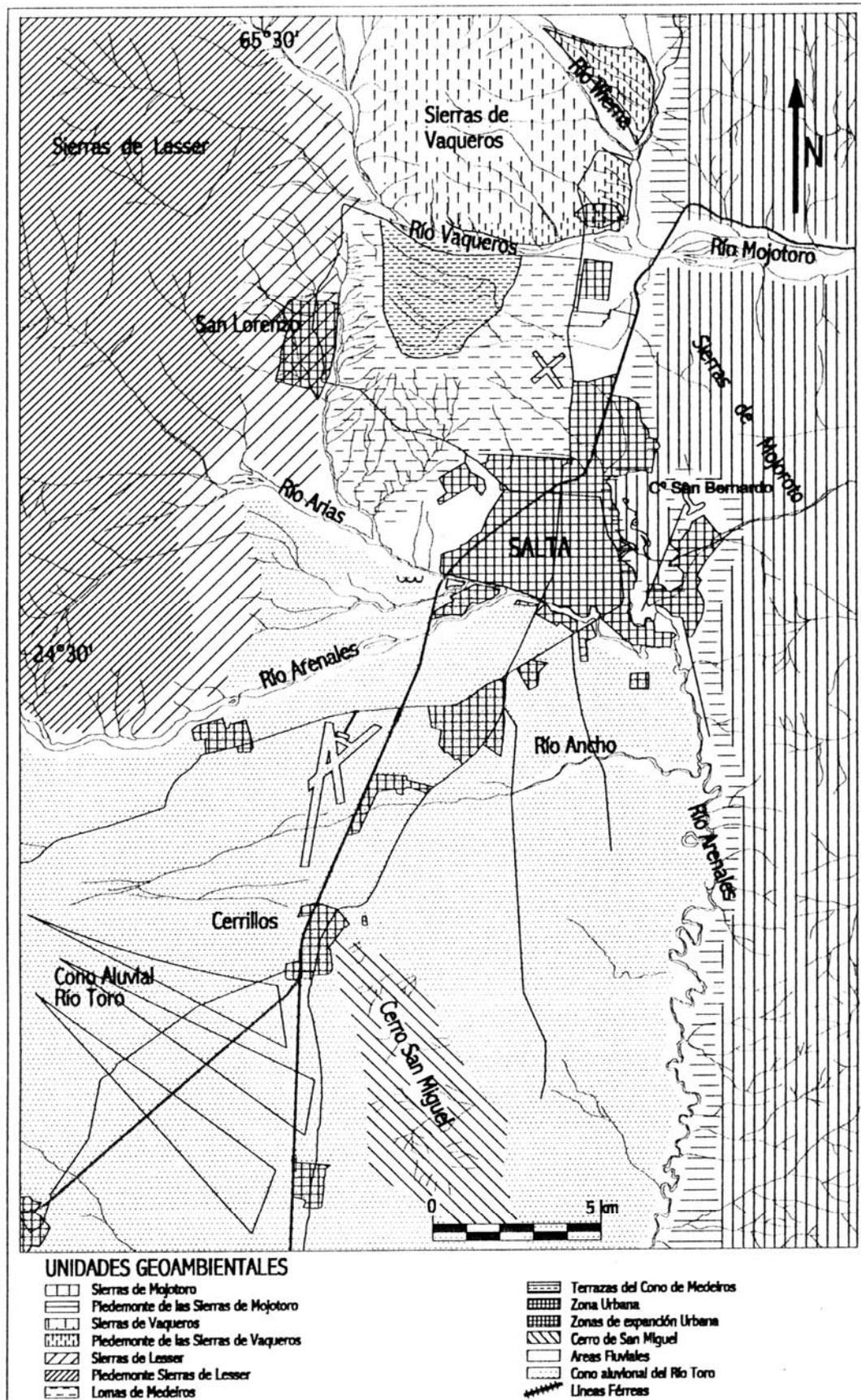


FIGURA 4

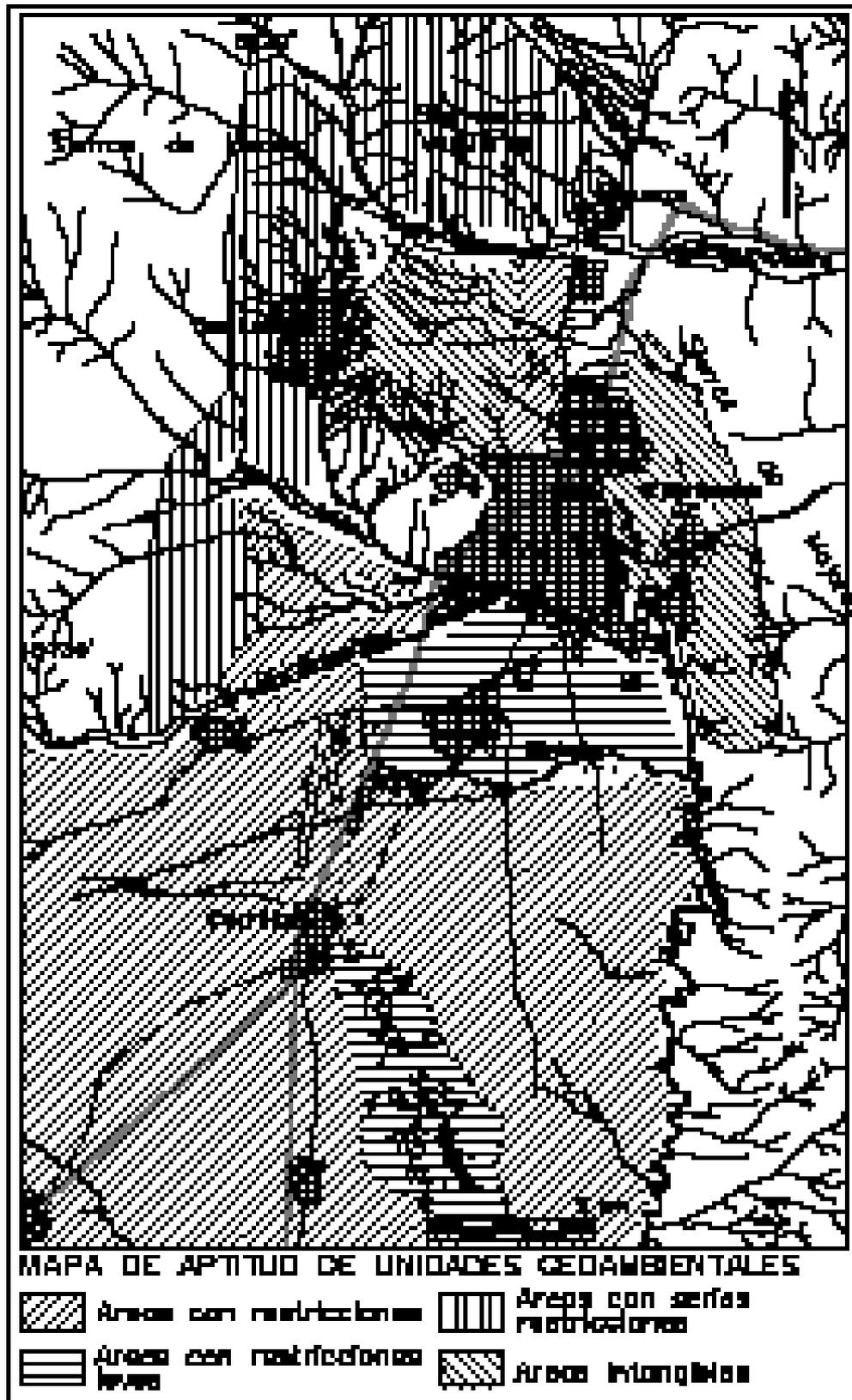
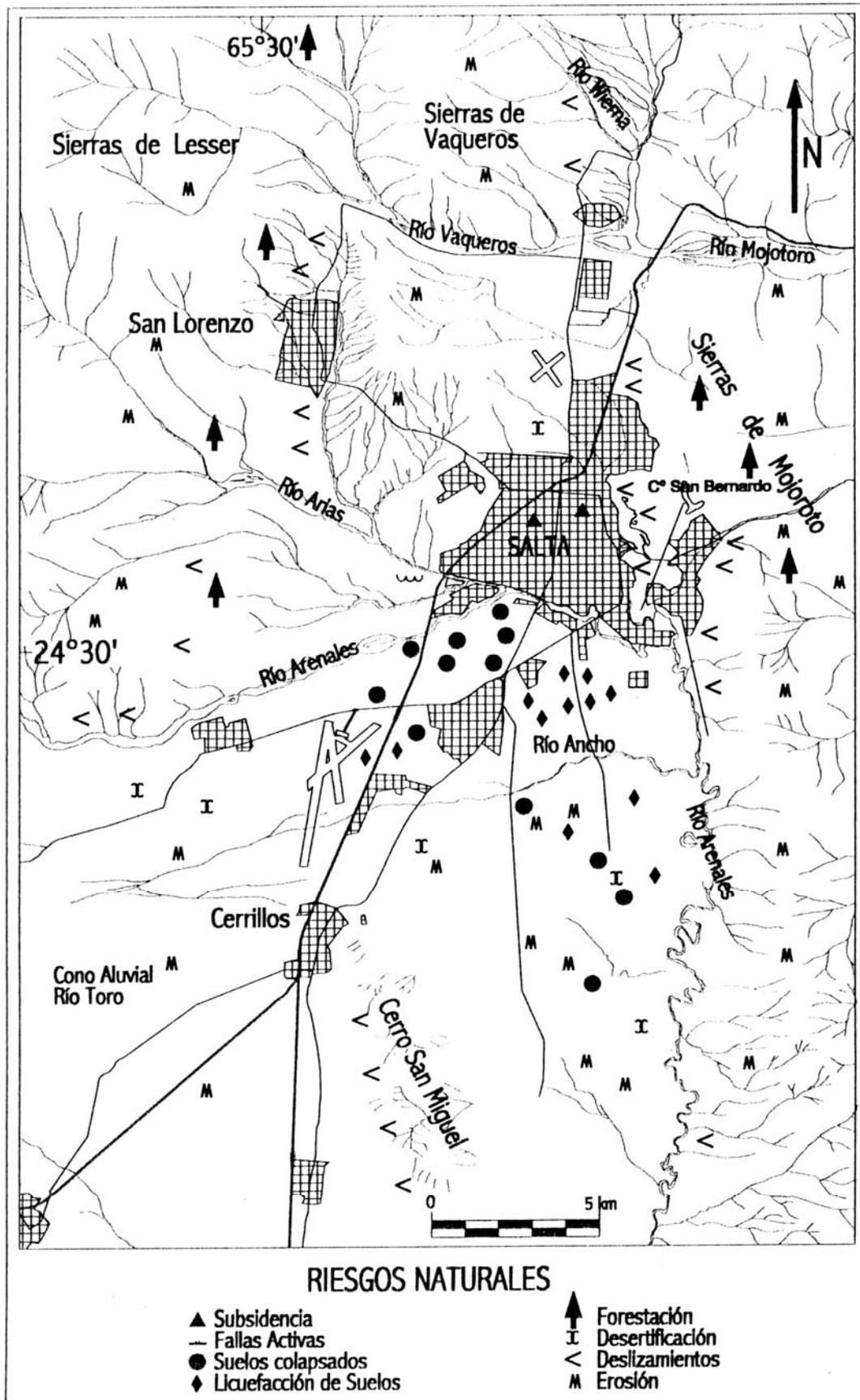


FIGURA 5





Caracterización de los recursos hídricos en la zona del sistema de las lagunas encadenadas de Chascomus Provincia de Buenos Aires.

Estudios Preliminares.

Miretzky, P.S.¹ - Herrero, M.A.² - Galindo, G.^{1, 3} -, Fernandez Cirelli, A.^{1, 3}

¹ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires

² Departamento de Producción Animal. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad de Buenos Aires.

³ Conicet.

Fecha de Aceptación: Agosto de 1998

Resumen

En este estudio preliminar de los recursos hídricos de la zona de las Lagunas Encadenadas de Chascomús, se caracterizaron las aguas superficiales, lacustres y fluviales en cuanto a su composición iónica, su salinidad y su dureza.

Se analizó la aptitud de las aguas subterráneas someras que habitualmente utiliza la población rural, para consumo humano y actividades agrícola-ganaderas.

Se determinaron los elementos traza tanto en aguas superficiales como en subterránea con el fin de detectar la presencia de contaminación y una mejor caracterización del recurso.

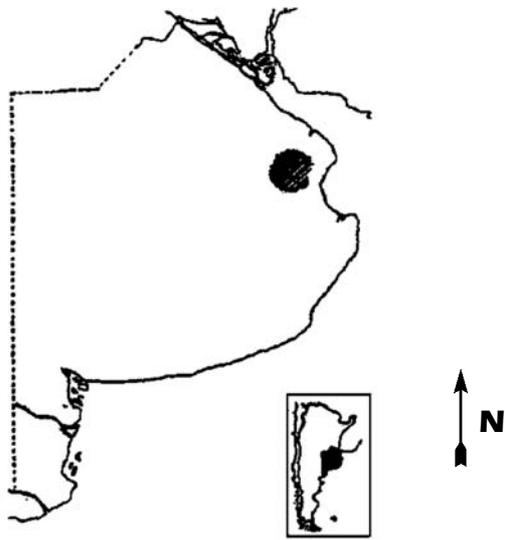
INTRODUCCIÓN

El objeto del trabajo es establecer las características y la aptitud para el consumo humano y las actividades agrícola-ganaderas, del agua subterránea somera y superficial de la zona de las Lagunas Encadenadas de Chascomús.

El área en estudio comprende la Laguna de Chascomús y el sistema de Lagunas Encadenadas. Es de forma irregular y se extiende entre los meridianos de 57° 45' y 58° 15' de longitud oeste y el paralelo de 35° 20' de latitud sur y el río Salado, en el este de la Provincia de Buenos Aires. La zona se ubica casi en su totalidad en el Partido de Chascomús.

La misma tiene una superficie aproximada de 1800 km², de los cuales 800 km² corresponden a lagunas y en ella predominan los campos bajos en un 80 %, conformados por 40 % de salino-alcálinos, 30% de anegadizos y 10% no salinos. El 60 % de su superficie se dedica a la cría de ganado vacuno, 27 % al tambo, 10% a la cría con agricultura y 3 % a la invernada. Con respecto a la agricultura, de las 25000 hectáreas que se siembran por año, el 36% es de lino-oleaginoso, 17 % trigo, 16% avena, 13% maíz, 6% girasol y 4% soja. La actividad industrial

se circunscribe a la zona urbana y comprende rubros como el alimentario, textil, plástico, metalúrgico. (*Censo Nacional de Población y Vivienda*, 1991).



DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

El área del sistema de las Lagunas Encadenadas de Chascomús se encuentra íntegramente dentro de la denominada Pampa Deprimida que corresponde al tramo inferior de la cuenca tributaria del Río Salado.

Es el área por excelencia de concentración de los escurrimientos superficial y subterráneo de una superficie de captación de más de 10 millones de hectáreas. La Pampa Deprimida se caracteriza por una muy baja pendiente, estimándose un promedio de 0,3 por mil y un extremadamente bajo potencial morfogenético, lo que provoca enorme dificultad para la evacuación de excesos de aguas durante épocas de grandes precipitaciones y por otro lado, sequías en determinados períodos.

Desde el punto de vista geológico es una fosa tectónica rellena por sedimentos de distintas épocas, que tienen su mayor espesor en la zona de trabajo. Las formas actuales del paisaje y los suelos se han desarrollado sobre la cubierta cuaternaria que sepultan los sedimentos más antiguos.

La región presenta las siguientes características: *Bagallo* (1983):

- alternan períodos de 3 a 7 años de excesos y déficit hídricos durante los cuales sufre inundaciones catastróficas y fuertes sequías.
- es una región llana de baja energía morfogenética. Las pendientes son menores del 1 por 1000. El relieve es poco significativo. El ambiente de excesos y déficit hídricos dio lugar a la formación de suelos con características alcalinas, de textura fina, muy poco permeables, y de horizontes argílicos subsuperficiales. En general la superficie freática está cerca de la superficie.

- La red de desagüe está muy poco desarrollada y es discontinua (sistema de lagunas encadenadas), el sistema de drenaje es areal, anárquico, sin sentido definido pues no hay pendiente, por lo que el escurrimiento es mantiforme, en lagunas, cañadas y canales de acción antrópica.
- los sistemas fluviales se desarrollan en planicies de suelos salino-alcalinos de muy baja permeabilidad, con escaso material en suspensión pero con alta concentración de sales y álcalis que depositan y concentran en el estero en las márgenes o lechos de inundación o en lagunas, sin capacidad de ser volcados fuera del sistema.

El Río Salado presenta las características típicas de los ríos de llanura de regiones húmedas. Conduce grandes volúmenes de agua con baja velocidad y en períodos de grandes precipitaciones no aumenta proporcionalmente su caudal, pues regula el mismo a través de la gran área de expansión que posee su curso medio e inferior debido a la presencia de meandros, el sistema de lagunas encadenadas y bajíos. Su sistema de evacuación en el Océano Atlántico es alterado por el afloramiento de cordones conchiles y por las mareas marinas.

La Pampa Deprimida presenta clima húmedo a subhúmedo, mesotermal, observándose mayor sequedad hacia el Oeste. No se producen variaciones bruscas de las características climáticas medias debido a su situación geográfica y su conformación fisiográfica. Sin embargo se observa en la marcha del clima a través del tiempo, alternancia de períodos secos y húmedos. Las temperaturas aumentan de sur a norte por efecto de la latitud. La región de la Pampa Deprimida registra temperaturas medias anuales entre los 13 °C y los 16 °C. Para el mes más cálido, enero, la temperatura media mensual varía entre 21 y 23 °C, y para el mes más frío, julio, entre 7 y 9 °C.

Las precipitaciones son bastante uniformes durante todo el año, pero se observan los mayores valores entre los meses de noviembre a marzo. Varían entre 1000 mm en el norte a 850 mm en el sur. En la Estación Chascomús el Servicio Meteorológico Nacional registró una precipitación anual media de 895 mm durante el lapso 1921-1950 y en la Estación Dolores de 864 mm para el mismo período. En esta última las precipitaciones anuales medias se incrementaron a 937,6 mm durante el lapso 1961-1990. Las mismas se deben al ingreso de masas de aire cálido y húmedo que provienen del anticiclón del Océano Atlántico y que descargan su humedad a medida que penetran en el continente. Las lluvias de verano suelen concentrarse en pocos días alcanzando gran intensidad por lo cual un porcentaje importante del agua caída escurre sin penetrar en el suelo. Si bien las precipitaciones son más abundantes durante el verano, la evapotranspiración es mayor aún, por lo que el balance hídrico es negativo durante los meses de estío.

Las aguas superficiales son efluentes con respecto a las subterráneas en la mayoría de los ríos, arroyos y cuerpos lacustres (*Sala et al.*, 1983). El escurrimiento subte-

rráneo local es el que alimenta el caudal básico de los cuerpos de agua y por consiguiente es el que mantiene el caudal perenne de los cauces. Los cauces menores son portadores del caudal básico y crecientes de poca significación, los cauces mayores en cambio, evacúan las crecientes importantes y además actúan como zona de almacenamiento superficial. No hay capacidad de almacenamiento superficial en reservorios profundos, sino que la reserva es areal, en grandes superficies anegadas, lagunas, bañados, cañadas y cauces mayores de los ríos. El enriquecimiento salino de las aguas debido a la concentración por evaporación es consecuencia del afloramiento de las aguas subterráneas y del lento drenaje regional hacia el mar.

El sistema de las Encadenadas se inicia en la Laguna Vitel que se comunica por medio del Arroyo homónimo con la Laguna Chascomús. Seguidamente, a través del Arroyo Girado conecta con la Laguna Manantiales y la Laguna Adela las que a su vez reciben aguas de la Laguna del Burro. Luego se encuentra la Laguna Chis-Chis, la Laguna Tablilla, las Lagunas Encadenadas y finalmente la Laguna Las Barrancas.

Ringuelet (1972) define la laguna pampásica como un cuerpo de agua de la serie léntica de carácter permanente, de tipo armónico, con perfil típico de Pfanne o Wanne, (sartén o bañera), de profundidad escasa, con circulación continua todo el año y sin estratificación térmica o química, con reducido balance térmico, con sedimento limo-arenoso o limo o limo-arcilla, aún pelítico en zonas periféricas, sin plataforma ni talud, de aguas oligohalinas a mesohalinas hasta hiperhalinas, enteramente colonizables por la vegetación fanerogámica, de carácter eutrófico y cuyo dinamismo conduce por acumulación al pantano, o por salinización progresiva a la salina, formada por procesos genéticos simples o complejos, pero sin haber tenido un lago por antecesor. La laguna de Chascomús posee las características de un ecosistema eutrófico, y como tal es un cuerpo alcalino, con elevada concentración de nutrientes, biomasa algal y material particulado en suspensión (*Conzonno et al. 1988, 1997, 1998*).

La presencia y comportamiento de las aguas superficiales se deben a factores morfológicos, hidrogeológicos y climáticos. Las lagunas efluentes-reguladoras como las de Chascomús, Adela, y otras, dan origen a cursos de agua perennes. Son alimentadas subterráneamente durante el verano, pero en épocas de lluvia reciben aguas fluviales, regulando los primeros estadios de las crecientes. En general, las lagunas son en mayor o menor medida punto de descarga natural.

Los caracteres geológicos son los que corresponden a la mayoría de las grandes llanuras de baja pendiente topográfica (*Auge et al. 1983*): monotonía geológica superficial debida a la no existencia de afloramientos; escasa deformación tectónica lo que se traduce en una estratigrafía dominante de tipo subhorizontal; predominancia de

sedimentos finos y medianos sobre los gruesos, es decir los limos, arcillas y arenas son más abundantes que las fracciones gruesas, y a su vez predominan los limos-arcilla sobre la fracción arena; y por último, continuidad y extensión areal considerable de las entidades geológicas. Sólo los depósitos modernos de origen fluvial, marino y eólico (medanos y dunas costeras) ocupan ámbitos más reducidos.

La Pampa Deprimida se caracteriza por contener acuíferos pobres o acuitardos, integrados por los llamados limos y loess pampeanos. En estos sedimentos predomina la fracción más fina, mientras que la psamítica se encuentra limitada a capas de escaso desarrollo y potencia. Por otra parte es frecuente el afloramiento o la presencia subsuperficial de mantos de tosca que contribuyen a la disminución de la permeabilidad regional con un valor promedio de 0,5 m/día.

El Pampeano, cuyos afloramientos dominan ampliamente en el área estudiada, contiene a la capa freática en la mayor parte de la región. Los sedimentos pampeanos brindan caudales más bajos a los pozos que las arenas Puelches debido a su menor permeabilidad. Además de la capa freática presentan otros niveles productivos de carácter semiconfinado.

Sala (1969) considera al conjunto Puelche- capa freática un acuífero múltiple, debido a que la recarga y descarga se hace desde y hacia la capa freática. Posteriormente, *Sala (1975)*, consideró al conjunto un acuífero multiunitario. La recarga se produce en los valles interfluviales, donde el potencial hidráulico de la capa freática es mayor que el potencial piezométrico del Puelche. La descarga se produce en los límites negativos, los ríos principales de la zona, y en el Océano Atlántico a través de la capa freática, desde donde pasa a engrosar el caudal básico de los álveos. En las zonas de descarga el potencial piezométrico del Puelche es mayor que el potencial hidráulico de la capa freática.

La zonación climática reconocible, hace que las aguas pasen a salobre, salinas y aún salmueras, desde las comarcas con exceso de humedad a las deficitarias. A este efecto se le superpone el vinculado al flujo, que indica un crecimiento salino desde las zonas de recarga a las de descarga. No debe olvidarse, que los sedimentos acucludo y acuitardos favorecen el enriquecimiento en sales, lo mismo que la evolución según una zonación vertical. (*Sala, 1975*).

Los suelos de las partes altas son neutros, bien estructurados, con texturas predominante francas. A más de 50 cm aparece una discontinuidad litológica; la parte superior es franco limosa y la inferior es arcillo limosa. Los suelos más representativos son Argialboles típicos o Hapludoles thapto árgicos. En las partes bajas, subordinadas en superficie, existen suelos gleysados que sufren la presencia de la capa freática permanente por encima de los 2 m de profundidad. Los perfiles más comunes son alcalinos desde la superficie o desde los 30 cm de profundidad, correspondiendo

a Natracualfes o Natracuoles típicos respectivamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un muestreo de las aguas de la zona en estudio, que se distribuye de la siguiente manera: 33 muestras de agua subterránea y 22 muestras de agua superficial, lacustres y fluviales. Todas las muestras de agua subterránea fueron tomadas de perforaciones en el acuífero Pampeano, de las cuales en la mayoría de los casos el agua se extrae con bombas sapo o molinos. Estas perforaciones son las que usa la población rural dispersa tanto para consumo humano como para actividades agrícola-ganaderas. Es por consiguiente muy importante determinar su aptitud para ambos usos y también determinar si existen zonas críticas respecto a la presencia de contaminantes. La campaña se realizó durante los meses de verano de 1998 (ver mapas N° 1 y 2 de ubicación de muestras) y se continuará durante el invierno de 1998, para poder estudiar la influencia de los cambios climáticos, especialmente los producidos por la Corriente del Niño, en la composición química de las aguas. También se podrá determinar si existen desplazamiento de flujos locales de contaminantes.

Las muestras se envasaron en recipientes de polietileno, ya que en estos se pueden conservar las mismas hasta 5 meses sin que se alteren significativamente los parámetros fisicoquímicos, sin dejar cámara de aire y con el menor contacto posible de luz solar. In situ se midió la temperatura y el pH con un pHmetro Hanna, modelo HI 9025, el oxígeno disuelto con un oxímetro Hanna, modelo HI 9142 y la conductividad específica con un conductímetro Hanna, modelo HI 9033 W. Las coordenadas geográficas se registraron con un GPS marca Garmin 38.

Una vez llevadas al laboratorio las muestras obtenidas fueron filtradas por un aparato de filtración Nalgene N° 300-4000, construido en polisulfone (PSF) y conectado a una bomba de vacío a través de una membrana de acetato de celulosa Micro Separations Inc. (MSI) de tamaño de poro de 0,45 micrones y 47 mm de diámetro. Parte de la muestra filtrada se acidificó con HNO₃ concentrado para la posterior determinación de elementos traza.

Para la determinación de los elementos químicos se utilizaron las siguientes técnicas analíticas:

- Sodio y Potasio: espectrofotometría de emisión atómica en llama. (long. de onda para el Na: 580,0 nm; long. de onda para el K: 766,5 nm).
- Calcio y Magnesio: espectrofotometría de absorción atómica (long. de onda para el Ca: 422,7 nm; long. de onda para el Mg: 285,2 nm)
- Amonio: espectrofotometría de absorción molecular por formación de un complejo coloreado con el reactivo de Nessler. (long. de onda: 420 nm)
- Sílice: espectrofotometría de absorción molecular por formación del ácido silicomolibdico en medio de ácido tartárico y posterior reducción al complejo silicomolibdico

de color azul (long. de onda: 625 nm)

- Cloruros: titulación volumétrica por el método de Mohr.
- Sulfatos: titulación volumétrica por retorno utilizando exceso de cloruro de bario 0,02 M, sulfato de sodio 0,02 M como agente titulanate y rodizonato de sodio como indicador en medio acetona/ cloruro de amonio.
- Bicarbonatos y carbonatos: titulación ácido base usando ácido sulfúrico 0,05 N como agente titulante y fenoltaleína y naranja de metilo como indicadores de los dos puntos finales.
- Nitratos: espectrofotometría de absorción molecular por formación de un complejo coloreado con oxina. (long. de onda: 420 nm)
- Nitritos: espectrofotometría de absorción molecular por formación de un complejo de diazotación. (long. de onda: 525 nm)
- Arsenico: espectrofotometría de absorción atómica con flujo de vapor, por formación de arsenamina.
- Elementos traza: se determinaron por la técnica ICP-EM en el Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera (CSIC, España).

Los resultados de los análisis realizados se observan en las tablas N° 1, 2 y 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos de la composición química de las aguas subterránea correspondientes al acuífero Pampeano y los datos de agua superficial en ppm, se obtuvo la composición en miliequivalentes por litro y en miliequivalentes por litro porcentual para realizar los diagramas de Piper (ver gráficos N° 1, 2, 3 y 4). Se analizaron por separado las aguas lacustres de las fluviales.

Las muestras se clasificaron de acuerdo a su composición iónica según el siguiente esquema:

COMPOSICIÓN ANIÓNICA	TIPO
Bicarbonato > 75 %	Fuertemente bicarbonatada
Sulfato > 75 %	Fuertemente sulfatada
Cloruro > 75 %	Fuertemente clorurada
75 % > bicarbonato > 50 %	Bicarbonatada
75 % > sulfato > 50 %	Sulfatada
75 % > cloruro > 50 %	Clorurada
Bicarbonato, sulfato y cloruro < 50 %	Sin anión dominante

COMPOSICIÓN CATIONICA	TIPO
Calcio > 75 %	Fuertemente cálcica
Magnesio > 75 %	Fuertemente magnésica
Sodio + potasio > 75 %	Fuertemente alcalina
75 % > calcio > 50 %	Cálcica
75 % > magnesio > 50 %	Magnésica
75 % > sodio + potasio > 50 %	Alcalina
Calcio, magnesio, sodio+potasio < 50 %	Sin catión dominante

Se observa en los diagramas de Piper, que el 93,9 % de las muestras de agua subterránea tienen más de 50 miliequivalentes por litro porcentuales de sodio + potasio, o sea son alcalinas o fuertemente alcalinas, y 54,5 % del total son fuertemente alcalinas. Respecto a la composición aniónica, vemos que el 66,7 % son carbonatadas o fuertemente carbonatadas y solo 15,1 % de las mismas son cloruradas o fuertemente cloruradas. La alta concentración de Na de las aguas subterráneas probablemente pueda deberse a procesos de intercambio iónico entre el Ca de las aguas y el Na de las arcillas al estar el agua en contacto con sedimentos Pampeanos, fundamentalmente con el loess Pampeano.

Ya hemos mencionado el carácter efluente de las lagunas respecto al agua subterránea, es decir, la descarga del agua subterránea se produce en las lagunas y en la red de arroyos que a su vez se comunican con el Río Salado. *Sala (1975)*, ha establecido que existe un crecimiento salino desde las zonas de recarga a las de descarga ya que el recorrido del agua por sedimentos acuicludos y acuitardos favorecen el enriquecimiento en sales. De los datos obtenidos del análisis de las muestras de agua subterránea se observa un aumento en la concentración de sólidos totales disueltos en dirección norte-sur, hacia el Río Salado.

Las aguas superficiales son 100 % fuertemente alcalinas, el 59 % no tiene anión dominante y el 36,4 % son cloruradas.

El enriquecimiento salino de las aguas superficiales debido a la concentración por evaporación es consecuencia del afloramiento de las aguas subterráneas y del lento drenaje regional hacia el mar.

Durante el estío, si bien las precipitaciones son abundantes, por ejemplo, para la Estación Dolores las precipitaciones mensuales media durante los meses de diciembre, enero y febrero son de 301,9 mm para el período 1961-1990, la evapotranspiración es mayor aún, 338,5 mm para el mismo período, por lo que el proceso dominante es la concentración salina de las aguas superficiales, como lo demuestra la composición química de las mismas. Las aguas superficiales tienden por este motivo a ser más alcalinas y cloruradas que las subterráneas, siendo estas últimas más bicarbonatadas. También se observan diferencias entre las aguas superficiales lacustres y fluviales (sistemas lénticos y lóticos respectivamente). En las lacustres, la composición aniónica es sin anión dominante mientras que las fluviales son cloruradas. Ambas son alcalinas, pero en las lacustres el proceso de concentración salina es mayor, siendo menores las concentraciones de calcio y magnesio en solución, consecuencia de la precipitación de la calcita y la dolomita.

La identificación de diferentes masas de agua resulta difícil de establecer con los parámetros físico químicos clásicos, pH, Temp, y con los aniones y cationes mayoritarios. El desarrollo de la técnica ICP-EM ha permitido determi-

nar elementos traza en forma simple y rápida. En el Instituto de Ciencias de la Tierra Jaime Almera, CSIC, España, se han analizado 56 elementos traza de muestras de agua de la zona en estudio, incluyendo tierras raras. Parte de los datos obtenidos se observan en la tabla N° 3. Se intenta clasificar al agua subterránea por medio de su huella hidrogeoquímica, de la misma forma que una huella digital permite identificar a una persona. El tratamiento estadístico de esta información hidroquímica demuestra que la huella hidrogeoquímica definida por estos parámetros no convencionales permite diferenciar distintos tipos de acuíferos, o distintos tipos de agua superficial, discriminando entre muestras con elementos mayoritarios muy semejantes (*Fernández Turiel et al., 1998*). La metodología utilizada ha permitido distinguir tres tipos de sistemas hidrológicos, el sistema fluvial del Río Salado, el sistema lacustre y el sistema subterráneo. A pesar de estar interconectados, su huella hidrogeoquímica permite identificarlos claramente. También, el estudio de los elementos traza ha permitido detectar la presencia de altos niveles de elementos tóxicos, como As, Se, en las aguas subterráneas y el alto nivel de eutrofización de los sistemas lacustres, lo que se observa en las altas concentraciones de nutrientes presentes en las aguas.

Es interesante clasificar a las aguas no solo por su contenido iónico sino por su salinidad y dureza. El contenido de sólidos totales disueltos calculado a partir de la concentración de los iones mayoritarios es una medida representativa de la salinidad de una muestra de agua. Se ha utilizado para clasificar las muestras de agua superficial y subterránea las tablas propuestas por el U.S Geological Survey, Hem, (1985).

TIPO	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS
no salina	< 1000
ligeramente salina	1000 - 3000
salina	3000 - 10000
muy salina	10000 - 35000
salmuera	> 35000

Los sólidos totales disueltos (STD) se expresan en ppm.

Para la dureza, se utilizó la clasificación de Durfor y Bec

TIPO	DUREZA
blanda	0 - 60
moderadamente dura	61 - 120
dura	121 - 180
muy dura	> 180

La dureza se expresa en mg / l de CaCO₃.

La salinidad y dureza de las muestras de agua subterránea y superficial se observan en las tablas N° 4 y 5. Se observa que el 91 % de las muestras del acuífero Pampeano son ligeramente salinas o no salinas y el 72,7 % de las mismas son duras o muy duras. Con respecto a las muestras de agua superficial el 90,9 % de las mismas resultaron ligeramente salinas o no salinas y el 59,1 % moderadamente duras o duras.

Estos valores nos inducen a pensar que en el verano

el proceso predominante es la evapotranspiración. Al concentrarse las aguas, aumenta la concentración de calcio y magnesio en solución, y cuando el producto iónico iguala o supera al K_{ps} , precipitan la calcita y la dolomita, presentando por consiguiente las aguas superficiales menor dureza.

También se estudió la aptitud de las aguas subterráneas para el consumo humano, para la actividad agrícola-ganadero y para la industria.

Para el consumo humano, se utilizaron las normas de calidad de agua del Código Alimentario Argentino actualizado (1993).

CONTAMINANTE	CÓD. ALIM. ARGENT.
	LIMITE MÁXIMO PERMITIDO
	ppm, salvo pH
pH	6.5 - 8.5
Sólidos disueltos totales	1000
Alcalinidad total	400
Dureza total	200
Cloruros	250
Sulfatos	200
Hierro total	0.30
Manganeso	0.05
Amoníaco	0.20
Nitritos	0.10
Nitratos	45
Fluoruro	0.7-1.2
Arsenico	0.05
Cianuro	0.10
Cromo	0.05
Mercurio	0.001
Zinc	5.0
Plomo	0.05
Cadmio	0.10
Cobre	1.0
Plata	0.05
Aluminio	0.20

Con los datos de composición química de las aguas subterráneas, que son las que se usan para consumo humano, observamos que el 90,9 % de las mismas no son aptas según el valor de STD, y el 60,6 % no son aptas por su dureza. Con respecto a la contaminación por nitratos, el 66,6 % de las mismas están por debajo del límite permitido de 45 ppm por la legislación de nuestro país. La mayor contaminación se observa en las cercanías de la Laguna de Chascomús y se podría deber a causas antrópicas, ya que la Ciudad de Chascomús está emplazada sobre su margen y es la zona más densamente poblada del área en estudio, con mayor proliferación de pozos negros y volcado de efluentes de instalaciones intensivas (granjas), donde existe una alta concentración de animales y la consecuente deposición de altas cantidades de materia orgánica.

Observando los datos de la concentración de As en aguas subterráneas vemos que el 50 % de las muestras presenta valores por encima del máximo permitido de 0,050 ppm. Esto puede deberse al contacto del agua subterránea con el loess pampeano, sedimentos limo arenosos, algo arcillosos, con abundante plagioclasa, vidrio volcánico y car-

bonato de calcio, de origen eólico y fluvial. Estas observaciones coinciden con los estudios realizados por Nicolli, (1985 y 1989) sobre aguas subterráneas en contacto con loess pampeano en la Provincia de Córdoba.

Para clasificar las aguas subterráneas de la zona de las lagunas encadenadas de Chascomús según su aptitud para riego se usaron las normas del United States Salinity Laboratory Staff (1954). Estas normas tienen en cuenta la concentración de sales solubles y la concentración relativa de sodio frente al calcio y magnesio (INDICE SAR: relación de absorción de sodio).

$$SAR: Na / (Ca + Mg) / 2^{1/2}$$

expresadas las concentraciones en miliequivalentes por litro.

Según la salinidad, se establecen 4 grupos:

CLASIFICACIÓN	Conductividad (microS/cm)	USOS
C1- baja salinidad	100-200	Apta para la mayoría de suelos y cultivos.
C2- salinidad media	250-750	Debe existir moderado lavado del suelo
C3- altamente salina	750-2250	Apta para suelos con buen drenaje y cultivos tolerantes a las sales.
C4- muy altamente salina	> 2500	Sólo para suelos con muy buen drenaje, y exceso de agua para lograr buen lavado del suelo.

La clasificación se fundamenta en las modificaciones que el Na puede producir en los suelos, pero también hay que tener en cuenta, que puede dañar cultivos antes de tener efecto sobre los mismos.

Según el SAR se establecen 4 grupos:

CLASIFICACIÓN	SAR	USOS
S1- bajo contenido en Na	0-10	Apta para la mayoría de suelos y cultivos.
S2- contenido medio en Na	10-18	Apta para suelos de textura gruesa, suelos orgánicos de buena permeabilidad, o suelos con yeso.
S3- alto contenido en Na	18-26	Sólo para suelos con buen drenaje y lavado (puede producir elevados niveles de Na intercambiable).
S4- contenido muy alto en Na	>26	Inadecuada para riego, salvo que su salinidad sea baja. Debe usarse yeso u otros mejoradores.

Mediante la concentración total de sales (C) y el peligro de alcalinización del suelo (S) se establecen 16 categorías combinando las cuatro clases de cada una. En el gráfico N° 5 se representa el nomograma para determinar el valor del SAR del agua y en el gráfico N° 6 se representa el diagrama para la clasificación de las aguas para el riego.

Del gráfico se observa que el 82.7 % de las aguas son de peligrosidad salina alta (C3) y de ellas el 58.3 % tiene peligrosidad sódica media o baja (S1 y S2).

De acuerdo a esta clasificación, el agua subterránea somera muestreada no resulta apta para riego, en especial

dadas las condiciones de poco drenaje de los suelos de la región. Según las recomendaciones del United States Salinity Laboratory, en la mayoría de los suelos de la zona (80 % de suelos bajos), debería usarse agua con calificación C1, y en las lomas más drenadas (20 % del total de suelos), C2 y según el SAR, aguas con calificación S1 en las partes bajas o S2 en las partes altas.

La aptitud del agua para la ganadería se analizó según el valor del límite de seguridad y del límite máximo permitido para la producción animal. Se define como límite de seguridad al valor que no afecta la producción animal, y como límite máximo al valor que no afecta la salud del animal. Para ello es necesario conocer el valor de pH, el contenido en sales totales disueltas (STD) expresado en mg/l, la dureza, expresada como mg/l de CaCO₃, los cloruros en mg/l, los sulfatos en mg/l, los nitratos en mg/l, y el arsénico en mg/l. Los valores admitidos para ganadería bovina, que es la predominante en la zona, según bibliografía nacional e internacional para cada elemento son:

ELEMENTO	En ppm, salvo pH
pH	6 - 9
Sólidos totales disueltos (STD)	7000 - 12000
Dureza	< 3000
Cloruros	7000 - 10000
Sulfatos	300 - 700
Nitratos	250 - 500
Arsénico	0,3 - 1,0

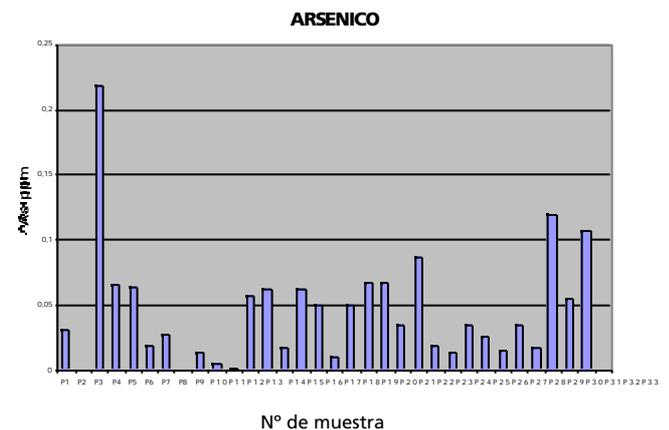
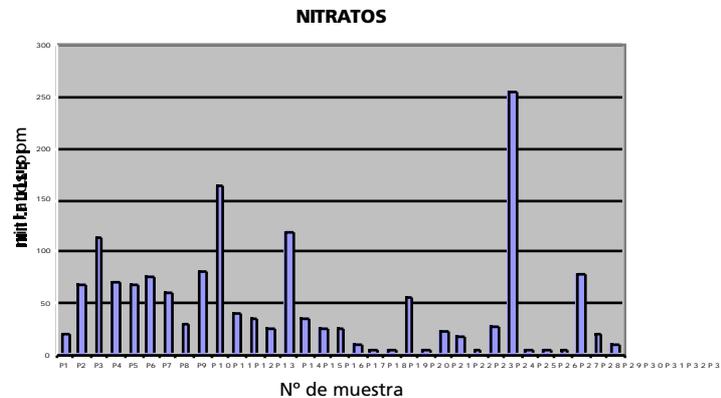
Cerana (1972 y 1975); Deeb y Sloan (1975); National Academy of Science (1974); Bavera (1989); Herrero (1996).

Fueron considerados tanto para el contenido de nitratos y de arsénico en el agua de uso compartido, los límites para humanos (45 ppm y 0,050 ppm respectivamente) y la dureza del agua como factor que limita el tipo y cantidad de detergentes a utilizar para el correcto lavado de las máquinas de ordeño (380 ppm de CaCO₃)

En las muestras de agua subterránea analizadas (tabla N° 1) se observa:

- pH: todas las muestras caen en el intervalo permitido no provocando problemas productivos o sanitarios en los animales.
- STD: solo una muestra supera los valores permitidos.
- Dureza: el 30 % de las muestras no son aptas para el lavado de las máquinas de ordeño, pero sí son aptas para producción y salud animal.
- Cloruros: todas las muestras caen en el intervalo permitido.
- Sulfatos: 9 % de las muestras superan el límite de seguridad pero una sola supera el límite máximo. En animales no acostumbrados puede ocasionar diarreas e irritación gastrointestinal.

- Nitratos: sólo una muestra supera el límite de seguridad. No obstante el 33 % de las muestras supera las 45 ppm, valor máximo permitido para uso humano.
- Arsénico: sólo una muestra supera el límite de seguridad, pero 50 % de las muestras supera el límite máximo permitido para uso humano.



Podemos concluir que en la zona en estudio el agua subterránea es apta para la producción animal.

La aptitud del agua subterránea para la industria varía ampliamente en función de los diversos usos y de los requerimientos que caracterizan a cada uno de ellos. Por ejemplo, la industria alimenticia que incorpora el agua a los productos (ej. fideos, pan, gaseosas, cerveza, caldos, etc.) necesita en general agua potable. En cambio, el agua que se utiliza para enfriamiento, para limpieza, para fabricación de papel, productos químicos, metalurgia, tiene menores requerimientos. En la zona en estudio las principales industrias se encuentran en los alrededores de la Ciudad de Chascomús y son alimenticias, y metalúrgicas.

Como ya hemos visto anteriormente la principal limitación del agua subterránea de la zona para ser utilizada en las distintas industrias proviene de su salinidad (en general >1000 ppm) y de su dureza (>120 ppm de CaCO₃). La alta dureza la hace inapropiada para ser empleada en enfriamiento o en calderas, pues dependiendo de la

presión las calderas requieren aguas con menos de 2- 80 ppm de CaCO_3 para su correcto funcionamiento.

CONCLUSIONES

El estudio preliminar realizado en las aguas subterráneas someras y superficiales de la zona de las Lagunas Encadenadas de Chascomús durante el verano de 1998 nos indica que las primeras son en general bicarbonatadas sódicas o bicarbonatadas cloruradas sódicas. El contenido de sales totales de las mismas aumenta en el sentido norte- sur, en dirección al Río Salado, principal punto de descarga de las aguas de la zona. *Sala (1975)*, ha establecido que existe un crecimiento salino desde las zonas de recarga a las de descarga ya que el recorrido del agua por sedimentos acucludos y acuitarados favorecen el enriquecimiento en sales.

Las aguas superficiales son netamente alcalinas, sin anión dominante o cloruradas. Durante el verano la evapotranspiración supera a las precipitaciones, por lo que el proceso dominante es la concentración salina de las mismas por evaporación del agua. En estas condiciones se alcanza el producto de solubilidad de la calcita y la dolomita, precipitando las mismas y tornándose las aguas menos duras.

Los estudios realizados por ICP-EM permiten determinar que los sistemas agua subterránea, lacustre y fluvial interconectados entre sí, tienen una huella hidrogeológica que los identifica claramente. Por otro lado nos indican la contaminación del agua subterránea con nitratos y arsénico, pudiéndose definir una zona crítica de contaminación

por nitratos en los alrededores de la Laguna de Chascomús, probablemente de origen antropogénico, pero sin poder definir zonas críticas para el As dado el carácter preliminar del trabajo. Es importante que se establecen valores de elementos trazas potencialmente tóxicos. Los altos valores de nutrientes encontrados en las aguas lacustres ponen en evidencia el alto grado de eutroficación de los lagunas.

Las aguas que utiliza la población rural, extraída de pozos en el Pampeano de poca profundidad, no son aptas en gran medida para consumo humano ya que hemos establecido que el 50 % de las mismas presentan contaminación con nitratos y /o arsénico. Tampoco son aptas para riego por su alta salinidad y coeficiente SAR, en especial dadas las condiciones de poco drenaje de los suelos de la región. Sí son aptas para producción animal.

Se realizará un nuevo muestreo en invierno para determinar si las modificaciones de las condiciones climáticas afectan los parámetros determinados, la existencia de zonas críticas de contaminación y el flujo local de contaminantes.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la Universidad de Buenos Aires el financiamiento del presente estudio, al Dr. Fernandez Turiel del Instituto Ciencias de la Tierra Jaume Almera de España por las análisis realizados con ICP-EM, al Dr. Víctor Conzonno el esfuerzo realizado en la recolección de gran parte de las muestras y sus invalorable consejos y al Dr. Horacio Rimoldi la lectura crítica del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- AUGE M.P. y M.A. HERNANDEZ, 1983.
Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense.
Coloquio Intern. De Grandes Llanuras. Unesco. V III: 1019-1043. Buenos Aires. París.
- BARBAGALLO, J. 1983.
Las areas anegables de la Pampa Deprimida. Un planteo agrohidrológico para su solución.
Coloquio Intern. De Grandes Llanuras. Unesco. V III: 789-827. Buenos Aires. París.
- BAVERA, L. 1989.
Aguas y aguadas.
Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires. Argentina. 284 págs.
- CATALÁN LAFUENTE, J.G. 1981.
Química del agua.
I.S.B.N.:84-300-5132-5. Madrid.
- CERANA, L. 1972.
Análisis químico de Aguas destinadas a usos agropecuarios, Información necesaria e interpretación.
IDIA, 299.:1-23.
- CERANA, L. 1975.
Aguas salinas para bebida animal.
Ciencia e Investigación. 31.:221-232.

- CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO ACTUALIZADO. 1993.
Cap.XII. art. 982. pag.331.
De la Canal y asociados. Buenos Aires.
- CONZONNO, V.H., FERNANDEZ CIRELLI, A.1988.
Soluble humic substances from Chascomus Pond (Argentina). Factors influencing distribution and dynamics.
Arch. Hydrobiol. 111, 3: 467-473.
- CONZONNO, V.H., FERNANDEZ CIRELLI, A. 1995.
Dissolved organic matter in Chascomus Pond (Argentina).Influence of calcium carbonate on humic acid concentration.
Hidrobiologia., 297: 55-59.
- CONZONNO, V.H., FERNANDEZ CIRELLI, A. 1997.
Ecosistemas Lagunares de la Provincia de Buenos Aires. Agua: Uso y manejo sustentable, .
Ed. Eudeba. ISNB 950-23-0646-5. Buenos Aires.:115-140.
- CONZONNO, V.H. AND FERNANDEZ CIRELLI, A.1998.
Isolation and purification of fulvic acids from a Pampasic Pond. (Argentina).
Fresenius Envir. Bull. 7: 91-95.
- DEEB, B.SLOAN, K. 1975.
Nitrates, Nitrites and Health.
Univ. of Illinois (USA). Bulletin 750. pp52.
- DURFOR, C.N. Y BECKER, E. 1962.
Public water supplies of the 100 largest cities in the United States,
U.S.Geological Survey Water-Supply Paper 1812.1964.
- FERNÁNDEZ TURIEL, J.L., GALINDO, G., FERNÁNDEZ CIRELLI, A., ANTICH, N., HERRERO, A. Y LLORENS, J.F. 1998.
Development of control and decision systems applied to the management of complex hydrological resources.
European Geophysical Society. XXIII General Assembly. Nice. France.
- FIDALGO F., O. DE FRANCESCO Y R. PASCUAL. 1975.
Geología superficial de la Llanura Bonaerense.
VI Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 103-138. Buenos Aires.
- FRENGUELLI J. 1950.
Rasgos generales de la morfología y la geología de la Provincia de Buenos Aires.
Lemit. Serie II. 33:72. La Plata.
- HEM J.D. 1985.
Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 3ª ed.
U.S.Geol.Surv. Water-Supply Paper 2254, pp 254.
- INDEC. 1996.
Encuesta Nacional Agropecuaria, ena 96-
Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina. 54 pág.
- I.G.M. Carta topográfica de la Provincia de Buenos Aires. Escala 1:250000- 3557-III- Chascomús. Escala 1:500000, 3557. Escala 1:50000, 3557-25-3; 3557-31-1; 3557-31-3; 3557-25-4; 3557-31-2; 3557-31-4; 3557-26-3; 3557-32-1; 3557-32-3.
- HERNANDEZ, M.A., FILI, M.F., AUGÉ, M.P. Y CECI, J.H. 1979.
Geohidrología de los acuíferos profundos de la Provincia de Buenos Aires.
VI Congreso Geológico Argentino. T II 479 –500. Buenos Aires.
- HERRERO, M.A.1996.
Aguas para Consumo Animal.
Agrozoonomia I, Ed. Agrovet. Buenos Aires. Argentina.: 53-67.

- HERRERO, M.A., SARDI, G., ORLANDO, A., MALDONADO, V., CARBO, L., FLORES, M. Y ORMAZABAL, J.J. 1997.
Protagonistas del Desarrollo Sustentable: El Agua en el Sector Agropecuario, caracterización de la Pradera Pampeana. Agua: Uso y manejo sustentable, .
Ed. Eudeba. ISBN 950-23-0646-5. Buenos Aires.:53-80.
- NICOLLI, H.B., SURIANO, J.M., GOMEZ PERAL, M.A., FERROZZU, L.H. Y BALEANI, O.A. 1989.
Groundwater Contamination with Arsenic and Other Trace Elements in an Area of the Pampa, province of Córdoba, Argentina.
Environ. Geol. Water Sci., 14 (1), 3-16.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. 1974.
Nutrients and Toxic Substances in water for livestock and poultry.
Washington DC. USA. pp93.
- RINGUELET, R.A., SALIBIÁN, A., CLAVERIE, E. ILHERO, S. 1968.
Limnología química de las lagunas pampásicas.
Physis. Tomo XVII- 71:201-221.
- RINGUELET, R.A. 1972.
Tipología de las lagunas de la Provincia de Buenos Aires. La limnología regional y los tipos lagunares.
Physis. Tomo XXXI- 82:55-76.
- SALA, J.M. 1975.
Geología de la Provincia de Buenos Aires. Recursos hídricos.
VI Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 169-193. Buenos Aires.
- SALA, J.M., GONZALEZ, N., KRUSE, E. 1983.
Generalización hidrológica de la Provincia de Buenos Aires.
Coloquio Intern. De Grandes Llanuras. Unesco. V III: 975-1008. Buenos Aires. París.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL;
Estadísticas Climatológicas. Estación Dolores 1901-1990. Estación Chascomús 1921-1950.
- U.S.SALINITY LABORATORY STAFF. 1954.
Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.
U.S. Dept.of Agriculture Handbook N° 60.

TABLA 1 - COMPOSICION QUIMICA - Agua Subterránea

M	TEMP. °C	pH	conduct. micro S/cm	Oxi.Dis. ppm	Silice ppm	Sodio ppm	Potasio ppm	Calcio ppm	Magn. ppm	Amonio ppm	Clor. ppm	Sulf. ppm	Carb. ppm	Bicarb. ppm	Nitrat. ppm	Nitritos ppm	Arsenico ppm	STD ppm
P1	17,6	7,61	21000	3,2	52,1	3741,0	96,7	104,2	201,1	<0,05	3652,3	3143,1		885,4	20,0	<0,005	0,320	11896,2
P2	17,7	7,85	1600	5,8	70,5	249,0	30,0	84,0	48,0	<0,05	195,0	58,0		751,0	68,0	<0,005		1553,5
P3	18,8	8,10	2500	4,0	54,9	574,0	25,0	23,2	27,1	<0,05	389,0	200,8	13,0	735,0	113,0	<0,005	0,218	2155,2
P4	17,9	7,56	2800	3,0	60,7	439,0	63,4	89,1	69,7	<0,05	399,0	228,0		851,2	70,0	0,01	0,067	2270,2
P5	21,0	8,04	2500	6,3	60,3	424,0	26,6	73,8	66,3	<0,05	455,0	114,5	13,0	643,9	68,0	<0,005	0,064	1945,5
P6	24,5	8,11	7900	7,3	54,9	1280,0	5,6	305,3	163,4	<0,05	2331,0	480,0	13,0	456,1	75,0	0,01	0,020	5164,3
P7	19,2	6,95	3900	4,6	63,1	625,0	30,0	117,9	68,0	<0,05	653,5	345,6		804,9	60,0	0,02	0,029	2768,0
P8	21,6	7,34	1700	4,8	19,6	260,0	25,0	58,0	26,0	<0,05	129,0	57,0		748,0	31,0	0,04		1353,6
p9	19,3	6,85	2630	2,0	65,4	487,6	19,2	24,0	34,0	<0,05	325,1	211,3		617,0	81,0	<0,005	0,015	1918,6
P10	22,7	7,23	1990	3,6	72,9	399,0	18,0	9,0	34,0	<0,05	214,0	38,0		702,0	165,0	<0,005	0,006	1651,9
P11	20,2	7,15	930	3,6	63,1	105,6	19,9	58,0	31,0	<0,05	56,0	19,2		492,3	40,0	<0,005	0,003	885,1
P12	22,3	7,99	1200	5,3	68,6	343,0	12,0	7,0	6,0	<0,05	102,0	38,4		713,7	35,0	<0,005	0,058	1325,7
P13	21,4	7,85	1180	5,2	63,1	264,4	12,0	6,0	17,0	<0,05	56,0	67,0		617,1	25,0	<0,005	0,062	1127,6
P14	19,5	7,26	1390	5,4	68,2	234,6	25,0	18,0	38,0	<0,05	56,7	38,4		640,5	118,0	<0,005	0,019	1237,4
P15	22,0	7,85	1000	5,6	61,1	216,2	12,9	15,0	10,0	<0,05	37,2	57,6		536,8	35,0	0,05	0,062	981,9
P16	24,2	7,64	956	5,2	67,0	220,0	17,0	14,0	14,0	<0,05	46,0	19,0		590,0	25,0	<0,005	0,050	1012,1
P17	18,8	6,63	2700	4,4	63,5	281,1	43,0	136,9	73,0	<0,05	613,3	57,6		429,4	25,0	0,005	0,011	1722,8
P18	19,0	9,10	1950	3,9	63,5	357,0	27,0	22,0	32,0	<0,05	204,0	77,0	106,0	563,4	10,0	<0,005	0,050	1461,9
P19	20,4	8,18	1080	7,2	53,7	224,0	16,0	18,0	14,0	<0,05	55,7	57,6	13,2	563,4	5,0	<0,005	0,069	1020,6
P20	17,7	7,56	2150	5,8	63,1	512,0	16,0	14,0	15,0	<0,005	120,7	182,4		1126,9	<5,0	<0,005	0,069	2050,1
P21	17,5	7,15	1980	4,5	63,1	392,0	21,0	49,0	34,0	<0,05	120,7	124,8		1046,4	54,0	<0,005	0,035	1905,0
P22	18,1	8,13	1572	8,3	63,1	386,0	10,0	11,0	10,0	<0,05	92,9	76,8	5,3	847,8	5,0	<0,005	0,087	1508,0
P23	18,0	7,89	1103	4,9	63,1	158,0	28,0	54,0	36,0	<0,05	65,0	48,0		617,1	24,0	<0,005	0,020	1093,2
P24	21,5	8,07	1299	7,4	68,2	96,0	50,0	99,0	58,0	<0,05	92,9	57,6		670,8	17,0	0,05	0,014	1209,5
P25	21,6	8,89	1010	12,9	64,9	214,0	23,0	32,0	18,0	<0,05	37,1	57,6	39,6	563,4	5,0	0,05	0,035	1054,6
P26	22,8	8,40	1428	7,8	61,1	264,0	25,0	40,0	29,0	<0,05	92,9	76,8	5,3	713,7	29,0	<0,005	0,026	1336,8
P27	20,4	7,02	7200	6,2	70,0	1072,0	66,0	237,0	192,0	<0,05	1857,0	249,6		831,7	256,0	0,1	0,016	4831,4
P28	18,4	7,02	2200	5,2	63,3	350,0	33,0	101,0	48,0	<0,05	538,5	38,4		536,6	6,0	<0,005	0,035	1714,9
P29	21,9	8,20	1180	9,1	49,1	228,0	22,0	49,0	22,0	<0,05	92,9	38,4	5,3	660,0	5,0	<0,005	0,018	1171,7
P30	18,2	7,88	1700	12,4	63,3	409,0	24,2	9,9	11,3	<0,05	141,4	48,0		939,3	<5,0	<0,005	0,120	1646,5
P31	17,7	6,98	1800	3,6	67,8	409,0	24,0	31,9	28,4	<0,05	251,5	96,0		750,0	79,0	0,05	0,056	1737,7
P32	15,8	7,43	1500	4,6	72,2	416,0	12,0	13,3	11,8	<0,05	147,6	95,2		850,2	19,0	0,01	0,108	1637,4
P33	18,4	7,89	1445	5,9	58,5	283,0	27,0	31,0	19,0	<0,05	139,3	48,0		667,9	10,0	<0,005		1283,7

TABLA 2 - COMPOSICION QUIMICA - Agua Superficial

M	TEMP. °C	pH	conduct. micro S/cm	Oxi.Dis. ppm	Silice ppm	Sodio ppm	Potasio ppm	Calcio ppm	Magn. ppm	Amonio ppm	Clor. ppm	Sulf. ppm	Carb. ppm	Bicarb. ppm	Nitrat. ppm	Nitritos ppm	STD ppm
S1	20,7	8,24	2000	3,0	10,6	383,0	16,2	29,3	22,3	<0,05	238,8	247,0		536,6	5,0	0,02	1488,8
S2	19,4	7,33	1670	2,8	12,9	349,0	5,8	32,1	19,7	<0,05	232,0	249,6		395,6	5,0	<0,005	1301,7
S3	21,7	9,47	2340	9,9	<0,5	458,0	15,1	19,9	24,6	<0,05	362,5	279,5	53,0	348,8	11,0	<0,005	1572,4
S4	23,7	9,50	2300	13,5	10,9	483,0	15,5	20,8	26,8	<0,05	361,3	233,3	92,0	375,6	11,0	<0,005	1630,2
S5	22,3	8,43	2600	5,4	13,0	474,0	33,1	45,4	47,5	<0,05	485,4	345,6		429,3	10,0	<0,005	1883,3
S6	24,5	9,49	2100	14,0	2,7	395,0	16,3	20,1	26,0	<0,05	351,7	103,2	119,0	295,1	13,0	0,01	1342,1
S7	28,1	9,10	1990	10,3	15,9	423,9	19,9	29,0	18,0	<0,05	315,5	230,5	46,0	402,5	<5	0,02	1501,2
S8	29,5	8,34	1600	6,9	28,0	356,5	16,8	25,8	18,0	<0,05	195,0	192,1	106,0	347,7	<5	0,04	1286,0
S9	28,0	8,72	3240	10,4	3,7	494,0	26,0	19,0	35,0	<0,05	321,0	364,0	53,0	456,1	<5	<0,005	1771,8
S10	27,5	7,30	1376	5,1	21,8	242,9	18,0	35,0	19,0	<0,05	241,4	76,8		378,2	<5	<0,005	1033,1
S11	29,1	8,24	3950	7,7	6,9	652,5	32,1	54,1	58,0	<0,05	726,7	374,6	26,0	457,5	<5	<0,005	2388,4
S12	27,2	8,36	3950	8,7	18,0	641,9	32,1	58,1	64,6	<0,05	739,8	403,5	13,0	456,3	<5	<0,005	2427,3
S13	28,3	8,54	2100	10,0	na	382,7	27,0	21,0	22,0	<0,05	400,0	96,1	26,0	402,6	<5	<0,005	1377,4
S14	21,5	8,40	2200	6,8	20,1	416,0	17,0	30,0	31,0	0,10	380,7	230,4	13,2	402,5	<5	<0,005	1541,0
S15	22,8	8,54	2400	7,5	22,3	460,0	22,0	40,0	36,0	0,10	436,4	230,4	13,2	482,9	<5	<0,005	1743,3
S16	26,2	10,33	1900	11,0	1,7	315,0	25,0	7,0	12,0	0,05	260,0	19,2	145,2	214,6	<5	<0,005	999,8
S17	25,0	8,74	1703	8,2	3,7	299,0	34,0	18,0	16,0	0,05	288,6	9,6	13,2	422,5	<5	<0,005	1104,7
S18	19,4	8,25	16000	9,5	21,3	2934,0	108,0	313,0	414,0	0,05	4802,0	1708,0	53,0	456,0	<5	0,005	10809,4
S19	23,0	9,22	2520	9,0	1,3	466,0	23,0	17,0	23,0	0,05	427,1	211,2	40,8	359,2	<5	<0,005	1568,6
S20	20,4	7,87	3100	7,7	18,2	482,2	28,0	36,0	41,0	0,05	490,7	230,4		505,0	<5	<0,005	1831,6
S21	22,2	8,85	960	4,5	23,3	194,1	11,0	17,0	10,0	0,05	74,3	19,2	54,4	359,2	<5	<0,005	762,5
S22	19,6	7,50	8000	7,4	15,1	1697,0	62,8	71,7	86,3	0,05	2531,5	584,3		188,0	<5	<0,005	5236,8

TABLA 3 - ELEMENTOS TRAZA DETERMINADOS POR LA TÉCNICA ICP-EM

M	Li7 ppb	B11 ppb	Al27 ppb	P31 ppb	Ti49 ppb	V51 ppb	Fe54 ppb	Mn55 ppb	Cu65 ppb	Zn66 ppb
P1	153,86	1590,65		98,63	79,50	401,33	67,4	1997,15	10,00	174,83
P3	29,14	1087,07		88,77	4,95	281,58	54,04	1,25	2,18	78,41
P4	43,46	587,07	33,71	193,48	6,46	161,40	130,26	299,99	5,87	777,62
P5	26,80	592,78		91,77	4,42	134,7		1,41	31,44	19,48
P6	57,07	514,75		78,55	14,46	79,63	48,07	10,22	14,06	37,46
P7	51,10	616,72	74,64	106,15	12,86	92,19	311,68	29,39	14,81	407,31
P30	34,21	817,96		88,24		272,41	6,67	1,07	11,63	160,76
P31	32,98	594,40		91,40	4,13	176,28	16,75	0,62	1,88	51,90
P32	28,44	660,02		109,32	2,38	232,44		33,21	2,79	6,49
si	19,21	320,60	687,81	1012,78	24,43	75,97	662,37	467,89	35,55	122,09
S2	15,21	231,99	587,92	547,15	34,90	12,24	624,61	155,85	17,22	25,66
S3	16,48	330,99	1336,70	141,65	34,40	37,71	846,83	129,38	15,77	25,30
S4	18,48	343,84	796,31	305,78	33,41	31,87	537,25	136,55	19,63	21,04
S5	18,83	419,50	1780,28	20325	45,08	9237	1019,6	183,65	10,30	11,27
S6	14,40	314,33	83,87	54,55	13,46	15,78	39,47	59,97	18,15	16,95
S18	94,65	760,40	395,99	118,52	57,53	38,59	249,91	145,61	23,16	23,24
S22	34,83	660,34	8706,01	424,15	40,94	40,65	11100,19	732,65	29,13	24,98

M	Se77 ppb	Sr88 ppb	Mo98 ppb	Sn118 ppb	Sb121 ppb	I 127 ppb	Ba 138 ppb	La 139 ppb	Pb 208 ppb	U 238 ppb
P1	109,75	4168,70	106,87	2,96	0,49	487,50	20,93	0,26	0,30	7,09
P3	81,12	377,91	82,47	9,72	0,27	54,54	72,65	0,30	0,77	21,33
P4	126,72	1345,26	8,67	9,52	0,20	389,27	116,12	0,31	4,06	19,33
P5	109,55	1049,21	7,24	8,08	0,20	54,88	104,50	0,19	1,73	10,65
P6	101,36	4265,54	4,19	6,10	0,26	110,39	106,52	1,56	65,46	13,79
P7	81,99	2551,74	4,25	8,91	0,29	69,84	48,70	0,26	6,15	13,08
P30	40,90	272,84	34,12	0,19	0,23	46,82	33,71	0,04	1,48	12,87
P31	59,84	736,82	13,12	0,14	0,25	9,36	100,90	0,05	0,39	14,13
P32	48,70	350,48	20,62	0,14	0,26	202,56	40,44	0,02	0,15	21,70
S1	450,41	495,79	6,92	1,17	0,39	22,72	80,48	1,41	4,75	4,76
S2	313,72	270,64	9,27	3,90	0,27	16,72	51,19	0,75	0,89	3,78
S3	504,09	433,33	23,45	1,00	0,52	36,54	76,17	1,64	3,61	6,79
S4	508,27	420,10	22,99	0,76	0,52	32,61	78,03	1,11	3,04	8,84
S5	650,18	1194,83	23,34	1,51	0,30	24,16	51,92	1,43	1,19	8,15
S6	701,80	434,21	8,10	2,02	0,45	24,51	52,44	0,53	0,50	2,94
S18	6695,14	6345,58	33,77	0,50	0,55	60,53	229,22	0,26	0,32	14,69
S22	4876,66	1345,14	1,85	0,28	0,33	33,66	49,57	9,60	10,64	2,56

TABLA 5 - CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES SEGÚN SU SALINIDAD Y DUREZA

SALINIDAD			DUREZA		
Muestra	STD	Clasificación	Muestra	CaCO ₃	Clasificación
S1	1488,8	ligeramente salina	S1	165,0	dura
S2	1301,7	ligeramente salina	S2	161,3	dura
S3	1572,14	ligeramente salina	S3	151,0	dura
S4	1630,2	ligeramente salina	S4	162,3	dura
S5	1883,3	ligeramente salina	S5	309,0	muy dura
S6	1342,1	ligeramente salina	S6	157,2	dura
S7	1501,2	ligeramente salina	S7	146,6	dura
S8	1286,0	ligeramente salina	S8	138,6	dura
S9	1771,8	ligeramente salina	S9	191,5	muy dura
S10	1033,1	ligeramente salina	S10	165,7	dura
Si1	2388,4	ligeramente salina	S11	373,9	muy dura
S12	2427,3	ligeramente salina	S12	411,1	muy dura
S13	1377,4	ligeramente salina	S13	143,0	dura
S14	1541,0	ligeramente salina	S14	202,6	muy dura
S15	1743,3	ligeramente salina	S15	248,1	muy dura
S16	999,8	no salina	S16	66,9	moderadamente dura
S17	1104,7	ligeramente salina	S17	110,8	moderadamente dura
S18	10809,4	muy salina	S18	2486,2	muy dura
S19	1568,6	ligeramente salina	S19	137,15	dura
S20	1831,6	ligeramente salina	S20	258,7	muy dura
S21	762,5	no salina	S21	83,6	moderadamente
S22	5236,8	salina	S22	534,4	muy dura

STD: sólidos totales disueltos en mg/l
 Dureza: en mg/l de CaCO₃.

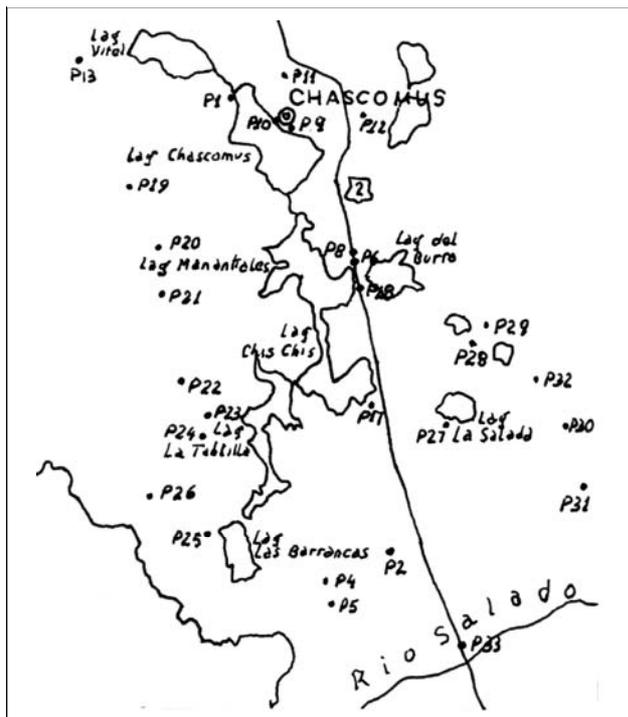
TABLA 4 - CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS SEGÚN SU SALINIDAD Y DUREZA

Muestra	SALINIDAD	
	STD	Clasificación
P1	11895,9	salina
P2	1553,5	ligeramente salina
P3	2155,0	ligeramente salina
P4	2270,1	ligeramente salina
P5	1945,4	ligeramente salina
P6	5164,3	salina
P7	2768,0	ligeramente salina
P8	1353,6	ligeramente salina
P9	1918,6	ligeramente salina
P10	1651,9	ligeramente salina
P11	885,1	no salina
P12	1325,7	ligeramente salina
P13	1127,6	ligeramente salina
P14	1237,4	ligeramente salina
P15	981,9	no salina
P16	1012,0	ligeramente salina
P17	1722,8	ligeramente salina
P18	1461,9	ligeramente salina
P19	1020,6	ligeramente salina
P20	2050,1	ligeramente salina
P21	1905,0	ligeramente salina
P22	1507,9	ligeramente salina
P23	1093,2	ligeramente salina
P24	1209,5	ligeramente salina
P25	1054,6	ligeramente salina
P26	1336,8	ligeramente salina
P27	4831,4	salina
P28	1714,8	ligeramente salina
P29	1171,7	ligeramente salina
P30	1646,4	ligeramente salina
P31	1737,7	ligeramente salina
P32	1637,3	ligeramente salina
P33	1283,7	ligeramente salina

Muestra	DUREZA	
	CaCO ₃	Clasificación
P1	1088,1	muy dura
P2	407,5	muy dura
P3	169,5	dura
P4	509,6	muy dura
P5	457,3	muy dura
P6	1435,7	muy dura
P7	574,6	muy dura
P8	252,0	muy dura
P9	199,9	muy dura
P10	162,4	dura
p 11	272,6	muy dura
P12	42,2	blanda
P13	85,0	moderadamente dura
P14	201,4	muy dura
P15	78,7	moderadamente dura
P16	92,6	moderadamente dura
P17	642,7	muy dura
P18	186,7	muy dura
P19	102,6	moderadamente dura
P20	96,7	moderadamente dura
P21	262,4	muy dura
P22	68,7	moderadamente dura
P23	283,1	muy dura
P24	486,2	muy dura
P25	154,1	dura
P26	219,3	muy dura
P27	1382,6	muy dura
P28	450,0	muy dura
P29	205,5	muy dura
P30	71,3	moderadamente dura
P31	196,6	muy dura
P32	81,8	moderadamente dura
P33	155,7	dura

STD: sólidos totales disueltos en mg/l
 Dureza: en mg/l de CaCO₃.

MAPA 1 - UBICACIÓN MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA



MAPA 2 - UBICACIÓN MUESTRAS DE AGUA SUPERFICIAL

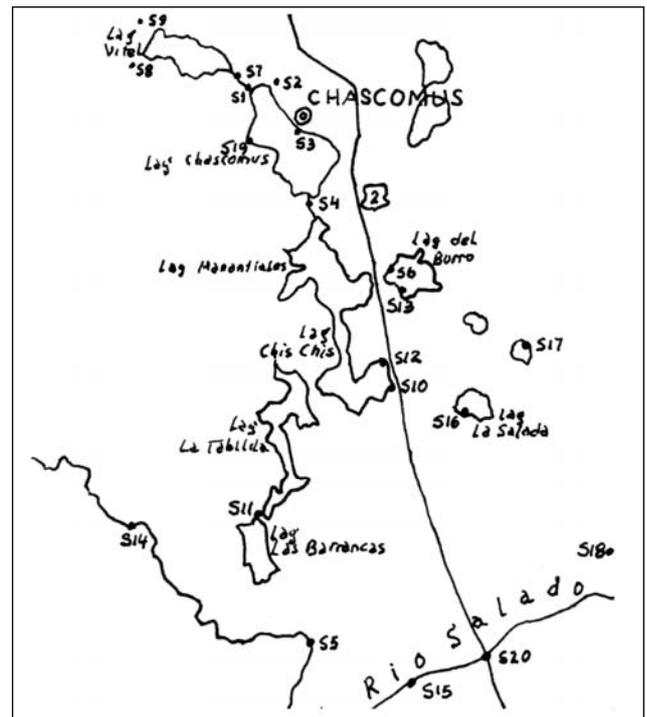


GRAFICO 1

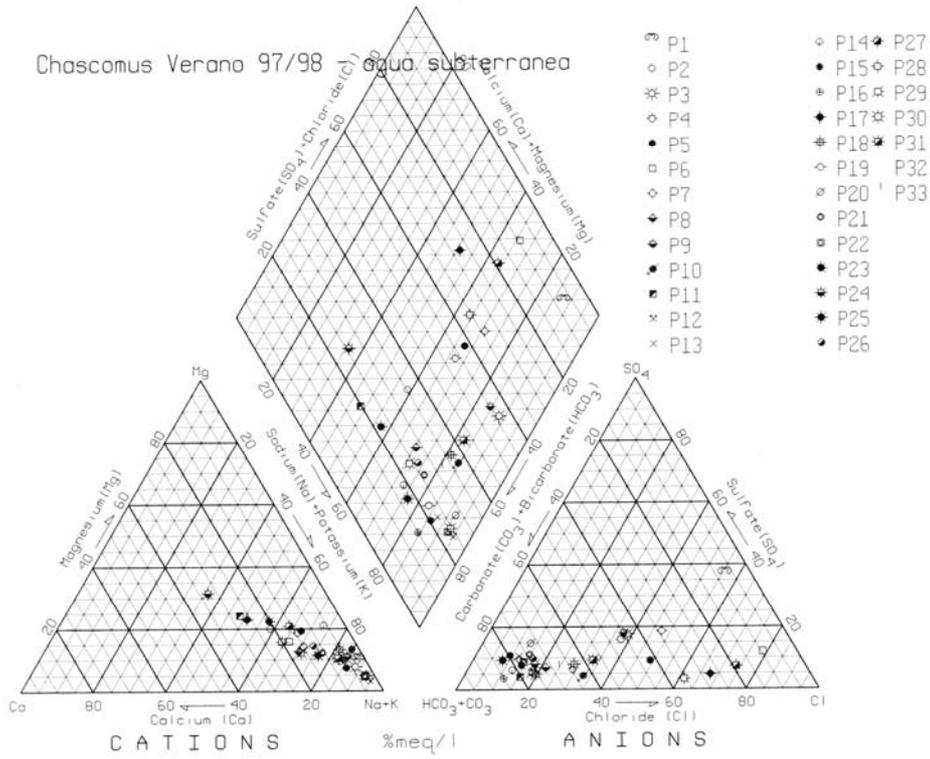


GRAFICO 2

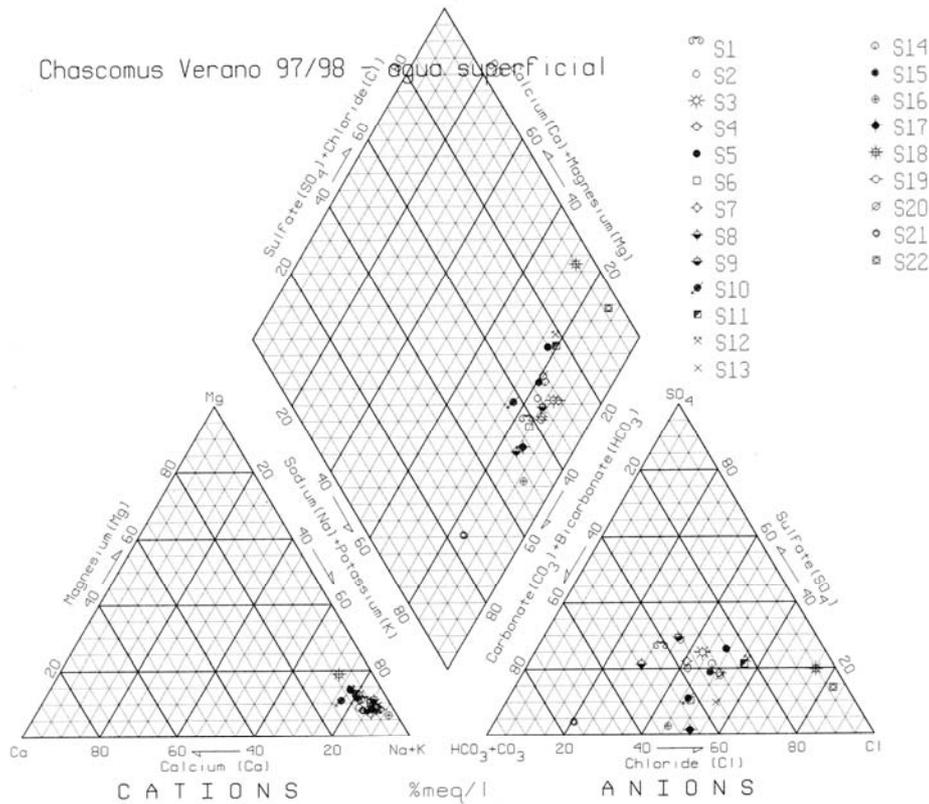


GRAFICO 3

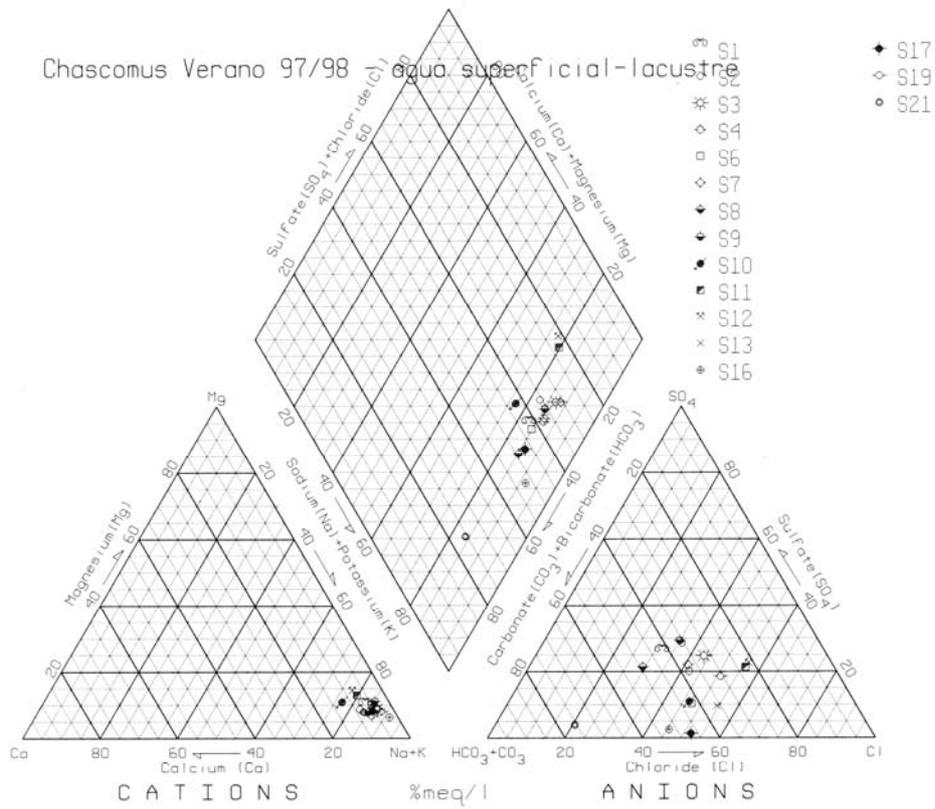


GRAFICO 4

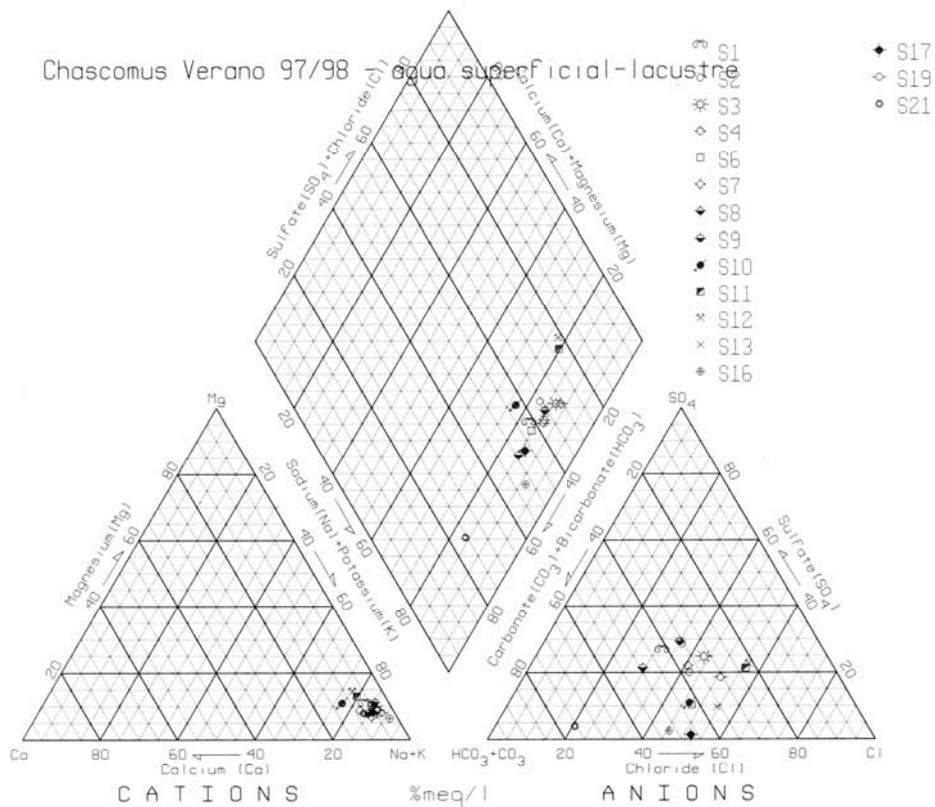


GRAFICO 5

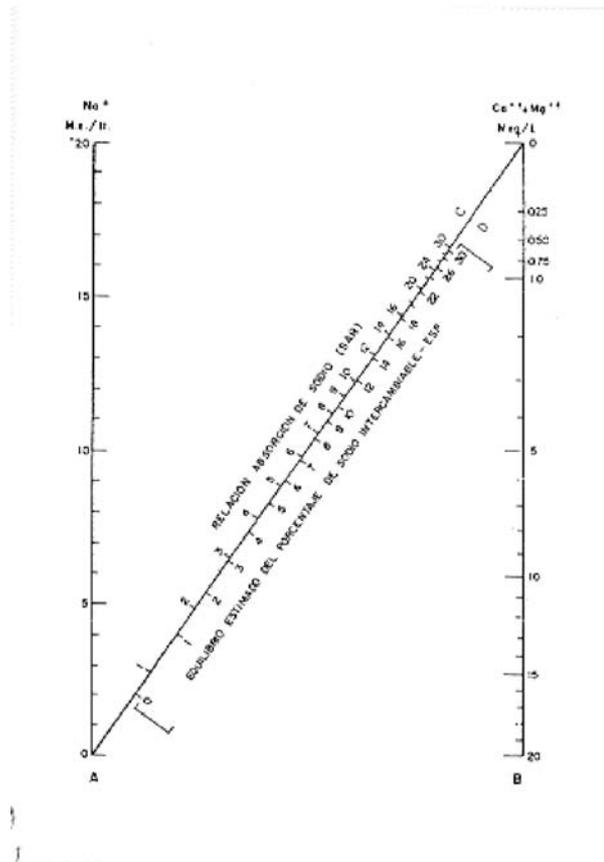
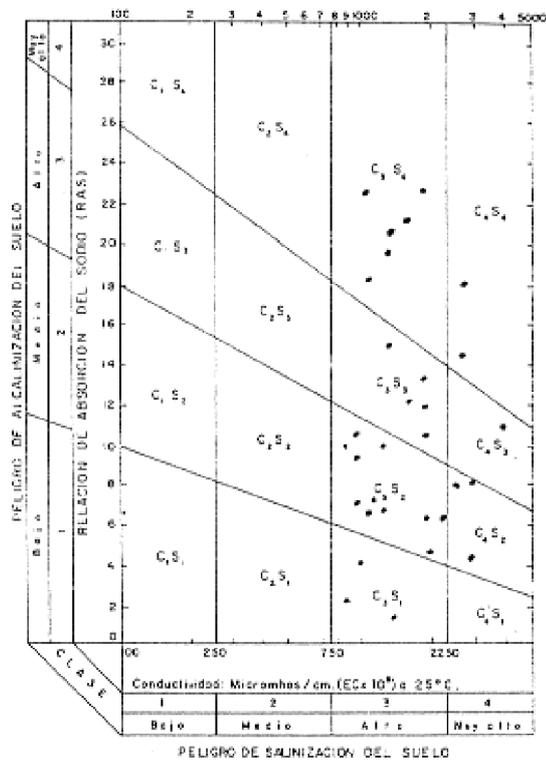


GRAFICO 6





Características geológicas y geotécnicas del área urbana de Tucumán y poblaciones vecinas

Ricardo Mon

Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Tucumán
Miguel Lillo 205 - 4000 S. M. de Tucumán.

Fecha de Aceptación: Setiembre de 1998

Resumen

La ciudad de Tucumán y las poblaciones vecinas, que componen un significativo conglomerado urbano que supera los 1.300.000 habitantes, están asentadas sobre dos medios de características geológicas y geotécnicas diferentes: limos de origen eólico (loesoides) y una compleja entidad de origen fluvial que cubre parcialmente a la anterior. Las entidades limosas son relativamente homogéneas y tienen un comportamiento geotécnico más previsible que las fluviales. Estas están compuestas por cuerpos irregulares arenosos, pelíticos y conglomerádicos, donde incluso se presentan horizontes proclives a la licuefacción sísmica. La presencia de estas dos entidades de características y orígenes distintos confirma el pronunciado cambio climático que habría ocurrido entre el Pleistoceno superior y el Holoceno. De acuerdo a datos paleogeomorfológicos y paleopedológicos, las capas loésicas pleistocenas se habrían depositado bajo condiciones áridas y frías notándose un cambio hacia condiciones más cálidas y húmedas en el Holoceno. Esto está de acuerdo con las observaciones que presentamos donde se verifica que la implantación de la red fluvial actual, responsable de la depositación de la entidad superior recién habría ocurrido en el Holoceno cuando se instauraron condiciones cálidas y húmedas similares a las actuales.

INTRODUCCIÓN

Sobre la geología de las áreas montañosas de la provincia de Tucumán existe abundante información. Se iniciaron sus estudios ya en el siglo pasado y desde entonces numerosos investigadores han documentado sus diferentes aspectos. No ha ocurrido lo mismo con la extensa llanura que se extiende hacia el este del sistema andino donde, a pesar de que en ella se desarrolla la mayor parte de la actividad económica y concentra la mayor parte de la población, existe poca información geológica. En este trabajo se introducen algunos datos preliminares sobre las capas cuaternarias más superficiales del área urbana de Tucumán y de las zonas densamente pobladas

que se encuentran al rededor de ella. A fin de lograr una adecuada comprensión de los rasgos y procesos geológicos que las afectan se ha extendido el estudio a un área mayor. Los datos obtenidos provienen de observaciones de campo, análisis de fotografías aéreas, imágenes satelitales y sondeos no destructivos de hasta 35 m de profundidad. Si bien las perforaciones para el alumbramiento de agua subterránea, practicadas en gran número en la llanura, son mucho más profundas, la información que proporcionan para la capas superficiales es limitada. Se emplean en ellas métodos destructivos que impiden su adecuada caracterización litológica especialmente desde el punto de vista geotécnico.

ANTECEDENTES

Los primeros estudios geológicos de los materiales que forman sobre las capas superficiales de la llanura tucumana pertenecen a Stappenbeck (1921), quien caracterizó a estos sedimentos como pertenecientes a un cono de deyección. Bonaparte y Bobovnikov (1974) destacaron que gran parte de los materiales atribuidos a este cono pertenecen en realidad a sedimentos loésicos de origen eólico. Estos autores describieron además el contenido paleontológico de estas capas lo que permitió datarlas y asimilarlas al Pleistoceno superior (Lujanense). Nuevos aportes al conocimiento cronológico, paleontológico y paleoambiental fueron efectuados por Esteban et al. (1988).

Si bien en el subsuelo de la ciudad de Tucumán se han realizado numerosos estudios geotécnicos puntuales para la fundación de edificios y otras construcciones, no existe información sistemática sobre las características geotécnicas del subsuelo. Los trabajos de Germano y Mon (1981), Adler y Segura (1996), Segura et al. (1996) representan ensayos aún aislados para lograr una adecuada comprensión de los problemas geológico-geotécnicos que afectan a las áreas urbanas de Tucumán.

Sobre las ciudades del interior de la provincia prácticamente no hay información que haya sido difundida en publicaciones.

Sobre los problemas aluvionales que afectan a la ciudad de Tafí Viejo y áreas vecinas se han presentado estudios tales como los de Toledo, 1993.

MORFOLOGÍA

Relieve y red de drenaje

Área urbana de San Miguel de Tucumán.

El conglomerado urbano de Tucumán y comunas adyacentes está situado entre el río Salí al este y las estribaciones de la sierra de San Javier al oeste. Tucumán está protegida de los aluviones provocados por los ríos que descienden desde las altas cumbres, ubicadas al oeste, por la sierra de San Javier. Esta ejerce un efecto de "sombra" hídrica y barrera protectora, impidiendo que los grandes cauces que provienen de las cumbres Calchaquíes alcancen esta parte de la llanura. El único río que ha logrado atravesar esta barrera es el río Lules. Este vuelca sus aguas al sur de la ciudad (Figura 1). Los ríos que afectan a la ciudad de Tucumán son cauces menores que descienden por la ladera oriental de la sierra de San Javier. Estos inmediatamente después de salir de la sierra tuercen su curso hacia el sur, de manera que cruzan la ciudad en sentido norte sur. La mayor parte de ellos son colectados por el arroyo El Manantial que lleva sus aguas al río Lules al sur de la ciudad (Figura 2). Estos cauces han tallado profundos zanjones en los limos rojos fácilmente erodables que se encuentran entre Tafí Viejo y Tucumán (Figura 2).

Un alto del relieve divide las aguas que descienden de la sierra con las del río Salí (Figura 2). Este alto topográfico está situado al noreste del área urbana protegiendo también a la ciudad de potenciales desbordes del río Salí., este pierde entidad hacia el sur. Entre él y las áreas elevadas que se encuentran inmediatamente al oeste hay una hondonada por la que corre un curso temporario que denominamos quebrada del Ferrocarril, esta atraviesa a la ciudad de norte a sur. Actualmente se encuentra cubierta por la urbanización y sus aguas son en gran parte recogidas por un canal de desagüe de dirección aproximada este-oeste, denominado Canal Norte, de cualquier modo se la distingue en el paisaje urbano siguiendo aproximadamente las vías del ferrocarril Belgrano. Durante las grandes tormentas esta depresión se inunda provocando dificultades de circulación en las calles que corren de este a oeste. Este relieve está bien ilustrado por la curva de nivel de 500 m (Figura 2). Además de este cauce hay otros paleocauces menores detectados por sus depósitos en el subsuelo y características morfológicas del relieve. Estos fueron señalados por Segura et al. (1995) y Adler y Segura (1996) en su estudio del subsuelo urbano. En el sector este-sureste de la ciudad se manifiesta una antigua línea de ribera del río Salí que produce un pronunciado escalón en el relieve reflejado en la elevada pendiente de algunos tramos de las calles en esa parte de la ciudad. Hacia el noroeste la ciudad de Tucumán está protegida también por el alto topográfico de Los Nogales, este impide que lleguen las aguas que provienen desde el sector septentrional de la sierra de San Javier, desviándolas directamente hacia el río Salí (Figura 2). Si bien los cauces que descienden de la sierra de San Javier no son de gran magnitud, durante las grandes tormentas del verano experimentan crecientes importantes que afectan localmente a las poblaciones más cercanas al pie de sierra. Estos fenómenos provocan daños considerables en Tafí Viejo y en Yerba Buena, donde frecuentemente las obras de defensa implementadas no resultan suficientes.

Contrariamente a lo que ocurre con la ciudad de Tucumán, las poblaciones situadas más al sur, en el área pedemontana, no tienen ninguna barrera protectora, están asentadas directamente en una extensa llanura aluvial y sujetas a embates de las crecientes estivales de los ríos. Estos desbordan frecuentemente sus cauces y corren libremente por esta llanura (Figura 3). En el área más próxima al pie de sierra la situación se agrava porque los ríos traen ocasionalmente importantes cargas sólidas hasta constituir verdaderos flujos de barro con materiales granulares gruesos ("debris flows"), tal como el que condujo el río Chirimayo que provocó significativos daños en el pueblo de Alpachiri en el verano de 1998.

Características del río Salí

El río Salí constituye el eje mayor de drenaje de la vertiente oriental andina de la provincia de Tucumán. Al norte corre recostado contra la ladera oriental de la sierra

de Medina y atraviesa su extremo sudoeste a lo largo de un valle encajonado donde se ha construido la presa de El Cadillal.

Este valle angosto se abre al sur de la ciudad de Tucumán en una amplia llanura aluvial surcada por numerosos paleocauces que demuestran que el río Salí durante su historia geológica reciente experimentó marcadas variaciones tanto en su recorrido como en su caudal. Los desplazamientos de su cauce fueron principalmente hacia el este del curso actual, donde los antiguos depósitos del río Salí constituyen gran parte del subsuelo inmediato de las poblaciones de la Banda del Río Salí, Lastenia, San Andrés y otras localidades (Figura 4). Hacia el oeste las divagaciones del río Salí fueron menores, sus depósitos no se extienden en el subsuelo de la ciudad de Tucumán fuera de una angosta franja aledaña al río situada en el borde este de la ciudad. Uno de los paleocauces mayores del río Salí está representado actualmente por el arroyo Mista (Figura 5).

Gran parte de los depósitos granulares gruesos, especialmente gravas transportadas por el río Salí provienen de la franja de depósitos de pie de sierra situados al oeste y al sur de las sierras de San Javier y Medina respectivamente (Figura 5). El río Salí removió depósitos granulares gruesos de otros ríos, especialmente el Calera, fuera de otros cauces menores, pero sin aportar una carga propia significativa. Es por ello que no parece adecuada la denominación de "cono de deyección" del río Salí introducida por Stappenbeck (1921) y ampliamente difundida en la literatura posterior, ya que estos depósitos pertenecerían a conos y abanicos de otros ríos. El río Salí solo elaboró parte de su cauce sobre ellos. Por otra parte, como lo adelantaron Bonaparte y Bobovnikov (1974), buena parte de los depósitos atribuidos al "cono" son de origen eólico. Fuera de ello las elevaciones topográficas que se le atribuyen estarían formadas por sedimentitas terciarias con una delgada cubierta cuaternaria.

Hacia el sur la llanura aluvial del río Salí coalesce con la del río Lules y también con las del río Colorado, Famaillá, Balderrama (Figuras 3 y 5) y otros cursos menores que muestran también evidencias de que sus cauces han experimentado pronunciados desplazamientos laterales. Estos, junto con el de los ríos Seco y Gastona, situados más al sur (fuera del área estudiada) conforman un amplio sistema fluvial divagante de afluentes del río Salí que han generado una extensa llanura cubierta de depósitos fluviales principalmente limo-arenosos (Figuras 3 y 5).

El río Tapia y sus afluentes, junto con el Lules y Colorado conforman un anillo que rodea a la sierra de San Javier (Figura 1). Este fue generado durante su levantamiento reciente que fue desviando estos ríos tanto hacia el norte como hacia el sur. Dentro de este sistema el río Lules constituye un caso especial dado que produjo una captura desviando sus afluentes hacia el este. Antes de esta captura estos ríos formaban parte del sistema anular

fluyendo hacia el Colorado cuya cuenca era mucho más extensa que la actual.

La cuenca del río Salí está delimitada hacia el este por una ancha dorsal de rumbo NNO-SSE que representa la continuidad hacia el sur de las sierras del noreste de Tucumán (Figura 5). Los ríos que corren por la ladera oriental de las sierras del noreste de Tucumán muestran cauces secos abandonados de una magnitud desproporcionada con respecto a sus caudales actuales. La presencia de gravas y arenas gruesas (explotados como agregados para la construcción) en áreas alejadas hacia el este del sistema montañoso, indican que estos ríos en épocas recientes (Holoceno) tenían un caudal y una energía superiores a los actuales.

UNIDADES LITOLÓGICAS

Estas están representadas en los mapas de las figuras 4 y 5

Basamento rocoso precuaternario

Este está constituido por dos entidades: el basamento metamórfico proterozoico y las secuencias continentales terciarias.

El basamento proterozoico aflora ampliamente en el núcleo de la sierra de San Javier, en las Cumbres Calchaquies y en la sierra de Medina. Está constituido por esquistos de bajo grado de metamorfismo altamente deformados y fracturados. Se trata de una entidad con permeabilidad secundaria debido a su alto grado de fracturación. Sobre su extensión y profundidad en el subsuelo no hay datos.

Las secuencias continentales terciarias representan un conjunto de capas rojas y evaporitas. Su sección basal (Formación Río Salí) tienen intercalaciones de yeso y de calizas oolíticas, las secciones superiores están constituidas por areniscas friables con intercalaciones de conglomerados (Formación India Muerta). Estas son entidades de baja permeabilidad. Afloran aisladamente en las lomas situadas al norte de Tucumán y Tafí Viejo por debajo de una cubierta de sedimentos y suelos cuaternarios, hundiéndose hacia el sur por debajo de las capas cuaternarias que conforman el subsuelo de la ciudad (Figuras 4 y 5). Hay también algunos asomos aislados sobre el borde de la sierra de San Javier. La posición de estas capas en el subsuelo es desconocida.

Entidades cuaternarias inconsolidadas

A continuación se describen los perfiles que permiten caracterizar las entidades litológicas que forman la cubierta cuaternaria más superficial de la llanura de Tucumán.

Subsuelo de la ciudad de Tucumán

En el subsuelo de la ciudad de Tucumán predominan ampliamente los suelos finos constituidos por limos arcillosos rojizos, con participación arenosa menor (Figura 6). Solo en áreas restringidas que corresponden a cau-

ces antiguos que fueron cubiertos por la urbanización se encuentran suelos granulares. En el subsuelo del área oriental de la ciudad, que coincide con un antiguo cauce del río Salí, dentro de los limos arcillosos se encuentran intercalaciones de arenas y gravas de hasta 2 m de espesor. En la zona pedemontana y en toda una franja que acompaña el borde de la sierra de San Javier, dentro de los limos arcillosos típicos del subsuelo del área urbana de Tucumán, se encuentran intercalaciones de gravas constituidas por rodados aplanados formados principalmente por los esquistos del basamento metamórfico de la sierra.

La base de la secuencia de limos arcillosos rojizos solo ocasionalmente ha sido alcanzada por los sondeos de investigación geotécnica que se realizan habitualmente para los estudios de fundaciones. Sin embargo en dos sondeos situados en el sector sudoeste de la ciudad (calle San Luis), que penetraron por debajo de los 22 m de profundidad se detectó a los 18 m una capa granular, de más de 5 m de espesor, constituida por gravas limpias y arenas gruesas. Este horizonte granular se asienta sobre limos arcillosos altamente consistentes y representa la base de la secuencia limosa superior que fue designada como Formación Tucumán (Bonaparte y Bobovnikov, 1974) (Figura 6). Estos autores detectaron a la unidad granular basal en varias perforaciones efectuadas en el área urbana de Tucumán a profundidades variables entre 20 y 30 metros. Además descubrieron fósiles que permitieron atribuir esta formación al Pleistoceno superior (Lujanense). Los limos rojos de la Formación Tucumán son sedimentos loésicos, de acuerdo a Esteban et al. (1988) y Sayago (1995) tienen aproximadamente la misma mineralogía y composición química que los loess de la llanura pampeana. Además se verificó en afloramientos fuera del área estudiada, en el valle de Tafí, que en las capas loésicas están constituidas por una alternancia de mantos de loess propiamente dichos con paleosuelos (Collantes et al 1993; Sayago 1995).

Cauce del río Salí

En las proximidades del cauce del río Salí, de acuerdo a un sondeo perforado en Los Aguirre, se encuentra al siguiente perfil de 0 a 6 m gravas arenosas gruesas con rodados de hasta 20 cm de diámetro; 6 a 15 m limos arcillosos pardo rojizos; 15 a 23 m gravas y arenas gruesas; 23 a 25 m limos arcillosos rojizos que probablemente continúan en profundidad. Estos últimos pertenecerían al sustrato loésico que se encuentra en el subsuelo de toda la llanura.

En este perfil la capa de gravas superiores entre la superficie y los 6 m puede interpretarse como el relleno actual del río Salí, los limos rojos y las gravas inferiores serían correlacionables con la Formación Tucumán. Esta situación parece extenderse hacia la margen izquierda (este) del río Salí. En sondeos geotécnicos practicados a 2 km al este del cauce, en la Banda del Río Salí, se encontró un perfil similar: Desde la superficie hasta los 9 m gravas y arenas pertenecientes al cauce del río Salí; de 9 m a 12 m limos arcillosos

rojizos; 12 m a 15 m arenas y gravas. En este sondeo no se atravesó completamente el horizonte granular inferior, es probable que este esté asentado sobre el sustrato loésico. En ambos perfiles la parte superior de la secuencia de la Formación Tucumán, estaría parcialmente erodada por la acción del río Salí que depositó sobre ella sus aluviones.

Perfiles de la zona de El Bracho

Este es uno de los sectores de la llanura cuyo subsuelo es mejor conocido, dado que en él se practicaron numerosos sondeos relacionados a los estudios geotécnicos para la fundación de las centrales termoeléctricas que se construyeron en esta localidad. Prácticamente todos los sondeos muestran un panorama similar. Desde la superficie hasta los 10-12 m se encuentra una secuencia de limos arenosos y arenas muy finas con intercalaciones de capas de arcillas. Esta tiene un horizonte basal de 1 a 4 m de espesor constituido por gravas y arenas gruesas. Esta secuencia nítidamente fluvial se asienta sobre un sustrato limo arcilloso, cuya base no ha sido alcanzada por ninguno de los sondeos practicados en el sector, a pesar de que algunos de ellos descendieron hasta los 35 m. La secuencia superior pertenece probablemente a la antigua llanura fluvial del río Salí, ampliamente extendida con respecto al cauce actual, que en este lugar se encuentra a unos 10 km hacia el oeste. Las capas de limos arcillosos basales representan una secuencia loésico, donde no se advierte la participación de episodios fluviales significativos. Dentro de ellas hay horizontes con abundantes concreciones carbonáticas (tosca).

El perfil de El Bracho es altamente significativo porque refleja una situación geológica que se extiende en un extenso sector de la llanura de Tucumán donde el río Salí y sus afluentes generaron amplios depósitos fluviales que se asientan sobre un sustrato de limos arcillosos de origen eólico. Este pasaje implica un pronunciado cambio en las condiciones climáticas y paleogeográficas. En este lugar aparentemente no está presente la Formación Tucumán que habría sido erodada y reemplazada por depósitos de origen fluvial. El sustrato loésico inferior pertenece probablemente a una unidad pleistocena más antigua.

Otras localidades de la llanura

Al sudeste de Famaillá el sustrato limoso basal se encuentra por debajo de los 20 m, sobre él se depositan limos arenosos y arenas finas con intercalaciones de capas de arcillas. Es una situación similar al perfil de El Bracho con la diferencia de que en este caso no aparece el horizonte conglomerádico basal de la secuencia superior. Al oeste de Monteros el sustrato limo-arcilloso basal parece estar mucho más profundo ya que no fue alcanzado por sondeos que descendieron hasta los 30 m de profundidad.

Corte transversal del sistema fluvial a lo largo del perfil A-B

Los sondeos geotécnicos realizados a lo largo de la lí-

nea de alta tensión entre El Bracho y la mina de La Alumbrera, en el tramo que se desarrolla en la llanura, permitieron obtener un corte transversal completo del sistema fluvial del río Salí y sus afluentes principales (Figura 7). Los sondeos proporcionaron información hasta los 15 m de profundidad. El perfil muestra que el espesor de la capa superior de origen fluvial varía entre los 10 y 20 m, profundizándose hacia la parte central del sistema, cuya zona más profunda estaría por debajo del río Colorado. Este parece ser el eje del sistema que desciende desde las Cumbres Calchaquíes. En la parte occidental del corte se manifiesta un cuerpo de arenas limosas poco densas de colores grises y pardos que parecen rellenar una depresión más joven tallada en los limos y arenas rojizos que forman la mayor parte de la capa superior. Esta entidad de limos arenosos y arenas pardas y grises ha sido detectada también el subsuelo de Bella Vista. El sustrato limo-arcilloso sobre el que se asienta este sistema fluvial ha sido alcanzado sólo por las perforaciones próximas a los extremos del perfil. En la parte central los sondeos no han alcanzado la base de la secuencia fluvial, sin embargo se supone que el sustrato limoso se encuentra próximo a los 20 m de acuerdo a los datos obtenidos en sondeos practicados poco al sur de Famaillá. La napa freática fue detectada en todos los sondeos, su profundidad oscila entre 1 y 3, acompaña fielmente la configuración del relieve

Ensayo de correlación estratigráfica entre los perfiles estudiados y distribución regional de las entidades cuaternarias.

Si bien la información disponible es pobre y en alguna medida inconexa, dado que ha sido levantada en sitios alejados entre sí y que no existen dataciones precisas, es posible intentar una correlación basada en características litológicas y relaciones estratigráficas.

La unidad más extendida es el zócalo limo-arcilloso que se encuentra en prácticamente todos los sitios investigados a una profundidad que varía entre los 10 y los 30 m, aunque es probable que en ciertos lugares esté más profundo, tal como ocurre hacia el oeste de Monteros. El espesor de esta entidad basal es desconocido, los sondeos, practicados en El Bracho, que penetraron más de 20 m en ella y que descendieron hasta los 35 m no alcanzaron su base. De acuerdo a datos obtenidos en perforaciones realizadas para el alumbramiento de agua subterránea podría tener cerca de 150 m de espesor (Bonaparte y Bobovnikov, 1974). En ella predominan los sedimentos de origen eólico, loésicos, abundantes concreciones carbonáticas. El sustrato limo-arcilloso no aflora, ha sido reconocido solo en perforaciones.

Entre la sierra de San Javier y el río Salí se extiende, hasta poco al sur del río Lules (Figura 5), una franja de sedimentos limo arcillosos que son los que componen el subsuelo de Tucumán. Esta entidad fue designada como Formación Tucumán por Bonaparte y Bobovnikov (1974), quienes encontraron en ella una fauna fósil que permitió

atribuirla al Pleistoceno Superior (Lujanense). Esta entidad tiene en su base un horizonte granular grueso de 3 a 5 m de espesor y se asienta sobre un sustrato limo-arcilloso, su espesor total varía entre los 20 y los 30 m. En lo que se refiere al origen del horizonte granular basal puede suponerse que obedece a un corto episodio fluvial intercalado en una secuencia preponderantemente eólica. Hacia el sur y hacia el este la Formación Tucumán ha sido erodada y reemplazada por sedimentos de origen fluvial ya que no está presente en las localidades situadas más al sur (Bracho, Famaillá, etc.). La franja actual sería aparentemente un relictos que ha quedado protegido de la erosión por la sierra de San Javier. El sustrato limoso basal detectado en los sondeos de El Bracho sería más antiguo y correlacionable con las secuencias limo-arcillosas que se encuentran por debajo de la Formación Tucumán.

La entidad superior, que se apoya sobre el sustrato limo arcilloso, es heterogénea, depositada en una llanura fluvial. Está constituida por cuerpos arenosos, y limo arcillosos que tienen formas irregulares imprevisibles, muestra una significativa participación de materiales granulares arenas y gravas. La participación de materiales fluviales en el subsuelo aumenta de norte a sur, a la latitud de la ciudad de Tucumán, el valle del río Salí constituye solo una angosta franja (Figura 5). Hacia el norte los sedimentos granulares fluviales rellenan solo los cauces de los ríos. Al sur de la latitud de Lules esta franja se ensancha sensiblemente y ocupa gran parte de la llanura (Figura 5). En esta entidad son frecuentes las intercalaciones de capas de cenizas volcánicas, que no superan los 0,2 m de espesor. La base de esta secuencia superior está marcada por capas conglomerádicas con rodados de hasta 0,15 m de diámetro, este nivel conglomerádico basal tiene espesores que oscilan entre los 2 m y 5 m.

Hacia el este de la franja de materiales granulares que acompaña el cauce del río Salí se encuentra otra franja de materiales finos y arenas. La información que existe sobre ella es muy escasa. Se trata de sedimentos loésicos de baja consistencia y densidad que muestran tendencia a la colapsibilidad.

Hay otra franja de sedimentos granulares al este de la zona serrana generada por los cauces que descienden de las sierras de la Ramada y las que se encuentran más al norte. Estos corren hacia el este-sureste. En la actualidad se encuentran prácticamente secos y se observa que tanto la magnitud de los cauces como la granulometría de los rodados que transportaban son desproporcionados con respecto a la actividad que estos muestran en la actualidad. El conocimiento que existe sobre esta entidad sólo se limita a las excavaciones practicadas para la extracción de áridos donde se observa que, además de capas arenosas, se encuentran intercalaciones de gravas con rodados de hasta 0,05 m de diámetro.

CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS

La distribución de las entidades litológicas descritas más arriba incide directamente en las características geotécnicas de los distintos sectores de la llanura de Tucumán.

Si bien la urbanización aun no ha avanzado de manera significativa sobre las laderas de las sierras que rodean a Tucumán y poblaciones vecinas, tales como Tafi Viejo, es necesario tener en cuenta que los taludes que se excaven sobre la sierra de San Javier, especialmente en los esquistos proterozoicos pueden ser inestables en los casos en que ocurran combinaciones desfavorables de discontinuidades. Además la capa de material suelto, formada por depósitos coluviales, que se desarrolla sobre ellos ha demostrado ser altamente inestable cuando se satura durante lluvias excepcionales. En estos materiales se generan flujos de barro y fragmentos rocosos ("debris flows") que pueden tener consecuencias desastrosas, tal como quedó demostrado en el valle del río Lules cuando uno de estos flujos desencadenado por una fuerte tormenta destruyó una central eléctrica en el verano de 1973. El valle del río Lules es especialmente proclive a este tipo de fenómenos, especialmente sobre su margen izquierda donde hay otros flujos del mismo origen que han cubierto la antigua ruta que acompañaba al río precisamente por esta margen.

La mayor parte de las construcciones en la ciudad de San Miguel de Tucumán y de Yerba Buena se asientan sobre los limos rojos de la capa superior. Aunque estos tienen una marcada homogeneidad litológica, muestran consistencias variables que cambian rápidamente de un lugar a otro sin que puedan determinarse fehacientemente las causas de tales variaciones. Estas pueden estar relacionadas a la variabilidad de los agentes de depositación, a marcadas diferencias de compactación natural y de humedad. Aunque, como es de esperar, la consistencia de los limos aumenta en profundidad, frecuentemente se verifica que recién se encuentran resistencias adecuadas a profundidades elevadas, lo que incide negativamente en el costo de las fundaciones, obligando a realizar fundaciones indirectas mediante pilotes que se asienten sobre mantos resistentes. Aunque no hay suficientes datos, se supone que estos mantos resistentes pueden coincidir en algunos casos con el horizonte basal de la secuencia superior (Formación Tucumán), constituido por gravas y arenas gruesas. La extensión, espesor y continuidad de este manto son pobremente conocidos.

En el subsuelo de la ciudad de Tucumán se ha notado un continuo ascenso de nivel de la napa freática, lo que ha provocado significativas dificultades en construcciones subterráneas que en su momento habían sido implantadas en seco. Uno de los casos más notables se produce en los grandes panteones del Cementerio del Oeste, construidos sin presencia de napas a principio de siglo, actualmente se encuentran totalmente inundados. Resulta casi innecesario comentar la incidencia que tienen tales hechos sobre la

contaminación de estos acuíferos. Aparentemente el ascenso de las napas se debe a la alimentación que experimentan por pérdidas en los conductos de agua potable, desagüe y cloacas, fuera de la que se inyecta a través de los pozos negros en las zonas urbanas no servidas por cloacas. (Germano y Mon, 1981). La posición de la napa freática en el área urbana de Tucumán fue estudiada en detalle por Adler y Segura (1996).

Los depósitos granulares se encuentran en el subsuelo del área oriental de la ciudad de Tucumán, Banda del Río Salí y se extienden extensamente hacia el sur (Figuras 5 y 6), presentan características heterogéneas y bruscos cambios laterales. Son complejos sedimentarios donde alternan capas arenosas y conglomerádicas con horizontes limo-arcillosos. No cabe descartar dentro de esta entidad la presencia de arenas de baja densidad que, en presencia de napas freáticas altas, son proclives a la licuefacción sísmica. Es por ello que este aspecto debe ser investigado en los estudios geotécnicos puntuales para construcciones determinadas. De acuerdo a estas características, esta entidad ha sido desestimada como horizonte de fundación en el caso de construcciones pesadas importantes tales como las centrales térmicas de El Bracho y otros establecimientos industriales situados sobre esta misma entidad en las proximidades de Famaillá. Se ha preferido en estos casos transmitir la carga, mediante pilotes, al sustrato limo-arcilloso basal que representa un medio de fundación más seguro y previsible.

Sobre la franja de limos y arcillas situada al este del río Salí existe escasa información. Sin embargo de acuerdo a estudios puntuales realizados en el sector se verifica que son materiales de muy baja consistencia, al menos en los diez primeros metros. Se ha detectado también la presencia de suelos colapsables en las capas más superficiales.

Discusión y balance del conocimiento geotécnico

Las áreas urbanas de Tucumán presentan problemas que eventualmente podrían llegar a tener significativo impacto social. Estos debieran ser objeto de la atención de organismos públicos dado que, por su magnitud, escapan al alcance de los estudios de rutina que se hacen habitualmente para la implantación de construcciones privadas.

El conocimiento del subsuelo de la ciudad de Tucumán es pobre, permanecen como incógnitas algunos aspectos importantes como la extensión del manto de gravas y arenas que se ha detectado puntualmente por debajo de las capas de limos superficiales. No se ha evaluado fehacientemente la existencia de mantos de limos arcillosos compresibles que puedan ceder cuando se concentren las cargas debido a un aumento significativo de la construcción en altura. Se desconoce la profundidad del sustrato rocoso. Tampoco existe información rigurosa sobre el comportamiento del agua subterránea. El conocimiento sobre la sismicidad es aún difuso.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El estudio del relieve y de las unidades superficiales de la llanura tucumana permiten confirmar que en el Pleistoceno más alto y el Holoceno ocurrieron importantes cambios climático y geológicos.

La configuración de la red de drenaje actual y de los paleocauces muy bien preservados en el relieve inducen a suponer que en épocas muy recientes había precipitaciones más intensas que los actuales y que por la cuenca del río Salí corría muchos más agua que la que corre actualmente. Prueba de ello son los numerosos cauces muy bien preservados que actualmente se encuentran desactivados e incluso cubiertos por cultivos. Aparentemente al actual arroyo Mista era un cauce tan importante como el actual río Salí. Hacia este los cauces que descienden por la vertiente oriental de la sierra de la Ramada y las sierra de Burreyacu (fuera del área estudiada) son totalmente desproporcionados a la cantidad de agua que transportan actualmente, además la presencia de granulares gruesos en sus lechos, en áreas alejadas de la sierras, hace suponer caudales significativos capaces de acarrear materiales de esa granulometría.

El nítido contraste litológico entre los limos loesicos del sustrato basal y las capas predominantemente fluviales que se encuentran por encima de él indican un pronunciado cambio en las condiciones de sedimentación y probablemente también de clima. Es un hecho aceptado a partir de estudios paleopedológicos y paleogeomorfológicos que los depósitos loesicos se produjeron en condiciones de aridez acompañados de climas fríos y secos que imperaban a fines del Pleistoceno y que hacia el Holoceno se pasó a climas más cálidos y con más precipitaciones (Sayago et al. 1987; Esteban et al. 1988; Collantes et al. 1993, Sayago 1995). Este proceso parece estar confirmado por la estratigrafía de los depósitos cuaternarios ya que se verifica que el desarrollo sistema fluvial es extremadamente reciente y se encuentra implantado sobre los depósitos loesicos pleistocenos Este sería un argumento para sostener la extrema juventud del paisaje actual que recién habría tomado su forma en el Holoceno donde se habría generado la red fluvial actual. Los perfiles del

subsuelo muestran que los depósitos fluviales se encuentran en valles y depresiones talladas en los limos pleistocenos. Las montañas que condicionan el flujo de las aguas superficiales recién habrían completado su levantamiento en el Holoceno.

CONCLUSIONES

Dentro de las capas cuaternarias de la llanura de Tucumán se distinguen dos unidades nítidamente diferenciadas: un sustrato limo-arcilloso de origen principalmente eólico, loésico, de edad pleistocena y una secuencia en la que predominan los sedimentos de origen fluvial, holocena. El pasaje de una a otra refleja un cambio climático pronunciado, de condiciones frías y secas a un clima cálido y húmedo. Ambas tienen características geotécnicas distintas que de alguna manera condicionan las fundaciones de las grandes construcciones (edificios en altura, puentes, silos, plantas industriales, etc.)

Para la resolución de los problemas que aquí apenas hemos llegado a plantear hace falta incrementar considerablemente el conocimiento del subsuelo mediante perforaciones no destructivas y geofísica. Sería necesario definir aspectos estratigráficos y geotécnicos de las capas más superficiales al menos con una decena de perforaciones no destructivas de hasta 50 m de profundidad en sitios especialmente significativos. Con métodos geofísicos de alta resolución podría llegar a definirse la configuración del sustrato rocoso en el subsuelo de las áreas urbanas. Esta información tiene impacto tanto en aspectos geotécnicos como en la explotación de recursos hídricos subterráneos y la eliminación de residuos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se llevó a cabo con el apoyo material de la Universidad Nacional de Tucumán y del CONICET. Se agradece al Ing. F.J. Adler la provisión de información de subsuelo inédita de distintos sectores de la provincia de Tucumán.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ADLER, F. J. y SEGURA, F. R., 1996.

Cartografía de napas freáticas de San Miguel de Tucumán.

Instituto de Estudios Geográficos, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Tucumán. 10 p. Inédito.

BONAPARTE, J.F. y BOBOVNIKOV, J., 1974.

Algunos fósiles pleistocénicos de la provincia de Tucumán y su significado estratigráfico.

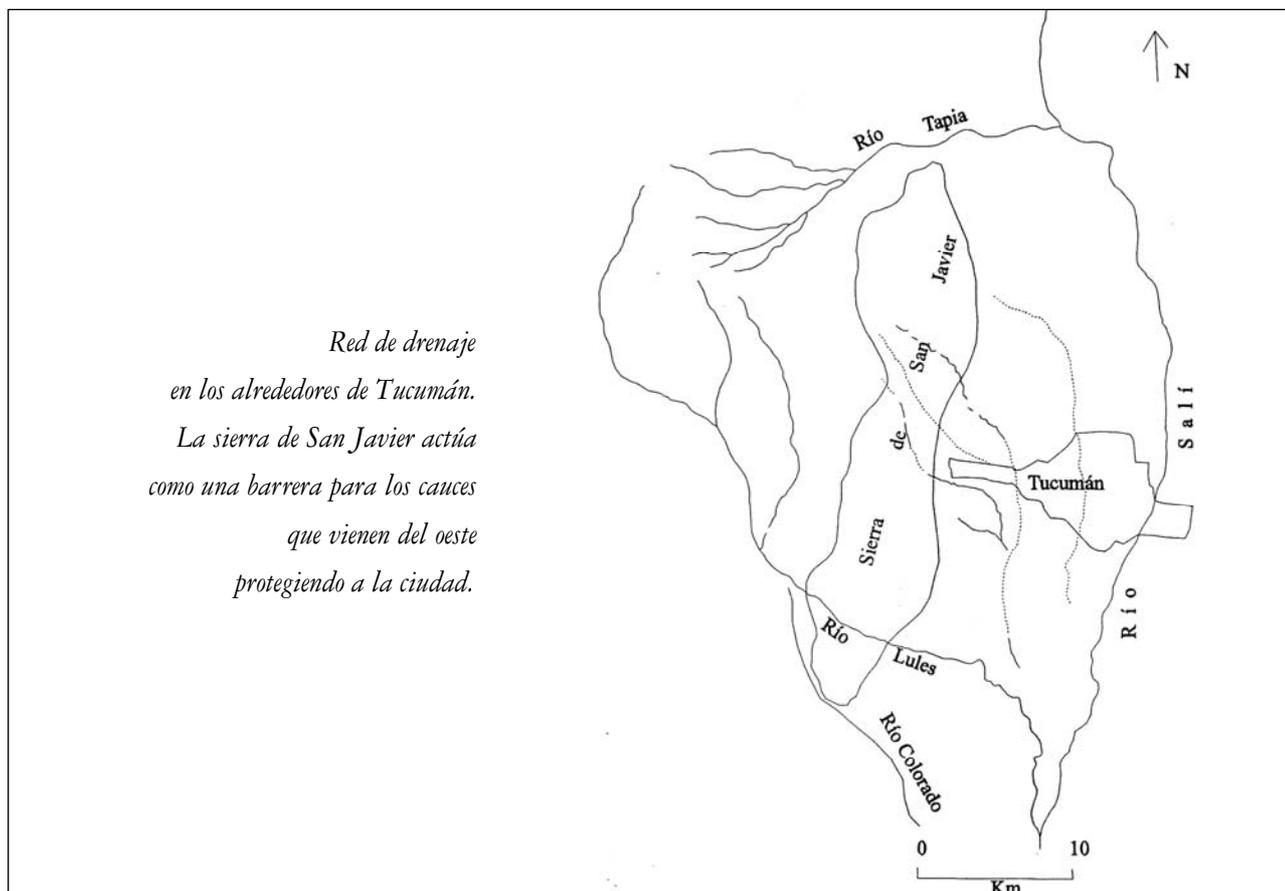
Acta Geológica Lilloana 12 (11): 171-183.

COLLANTES, M., POWELL, J. y SAYAGO, J.M., 1993.

Formación Tafí del Valle (Cuaternario superior), provincia de Tucumán (Argentina): litología, paleontología y paleoambientes. *Actas Décimosegundo Congreso Geológico Argentino, 2: 200-206. Buenos Aires.*

- ESTEBAN, G.I., SAYAGO, J. M., POWELL, J.E. y COLLANTES, M. 1988. Bioestratigrafía de los depósitos cuaternarios de Tafí Viejo, provincia de Tucumán, Argentina.
Actas Quinto Congreso Geológico Chileno, 2G: 121-136. Santiago.
- GERMANO, R. y MON, R., 1981.
Geología del subsuelo del área oeste de la ciudad de San Miguel de Tucumán.
Octavo Congreso Geológico Argentino, 2: 267-276. Buenos Aires.
- SAYAGO, J.M., POWELL, J., ESTEBAN, G. y COLLANTES, M., 1987.
Informe preliminar sobre la bioestratigrafía y paleogeomorfología de los sedimentos loésicos de La Angostura, departamento de Tafí del Valle, provincia de Tucumán.
Décimo Congreso Geológico Argentino, 3: 317-320. Tucumán.
- SAYAGO, J.M., 1995.
The argentine neotropical loess: an overview.
Quaternary Science Reviews, 14: 755-766. Elsevier.
- SEGURA, F.R., ADLER, F.J., REYNA, F. y DANESI, R.F. 1995.
Banco de información geotécnica con vistas a una microzonación sísmica de San Miguel de Tucumán.
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán. Informe inédito.
- STAPPENBECK, R., 1921.
Estudios geológicos e hidrogeológicos en la zona subandina de las provincias de Salta y Tucumán..
Anales Ministerio de Agricultura, Sección Geología y Minas, 14 (5). Buenos Aires.
- TOLEDO, M.A., 1992.
Evaluación del riesgo de inundación fluvial y pluvial en la ciudad de Tafí Viejo y su área de influencia (departamento Tafí Viejo, prov. de Tucumán).
Segundo Congreso Regional "El NOA y su Medio Ambiente". 1: 367-373.

FIGURA 1



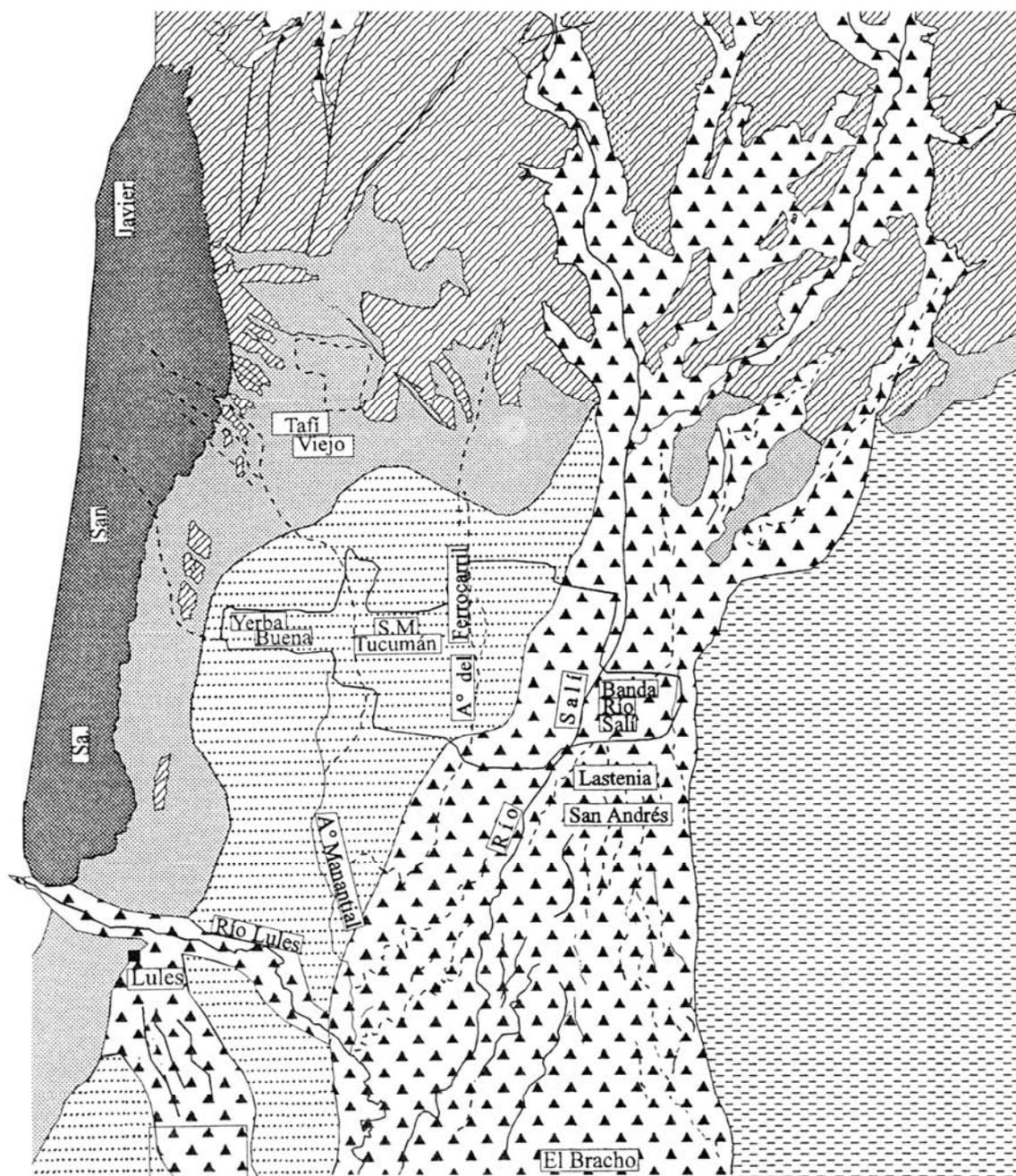


FIGURA 4

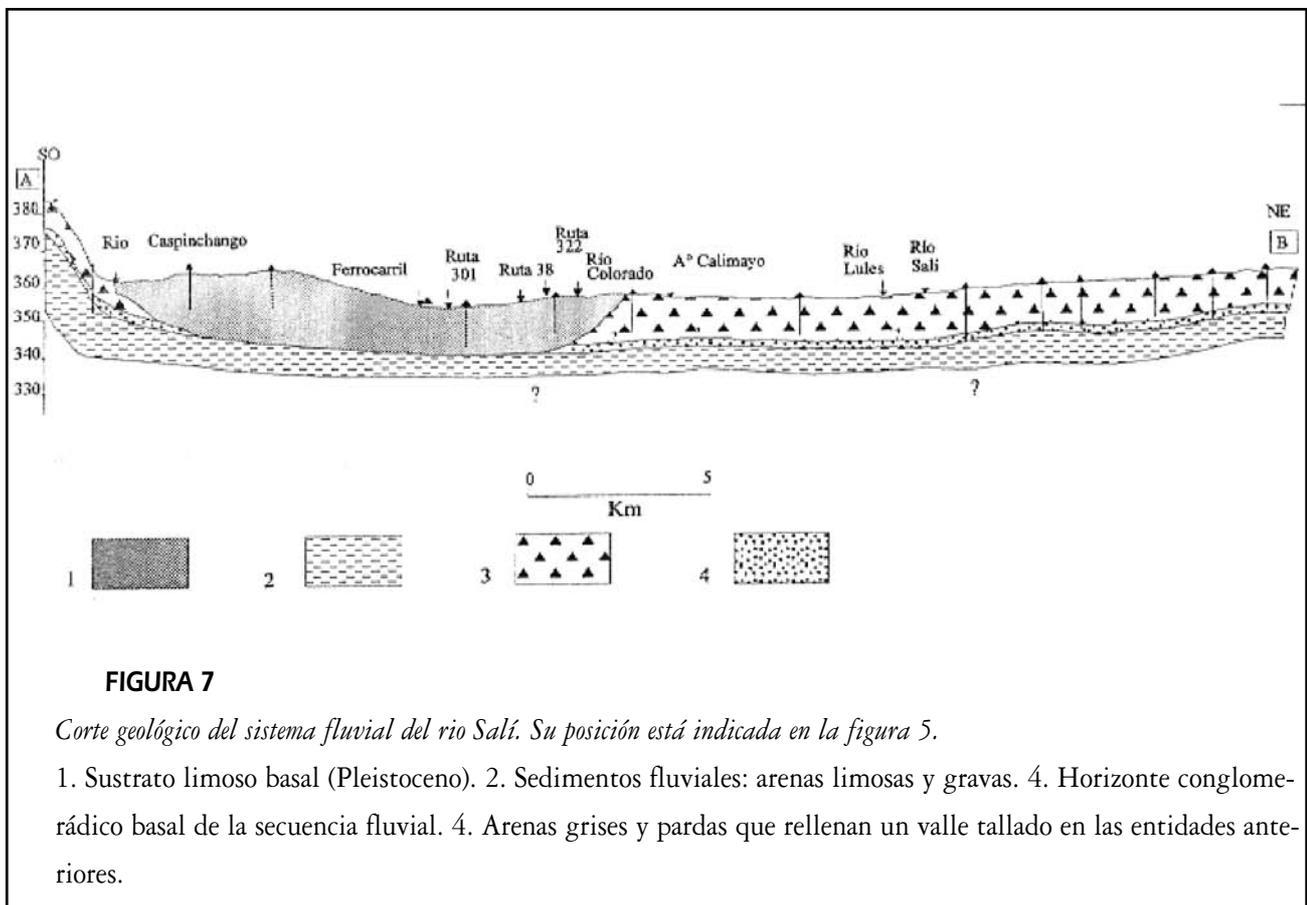
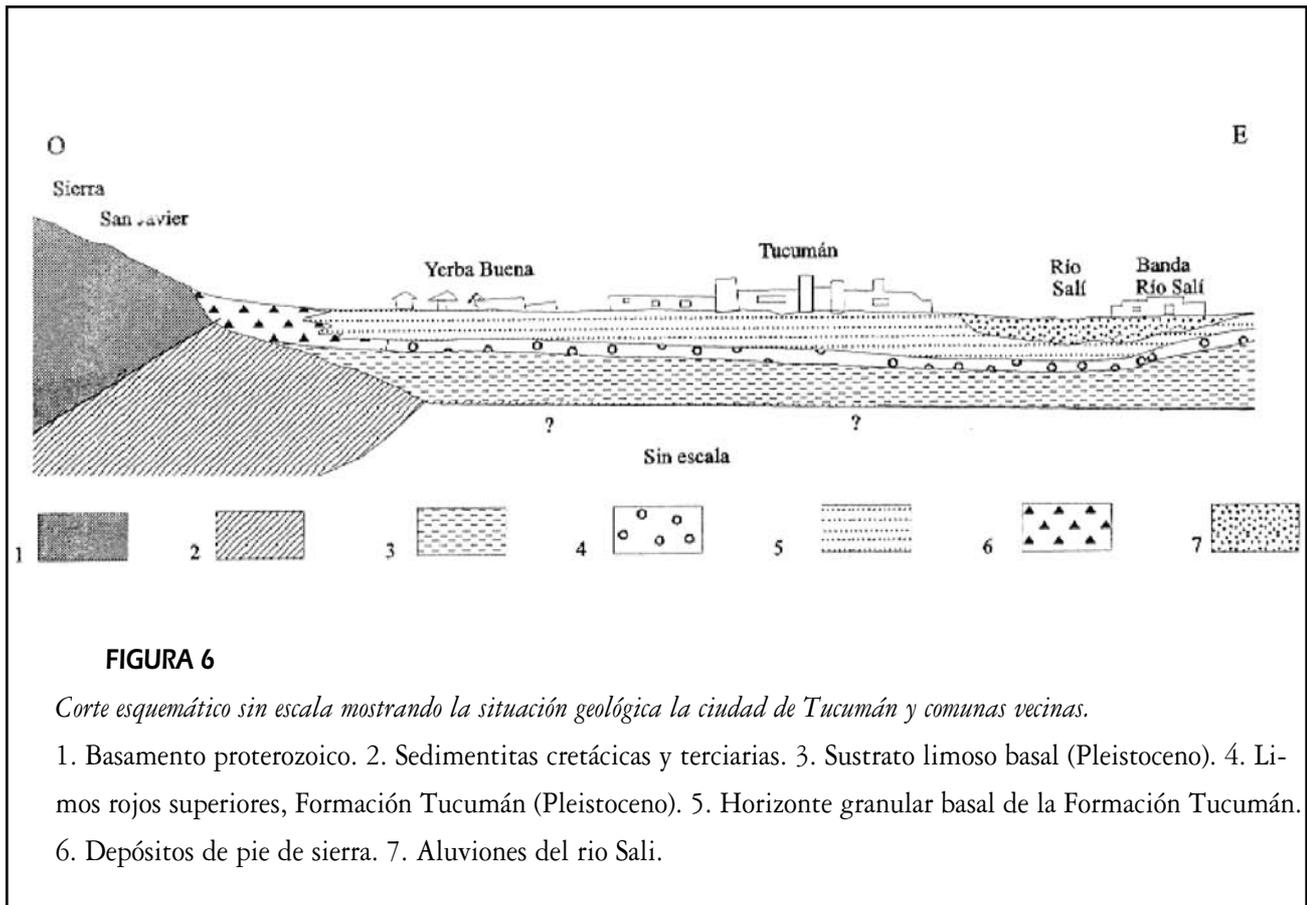
Geología del área de Tucumán y poblaciones vecinas. 1. Basamento proterozoico. 2. Sedimentitas cretácicas y terciarias. 3. Limos rojos superiores, Formación Tucumán (Pleistoceno). 4. Depósitos fluviales: limos arenas y gravas (Holoceno). 5. Limos de la franja oriental. 6. Depósitos de pie de sierra: arenas gruesas y gravas.



FIGURA 5

Mapa del sector norte de la llanura de Tucumán, donde se encuentra concentrada gran parte de la población de la provincia.

1. Basamento proterozoico. 2. Sedimentitas cretácicas y terciarias. 3. Limos rojos superiores, Formación Tucumán (Pleistoceno). 4. Depósitos fluviales: limos arenas y gravas (Holoceno). 5. Limos de la franja oriental. 6. Depósitos de pie de sierra: arenas gruesas y gravas.





Mapa geológico ambiental del departamento Uruguay, Entre Ríos, Argentina

Lic. Luis A. Muñoz ¹, Ing. Pablo F. Blanc ¹

¹ Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Concepción del Uruguay.

Fecha de Aceptación: Octubre de 1998

INTRODUCCIÓN

La presente síntesis tiene como finalidad comunicar los avances y el enfoque temático en la ejecución del Mapa Geológico Ambiental del departamento Uruguay.

Los objetivos del mismo se centraron más que en la observación, descripción, análisis, e interpretación como un fin en sí, en la búsqueda de compatibilizaciones entre el desarrollo y la preservación del medio ambiente. Es decir, utilizando el conocimiento Geológico en la búsqueda de alternativas en una problemática en la cuales los caminos posibles son cada vez más estrechos y donde las especialidades y sus interrelaciones son cada vez más indispensables.

Indudablemente la cuestión ambiental actual en la región, tiene la balanza cargada sobre un núcleo interdisciplinario compuesto por Geología e Ingeniería (en Construcciones y Civil).

Los cursos de agua, con las excepciones que se verán, se conservan sin mayor afectación, aunque en esto sin duda tiene mucho que ver la dinámica climática. Es evidente que con regímenes pluviales como el de esta zona, donde en épocas de lluvias (que son bastante prolongadas) los cursos aumentan hasta 100 veces su caudal (al menos por uno o dos días), con alturas y velocidades importantes, hay un "lavado" natural, por lo que el efecto acumulativo, es en general prácticamente nulo.

La actividad industrial es modesta comparada con otras regiones, por lo que tanto en lo que hace a las aguas superficiales como a la atmósfera, la afectación no es significativa.

En lo que hace a fauna y flora, el gran Impacto Am-

biental es cosa del pasado.

Desde el punto de vista de la flora, el Impacto fue el reemplazo de la flora autóctona (en general monte y la correspondiente vegetación herbácea), por desmonte y cultivo de granos, pasturas, forestación exótica, etc.

El correspondiente a la fauna, en el reemplazo de la fauna autóctona por el ganado.

La combinación de ambos factores se dió lógicamente, en la pérdida de los árboles por parte de las aves, y del monte como refugio en el caso de los demás animales.

Si estos Impactos Ambientales fueron positivos o negativos, desde el punto de vista antrópico, no es materia ni competencia de nuestro análisis, pero como veremos más adelante en algunos casos tiene aristas comunes con la problemática que sí nos involucra profesionalmente.

En general la cuestión en la región se centra en dos ejes significativos: El aprovechamiento de recursos naturales (explotación de canteras y aguas subterráneas), y la identificación y delimitación de Unidades Geoambientales aptas y gerenciabiles, para la futura radicación de industrias. Asimismo, el conocimiento del suelo, subsuelo y las interrelaciones de aguas superficiales y subterráneas, es indispensable en el momento de encarar correcciones en la infraestructura ya instalada, áreas de deposición de residuos sólidos urbanos, etc.

A esta altura del análisis y como todo el medio natural es interdependiente, es preciso recordar una diferencia importante entre los "impactos" señalados.: La velocidad del cambio.

El de la fauna y flora se produjo a lo largo de un siglo

y medio, con lo cual se parece más a una evolución condicionada del ecosistema, que a un "shock".

Las obras, como los procesos industriales, temáticas relacionadas al suelo, subsuelo e hidrogeología, motivos de nuestra aplicación en la búsqueda de compatibilidades ambientales, suceden, se ejecutan o detectan en lapsos de uno a diez años, por lo que las consecuencias se ven crecer en el presente, si es que el aspecto ambiental, las correcciones y la inclusión de esta temática no son encaradas con la eficiencia y premura necesarias en los proyectos.

DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

La ejecución del trabajo se inició tratando de avanzar en las problemáticas más comprometidas, donde el conocimiento geológico es relevante, sino excluyente, en la búsqueda de soluciones, como es la explotación de canteras en la región.

En la explotación de estos recursos, es fundamental para una correcta planificación y gerenciamiento, el conocimiento más preciso posible de la distribución de los mismos, ya que la práctica del "pirquino" y de la extracción caótica y empírica, hace imposible cualquier compatibilización ambiental.

Otros objetivos inmediatos fueron la compatibilización de las radicaciones industriales, las de obras de infraestructura, la evolución de los acuíferos explotables y la relación de todos ellos con las aguas superficiales en el esquema del desarrollo sostenido. En este orden se elaboró un Mapa de Unidades Geoambientales, como elemento de apoyo inicial, en la elección de áreas más propicias para emplazamientos y radicaciones.

El trabajo se programó a escala 1: 100.000, para el departamento en general y 1:20.000 para las áreas urbanas y sus alrededores.

Los reconocimientos de campo se apoyan con fotografías aéreas a escala 1:20.000, y en el caso de C. del Uruguay y alrededores se efectuaron fotografías color de zonas de interés a escala aprox. e 1:5.000.

Teniendo en cuenta que el área total es de aproximadamente 4600 km², se comenzó por C. del Uruguay y alrededores.

DELIMITACIÓN DE UNIDADES GEOAMBIENTALES

En la fig. 1, se muestra un mapa de unidades geoambientales de esta área.

Un horizonte de suelo orgánico con espesores típicos variables entre 20 y 40 cm cubre todas las unidades, de las que se han reconocido cuatro:

PA: Planicies Aluviales (de inundación)

ZT: Zonas de transición

T: Terrazas

L: Lomadas

Las planicies aluviales se subdividen en dos ambientes diferenciables:

PA 1: Planicie de inundación del Río Uruguay: El desplazamiento de la línea de costa del Río Uruguay hacia el este, permite reconocer 2 líneas de ribera antiguas, señaladas en el mapa como R1 y R2, sucesivamente y que son alcanzadas por las crecientes extraordinarias y ordinarias respectivamente. La migración actual hacia el este del cauce del río Uruguay es evidente, y geomorfológicamente es visible en los cauces abandonados de la margen derecha, la desembocadura de los afluentes en brazos semiabandonados, con sus cursos inferiores en forma de estuarios interiores, con varios km (hasta 10) de los mismos anormalmente anchos y con su régimen de alturas condicionada permanentemente a la del río. La ausencia de la terraza en la margen izquierda, corrobora este hecho.

Litológicamente, comprenden un paquete heterogéneo de limos arcillosos, arenosos, y arenas y gravas intercaladas, muy disectados, de unos 5 a 10 metros de espesor, frecuentemente depositados como aluvio sobre un lecho labrado sobre rocas calcáreas de consistencia y cementación variables. Los paleocauces profundos en margen derecha, ya han sido citados (*Rimoldi y Gentili, "Mesopotamia", Acad. Nac. Ciencias Córdoba, 1979*).

PA 2: Planicies de inundación de Los arroyos: Comprende la que es cubierta tanto por los remansos originados por el río Uruguay, durante las crecidas, como las formadas exclusivamente por los mismos en ocasión de precipitaciones importantes, siendo particularmente relevantes con la combinación de ambas.

Litológicamente, en lo que hace a los depósitos actuales, sólo son relevantes por el ancho del valle labrado a partir del curso medio, donde son característicos los depósitos de limos arenosos y arenas, mientras que la pérdida de velocidad y la frecuencia de los remansos del río ya citados, hacen que en los cursos inferiores se intercalen materiales finos en porcentaje creciente hacia la desembocadura.

ZT: Zonas de Transición: Son áreas ubicadas morfológicamente entre la unidad T y las PA, y conforman las pendientes hacia las planicies aluviales.

Se caracterizan por superficies bastante degradadas del horizonte A del suelo, dejando descubierto, frecuentemente el horizonte B, calcáreo a causa del nivel de agua libre cercano, normalmente de marcada dureza (principalmente Ca). En esta unidad se explotan la mayor parte de las canteras (yacimientos) de suelo calcáreo (cuyo nombre vulgar en la zona es broza).

T- Terraza alta o antigua del Río Uruguay: Esta unidad que se describe en el ítem de recursos mineros, para una extensión mayor que la presente, adquiere significación en esta clasificación, por ser la portadora de los niveles de gravas y arenas y por lo tanto en la que se desarrolla la explotación de canteras de cantos rodados.

L-Lomadas (áreas de divisorias): Son predominantemente erosivas, aunque sin la dinámica de las áreas de transición, donde la pendiente y el escurrimiento superficial son mayores. Generalmente tienen buen desarrollo de horizon-

te orgánico, al que siguen en profundidad limos, arcillas y arcillas limosas.

Sin entrar en la consideración de otros factores o variables de análisis, las características geoambientales de esta Unidad son favorables para el desarrollo de asentamientos poblacionales (urbanizaciones), industriales y agropecuarios, correspondiendo también a la unidad T, la opción en determinados casos.

RECURSOS MINEROS Y SU GERENCIAMIENTO AMBIENTAL

Los relevamientos permitieron delimitar la distribución precisa de los yacimientos de canto rodado y arenas situados en una franja situada hasta unos 10 km al oeste de la margen derecha del río Uruguay, pero que en la expresión morfológica actual comprende una faja zigzagueante de unos 500m de ancho promedio a una cota bien definida.

Las fig.2 y 3 ejemplifican los mapas temáticos efectuados para este ítem.

En ellos se muestra la distribución detallada de las gravas (canto rodado), cuyo espesor es variable, desde pocos decímetros hasta 7 metros, con potencias típicas entre 1.5 y 3 metros.

En muchos sectores faltan, normalmente por haber sido erosionados y adicionalmente en otros por la explotación de canteras.

También es evidente que las migraciones del paleocauce principal del antiguo Uruguay, y de brazos importantes tornan discontinua esta franja de depósitos, aunque identificables típicamente entre cotas 10 y 20, con descenso hacia el sur hasta alcanzar cotas cercanas a 5 a la latitud de Colonia Elia (Pto. Campichuelo).

En áreas urbanas y alrededores de zonas pobladas, como en su intersección morfológica con los arroyos, la formación está delimitada solo con la finalidad de su distribución geológica y geotécnica, ya que lógicamente su explotación actual es inviable.

En cuanto a las fracciones asociadas a las gravas, varían desde arenas limpias hasta arcillas, siendo las primeras mas frecuentes (gravas arenosas, con porcentajes de aproximadamente 70 % de fracción grava, descendiendo tanto el tamaño como el porcentaje de grava hacia el sur).

La presencia de arenas y suelos arenolimosos en el extremo distal (oeste) de la terraza es una combinación de depósitos laterales, de playa o ribera, donde el río tenía menor capacidad de transporte y de redepósitos eólicos cercanos, tal como sucede en la planicie de inundación actual del río, y en los médanos adyacentes a la misma.

GEOLOGÍA Y SUELOS

Hasta la fecha se han descripto mas de 50 perfiles litológicos verticales y se han elaborado perfiles tipo de áreas características. Uno de ellos se ejemplifica en la fig., 4, Los

afloramientos son escasos y la constante es la cobertura de suelos y cuaternario en general.

La secuencia comienza con el basamento cristalino, compuesto por metamorfitas y rocas granitoides, que asciende de NO a SE, muy probablemente en forma escalonada, mediante una fracturación en bloques determinada por fallas de rumbo esencialmente ENE-OSO (aprox. N 65).

Un eventual sistema complementario aprox. N-S, seguramente define y completa el estilo tectónico, si bien esta fracturación aún no se ha verificado en esta región de la provincia.

Regionalmente el basamento asciende hacia el Sur, más precisamente hacia el SSE. Esto origina un acuñaamiento de las formaciones suprayacentes. Areniscas probablemente asignables al miembro Solari, (Fm Tacuarembó, en el Uruguay), y basaltos del miembro Posadas (Rimoldi y Gentili, 1979) del cretácico inferior (basaltos de Serra Geral en Brasil y lavas del Arapey en el Uruguay), subyacen discontinuamente a los depósitos del mesozoico superior.

La secuencia continúa regionalmente con las areniscas de la fm Puerto Yeruá y Puerto Unzué (cretácico superior), luego las calizas de la Fm Arroyo del Castillo y las limolitas calcáreas de la Fm arroyo Avalos, aflorantes en la latitud de Concepción del Uruguay.

En el arroyo El molino, en un nivel de arcillas limosas verdosas muy compactas y medianamente plásticas, hallamos un cráneo y maxilar superior de un toxodóntido, cuya edad falta aún confirmar, pero que por encontrarse inmediatamente por encima de la fm A. Avalos, es posterior al plioceno medio (Fm Salto Chico o posterior).

Los depósitos cuaternarios, de estratigrafía compleja a causa de las ingresiones marinas en esta latitud, sobretudo en la faja alledaña al río Uruguay, requieren un mayor análisis.

CONSIDERACIONES SOBRE LA PROBLEMÁTICA Y EL GERENCIAMIENTO AMBIENTAL DE CANTERAS

La problemática ambiental generada por la explotación de canteras y yacimientos debe ser analizada, como en casos similares, desde dos circunstancias diferentes:

- a) Las explotaciones futuras
- b) Las excavaciones ya ejecutadas
- a) En este caso, el material editado es abundante, así como los procedimientos recomendados e inclusive la legislación vigente en determinadas jurisdicciones, por lo que la planificación una vez decidida, es relativamente sencilla así como su gerenciamiento.

El procedimiento básico en este caso, es retirar el suelo vegetal (entre 20 y 40 cm), acopiarlo en espesores no muy potentes y restituirlo una vez suavizados los taludes, luego de la explotación. En muchos casos los desagües o drenajes ya han

sido realizados para facilitar la excavación y evitar el bombeo. De resultar esto último de un costo importante, una aguada permanente es frecuentemente útil en ciertos parcelamientos.

El efecto sobre el paisaje no es significativo, ya que las excavaciones no son profundas y la morfología ondulada de lomadas tiende a mimetizar excavaciones o cortes con taludes tendidos. De todas maneras, el estudio del impacto ambiental, se hace cada vez más ineludible y necesario.

Otras alternativas de aprovechamiento son las siguientes:

Siembra de especies ictícolas autóctonas y adaptables (tarariras, bagres, etc.). (a y b)

Áreas de reservas naturales (a y b): Esta alternativa, es en realidad un hecho consumado que paradójicamente resulta de dos procesos inicialmente desequilibrantes del ecosistema original. : La deforestación con fines agrícola-ganaderos y la explotación de canteras.

En muchas zonas el paisaje es el siguiente: decenas o cientos de hectáreas dedicadas a la ganadería o la agricultura a expensas, es decir desplazando, a la flora (montes) y la fauna autóctona, lo cual evidentemente constituyó en su momento, el impacto ambiental más significativo. En estas grandes extensiones, aparecen como islas-refugio las canteras abandonadas hace décadas. Aquí, donde desordenadamente se agrupan zonas positivas o montículos (productos del destape) que incluyen el manto orgánico original, con depresiones o fondo de canteras normalmente inundadas, ha renacido el monte autóctono, se ha refugiado la fauna, e inclusive se ha desarrollado un ecosistema de lagunas con vegetación y aves acuáticas. Lógicamente son áreas evitadas en el laboreo de tierras, por inservibles en su estado actual y el ganado, por irregular y escarpado (excepto como abrevadero).

Volviendo al ítem original, la recuperación es posible en algunas de las viejas canteras, ya que el destape acopiado (en montones) incluye el manto orgánico, aunque no será óptima por que está mezclado en proporción variable con el destape inorgánico y en cierto grado desnaturalizado por el enterramiento (b).

En el caso de programación y gerenciamiento de la explotación, la recuperación del valor monetario de la tierra justifica el trabajo relativamente sencillo descrito mas arriba, ya que la excavación abandonada como tal carece de valor de venta. Y esto sin tener en cuenta la producción futura del predio recuperado. (a).

En lo que se refiere a las tendencias esperadas en cuanto al uso de estos recursos, es previsible una disminución en la explotación de gravas en canteras, por disminución en el rendimiento porcentual (en algunos casos se están explotando yacimientos con menos del 50% de fracción grava, es decir arenas con grava), aunque esto no puede asegurarse ya que como en el resto de la minería, la demanda y el precio determinarán que los yacimientos pasen a ser rentables o dejen de serlo. En los suelos calcáreos (limos calcáreos, tosca) es de esperar un crecimiento en los volúmenes explotados.

Conviene señalar que el término limos está referido a la clasificación unificada de suelos, es decir atendiendo a las propiedades geomecánicas del suelo (y que el término suelo tiene en la misma una acepción ingenieril, no edafológica). En realidad los suelos calcáreos comprenden sedimentológicamente una amplia gama que incluye limos, arenas arcillas (y sus combinaciones porcentuales) así como loes y puntualmente gravas arenolimosas. El porcentaje de CO_3Ca que impregna los sedimentos es variable, tal como era de preveer por su origen (precipitación a partir de las oscilaciones del nivel freático y del movimiento capilar del agua que lo contiene disuelto).

CONSIDERACIONES GEOLÓGICO-AMBIENTALES SOBRE POTENCIAL TURÍSTICO, SÍNTESIS.

Uno de los ítems anexados al trabajo corresponde al relevamiento de áreas de potencial turístico.

El mapa de riesgo de inundación (fig. 5), superpuesto al de cuencas hidrográficas y al de distribución de las facies laterales arenosas (de origen mixto, aluvioeólicas), de la terraza alta del río Uruguay, permitió delimitar extensas áreas de arroyos que reúnen en muchos tramos las siguientes condiciones:

Fondos y riberas arenosos.

Cota por encima del riesgo de inundación (por lo que se constituyen en alternativas cuando las playas del río Uruguay se inundan, por encima de los cuatro metros según la escala de Concepción del Uruguay).

Comunicaciones, ruta y centros urbanos cercanos.

Materiales para mejorado de caminos internos en las cercanías.

Posibilidades de conexión de energía eléctrica.

En la figura 6 están delimitadas las áreas que incluyen los tramos con las características aludidas.

Aguas:

Las aguas subterráneas son el tema pendiente más importante sobre el que restan trabajos a realizar, sobre todo de freaticimetría.

La importancia de la conexión con las aguas superficiales es relevante, dada las características geológicas de la región.

En la zona de concepción del Uruguay y alrededores la característica más importante es la dureza, así como el proceso de concentración progresiva de sales en los lugares de mayor explotación de los acuíferos por uso industrial del recurso. (*Tófaló, tesis UBA, 1974*).

Por otra parte tanto en el nivel de agua libre como en la primera napa, interactúan las crecientes del río Uruguay y los cursos inferiores de sus principales afluentes regionales.

FIGURA 2 - DISTRIBUCION DE GRAVAS Y ARENAS

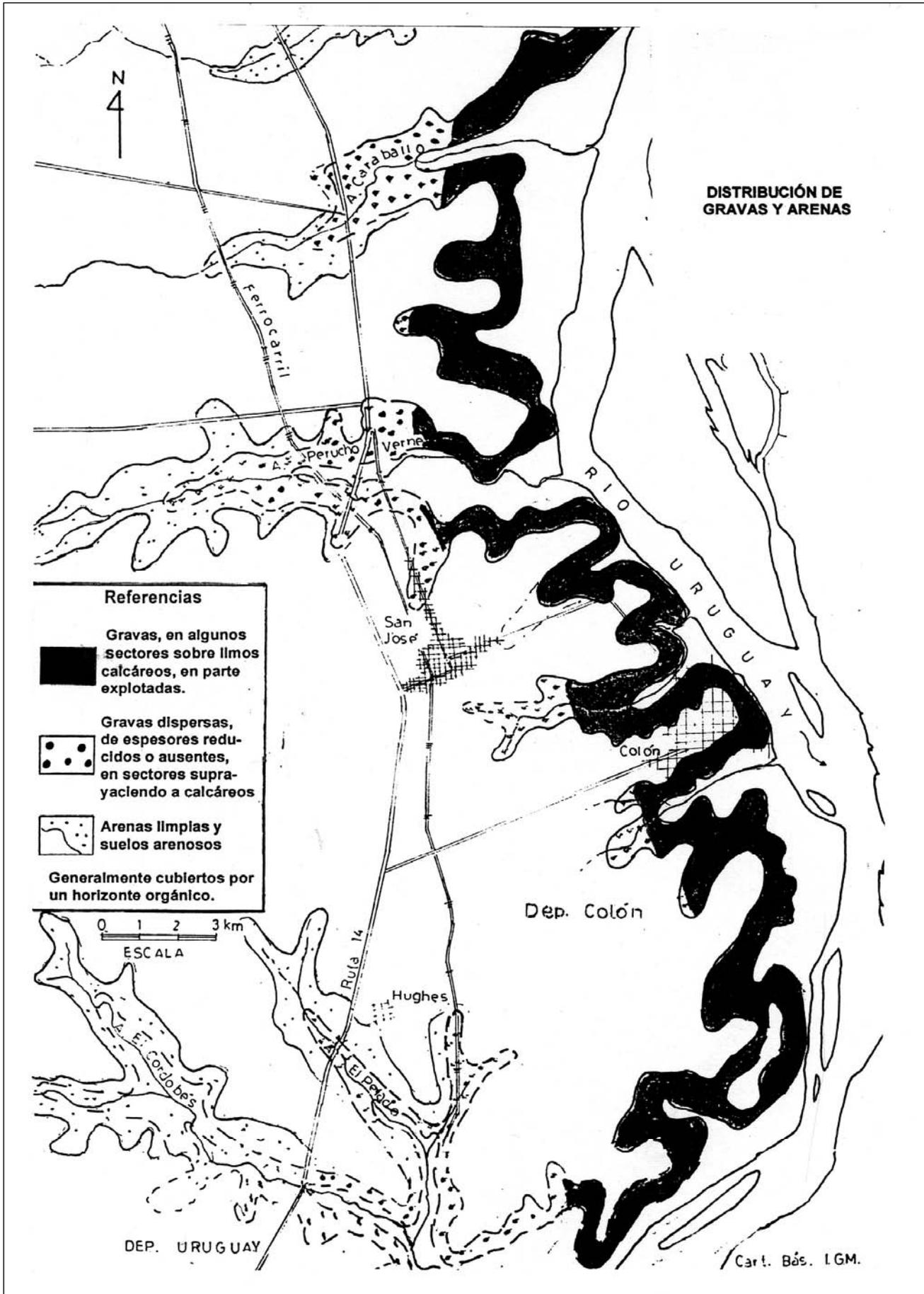


FIGURA 4 - PERFIL COLUMNAR

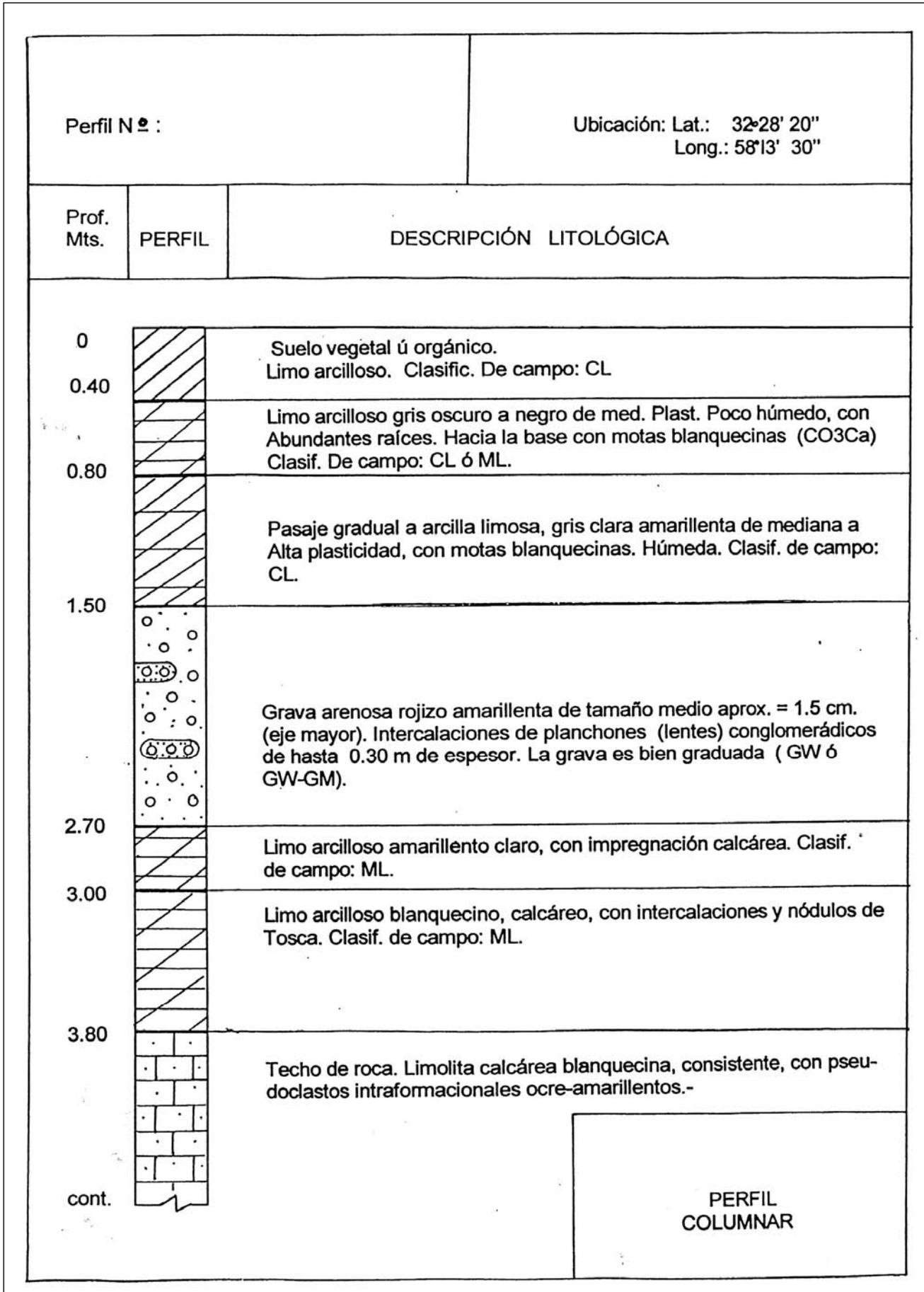
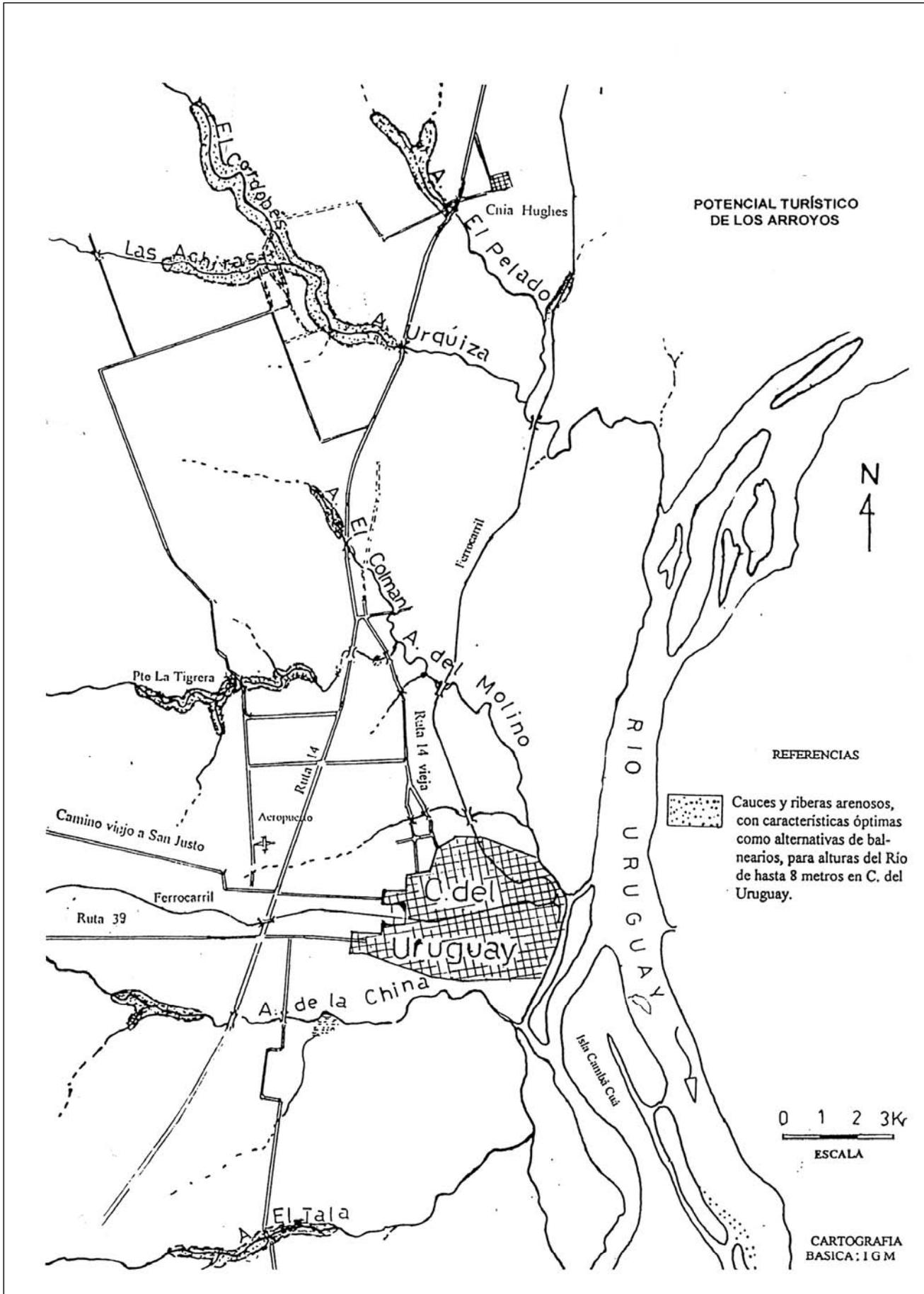


FIGURA 6 - POTENCIAL TURÍSTICO DE LOS ARROYOS





Procesos de remoción en masa en un sector de la Cordillera Principal (Mendoza). Una aproximación geomorfológica.

Fernando X. Pereyra y Daniela Villegas
Dpto. de Cs. Geológicas, F.C.E.y N. - Universidad de Buenos Aires
C. Universitaria, Pabellón II, 1428 Buenos Aires. Argentina

Fecha de Aceptación: Julio de 1998

Resumen

Se analizan los fenómenos de remoción en masa identificados en un sector de la Cordillera Principal de Mendoza, entre las localidades de Puente del Inca y el límite internacional, la que se caracteriza por poseer una variada tipología de movimientos gravitacionales. Se analiza la relación de los mismos con diferentes factores que determinan su presencia, intensidad y tipo: litología, estructura, clima, vegetación, pendientes, suelos y neotectónica y sismicidad.

INTRODUCCION

El objetivo del presente trabajo es estudiar, desde una aproximación geomorfológica, los fenómenos de remoción en masa presentes en un sector de la Cordillera Principal. En particular, se consideran la variedad y la distribución de los mismos en función de diferentes factores ambientales. El área abarcada se localiza en la Cordillera Principal de Mendoza, al norte del Valle del río Cuevas, entre el Valle de los Horcones y el Límite Internacional (69°50' y 70°10' long. W y 32°45' y 32° 55' lat. S) . Las localidades de Puente del Inca y Las Cuevas se ubican en la misma, accediéndose a ellas mediante la Ruta Nacional N°7 (Fig.1) . Desde el punto de vista geológico y morfoestructural, la zona de estudio se encuentra comprendida en la Provincia Geológica de Cordillera Principal.

El accionar de los diferentes fenómenos de remoción en masa en la zona estudiada tienen, en general, alto impacto sobre la actividad humana que puede materializarse tanto sobre los centros poblados (Puente

del Inca y las Cuevas) , como sobre las vías de comunicación (Ruta Nacional 7) . En especial, en los últimos años ha tenido lugar un marcado incremento en el tránsito vehicular (especialmente de vehículos de gran tamaño) debido a una intensificación del comercio bilateral con Chile y la creación del MERCOSUR. Asimismo, se ha establecido la nueva Aduana en la zona aledaña a Puente del Inca. Finalmente, en las últimas décadas se han incrementado fuertemente las actividades relacionadas al montañismo, por lo que el número de visitantes y de pobladores transitorios en la zona, ha aumentado, al menos en forma estacional.

Los diferentes procesos de remoción en masa alcanzan en la zona una amplia distribución, constituyendo probablemente en la actualidad el principal proceso geomórfico actuante, en función del grado de modificación del paisaje que su accionar produce y del volumen de material movilizado. Existe además, una gran variabilidad en la tipología de los procesos gravitacionales debida a la gran heterogeneidad ambiental que presenta la zona, tan-

to bioclimática como geológico-estructural. En consecuencia, en la presente contribución se estudia la distribución y tipología de los movimientos de remoción en masa en relación con los diferentes aspectos ambientales que influyen en los mismos.

Los factores que condicionan a la remoción en masa pueden ser divididos en tres grandes grupos: internos, externos y "factores disparadores". Dentro de los primeros se encuentran la litología y estructura, dentro de los segundos el clima, y en los terceros, aquellos fenómenos que pueden provocar la superación de los umbrales de estabilidad de las pendientes. En la zona, los factores disparadores principales serían los terremotos y las grandes precipitaciones. Por lo tanto se consideran las características del clima, la vegetación, los suelos presentes, las características de las pendientes, las diferentes litologías aflorantes, la estructura y diaclasamiento de las rocas y la sismicidad regional. Finalmente, se consideran la incidencia de la acción antrópica en la inestabilidad de las pendientes y el impacto de los movimientos gravitacionales en la actividad humana.

FACTORES

1 Clima

El clima tiene las características típicas de un clima de alta montaña. Está caracterizado por temperaturas por debajo de los 0°C durante buena parte del año. Las precipitaciones oscilan entre 400 y 500 mm anuales, observándose un incremento hacia el oeste, concentradas preferentemente en invierno y bajo la forma de nevadas (Ahumada, 1990). Debido a la importante diferencia de altitud entre los extremos este y oeste de la zona estudiada (Puente del Inca, 2750 m y Las Cuevas 3300 m respectivamente) pueden diferenciarse dos pisos altitudinales. La temperatura media de enero en Puente del Inca es de 14°C y en Las Cuevas de 9°C, mientras que en Julio estos valores son de 1°C y -6,8°C, respectivamente. La amplitud térmica entre verano e invierno es importante, generalmente superior a los 20°C. Hacia el este aumentan las condiciones de continentalidad debido al efecto de "pantalla" de la cordillera sobre los vientos húmedos provenientes del oeste. En la figura 2, se observan la distribución anual de la temperatura y precipitaciones para dos sitios localizados dentro de la zona de estudio (*modificados de Espizúa et al, 1993*).

El clima influye en el modelado del paisaje favoreciendo el predominio de uno de los agentes geomórficos: la acción glaciaria. Esta fue mucho más importante en el pasado y las geoformas que resultaron de esta acción se encuentran actualmente modificadas por la acción de otros procesos, principalmente la remoción en masa y la acción fluvial. También es importante en la existencia y distri-

bución de los procesos criogénicos. En consecuencia, son comunes las geoformas derivadas de fenómenos criogénicos, propios de un ambiente periglacial. Tal como se expresó en párrafos anteriores, las condiciones climáticas pasadas y actuales (temperaturas bajas), han determinado el predominio de la meteorización física: importante congelifración y consiguiente alta tasa de producción de detritos gruesos

Las precipitaciones son básicamente nivales, concentradas principalmente en el invierno y de tipo nevada o graupel en el verano. Pueden alcanzar varios metros de espesor y permanecer durante largos períodos de tiempo, principalmente en las zonas localizadas a cotas superiores de los 4500 msnm. El papel de las precipitaciones como factor disparador de los procesos de remoción en masa se encuentra limitado principalmente a los flujos densos rápidos (debrisflows y mudflows) y a las avalanchas mixtas (nieve y roca/detritos). Sin embargo, la ablación del hielo, cuando las temperaturas ascienden, es de gran importancia en el momento inicial de los procesos gravitacionales. El sobrepeso producido por las importantes acumulaciones de nieve y la pérdida de cohesión de los materiales de las pendientes con la consecuente superación de los umbrales de estabilidad de los mismos, se encuentran vinculados al derretimiento de la nieve.

En la quebrada de Matienzo, Ahumada (1990), establece el límite entre ambientes geocriogénicos y no geocriogénicos, el cual estaría dado por una temperatura media anual de 3°C. Las condiciones propicias para la existencia de geliflucción y otras estructuras criogénicas en los suelos, se encontrarían por debajo de este valor. La existencia de un clima de continentalidad poco marcada, implica el predominio de condiciones propias de un ambiente geocriogénico. Finalmente, un aspecto importante a considerar en el efecto de las condiciones climáticas en la distribución y naturaleza de los procesos gravitacionales, es el efecto indirecto, pero no menos importante, generado por el condicionamiento climático en la distribución de la vegetación y en la naturaleza y propiedades de los suelos presentes.

2 Vegetación

Siguiendo los esquemas de distribución de vegetación propuestos por Cabrera (1971) y Cabrera y Willink (1973), la región considerada corresponde al Dominio Andino-Patagónico, Provincia Altoandina (Dominio Cuyano). La vegetación dominante es la estepa arbustiva y la estepa herbácea, con formas adaptadas a las duras condiciones climáticas y numerosos géneros endémicos. A la latitud de Mendoza, la Provincia Altoandina se extiende prácticamente por encima de los 2700 m, por lo que toda la zona estudiada se encontraría comprendida en la misma. Predominan las estepas de gramíneas y de caméfitos en cojín. También hay vegetación especializada en los ma-

linales y desiertos de líquenes. En líneas generales, el grado de cobertura es bajo, ya que existen importantes superficies desprovistas de vegetación, situación que se vuelve más llamativa a medida que aumentan las cotas y las pendientes. Por encima de los 4200 m prácticamente no hay vegetación. La estepa de gramíneas se desarrolla solamente en las lomadas suaves de los pisos de los valles y en los rellenos de las laderas y sectores de las mismas de pendientes bajas.

En las laderas abruptas aparece vegetación arbustiva rastrera. En los sectores más altos sólo aparece vegetación en cojín. La comunidad climax es el "coironal": *Stipa*, *Festuca* y *Poa*. Las especies arbustivas pertenecen a generalmente al género *Andesmia*: *A. obovata*, *A. uspallatensis*, *A. pinifolia* y *A. subterránea*. También pueden aparecer *Ephedra andina*, *Barberis empetriopholia*, *Senecio uspallatensis*, *Menovillea cunetata*, *Tropaeolum polyphyllum*, etc. En los mallines se encuentran juncáceas en cojín (*Andesia bisexualis*), *Plantago barbata* y *Senecio breviscapus*. Desde el punto de vista de la protección que puede ejercer la vegetación en las laderas, inhibiendo los procesos erosivos y la remoción en masa, la misma se encuentra seriamente limitada debido a las características fisionómicas de la vegetación y lo escaso de la cobertura. Por lo tanto, sólo en los sectores de mallines y el piso de los valles, la vegetación ejerce cierta protección en las pendientes, en particular frente a la erosión eólica. En las laderas más empinadas, el papel de la vegetación es prácticamente despreciable. De todos modos es posible establecer una zonación con tres clases diferentes, dos de las cuales se diferencian según el grado de cobertura vegetal y la formación dominante: estepa de gramíneas y estepa arbustiva (con mayor protección en el primero de los casos) y una tercera clase sin vegetación o muy rala cobertura.

3 Suelos

Los suelos presentes en la zona muestran, en líneas generales, escaso grado de desarrollo, y con frecuencia se presentan sectores de afloramientos rocosos sin cobertura edáfica. Muestran una marcada influencia de los diferentes pisos altitudinales, que se expresan a diferentes niveles, incluso a nivel taxonómico. Son característicos los valores altos de pedregosidad y rocosidad, derivados de una activa morfogénesis y consiguiente inestabilidad del paisaje. Según Ferrer y Regairáz (1993), el régimen edafoclimático de la zona considerada muestra un progresivo pasaje de condiciones de aridez a condiciones más frías y húmedas. Así, aparecen climas semiáridos mesotermiales, subhúmedos y húmedos microtermiales, que tienen decisiva influencia en los procesos de melanización, carbonatación, acidificación e inclusive paludización, observándose mayores evidencias del accionar de estos pro-

cesos. Los procesos pedogenéticos actuantes en la zona son la melanización, descarbonatación, desalinización y, en menor medida, y sujetos a condiciones locales de relieve y materiales originarios, argiluvación y paludización. Son importantes, en toda la zona considerada, pero espacialmente en los sectores más altos, los procesos de criopedoturbación, tanto activa como fósil.

Los suelos presentes pertenecen principalmente al Orden Entisoles: Fluventes y Ortentes. Los primeros aparecen en los diferentes niveles de terrazas y planicies aluviales y los segundos predominan en los abanicos aluviales y en la mayor parte de las laderas de la región. Constituyen suelos de perfiles simples, escaso a nulo desarrollo pedogenético y concentraciones de materia orgánica relativamente bajas (Ustortentes y Criortentes de subgrupos líticos y típicos). En los sectores del paisaje subhorizontales o con pendientes menores (comprendidas entre 1 y 3%) ya sean pisos de valles, terrazas y sectores de morenas, aparecen suelos de mayor desarrollo: Molisoles, Inceptisoles e Histosoles. Las condiciones bioclimáticas han permitido, en estos sectores, la existencia de condiciones propicias para la colonización vegetal y la maduración de la materia orgánica, dentro del perfil del suelo. Estas condiciones han permitido, en consecuencia la existencia de epipedones mólicos, con contenidos de materia orgánica superiores en muchos casos al 5% (favorecido por el clima frío). Dentro del primero de los ordenes, se encuentran Haplustoles y Haplacuales típicos, énticos y líticos, en el segundo, Humacueptes fluvacuénticos y en el tercero, Sapristes y Medifibrístes, asociados a mallines y vegetación hidrófila. En algunos sectores el proceso de iluviación puede dar lugar a incipientes horizontes argílicos (Bt).

Los procesos de pedocrioturbación son importantes, comprendiendo, según Ferrer y Regairáz (1993), formación de cuñas de hielo, acumulaciones fibrosas de calcáreo criogénico, extrusión (frost boils), geliflucción, suelos estructurales, listas de piedra y guirnaldas y selección vertical, tanto activos como fósiles. Todas estas rasgos han sido observados en la zona considerada, con excepción de las cuñas de hielo. Se suma la presencia de una distribución particular de la vegetación respondiendo a estas condiciones de congelamiento-descongelamiento, sobre la que se vuelve en el apartado correspondiente.

A modo de conclusión parcial, los suelos de la región no contribuyen significativamente a una importante protección de las laderas, debido a su alta pedregosidad y texturas gruesas, escaso grado de desarrollo, poca profundidad (predominio de fases líticas e inclinadas), ausencia de estructura y bajos contenidos de materia orgánica en el horizonte superficial. Los suelos de los depósitos morénicos y terrazas fluviales y glaci-fluviales, por otro lado, exhiben mayor grado de desarrollo (contenidos ele-

vados de materia orgánica, mejor estructura y presencia de horizonte argílico) y por consiguiente características que brindan cierta protección al sustrato, inhibiendo los procesos erosivos y de remoción en masa. En líneas generales, salvo en los sectores subhorizontales y de mallines, por encima de los 4000 m desaparece prácticamente la cobertura edáfica. En consecuencia, a los efectos de grado de protección brindado por los suelos, respecto de la erosión y de factibilidad de movimientos de remoción en masa, pueden diferenciarse tres sectores: de alta, media y baja protección. El sector de alta, coincide con la ocurrencia de Molisoles, Inceptisoles e Histosoles, la media, con los Entisoles, y la de baja, con los sectores carentes de suelos. De todas formas debe señalarse que en todos los casos el grado de protección es escaso si se lo compara con otras regiones del país.

4 Pendientes

Todo paisaje está compuesto esencialmente de diferentes tramos de pendiente que pueden ser caracterizados en función de sus gradientes (inclinación), forma y longitud. Estos tres parámetros condicionan la ocurrencia y la tipología de los procesos de remoción en masa. Las pendientes, a su vez, son resultado de los procesos exógenos, entre los cuales se cuentan la remoción en masa. La zona estudiada se caracteriza por la presencia de fuertes pendientes siendo frecuentes los tramos rectilíneos de pendientes subverticales. Se constata una zonación de las pendientes en función de las litologías aflorantes y la altitud de las mismas. En los sectores donde afloran las areniscas y brechas devitrificadas de la Formación Tordillo, las pendientes son mayores, generalmente superiores a los 40°. Las diferentes litologías que componen las formaciones Cristo Redentor y Farellones también se caracterizan por poseer pendientes altas, si bien algo menores que las anteriores. Por otro lado, las calizas, pelitas calcáreas y calcarenitas del Grupo Mendoza y de la Fm. La Manga, poseen, comparativamente, menores pendientes (entre 10° y 35°). Finalmente, las pendientes de menor gradiente se asocian a diferentes depósitos cuaternarios, generalmente de fondos de valle y pendientes distales (ver figura 3).

La zonación altitudinal es resultado de la presencia y tipo de cobertura vegetal y edáfica. A mayor cobertura de ambos corresponden menores pendientes. En consecuencia los sectores más altos, por encima de los 4000 m de altitud sobre el nivel del mar, presentan fuertes pendientes, ante la ausencia de estos dos elementos que confieren estabilidad a las mismas. Si se considera la forma, las pendientes son compuestas o complejas, poseen por lo tanto, numerosos tramos. En general (y en forma esquemática), es posible reconocer desde el sector más elevado al más bajo un tramo superior subhorizontal, coincidente con niveles de aplanamiento de altura, en los cuales predominan la

meteorización física y los procesos criogénicos, un segundo sector convexo, dominado por la remoción en masa, un tercer sector con alto ángulo o subvertical, debido al accionar del proceso glaciario y una zona inferior cóncava, en el cual predominan el escurrimiento superficial y el reptaje. Es el tercer tramo en el cual se generan la mayor parte de los procesos de remoción en masa.

Las avalanchas de roca y las caídas de rocas se generan en los sectores de mayores pendientes, mientras que los deslizamientos y movimientos complejos que poseen un comportamiento final como flujo, tienen sus zonas de arranque en sectores de menores pendientes. De todos modos, en ambos casos las inclinaciones generalmente superan los 35°. A pendientes menores le corresponden el reptaje y el escurrimiento superficial, este último, en general por debajo de los 20° de inclinación. Las pendientes regularizadas, (aquellas que se encuentran en equilibrio dinámico), son minoritarias en la zona estudiada.

La orientación de las pendientes, en relación con la insolación es un factor cuya importancia ha sido señalada por diversos autores. En la región, las pendientes que se orientan al norte (solanas) poseen mayor porcentaje de reptaje y deslizamientos y los glaciares de roca se localizan por encima de los 4200 m. Las laderas orientadas al sur (umbrías), poseen mayor número de caídas y avalanchas de roca y mixtas y los glaciares de roca se ubican a cotas sensiblemente menores, persistiendo en algunas quebradas cuerpos de hielo muy degradados.

5 Geología y estructura

Las unidades aflorantes, que corresponden a la Cuenca Neuquina-Aconcaguina, son: a) Formación La Manga (Oxfordiano) compuesta por conglomerados finos a gruesos con areniscas calcáreas, calizas y brechas calcáreas, en bancos masivos y laminares con intercalaciones de margas; b) Formación Auquilco (Oxfordiano-Kimmeridgiano) compuesto por niveles de evaporitas yesosas; c) Formación Tordillo (Kimmeridgiano), areniscas y conglomerados rojos y gris-verdosos, continentales, con intercalaciones volcánicas y volcánicas; d) Grupo Mendoza (Titoniano-Hauteriviano), secuencia marina somera compuesta por niveles de pelitas, calizas, areniscas calcáreas y margas de coloraciones negra, verdes, amarillas y grises, portadora de amonites; e) Formación Diamante (Jurásico superior-Cretácico inferior), compuesta por areniscas finas a medias, rojas y grises, de ambiente continental, con intercalaciones de conglomerados, pelitas y piroclastitas; f) Formación Juncal (Cretácico inferior), con piroclastitas e ignimbritas con niveles lávicos y diques. Presentan colores grises, rojos y verdes e intercalaciones de areniscas y pelitas fluviales y lacustres; g) Formación Farellones (Mioceno) compuesta, en el área por diques de composición dacítica, andesítica y diorítica y h) Formación Santa María (Mioceno).

no) correspondiente a una potente secuencia de sedimentos (conglomerados y areniscas) continentales, aluviales (ver figura 4, tomado de *Ramos et al., 1996*).

La estructura corresponde a la típica configuración de faja plegada y corrida, producida por la Orogenia Andina. Predominan los corrimientos con vergencia al este, de rumbo norte-sur e inclinaciones que oscilan entre los 30 y 60°. En general la superficie de despegue de los mismos está constituida por los niveles de yeso de la Formación Auquilco, dado su carácter incompetente. Vinculados a esta importante estructuración compresiva se reconocen numerosos sinclinales y anticlinales, un marcado diaclasamiento y fracturación de las rocas, así como fenómenos vinculados a diapiros de yeso.

6 Sismicidad y tectónica

Actualmente existe una importante actividad sísmica y neotectónica que denotan una continuación de la estructuración de la zona, cuya evolución tectónica involucra a los ciclos gondwánico y andino. En la faja de 300 km al este del eje andino han ocurrido numerosos terremotos históricos y la provincia de Mendoza ha sido afectada en repetidas ocasiones por eventos sísmicos acaecidos en el ámbito geográfico de la provincia y en áreas cercanas. En general los temblores mendocinos tienen un área de destrucción definida y localizada. En el registro histórico se observa que en dos oportunidades se sintieron efectos destructivos en esta provincia de terremotos chilenos (1647 y 1880) y de un sismo con epicentro en San Juan (1977) y el resto fueron ocasionados probablemente por fallas ubicadas en las cercanías de los epicentros (*Bastías et al., 1993*).

De acuerdo con los antecedentes de información neotectónica de las provincias de Mendoza y San Juan, la actividad ha sido continua durante gran parte del Cuaternario. Si bien no se conoce el movimiento de cada falla existen evidencias paleosismológicas que indican reactivaciones periódicas de casi todas las fallas identificadas (*Bastías et al., 1993*).

Según el lineamiento regional Tunuyán, que con rumbo NO - SE pasa por las proximidades de las ciudades de Mendoza, San Martín, Santa Rosa y La Paz; se realizó una subdivisión regional en dos provincias sismotectónicas: Región Precordillera y Región Surmendocina (*Bastías et al., 1984 en Bastías et al 1993*). Cada una de ellas, abarca áreas en las cuales la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico de importancia presenta valores estadísticos similares. El área involucrada en el presente estudio se encuentra en la región Surmendocina, en las proximidades del lineamiento antedicho y en las adyacencias de otro importante lineamiento: Vacas - Tupungato. Este último podría estar relacionado con el

sistema Sanrafaelino y de verificarse tal conexión se comprobarían movimientos de rumbo para este lineamiento de gran importancia geotectónica en la estructura del cordón andino a esa latitud.

7 Geomorfología

La zona presenta una amplia gama de geoformas producidas por diferentes procesos y agentes geomórficos, constituyendo un paisaje de tipo compuesto y complejo. Utilizando los criterios propuestos por Barsch y Caine (1984); basados especialmente en la variación espacial del relieve relativo, la zona estudiada puede ser considerada como un sistema de alta montaña (variaciones de altitud superiores a los 1000 m en menos de 5 Km de distancia). Poseen una serie de sistemas morfodinámicos: a) sistema glaciar, b) sistema de detritos gruesos, c) sistema de detritos finos y d) sistema geoquímico. Estos dos últimos serían menos importantes en el área de estudio, si se consideran sus efectos y la participación relativa en la movilización y depositación del material. Como el resto de los sistemas montañosos del mundo, la región, exhibe una gran variabilidad morfodinámica, con altas tasas de erosión y sedimentación, producto de eventos episódicos en el tiempo y discontinuos en el espacio.

La estructura y la tectónica, propia de una faja plegada y corrida con importante acortamiento cortical horizontal y consecuente apilamiento de escamas tectónicas, constituye el principal factor determinante de las características del paisaje, manifestándose de múltiples maneras (*Pereyra, 1995*). Se destaca la altitud de la zona, cuyo nivel más bajo es de 2700 msnm, lo cual determina principalmente las características del clima, influyendo, en la variada acción y relaciones de los distintos procesos geomórficos actuantes.

En segunda instancia, la magnitud y lo relativamente reciente de la Orogenia Andina, han dado lugar al importante relieve relativo y pendientes con altos valores de inclinación. Se reconocen otros factores, tales como la orientación dominante de las quebradas, controlada por la actitud espacial de los frentes de corrimiento y escamas que ha dado como resultado una marcada asimetría de procesos y geoformas en relación con la insolación. El diaclasamiento, clivaje y fracturación de las rocas es importante, lo cual sumado a las características climáticas (clima de alta montaña) y a la escasa cobertura vegetal han facilitado una marcada meteorización física, especialmente por congelifración, constituyendo una fuente activa de provisión de detritos.

El modelado del paisaje ha sido y es producto del accionar conjunto de una serie de procesos geomórficos, principalmente el proceso glaciar hasta un pasado reciente, y los procesos fluvial y de remoción en masa, en

la actualidad. Otras formas menores comprenden procesos de disolución (especialmente en los yesos de la Formación Auquilco), fenómenos criogénicos y acción eólica. Esta última se limita a sectores reducidos de las planicies y terrazas glacifluviales y fluviales y a zonas deprimidas en las morenas.

Dentro de las geoformas glaciarias, se han reconocido formas de erosión y de depositación, siendo las primeras las más ampliamente representadas. Sobresale la configuración de los valles con perfil transversal en forma de "U", que constituyen antiguas artenas glaciarias, las cuales si bien se encuentran modificadas por la acción de los procesos presentes, aún permiten reconocer sus rasgos primarios. Las quebradas que presentan mejor preservadas las características glaciarias son las quebradas Tolosa oriental, Tolosa sur y Paramillos de Las Cuevas. En algunos sectores de las mismas es posible observar evidencias de exaración y "hombreras" (quiebres de pendiente, entre un sector inferior subvertical y uno superior más tendido). En las quebradas Tolosa oriental, Tolosa sur y Nevado del Matienzo, se observan resaltos en sus perfiles longitudinales. También los circos glaciarios constituyen geoformas importantes, de amplia distribución areal.

En numerosos sectores se observan depósitos correspondientes a morenas de fondo y frontales. Estas últimas se encuentran mejor preservadas en la zona de Confluencia, donde convergían las masas de hielo procedentes de la Quebrada de los Horcones inferior (hoy Glaciar Fitzgerald) y de la Quebrada de Tolosa oriental, afluente del anterior. Los depósitos morénicos superan los 70 m de espesor aflorante, presentando una configuración superficial ondulada, con bloques erráticos de hasta 2 m de diámetro, principalmente de brechas andesíticas y areniscas (formaciones Juncal y Tordillo respectivamente). Los bloques se encuentran dispersos en una matriz principalmente limosa con importante participación calcárea. Los bloques y clastos presentan estrías, surcos y marcas semilunares. Estos depósitos muestran una marcada disección fluvial y aterrazamiento. Es frecuente la presencia de pequeñas depresiones, en las cuales alternadamente se acumula agua y se encuentran sometidas a deflación eólica, así como también la surgencia de aguas de ablación, con la consecuente formación de "mallines". También se desarrollaron depósitos morénicos en las desembocaduras de las quebradas Blanca, Navarro y de los Dedos.

Los depósitos glacifluviales alcanzan importante desarrollo areal y se encuentran bien representados, (aunque también muy modificados) en la zona de Playa Ancha y la Quebrada de Matienzo. Este mayor desarrollo podría deberse a que estas quebradas son más anchas que el resto, posiblemente por la actividad tectónica y la presencia de lenguas glaciarias de gran magnitud hasta tiempos más recientes, dado que se encuentran a cotas superiores que otras

quebradas y presentan numerosas quebradas tributarias "colgantes". Asimismo han sido reconocidos depósitos glacifluviales de planicies de outwash parcialmente aterrazados, ubicados a cotas mayores en diversos sectores de la Quebrada de los Horcones y en el Valle del río Cuevas (Pereyra y González Díaz, 1993 y Espizúa, 1993).

En la actualidad, los glaciares se encuentran restringidos a los circos, con escasa extensión en los valles exceptuando el Glaciar Fitzgerald, que tiene sus nacientes al pie del Co. Aconcagua y se encuentra al norte de Confluencia. En las quebradas Tolosa oriental, Paramillos de las Cuevas, de los Dedos y Nevado del Matienzo, se reconocen pequeños cuerpos de hielo, muy cubiertos por detritos (de tipo de hielo cubierto por detritos, debris covered glaciers), los cuales gradan, en sus sectores distales, a glaciares de roca. Si bien escapa a los objetivos del presente trabajo el establecer una estratigrafía de los depósitos glaciarios, es posible reconocer al menos tres niveles morénicos (excluyendo los depósitos actuales), correspondientes a otras tantas posiciones de los hielos en el pasado, observables en el Valle de los Horcones y del río Cuevas, en la zona comprendida por el presente estudio (Rabassa y Clapperton, 1990 y Espizúa, 1993). De más distal (y más antigua) a más proximal se encontrarían los Drifts Punta de Vacas (ubicado al este de la zona estudiada), Penitentes (el cual se extendería hasta la zona, reconociéndose algunos niveles en la zona de Puente del Inca), Horcones, en Paramillos de los Horcones, finalizando con los correspondientes a los drifts Almacenes y Confluencia. En el apartado correspondiente a procesos de remoción en masa se volverá a la "morena de los Horcones". Todos estos niveles serían atribuibles a la última Glaciación y a avances del Neoglacial (Wisconsin, Rabassa y Clapperton, 1990). El Drift Horcones y el Almacenes, corresponderían al Tardiglacial (14000-10000 A.P., según Espizúa, *op. cit.* o entre 15000 y 6000 años A.P., según Rabassa y Clapperton, *op.cit.*). Por su parte el Drift Confluencia correspondería a un avance del Neoglacial

Debido a las precipitaciones (alrededor de 400 mm anuales) y a la presencia de cuerpos de hielo de considerable magnitud, la provisión de agua es importante, especialmente durante el verano. La red de drenaje se estructura a partir de un colector principal, el río Cuevas que muestra un recorrido paralelo a la estructura (subsecuente) en su tramo superior (quebrada de Matienzo), para volverse transversal a la misma a partir de la localidad de Las Cuevas. No obstante ello, no debe descartarse un cierto control estructural en este tramo también, ya que es posible que se trate de una componente transcurrente. Recibe numerosos cursos menores, caracterizados por fuertes pendientes y resaltos en la zona de sus desembocaduras; como por ejemplo la quebrada de Navarro. Los tributarios desembocan formando ángulos rectos con el río Cuevas, lo

cual evidencia un conspicuo control estructural, conformando una red de drenaje de diseño subdendrítico a rectangular. El río Cuevas, de hábito entrelazado (frecuente en las zonas montañosas que presentan cierto control estructural), posee barras compuestas principalmente por material subredondeados con predominio de clastos de alrededor de 40 cm de diámetro (si bien lo hay de dimensiones mucho mayores). Es posible observar numerosos resaltos en su recorrido, resultantes del control estructural y en algunos sectores debidos a la presencia de niveles aterrazados.

El principal afluente, en la zona de estudio, es al arroyo de los Horcones, principal colector de la zona sur del Cerro Aconcagua. El curso presenta hábito entrelazado y control estructural, según el rumbo de un corrimiento norte-sur. Se observan dos niveles de terrazas y recibe numerosos afluentes menores. Aquellos que desembocan, procedentes de la quebrada del Durazno y del pie del Co. Almacenes, forman abanicos aluviales, con pendientes superiores a los 20. El arroyo de los Horcones se recuesta, en su tramo inferior, sobre el lateral oriental del valle, marginando el depósito atribuido al deslizamiento de Paramillos de los Horcones, no presentando en el mismo importante desarrollo de la planicie aluvial. Numerosos cursos que desembocan en el río Cuevas, especialmente los procedentes del norte, forman conos aluviales de pequeñas dimensiones. Asimismo, en la zona de Playa Ancha, los abanicos aluviales son frecuentes. En ambos casos los mismos poseen inclinaciones considerables, lo que puede indicar un cierto predominio de la remoción en masa en la construcción de estas geoformas.

REMOCION EN MASA Y FORMAS CRIOGENICAS

Adquieren gran desarrollo en la zona estudiada. Diversos factores concurren para hacer posible esta situación, ya sean intrínsecos a la litología y estructura, como los propios del contexto geomórfico, incluyendo las condiciones climáticas. Entre las características particulares de la Alta Cordillera, que explican la ocurrencia de estos fenómenos, se destacan la altura, el clima frío, el relieve relativo, la escasa cobertura vegetal, el volumen y tipo de precipitaciones, etc. Se reconocen tres grupos principales de geoformas (Brunsden, 1993): a) glaciares de rocas y otras formas criogénicas (deslizamientos de la capa activa, active layer slides y lóbulos de geliflucción), b) conos de talud, formados principalmente por reptaje, con participación de caídas de rocas (rockfalls), debris flows, deslizamientos de detritos (debris slides) y avalanchas de detritos y nieve (estas últimas con participación de material detrítico) y c) geoformas producidas por flujos y deslizamientos de diferentes tipos y dimensiones. La distribución de los principales fenómenos de remoción en masa se observan en la figura 5.

Los factores que pueden actuar como disparadores son los terremotos, las grandes precipitaciones (níveas en este caso), el derretimiento de la nieve, la erosión lateral de cursos fluviales (socavamiento) y la acción antrópica. En líneas generales se ha podido comprobar que aquellos sectores que ya han experimentado movimientos gravitacionales son más estables que los que no lo experimentaron, situación ya planteada por Keefer (1994). En la Tabla 1 se pueden apreciar las características principales de los diferentes tipos de procesos de remoción en masa presentes en la zona y en la Tabla 2 las características ambientales más frecuentes asociadas a los diferentes tipos de procesos de remoción en masa.

1 Conos de talud, reptaje y talud de caídas de rocas (rockfall talus)

El reptaje es uno de los procesos más ampliamente representado, afectando prácticamente todas las laderas e implicando a todas las litologías. Se trata de un movimiento de tipo laminar, esencialmente sin deformación de la masa, que en la región tiene lugar principalmente por frost-creep. Los clastos son angulosos y de tamaños variables según la litología. El intenso crioclastismo y la ausencia de vegetación favorecen su amplia distribución. Las geoformas más frecuentes son los conos de talud o deyección, con pendientes superiores a los 35°, los cuales suelen coalescer. Las pendientes, en un corte longitudinal, en general presentan afloramientos rocosos, subverticales en su parte superior, un sector medio plano y uno inferior cóncavo. En aquellos conos de mayores dimensiones, se forman pequeños cursos, por los cuales esporádicamente circula agua y se encauzan pequeños torrentes de barro (debris flows); ocasionalmente es posible reconocer una transición entre los tipos esencialmente coluviales y los aluviales.

Asimismo son frecuentes aquellas pendientes en las cuales predominan las caídas de rocas, conformando las denominadas rock fall talus, a su vez parcialmente modificadas por debris flows y avalanchas de nieve y detritos (en forma análoga a la señalada por Owen, 1991, en el Karokorum). Los efectos de este tipo de avalanchas pueden ser constatados a partir de sus efectos sobre distintas construcciones en la región, especialmente en la zona de Puente del Inca. Las caídas de rocas son generalmente de dimensiones menores (comparadas con otras geoformas de la región) conformando campos de bloques, algunos de los cuales pueden alcanzar varios metros de diámetro y conos simples, coalescentes o pendientes rectilíneas ubicados al pie de afloramientos rocosos. Las caídas de detritos o de material fácilmente friable son frecuentes en las zonas adyacentes a los principales cursos fluviales. La acción de socavamiento basal realizada por los cursos, principalmente el río Cuevas y el Ao. de los Horcones, sobre

antiguos depósitos fluviales, glaci-fluviales o incluso morenas, produce caídas de este material, que usualmente forma pendientes subverticales de varios metros.

Puede apreciarse que existe una gradación en las formas de las pendientes, la cual varía con la altitud. En los sectores de mayor altitud (generalmente superiores a los 4000 m, predominan los segmentos verticales a subverticales, con importante participación de caídas de rocas y pendientes rocosas. En los sectores de alturas menores, se vuelven más frecuentes las pendientes totalmente cubiertas de detritos, con predominio del reptaje y de flujos. Caracterizan a estos últimos pendientes más, las cuales de todas formas suelen superar los 35°.

Finalmente, son frecuentes, los chutes (o "canaletas"), debidas a la erosión fluvial y al transporte de material (bajo la forma de flujos), labrados tanto en la cobertura detrítica como en la roca más o menos fresca, que por razones de escala no han sido representados en el esquema geomorfológico.

2 Flujos y deslizamientos

La existencia de importantes acumulaciones de detritos, derivados de otros procesos y agentes (glaciarios, remoción en masa y aluvial); las características litológicas y estructurales; la ausencia de vegetación y la presencia de fenómenos que pueden actuar como disparadores (por ejemplo terremotos) favorecen la movilización de material por gravedad (Hansen, 1984).

Si bien hay numerosas clasificaciones de los procesos de remoción en masa, en general, las más utilizadas (por ejemplo, Varnes, 1978) consideran las siguientes variables: a) tipo de movimiento, b) tipo de material implicado y c) velocidad del movimiento. Debido a la gran cantidad de depósitos reconocidos, sólo se describirán aquellos más representativos. En general todos estos movimientos han resultado de la participación de dos o más tipos de movimientos (complejos) y deben su origen a la combinación de diversos factores que han provocado variaciones en las condiciones de estabilidad de las pendientes. En el presente estudio se utilizan las denominaciones propuestas por Brunsdén (1993). Asimismo, el agua juega un papel preponderante en la diferenciación de los distintos tipos de movimientos gravitacionales (Summerfield, 1991).

Una característica importante, al considerar la tipología de movimientos, geoformas y depósitos, es el elevado grado de complejidad que exhiben los mismos. La situación más frecuente es la combinación de más de un proceso, así como el hecho que el material depositado por un tipo de movimiento gravitacional pudo haber sido luego retrabajado por otro tipo de proceso de remoción en masa, el cual a su vez le imprime sus propias y particulares características.

Las avalanchas de rocas o deslizamientos rocosos no son muy frecuentes en la región, no obstante cuando están presentes, poseen grandes dimensiones. Uno de los depósitos más llamativos está ubicado inmediatamente al norte de la localidad de Las Cuevas (quebrada del Hombre Cojo) que alcanza, en su parte distal, más de 50 m de espesor y una longitud máxima de 1,5 km. Los bloques que lo componen pueden superar los 7 m de diámetro y se encuentran relativamente alineados. Son angulosos y el material componental es casi exclusivamente brechas piroclásticas andesíticas de la Formación Tordillo. El volumen del depósito supera los 0,01 Km³.

La secuencia sedimentaria aflorante sobre el faldeo norte del Valle del río Cuevas, posee rumbo norte-sur e inclina 60-70° al oeste. A favor de esa inclinación el movimiento habría comenzado como un deslizamiento planar (traslacional), probablemente "disparado" por un terremoto, el cual tras colisionar con el otro lateral de la quebrada del Hombre Cojo, se habría encauzado hacia abajo, con dirección al sur, constituyendo una especie de avalancha de rocas (de tipo rock slide). La estructura de la roca, tanto la estratificación como el diaclasamiento, por su particular disposición respecto a la dirección de la quebrada, han jugado también un papel fundamental. Inmediatamente al este de la misma se ha reconocido un depósito de similares características, aunque de menores dimensiones.

Un depósito similar se encuentra en la quebrada Tolosa oriental. Presenta forma elongada y aproximadamente 2,5 km de largo. El mismo se encuentra vegetado y erosionado parcialmente. En su parte superior se observan bloques de hasta 4 m de diámetro, angulosos, también de un solo tipo litológico: brechas piroclásticas de la Formación Juncal, las cuales afloran en la parte superior de la quebrada, al pie del Co. Tolosa. Los bloques muestran cierta alineación y el depósito puede haber resultado de una avalancha de rocas. Según Keefer (1984), los valores mínimos de pendiente, para la zona de arranque, deben superar los 25°, siendo muchos más frecuentes a partir de los 45°. Asimismo, según este autor, los valores de altura de la zona de arranque también es importante. Los valores mínimos se localizan alrededor de los 200 m y se vuelven más frecuentes con pendientes superiores a los 1000 m.

Los deslizamientos traslacionales de material detrítico y de tipo deslizamientos compuestos (progresivos), son frecuentes en toda la zona. La zona de ascenso al Cristo Redentor es probable que corresponda a un depósito de este tipo. La litología de la Formación Juncal en este sector, areniscas y piroclastitas poco consolidadas, pueden haber facilitado este tipo de movimientos. Asimismo el hecho que en la base del depósito se encuentre un brusco cambio de dirección del río Cuevas, hace que el mismo pueda haber actuado socavando el pie de la pendiente, quitándole sustentación.

Otros deslizamientos de menores dimensiones han sido reconocidos en la quebrada de Matienzo y en el Valle del río Cuevas, en Paramillos de la Cuevas y en las cercanías de Puente del Inca, sobre ambos laterales del valle. Es común que los deslizamientos pasen en su parte distal a flujos de detritos parcialmente encauzados. Asimismo se han reconocido numerosos deslizamientos rotacionales de pequeñas dimensiones. La mayor parte de estos movimientos son recientes o actuales, esencialmente postglaciarios, generalmente posteriores, o reactivados con posterioridad al Neoglacial.

Los debrisflows, de variadas dimensiones y que han afectado diferentes litologías, constituyen uno de los fenómenos de remoción en masa más ampliamente distribuidos en la región. Forman una importante parte del relleno de los valles y quebradas. Se caracterizan por poseer bloques de variados tamaños (generalmente menores a 1 m) inmersos en una matriz areno-limosa, con variada participación de arcilla, lo que favorece una fuerte cementación. Algunas formas menores han sido observadas en pequeños abanicos aluviales ubicados en el tramo inferior del arroyo de los Horcones. Presentan dimensiones de escasas decenas de metros de largo y espesor del orden de un metro, tienen forma lenguada característica y base no erosiva. Se encuentran dispuestos en los canales de los abanicos y tal como se ha señalado, se ubican también en el talud y en conos de talud o de deyección.

En la zona de la desembocadura del arroyo Horcones en el río Cuevas, se encuentra el depósito de mayores dimensiones producido probablemente por la remoción en masa. El mismo ha sido motivo de un estudio detallado en otro trabajo (*Pereyra y González Díaz, 1993*), por lo que no habrá de ser tratado con mayor profundidad en la presente contribución. Corresponde a un movimiento de tipo complejo, que habría comenzado como una serie de deslizamientos y pasa en su parte distal a movimientos de tipo debris flow. Fue interpretado como depósitos morénicos por numerosos autores. Ocupa un área de 7 Km² y posee más de 50 metros de potencia en su parte distal. Los materiales involucrados en este movimiento complejo probablemente hayan sido provenientes de depósitos glacifluviales de la quebrada de los Horcones, ubicados a cotas superiores y de las cuales subsisten remanentes en el lateral occidental del tramo inferior del valle y en lateral opuesto, en la zona de Confluencia. Los mismos exhiben estratificación, cierta gradación de material y los bloques generalmente son subangulosos a suredondados. Las características morfológicas (observables en el campo y en fotografías aéreas), la naturaleza del material componental, su estructura, la presencia de los citados niveles glacifluviales, entre otros, sustentan esta nueva interpretación. De todas formas no debe descartarse la participación de material gla-

ciario en el mismo, situación generalizada en la región, tal como se ha señalado.

3 Glaciares de rocas y otras geoformas criogénicas

Son una de las formas más conspicuas de la zona, junto con el sector de la Alta Cordillera de San Juan (inmediatamente al norte), y según Corte (1976) constituye posiblemente, la zona más grande de glaciares de rocas en el mundo. Diversos factores hacen posible esta situación (*basándose en Martin y Whalley, 1987 y en Corte, 1987*): 1) el clima, frío con temperaturas menores a 0° C durante buena parte del año (lo que permite la existencia de permafrost), "continentalidad" y precipitaciones níveas importantes (aspecto discutido, según sea la génesis y mecanismos de movimientos considerados, ver en Whalley y Martin, 1992), 2) tipo de roca (principalmente para la región, andesitas, brechas andesíticas y areniscas muy litificadas, con importante clivaje y diaclasamiento debido al importante actividad tectónica), 3) exposición: orientación de las pendientes, 4) topografía abrupta, altas pendientes e importante relieve relativo, 5) existencia de grandes acumulaciones previas de detritos, debido a las altas tasas de producción de material detrítico por intenso crioclastismo, y 6) la existencia de una importante acción glaciaria en el pasado reciente, evidenciada por la presencia de cuerpos de hielo remanentes y de circos y nichos de nivación que favorecen la formación de los glaciares de roca.

Los glaciares de rocas son formas de acumulación, compuestas por clastos de diversos tamaños, cuyo movimiento resulta de la presencia de hielo intersticial entre el material detrítico, dándose el movimiento por permafrost creep, si se consideran los glaciares de roca de tipo "cementados por hielo" (*Martin y Whalley, op.cit.*). Si bien el movimiento tiene lugar en toda la masa, se da en forma diferencial, avanzando más rápidamente la parte superior. Otros dos tipos de mecanismos de movilización han sido propuestos (*Martin y Whalley, op.cit. y Vitek y Giardino, 1987*): por la acción del hielo (en el caso de los glaciares de roca de núcleo de hielo, debris covered glaciers y ice cored rock glaciers) y por movimientos rápidos, para el caso de los glaciares rocosos vinculados a deslizamientos de rocas y detritos.

Existe una gran controversia (*ver Vitek y Giardinis, 1987*), respecto a la génesis y clasificación de los glaciares de roca. Corte (1976), diferencia dos tipos principales de glaciares de roca, denominados primarios y secundarios. Los primarios (o "verdaderos") se forman a partir de la acumulación de material detrítico proveniente de los laterales de los valles por diversos procesos (reptaje, soliflucción, etc.) con hielo intersticial. En la zona de estudio los mismos se ubican por encima de los 3300 msnm. Los se-

cundarios se producen por la fusión del hielo de los glaciares de valle, con una espesa cobertura detrítica, formando una serie continua, que incluye a las denominadas morenas con núcleos de hielo. Los glaciares "secundarios" alcanzan mayores dimensiones y presentan dos fases: fase de termokarst (en la parte proximal) y de detrito estructurado (en la parte distal). Potter (1972, en Martin y Whalley, *op.cit.*), en forma homóloga propone la diferenciación de glaciares de roca de origen glaciar (ice cored) y de tipo no glaciar (o criogénicos, según Martin y Whalley, 1987), ice cemented.

En la zona se han reconocido glaciares de roca de ambos tipos. Los glaciares primarios son, según su forma en planta, lenguados (más largo que anchos) y lobados (más anchos que largos). Se ubican en las laderas orientadas al sur y al este, principalmente en las quebradas Tolosa sur, las Leñas y tributarias de la de Matienzo. Presentan pequeñas dimensiones (algunas decenas de metros) y el material constituyente es de variada composición, anguloso y con tamaños generalmente inferiores a los 30 cm. La mayoría se encuentran activos, lo que se evidencia por sus abruptos frentes y ausencia de vegetación. Presentan líneas de flujo longitudinales, en la parte proximal y crestas transversales, en la parte distal.

Los glaciares de tipo secundario han sido reconocidos en las quebradas Tolosa oriental, Paramillos de las Cuevas, México, de los Dedos y Nevados del Matienzo. Poseen mayores dimensiones y son de formas lenguadas. Los hay activos e inactivos. El material componental es anguloso, con clastos de mayores dimensiones (los de un metro son frecuentes). Puede observarse, en la mayoría de los casos la existencia de una serie continua, desde el glaciar de hielo cubierto de detritos hasta la fase de detrito estructurado, pasando, en la parte cercana al hielo descubierto, por la fase de termokarst. La distribución de los glaciares de roca muestra en la región una marcada asimetría, característica por demás frecuente en la distribución de los glaciares de roca en otras partes del mundo y señalada por numerosos autores (*ver Corte, 1987*). Así, en aquellos laterales de los valles orientados hacia el sur son muchos más frecuentes y aparecen a cotas menores (generalmente a partir de los 3000 m), mientras que en aquellos orientados al norte (y por lo tanto más insolados), la capa de permafrost activa aparece a alturas muchos mayores, generalmente por encima de los 3700 m, como por ejemplo en las quebradas Blanca y de Navarro, ambas inmediatamente al sur de la zona estudiada.

Además de los glaciares de rocas se han reconocido lóbulos de geliflujión, suelos estructurales (poligonales) y listas de piedra. Los lóbulos de geliflujión se encuentran principalmente en el Valle del río Cuevas y en la Quebrada de Matienzo. Son más frecuentes en las laderas más insoladas (orientadas al norte) ya que el descongelamiento es

más importante en las mismas. También han sido reconocidos sectores en los cuales ha tenido lugar o tiene lugar el deslizamiento de la capa activa, dando como resultado la presencia de pendientes irregulares, con pequeños "escalones" en las mismas. Los suelos estructurales se han observado principalmente en la Quebrada Tolosa oriental, por encima de 3500 m.s.n.m.. Forman polígonos de alrededor de 50 cm de diámetro, con los clastos mayores (de hasta 10 cm) hacia los bordes. En zonas de mayor pendiente (20°, aproximadamente) se observan listas de piedra, con una separación entre listas de 30-40 cm y clastos angulosos y de 5-10 cm de diámetro.

DISCUSION Y CONSIDERACIONES FINALES

El conocimiento de los múltiples factores que condicionan el accionar de los diferentes procesos gravitacionales y que causan su variabilidad, es fundamental a la hora de realizar tareas de prevención y mitigación de posibles impactos generados por los mismos. La comprensión de los mecanismos implicados en la movilización del material en pendientes permite la zonificación, herramienta fundamental para la realización de mapas de riesgo y de susceptibilidad. Los fenómenos de remoción en masa pueden ser de tipo catastrófico o no catastróficos, según la velocidad de los mismos. Sin embargo, pese a lo más espectacular del primero de los tipos, ambos tipos pueden ocasionar grandes daños, afectando las vías de comunicación y los asentamientos humanos de la región.

La zona comprendida entre Puente del Inca y Las Cuevas, se caracteriza por presentar una variada configuración geomórfica. En un paisaje, cuyas características principales están determinadas por la estructura, han actuado diferentes agentes y procesos. Predominó, en el pasado, la acción glaciaria, reconociéndose numerosas formas erosivas y agradacionales, si bien muy modificadas por la acción posterior de otros procesos. Las particulares características de la zona (clima, estructura, litología, etc.), que han determinado la existencia de un importante relieve relativo y altas pendientes, han favorecido la acumulación de material detrítico susceptible de ser movilizado por la acción de la gravedad. Es así que los procesos de remoción en masa se encuentran ampliamente distribuidos y adquieren gran importancia en el modelado del paisaje actual. El repunte es un fenómeno generalizado en toda la región estudiada, formándose carpetas de detritos y conos de deyección. Asimismo las condiciones periglaciares son de importancia. Se han reconocido numerosos glaciares de roca (primarios y secundarios). En la Tabla 2 se observan la incidencia de los distintos factores considerados en la tipología y distribución de los diferentes fenómenos gravitacionales.

Se han observado numerosas evidencias de deslizamientos y flujos rápidos, estos últimos vinculados a aba-

nicos aluviales y conos de deyección. Las caídas de rocas y la formación de rock fall talus son frecuentes en los sectores de fuertes pendientes y de afloramientos rocosos. Las avalanchas de roca son menos frecuentes cuantitativamente, pero alcanzan mayores dimensiones. Se encuentran relacionadas a afloramientos de areniscas y brechas volcánicas muy litificadas.

Dentro de los factores que han actuado como elementos disparadores, predominan los movimientos sísmicos. Según Keefer (1984 y 1994), la magnitud mínima que produce sismos depende de la distancia al epicentro y a la estructura reactivada. Sin embargo, sismos de magnitud superior a 4 (MM) pueden disparar deslizamientos. Magnitudes más altas pueden producir avalanchas de rocas, ya que es necesario mayor energía para que pierda cohesión los afloramientos rocosos. En área afectada a los deslizamientos aumenta con la intensidad de los sismos, por lo que sismos pequeños, mucho más frecuentes, pueden producir movimientos pequeños (en general deslizamientos planares y avalanchas y caídas de detritos).

En general, los movimientos de mayores dimensiones se encuentran relacionados a movimientos sísmicos (Gerrard, 1994), mientras que los más pequeños pueden encontrarse relacionados a otras causas: fuertes precipitaciones, acción antrópica y principalmente en la región estudiada, derretimiento de nieve. La acción antrópica se materializa a partir de la modificación de las pendientes por tareas de excavaciones vinculadas a la construcción de vías de comunicación y otras instalaciones. El efecto es el de sobreempinamiento de las laderas, generándose situaciones de inestabilidad, al superarse los umbrales de estabilidad de las pendientes, por lo que el efecto de de algún proceso disparador puede generar movimientos gravitacionales. Otro aspecto importante es que en muchos sectores se han elegido zonas poco aptas para la construcción, al no haberse considerado factores de riesgo y carecer de mapas y normativas de aptitud. La acción antrópica, como factor de inestabilidad de pendientes es más importante para el caso de movimientos de remoción en masa de pequeñas dimensiones, particularmente deslizamientos y caídas de detritos, situación planteada en forma general por Gerrard (1994) y corroborada en la zona de estudio.

En líneas generales, se ha podido constatar que a material menos cohesivo corresponde una mayor frecuencia de eventos de remoción en masa y menores dimensiones de los depósitos y de las áreas afectadas, mientras que para materiales más cohesivos y rocas, le corresponden menores frecuencias de movimientos gravitacionales pero estos son de mucho mayores dimensiones.

Los principales factores de riesgo para vidas humanas son las avalanchas de roca y las mixtas, debido a la ve-

locidad de las mismas y a los volúmenes de material implicado (en el primero de los casos) y a la recurrencia de las mismas (en el segundo de los casos). Las caídas de rocas también son riesgosas. La zona de riesgo, según Keefer (1984) se extiende solo unos pocos cientos de metros de la zona de arranque, al pie de pendientes escarpadas. Sin embargo, para el caso de avalanchas de rocas y movimientos complejos, se pueden extender por varios kilómetros desde la zona de probable inicio de los movimientos. Es necesario realizar entonces una zonación por posible movimiento de remoción en masa, ya que las condiciones de origen varían de un caso al otro así como la potencial zona de riesgo. Pendientes largas, superiores a los 1000 m, con gradientes altos, superiores a 45° y con afloramientos rocosos (principalmente areniscas litificadas y brechas) aparecen como las zonas más propicias para la generación de avalanchas de rocas. Sismos superiores a 7 serían los potenciales disparadores de este tipo de movimientos. Estas zonas son poco frecuentes en la región y pueden identificarse en contados sectores de la zona estudiada.

Pese a las evidencias de una generalizada e importante acción glaciaria, dadas esencialmente por la presencia de formas erosivas, la existencia de depósitos (morenas marginales y aún frontales), en la mayoría de los valles y quebradas, es escasa, y se encuentran en general re TRABAJADOS por la remoción en masa. Por lo tanto la naturaleza de los depósitos diamictíticos de la región muestran un claro origen poligenético y originalmente habrían sido depósitos de till. La tipología de los movimientos de remoción en masa de la región presenta un carácter complejo, con la combinación de varios tipos diferentes, sumada a la existencia de varios ciclos de removilización del material, lo que dificulta la clasificación de los depósitos. La pasada acción glaciaria ha jugado un papel fundamental, creando condiciones propicias para la presencia generalizada de fenómenos de remoción en masa. Se destacan tres aspectos: a) presencia de grandes acumulaciones de material poco consolidado, susceptible de ser movilizado por la gravedad, b) existencia de fuertes pendientes como resultado de la acción erosiva glaciaria (Evans y Clague, 1994) y potenciado por el retiro relativamente reciente de los hielos (post Neoglacial), resultando pendientes superiores a los 45°, tal como se puede apreciar en las quebradas de los Horcones oriental, Tolosa, Hombre Cojo, Cajón del Rubio, Navarro, etc. y c) alto grado de fracturación del material detrítico y de la roca aflorante por la presión ejercida por el hielo (que ha "preparado" el material).

Los potentes depósitos de la región, son el resultado de la superación de umbrales geomórficos, causados por las variaciones climáticas (englazamiento-deglazamiento) y la intensa actividad tectónica de los Andes, durante el Cenozoico superior.

Agradecimientos al Dr. E. González Díaz, por las correcciones realizadas, su ayuda en la fotointerpretación y en las tareas de campo. Al Lic. L. Fauque, de la Cátedra de Geomorfología (FCEyN-UBA), por su consejo en la fotointerpretación. Al Dr. M. Cegarra, a la Lic. A. Sanguinetti y al Dr. V. Ramos, por toda su colaboración.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AHUMADA, A., 1990.
Ambientes, formas y procesos periglaciales o criogénicas en quebrada B. Matienzo, Cordillera Principal, Mendoza.
Asoc. Geol. Arg., Rev. XLV (1-2) :85-97. Vol. 4 (4) :287-298.
- BARSCHE, D. Y N. CAINE, 1984.
The nature of mountain geomorphology.
Mountain Res. and Dev.
- BASTÍAS, H., G. TELLO, L. PERUCCA Y J. PAREDES, 1993.
Peligro sísmico y neotectónica.
Relatorio XII Congreso Geológico Argentino. II Congreso de Hidrocarburos. Geología y recursos naturales de la provincia de Mendoza. VI-2:645-659.
- BRUNSDEN, D., 1993.
Mass movements; the research frontier and beyond: a geomorphological approach.
Geomorphology, 7:85-128.
- CABRERA, A., 1972.
Fitogeografía de la República Argentina.
Bol. Soc. Arg. de Botánica, Vol. XIV, N°1-2, 47 págs., Buenos Aires.
- CABRERA, A. Y A. WILLINK, 1973.
Biogeografía de América Latina.
OEA, Monografía n°13. 120 págs., Washington.
- CORTE, A., 1976.
Rock glaciers.
Biul. Peryglacjalny, 26:175-197.
- CORTE, A., 1987.
Rock glaciers taxonomy.
En Giardino, J., J. Shroder y J. Vitek (eds.) : Rock Glaciers. Allen & Unwin, Boston, 27-39.
- ESPIZÚA, L., 1993.
Geología glacial cuaternaria del valle del río Mendoza.
XII Cong. Geol. Arg., Actas VI:80-91.
- ESPIZÚA, L., J. BENGOCHEA Y C. AGUADO, 1993.
Mapa de riesgo de remoción en masa en el Valle del río Mendoza.
XII Cong. Geol. Arg., Actas VI:323-332, Mendoza.
- EVANS, S. AND J. CLAGUE, 1994.
Recent climatic change and catastrophic geomorphic processes in mountain environments.
Geomorphology 10 (1994) :107-128.
- FERRER, J. Y C. REGAIRAZ, 1993.
Suelos.
En XII Cong. Geol. Arg., Ramos (ed.) , Relatorio:616-635, Mendoza.
- GERRARD, J., 1994.
The landslide hazards in the Himalayas: geological control and human action.
Geomorphology 10 (1994) :221-230
- HANSEN, M., 1984.
Strategies for classification of landslides.
In Slope Instability, Brunsden & Prior (ed.) , J. Wiley and Sons Ltd. Londres.

- KEEFER, D., 1984.
Rock avalanches caused by earthquakes: sources and characteristics.
Science, 228:1288-1290.
- KEEFER, D., 1994.
The importance of earthquakes-induced landslides to long term slope erosion and slope-failure hazards in seismically active regions.
Geomorphology 10 (1994) :265-284.
- MARTIN, E. Y B. WHALLEY, 1987.
Rock glaciers, part 1: rock glacier morphology, classification and distribution.
Progress in Physical Geography 11:260-82.
- OWEN, L., 1991.
Mass movement deposits in the Karakoram Mountains: their sedimentary characteristics, recognition and role in Karakoram landform evolution.
Z. Geomorph. N.F., 35 (4) :401-424.
- PEREYRA, F.X. Y E. GONZÁLEZ DÍAZ, 1993.
Reinterpretación geomórfica de la llamada Morena de Los Horcones, Puente del Inca, Prov. de Mendoza. XII
Cong. Geol. Arg., Actas IV:73-79.
- PEREYRA, F.X., 1995.
Esquema geomorfológico del sector norte del valle del río Cuevas, entre Puente del Inca y Las Cuevas, Mendoza.
Rev. Asoc. Geol. Arg., 50 (1-4) :297-305.
- RABASSA, J Y CH. CLAPPERTON, 1990.
The Quaternary glaciation in the Southern Andes.
Quat. Sci. Rev., 9:153-174.
- RAMOS, V., 1996.
Geología de la Región del Aconcagua.
Anales 24, Subsecr. de Minería, 510 págs., Buenos Aires.
- SUMMERFIELD, M., 1991.
Global Geomorphology.
Longman Ltd., Londres, 537 págs.
- VARNES, D., 1978.
Slopes movements, types and processes in landslides analysis and control.
Transp. Res. Board, Nat. Acad. Sci., Spec. Rep. 176. Washington.
- VITEK, J. Y J. GIARDINO, 1987.
Rock glaciers: a review of the knowledge base.
En Giardino, J., J. Shroder y J. Vitek (eds.) : Rock Glaciers. Allen & Unwin, Boston, 1-26.
- WHALLEY, W. Y E. MARTIN, 1992.
Rock glaciers, part 2: models and mechanisms.
Progress in Physical Geography, 16:127-186.

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA DE LA REGIÓN

MECANISMO PRIMARIO	TIPO DE MOVIMIENTO	MATERIALES IMPLICADOS	CONT. DE AGUA	VEL.	OTRAS CARACTERÍSTICAS	
LATERAL	REPTAJE	Reptaje de rocas	Rocas	Bajo	Muy lento	Deformación plástica de las rocas
		Reptaje de detritos	Detritos rocosos	Bajo	Muy lento	Reptaje y frost creep
	FLUJO	Geliflucción y soliflucción	Suelos y carpeta de detritos	Alto	Muy lenta	Movimiento generalizado de material saturado en agua estacional sobre suelo congelado
		Flujos densos (mudflows y debrisflows)	Mudflows > 80% arcilla. Debrisflows mezcla de detritos y finos	Alto	Lento, a muy rápido	Flujos generalmente confinados a líneas de drenaje
		Avalancha de rocas	Material rocoso grueso	Bajo	Muy rápido	Catastróficos, generalmente disparados por caídas de rocas, baja fricción
		Avalancha de nieve	Nieve, hielo y material rocoso	Bajo	Muy rápido	Idem anterior
		DESPLAZAMIENTO	Deslizamientos de rocas	Rocas fracturadas o no	Bajo	Moderado a rápido
	Deslizamientos de detritos		Detritos o suelos	Ídem	Ídem	Deslizamientos someros de masas de suelo deformados
	Asentamientos		Rocas o detritos	Bajo	Lento	Movimiento rotacional a lo largo de planos cóncavos
	VERT.		Caída de rocas	Rocas	baj o	Muy rápido
		Complejos	Combinación de dos o más de los tipos anteriores.			

TABLA 2: PARÁMETROS AMBIENTALES FRECUENTES ASOCIADOS A LOS DIFERENTES TIPOS DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

PRINCIPALES TIPOS	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES MÁS FRECUENTES									
	LITOLOGÍA	PENDIENTE	COBERTURA VEGETAL	PROFUNDIDAD DEL SUELO	DESARROLLO DEL SUELO	DEsarrollo DEL SUELO	MEteorización DE RO-CA Y DIAC.	ORIENTACIÓN DE LAS PENDIENTES	ALITUD	FACTOR DISPARADOR
Caída de rocas y detritos	1-2-3	A	Nula	No hay suelo	No hay suelo	No hay suelo	Moderada	En sombra	Ind.	EF/T/A
Flujos rápidos	2-4	M-A	Baja	Escasa a moderada	Moderado a escaso	Moderado a escaso	Alta	Ind.	Menor 4.500	DN/PP/A
Deslizamientos	5	A	Baja	Escasa a moderada	Moderado a escaso	Moderado a escaso	Ind.	Ind.	Menor 4.500	TODOS
Glaciares de roca	5	M-B	Nula	Escasa o no hay suelo	Escaso o no hay suelo	Escaso o no hay suelo	Alta	En sombra	Mayor 4.500	-----
Geliflucción	4	M	Baja	Escasa o no hay suelo	Escaso o no hay suelo	Escaso o no hay suelo	Moderada a alta	Soleada	Mayor 3.500	DN - PP
Reptaje	5	M	Moderada a baja	Escasa a moderada	Moderado a escaso	Moderado a escaso	Moderada a alta	En sombra	Ind.	-----
Avalanchas de rocas	1-3	M-A	Ind.	No hay suelo	No hay suelo	No hay suelo	Ind.	Ind.	Ind.	T
Avalanchas mixtas	2-4	M-A	Ind.	Moderado a escaso	Moderado a escaso	Moderado a escaso	Baja a moderada	Baja a moderada	Ind.	PP/DN/T
CLASES POR PARÁMETRO	1. ARENISCAS LITIFICADAS Y BRECHAS. 2. CALIZAS Y PELITAS 3. VULCANITAS 4. DEPÓSITOS CUATERNARIOS. 5. IND.	B: 0-10° M: 10 - 20° A: mayor de 20°	Nula Baja Moderada Ind.	Ausencia de suelo Escasa Moderada	Ausencia de suelo Escaso Moderado desarrollo	Ausencia de suelo Escaso Moderado desarrollo	Baja Moderada Alta Ind.	Soleada En sombra Ind.	Menor de 3.500 Entre 3.500 y 4.500 Mayor de 4.500	PP: precipitaciones DN: derretimiento de nieve T: terremotos A: antrópico. EF: erosión fluvial

FIGURA 1: MAPA DE UBICACION



FIGURA 2: PRECIPITACIONES Y TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES

(Tomados de Espizua et al. 1993)

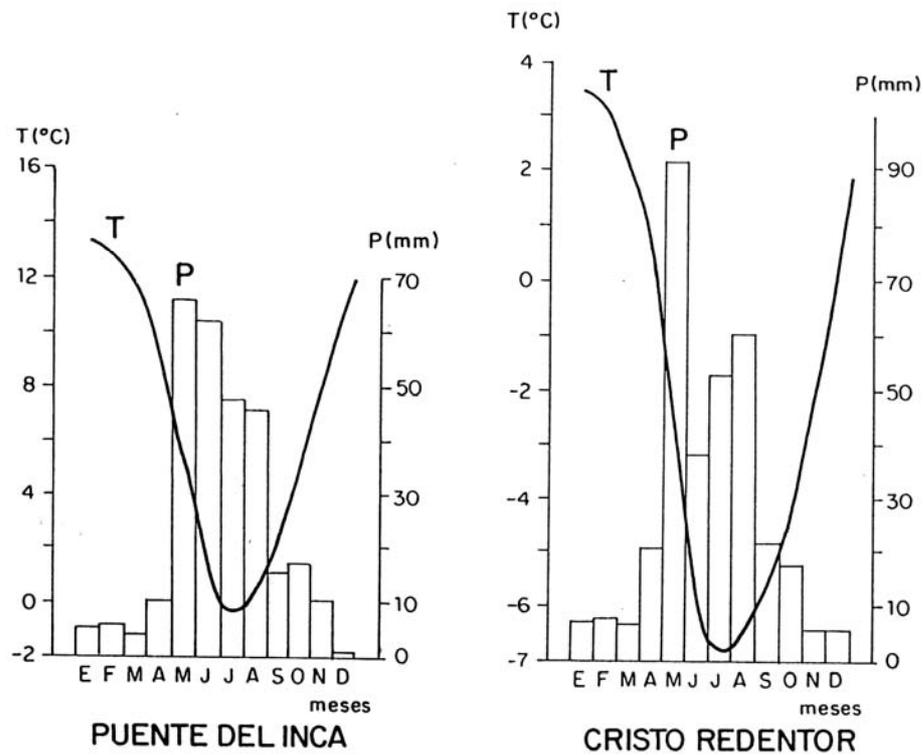


FIGURA 4: ESQUEMA GEOLÓGICO

Modificado de Ramos (ed) 1996

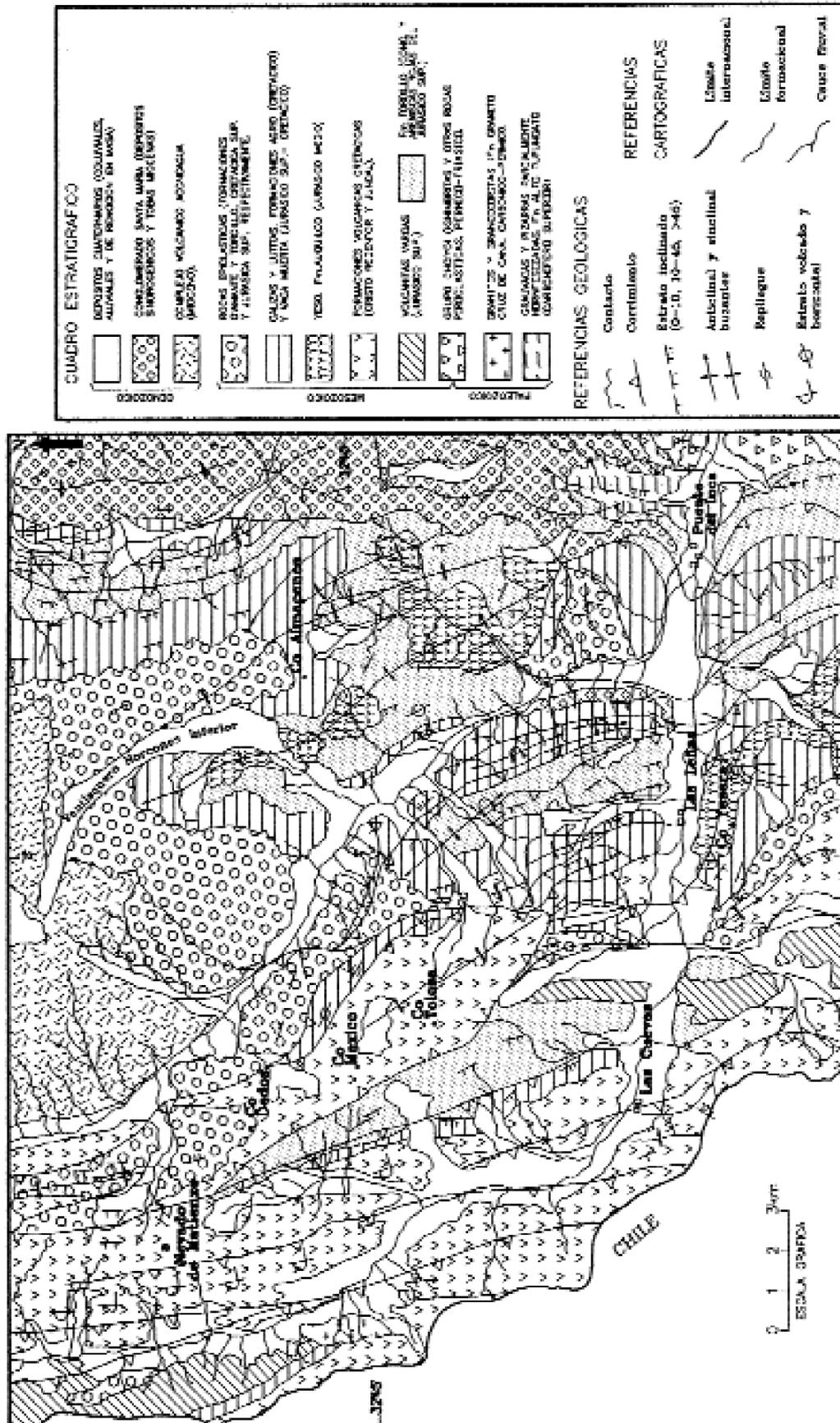


FIGURA 5: DISTRIBUCIÓN DE LOS DIFERENTES FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

Modificado de Pereyra 1995



REFERENCIAS:

- a) pendiente con reptaje y caída de rocas dominante, b) ídem con afloramientos rocosos dominantes, c) glacieres, d) morenas, e) glacieres de roca, f) planicies y terrazas fluviales, g) planicies glaciafluviales antiguas, h) zonas de arranque, i) conos de deyección, j) abanicos aluviales, k) movimientos complejos (desl.+flujos), l) deslizamientos rotacionales, l) zonas de transporte de material, m) cursos principales, n) cursos secundarios, ñ) divisorias rocosas.



Implicancias ambientales del uso del suelo sobre el acuífero freático de la cuenca del Arroyo Conchitas Buenos Aires, Argentina

Adrián Silva¹; Oscar R. Olivares²

¹ Programa Nacional de Tecnologías Sustentables en Aguas Subterráneas, INA, Argentina.

² CIC. Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires, Argentina.

Fecha de Aceptación: Noviembre de 1998

Resumen

El estudio de las modificaciones del medio ambiente natural y en particular la afectación del recurso agua subterránea en el Conurbano Bonaerense ha sido objeto de diversas publicaciones en los últimos años (Auge, 1983 y 1991; Hernández, 1975 y 1978). La cuenca del Arroyo Conchitas, en el partido de Florencio Varela en la provincia de Buenos Aires presenta un uso del suelo muy diversificado afectando el comportamiento hidrogeológico local. Este estudio es una primera aproximación de la afectación estudiada a nivel cuenca hídrica. Publicaciones anteriores han tratado diferentes aspectos de la misma en forma parcial (EASNE, 1972; Bolzzico et al, 1993; Silva, Olivares, Amato, Guarino, Villegas, 1995; Olivares, 1997; Silva, Olivares, 1998) integrándose los mismos en este estudio.

1 INTRODUCCIÓN

El área de estudio corresponde a la cuenca hídrica del Arroyo Conchitas, se halla en el partido de Florencio Varela, Conurbano Bonaerense (Fig.1).

La evaluación del impacto producido en los recursos de una región a causa del uso de suelo y la perturbación consecuente del acuífero libre o freático en la cuenca media y alta ha permitido proponer una metodología de evaluación semicuantitativa de dicha perturbación sobre el medio, (Silva, Olivares, 1997 *Inédito*). en este trabajo se integra la información correspondiente a la cuenca baja del mismo realizando así una primera evaluación de la afectación que comprende a toda la cuenca hídrica. Además se incluyen como criterios de análisis mapas de tipos de suelo y fisiográfico.

2 ÁREA DE ESTUDIO Y ANTECEDENTES

Los sedimentos Pampeanos, (Formaciones Buenos Aires y Ensenada) aflora aproximadamente a partir de la cota 5m.s.n.m. reconociéndose principalmente en la cuenca media y alta. Constituyen el material original de los Molisoles (*Argiudol* y *Hapludol*) de la zona.

Los depósitos post- pampeanos afloran aproximadamente por niveles inferiores a la cota 5 m.s.n.m. se componen de depósitos limo arcillosos de color gris medio, oscuro y gris verdosos. En la zona de los bañados litorales estos niveles grises verdosos son muy extensos y poseen un espesor de 2 - 2,5 metros, además contienen fragmentos de valvas de moluscos posiblemente atribuibles al Querandinense, hacia la cuenca media y alta en las adyacencias del cauce del A° Conchitas se observa una arcilla de color

gris medio, de poca extensión lateral y relacionada al cauce con espesores variables de 0,5 - 1,5 metros posiblemente atribuibles al platense (Silva, Amato, Olivares, Guarino, Villegas, 1995). En general estos sedimentos se relacionan con suelos de escaso o nulo desarrollo pedogenético (entisoles) en las adyacencias de los cursos fluviales y bañados litorales.

Desde la Hidrogeología, la Sección Superior es de interés en este trabajo, denominada Epipelches, está alojada en sedimentos del Pampeano y Postpampeano, se distinguen dos niveles acuíferos, una de carácter freático libre y otro semilibre. La capa freática, que en algunas zonas se encuentra agotada, resurgiendo a veces como respuesta a periodos muy lluviosos, o por cese en la explotación de acuíferos inferiores a la misma, proporciona bajos caudales de explotación suelen ser en la región aguas de mala calidad por su elevada salinidad natural o por su contaminación química y bacteriológica. Naturalmente suele emerger en forma de lagunas y otras aparece a los 4 o 10 metros de profundidad. El incremento salino es además función de la evaporación solar.

La primera capa semilibre está limitada superior e inferiormente por acuitardos, y se alumbra generalmente a profundidades que varían entre 10 y 30 metros, de acuerdo a la cota del terreno fundamentalmente. Este acuífero proporciona caudales de extracción muy dispares según su emplazamiento. Desde el punto de vista de su calidad en la región, las aguas de este acuífero son duras, tienen excesos de nitratos y frecuentemente presentan contaminación bacteriológica y de oligoelementos provenientes de residuos industriales. Sus características químicas las clasifican como clorocarbonatadas francamente cloruradas y con aumento de sulfato.

Los procesos de recarga natural ocurren de forma directa distribuyéndose arealmente fundamentalmente sobre los interfluvios y las áreas de cabecera y descargando en cursos y cuerpos de agua superficial que interceptan el nivel freático. Frecuentemente el gradiente y dirección flujo del acuífero libre acompaña el topográfico local y regional. Los estudios del EASNE, (1972) presentan curvas isofreáticas que se corresponden con lo anterior descargando naturalmente en el A° Conchitas.

El grado de deterioro de los acuíferos en la región del Conurbano Bonaerense se ha atribuido a diversas causas en general la sección Epipelches y en algunas áreas la sección Pelches se ven afectadas por la contaminación de pozos sépticos que caracteriza las áreas urbanas sin sistemas cloacales (Santa Cruz, 1994), el deterioro por agricultura intensiva en el área del gran La Plata (Auge, 1991). Además de las depresiones por bombeos de industrias y suministro de agua domiciliar ha caracterizado también el deterioro de los acuíferos de la región y el avance de la intrusión salina en las áreas urbanas (Hernández, 1975; Silva, 1996).

De esto surge que el conocimiento de la afectación de el acuífero freático puede indicar en cierta forma la afectación de los acuíferos inferiores. En la cuenca media y alta del Arroyo Conchitas se han realizado estudios semicuantitativos para evaluar la intensidad y grado de la afectación (Silva, Olivares, 1998 *Inédito*). encontrándose correspondencia entre la afectación del acuífero libre y la afectación del uso del suelo hecho por metodologías diferentes, se concluyó en la necesidad de que en zonas con litologías y acuíferos similares, estudios a nivel cuenca hídrica puede compararse con un grado de aproximación satisfactoria.

3 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Se realizaron un conjunto de mapas fisiográficos, isofreáticos, isoconductimétricos, usos de suelo y de tipos de suelos, para toda el área de la cuenca del Arroyo Conchitas. La información empleada fue tomada a lo largo de la presente década, por lo que puede considerarse como actualizada para los fines de este trabajo. La metodología aplicada en cada caso ha variado en función del tipo de producto cartográfico que se desarrolló en diferentes etapas del estudio. La cartografía se realizó en base a las fotografías aéreas de la cuenca, de los vuelos realizados en el Conurbano Bonaerense en 1992 a 1:20000 y como apoyo los fotomosaicos del INTA al 1:50000. Se emplearon también la cartografía previa del IGM al 1:50000 y Dirección de Geodesia de la Prov. de Buenos Aires a escala 1:20000 y las cartas satelitales del IGM al 1:50000. Se validó la interpretación en la zona de estudio y se muestrearon 44 puntos (pozos) preexistentes de profundidades entre 3 - 20 metros relacionados al acuífero freático y dispersos por toda la cuenca (Fig. 2). Se realizaron también perforaciones con barrenos manuales en cuenca baja - media y alta de 1 a 5 metros de profundidad, se tomaron muestras de perforaciones y muestras con testigos para medir en laboratorio la permeabilidad hidráulica de las unidades superficiales en la cuenca. Con esta información y datos de publicaciones anteriores se confeccionó la siguiente cartografía:

3.1 Mapa Fisiográfico-Morfológico de la cuenca

El mismo comprende a todo el área de la cuenca del Arroyo Conchitas, ver Fig.3, reuniendo información muy variada que debe tenerse en cuenta en futuras evaluaciones de impacto de los usos en la cuenca. Se reconocieron en el mismo las siguientes unidades:

Llanura alta o elevada (Frenguelli, 1950): Esta unidad se extiende al SO del área de estudio, el límite noroeste y sudoeste resulta de la unión de las cabeceras de los arroyos cercana al isohipsa de 25 m.s.n.m. Se observan allí los primeros signos de encauzamiento de los arroyos que confluyen en el río Samborombón. Las cotas de esta unidad oscilan entre los 27m.s.n.m. - 30 m.s.n.m. con un máximo de 37 m.s.n.m., la pendiente media es de 0,02%. Se han recono-

cido sobre esta unidad cubetas de deflación (*Tricart, 1973*) que forman actualmente pequeños cuerpos de agua. La escasa pendiente dificulta el escurrimiento encauzado y la infiltración podría verse facilitada, (*Olivares, 1997*).

Llanura intermedia o media (*Frenquelli, 1950*): Los límites entre estas unidades son transicionales y difusos, en general el comienzo del encauzamiento y la ausencia de cubetas caracterizan esta zona que se extiende hacia el este de la cuenca. El agua que se infiltra en el llano alto aflora en el llano intermedio cuando este lo bisecta, el agua superficial lleva como carga limos loésicos que redeposita aguas abajo, aunque este fenómeno parece muy limitado por la presencia de vegetación. Las cotas son variadas, oscilando entre los 10m.s.n.m. - 20m.s.n.m en su sección más elevada. Sus arroyos tributarios reciben agua durante todo el año y en los periodos menos húmedos reciben agua de la circulación hipodérmica a los sumos variando sus caudales pero nunca secos. En esta sección los suelos son más diversos que en la anteriormente descrita pero menos potentes. y las áreas más elevadas se halló la Formación Ensenada, la Formación Buenos Aires pudo haber sido removida por la acción eólica (*Cappanini, 1966; Fidalgo, 1983*). Su pendiente oscila entre 1,5% - 2 % esto favorece al drenaje, particularmente encauzado, aunque aún se observan zonas anegadizas.

Terraza baja (*Frenquelli, 1950*): Esta unidad se identifica como una faja de orientación NO-SE cuyo ancho aumenta hacia el SE (aunque hacia el NO el uso de suelo es tan intenso que se dificulta el seguimiento). La zona constituye una superficie plana con pequeñas depresiones de vegetación rala. las cotas del mismo oscilan entre los 5,5m.s.n.m. - 2,5m.s.n.m y las depresiones contienen cuerpos de agua de baja profundidad, algunos pueden confundirse con canteras y el trabajo de campo permitió diferenciarlos.

La pendiente es muy baja de escurrimiento difuso e hipodérmico con pequeños cauces o canales de marea, (*Olivares, 1997*). Los arroyos de la región y este en particular se ven dificultados por esta unidad en su área de desembocadura y su frecuente inundación con las "sudestadas". Se puede inferir en esta unidad la presencia de alineamientos de diferente vegetación con presencia de suelos arcillosos recientes, natraqualfes (*Echevehere, 1975*) relacionados con paleocostas. Se relaciona con esta unidad la Formación Querandino de origen marino. Su pendiente es de 0.01% aproximadamente.

Albardón costanero y Rivera actual: El albardón costanero constituye una zona de no más de 4 km. de ancho al este de la anterior y paralela a la costa platense. Se reconoce como una unidad que alcanza una altura de 1,25m.ss.n.m - 2m.s.n.m, pero de pendiente más significativa, siendo este el que dificulta la desembocadura del Arroyo Conchitas en el Río del Plata. Presenta niveles arenosos y turbosos se interpreta como el albardón del Río de la Plata. La rivera actual es una estrecha franja costera que

se acuña hacia el noroeste. Está influida por las mareas del estuario y eventualmente su oleaje, no posee desarrollo de suelos, (Fig.4).

3.2 Mapa de tipos de suelos de la cuenca

Los puntos de muestreo de suelos se complementaron con 25 mediciones de conductividad hidráulica vertical en laboratorio con la intención de obtener un valor orientativo de los tipos edafológicos en la cuenca del Arroyo Conchitas y relacionarlos con su distribución areal.

Los Molisoles son los suelos que predominan en el área de estudio así como también en toda la prov. de Buenos Aires. En la zona involucrada en la presente contribución se encuentran Argiudoles y Hapludoles. Los primeros asociados a áreas geomórficas estables, tales como en el área del llano intermedio y se caracterizan por presentar horizontes argílicos bien desarrollados.

En la cabecera de la cuenca, donde se encuentran los niveles topográficos mayores, se presentan suelos del tipo Hapludoles, caracterizados por perfiles simples, con menor desarrollo pedogenético que los Argiudoles, debido a diferentes condiciones de infiltración o menor edad.

En el Llano costero o Bañado y adyacencias de los cursos fluviales, dada la juventud de los depósitos, se encuentran suelos de escaso a nulo desarrollo, correspondientes al Orden Entisoles: Fluventes y Psamentes.

Del resultado del muestreo se pudieron obtener y relacionar los siguientes valores de conductividad hidráulica, fisiografía y tipo de suelo para la cuenca, (Fig. 4).

Tipo de suelo	Conductividad hidráulica en cm/h			
	Llanura alta	Llanura medio	Terraza baja	Albardón
Fluventes	0.17	0.05 - 0.15	0 - 0.01	—
Natraqualfes	—	—	0.61 - 1.3	—
Argiudol	3.10 - 5.03	3.87 - 4.72	—	—
Hapludol	9.11	7.50	—	—
Psamentes	—	—	—	72.0

3.3. Mapa Isofreatimétrico e Isoconductivimétrico

Se muestrearon 56 puntos en la cuenca del Arroyo Conchitas como se indica en el mapa 2 midiendo Profundidad del agua, conductividad, temperatura, profundidad y ubicación geográfica. En base a las cartas topográficas se determinó la cota de los mismos y se validaron 44 puntos como representativos para este trabajo a partir de los cuales se confeccionaron los mapas isofreáticos e isoconductivimétricos de la cuenca (Fig. 5). Los mapas isofreáticos del EAS-NE, (1972) muestran valores más elevados de freaticimetría en la cuenca media e inferior y sus líneas de flujo convergen hacia el cauce del arroyo descargando en el mismo, que en conjunto, disminuyen hacia el este con la pendiente regional. La perturbación de las curvas freaticimétricas de la Cuenca media- alta del Arroyo Conchitas ha sido determinada

parcialmente con anterioridad (*Silva, Amato, Olivares, Guarino, Villegas, 1995*), sin embargo, este estudio a nivel cuenca permite observar el grado de afectación e intensidad del acuífero freático. En la cartografía actual, las curvas isofreáticas muestra un cono de depresión de importancia en la sección media-inferior de la cuenca o llanos intermedios y costaneros con valores que pueden alcanzar en su ápice la cota -10 con una diferencia de al menos 15 metros con los medido en el estudio del EASNE, (1972). Su extensión areal podría afectar toda la sección media inferior de la cuenca (gran parte contenida en el Partido de Berazategui). Las líneas de flujo indican que el Arroyo Conchitas es influente sobre el acuífero libre y es muy posible que los niveles piezométricos de los acuíferos inferiores estén deprimidos en ordenes de magnitud similares.

La cuenca media alta ollanos medios y altos (gran parte contenida en el partido de Florencia Varela) presenta dos conos locales de menor expresión areal uno hacia el noroeste con ápice cercano a los 2 m.s.n.m. de y otro hacia el sudoeste con ápice cercano a los 4 m.s.n.m., ambos con diferencias de menos de 10 metros con la isofreatimetría del EASNE, (1972). Las líneas de flujo indican en el área de los conos la influencia del arroyo sobre el acuífero freático pero más localizado que el anterior.

Algunos sectores de los llanos medios altos y la zona de llanos elevados no presentan alteración con curvas isofreáticas y son similares a las definidas en el estudio del EASNE, (1972), con líneas de flujo influentes en el arroyo.

Las curva de isoconductividad actuales presentan valores más elevados en forma coincidente con los conos de depresión, excepto en el cono de la sección de llanos medios-costaneros donde se invierte esa relación, esto se discutirá en las conclusiones. En la zona de llanos costaneros se observa un corrimiento de las curvas de isoconductividad aumentando hacia el oeste, esto último puede relacionarse con la intrusión salina de las aguas de la costa del Río de la Plata, si consideramos la elevada conductividad hidráulica de los depósitos costaneros superficiales y los valores muestreados en la costa del orden de 2000 - 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.4 Mapa de uso del suelo

El mapa de usos de suelo (Fig. 6) puede clasificarse, densificarse y especializarse en función de los trabajos de campo realizados pero el mapa presentado en este trabajo agrupa siete (7) categorías de suelos en la región de la cuenca suficientes para el objetivo pretendido. Dichas categorías se describen a continuación:

Agricultura: Se incluye en esta categoría parcelas de uso en cultivos extensivos con superficies de más de 3 has. en las que comúnmente se realiza monocultivo sin técnicas avanzadas ni uso de agroquímicos ni fertilizantes. Los usos intensivos también se incluyen en este uso y corresponden a prácticas en parcelas menores de 3

has. utilizando sistemas de riego, agroquímicos, pesticidas e intercultivo. Predomina en la zona de llanos medios y llanos elevados.

Ganadería: Ocupa parcelas relativamente grandes de 15 a 20 has. mayoritariamente cerca de cursos de agua y zonas bajas, ganado vacuno, pocas cabeza, baja calidad y pobres pasturas. La cría intensiva avícola, porcina y otros animales de granja se incluyen también en este grupo. Predomina en la zona de llanos medios y llanos elevados

Minería: Hay dos tipos de explotación en cantera, la extracción de "tosca", arcilla y la extracción de cubierta húmica para horno de ladrillos. La primera muy extendida en diversos puntos de la cuenca comprende excavaciones que llegan a los 30 metros de profundidad, donde se bombeas los acuíferos intensamente y luego de finalizada la explotación el sistema natural las inunda. La extracción de arcilla para agregados livianos en al construcción explota el nivel de arcillas en la zona de llanos costaneros en general de poca profundidad y gran extensión areal que por su abandono también se inundan. La extracción de suelos húmicos son canteras de poca profundidad que destruyen por extracción la cubierta edáfica y al igual que las anteriores se extienden arealmente varias hectáreas. Se trata de las afectaciones puntuales más riesgosas de la cuenca. Predomina en la zona de llanos elevados donde se encuentra mayor espesor edáfico y la profundidad del agua subterránea es mayor.

Industria: La misma se distribuye y concentra en la zona de llanos medios, sobre las rutas y calles principales relacionadas muchas a las áreas urbanas. Su afectación sobre el agua subterránea se manifiesta en los conos de depresión regionales cuya longitud excede al área de la cuenca, esta intensa explotación conjuntamente con la explotación de agua para suministro domiciliario de las baterías de bombeo en el Partido de Berazategui son las mas intensas de la cuenca.

Urbano: EL uso urbano se considera aquí a un conjunto de trazado de calles y parcelas inmobiliarias que las definen como "aglomeraciones" según Vapñasky, (1978), si bien este autor distingue niveles de intensidad se consideraran en este estudio como un solo conjunto urbano. Se distribuyen en las zonas de llanos medios y costaneros llegando casi hasta el albardón platense.

Recreativo: Son áreas restringidas en los aglomerados urbanos destinadas a tal fin de mas de 1 ha. de superficie. Incluye parques ecológicos, forestales, etc.

Sin uso: Son solares en los que no se detecto empleo alguno, son de poca superficie y muy diseminados en la cuenca.

4 CONCLUSIONES

La información disponible permite definir tres (3) áreas con diferentes grados de afectación que tiene implicancias ambientales. Las áreas presentan la distribución señaladas en la Figura 7.

Área A: Está caracterizada por bajos valores de conductividad hidráulica superficial, (predominan suelos fluventes y natraquales) y baja pendiente topográfica. Presenta además valores de conductividad superiores a los medidos por EASNE, (1972) poniendo en evidencia el ingreso de la cuña salina aguas arriba. Posee una densidad de uso de suelo baja y predominando la ganadería extensiva. Comprende la terraza baja y el albardón.

Área B: Corresponde a una zona caracterizada por conductividades hidráulicas superficiales intermedios en la cuenca (predominan argiudoles y fluventes) y de mayor pendiente topográfica en la cuenca. La región presenta niveles deprimidos del acuífero freático con respecto a las áreas urbano-industriales. La conductividad de las aguas subterráneas está relacionada con la magnitud de la perturbación llegando a afectar la recarga del acuífero freático. Consideramos que los valores de depresiones importantes relacionados con disminución de los valores de conductividad, en función de lo expuesto en los apartados anteriores, es importante considerar que en una zona con un nivel freático perturbado por los bombeos el gradiente hidráulico del acuífero libre es difícil de determinar y posiblemente acompañe el gradiente hidráulico generado por las perturbaciones o la interferencia de las mismas pudiendo no descargar en los arroyos siendo estos últimos influentes en el acuífero. Esto revela una clara coincidencia con el uso de suelo de la cuenca cuya densidad en la zona es alta.

Área C: Se caracteriza por valores de conductividad hidráulica relativamente elevados en la cuenca y bajas pendientes topográficas. Predominan Hapludoles y Argiudoles. Hidrodinámicamente es la zona de recarga propiamente dicha y es la región menos perturbada de la cuenca, sin bien predomina el uso del suelo agroganadero, la zona presenta explotaciones locales de gran impacto como las mineras (canteras de tosca) y la agricultura intensiva (viveros) de elevado riesgo localizado.

Se ha mencionado con anterioridad la dificultad de determinar la vulnerabilidad de acuíferos atendiendo a metodologías tradicionales como el DRASTIC (Aller, et.al,

1985) o DIOS (Foster, 1987) en áreas de llanura (Fresina et al., 1995) e incluso en áreas densamente pobladas del Conurbano Bonaerense donde se menciona la necesidad de contar con información adicional relacionada con la carga contaminante (Fernández y Arensburg, 1994). En áreas de litologías homogéneas y arealmente continuas los cambios hidráulicos en los parámetros de sus acuíferos libres o semilibres obedecen en general a fenómenos de cementación diferencial. En estos casos la inclusión de datos sobre el tipo de suelo, geomorfología y uso de suelo adquieren relevancia como condicionantes de algunos parámetros de acuíferos. En base a la información hidrogeológica existente es posible teniendo en cuenta la zonificación propuesta (áreas A, B y C) mencionar las siguientes implicancias relativas a la vulnerabilidad del acuífero freático. Suponiendo un contaminante universal hipotético de cuya movilidad y persistencia se relacionen íntimamente con la hidrodinámica del medio y consecuente de la infiltración vertical del mismo, la zona A presenta en relación con el tipo de ambiente y características definidas presentaría tiempos de tránsito vertical elevados por su baja conductividad hidráulica, sin embargo la cercanía de los niveles freáticos, reducción de espesores en cuenca media y altas, la posibilidad de dispersarse en eventos de inundación y la depresión de los niveles en zonas urbano industriales acelerarían este proceso de infiltración vertical. En la zona B la conductividad hidráulica permite tiempos de tránsito vertical más bajos que en la zona A. El aumento de la profundidad de niveles estáticos y las depresiones por bombeo, el aumento de la pendiente topográfica, la intensa urbanización permite definir áreas de diferente grado de afectación y es difícil determinar en forma sencilla una magnitud de la vulnerabilidad del conjunto. La zona C presenta condiciones naturales que favorecen la infiltración vertical por una elevada conductividad hidráulica, su baja pendiente y sus características fisiográficas-morfológicas, el movimiento de suelos y uso del agua en emprendimientos agronómicos y la existencia de minería extractiva favorecen aún más estos factores.

De acuerdo a los conceptos expresados la implicancia del uso del suelo en una cuenca sobre el acuífero libre condiciona su afectación e introduce nuevos aspectos que deben ser evaluados en el marco de un concepto de vulnerabilidad más comprometido con el acuífero de estudio, sin descartar la posibilidad de que otros factores puedan considerarse de importancia en la evaluación. Se puede proponer que comparativamente en la cuenca del A° Conchitas la zona C es la más vulnerable siendo la zona A la de más baja vulnerabilidad. La zona B presenta condiciones muy diversas y debería estudiarse las perturbaciones locales de forma más específicas.

5 LISTA DE TRABAJO CITADOS EN EL TEXTO

- AYER L., T. BENNET, J.R. LAHER, R.J. PETTY, G. HACKETT, 1987.
DRASTIC: Standarizet System for Evaluating Groundwater Pollution Potencial Using Hidrogeological Settings.
US EPA Report 600/2-87-035.
- AUGE M.P. ,
"Sobreexplotación del Acuífero Puelche en La Plata, Argentina".
XXIII Congreso A.I.H. "Sobreexplotación de Acuíferos" - Puerto de la Cruz, 1991, Canary Islands, Spain.
- AUGE M.P. y M.A. HERNÁNDEZ, "
Características geohidrológicas de un acuífero semi confinado (Puelche) en la Llanura bonaerense. Su implicancia en el ciclo hidrológico de las llanuras dilatadas" Hidrogeología de las Grandes Llanuras,
Actas del Coloquio de Olavarría. II 1019:1042, UNESCO-CONAPHI, Buenos Aires, 1983.
- AUGE M.P.,
Análisis Ambiental de en relación al estado del suelo y del agua subterránea en una refinería de petróleo del Conurbano bonaerense, 1994.
- BOLZICCO H., C. BOJANICH, J. CACIK, 1993.
Problemas creados por los niveles freáticos en áreas urbanas y Suburbanas.
Actas del X simposio de recursos Hídricos Brasileños, Tomo 4, pag 579-585.
- CENDRERO UCEDA, A, 1991.
La Cartografía Geoambiental. DCITYM, División de Cs. de la Tierra, Fac. de Ciencias,
Universidad de Cantabria, Cantabria, España.
- EASNE-CFI, 1972.
Contribución al Estudio Geohidrológico de la Región en la Prov. de Buenos Aires. Cuencas Intermedias entre el A° Jimenez y el A° El Gato, Cap. XII y XV.
Serie técnica 24
- ETCHEVEHERE, P, 1975.
Suelos.
VI Congreso Geológico Argentino, Relatorio, pag 219-229. AGA, Bahía Blanca, Argentina.
- FERNÁNDEZ A.E., I. ARENSBURG.
Grados de Vulnerabilidad del Sistema Acuífero del Gran Buenos Aires. Criterios para su Determinación.
II Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Santiago de Chile, Chile, Tomo 1, Pag 17-30. 1994.
- FRENGUELLI, J. 1950.
Rasgos Generales de la Morfología y la Geología de la Provincia de Buenos Aires,
Revista LEMIT, Serie II, N°33, La Plata, Argentina.
- FRESINA M.; M. FORZZINETTI y A. SILVA. 1995.
Evaluación Cualitativa de la Vulnerabilidad del acuífero libre en el área hidrogeológica del Ría Salado, Provincia de Santa Fe.
Actas Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería Vol. 9, 214-224.
- FOSTER S.S.D., 1987.
Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability Pollution Risk and Protection Stratgy.
Proc. Intl. Cont. Vulnerability of Soil and Groundwater Pullutants. Noordwijk. The Netherlands/April 1987.
- HERNÁNDEZ, M.A.
"Reconocimiento Hidrodinámico e hidroquímico de la interfase Agua Dulce- Agua Salada en las aguas subterráneas del estuario del Plata". (Partidos de Quilmes y Berazategui, Buenos Aires).
VII Congreso geológico Argentino, Neuquén , Actas II: 273-285. 1978

HERNÁNDEZ, M.A. "Efectos de la Sobreexplotación de aguas subterráneas en el Gran Buenos Aires y alrededores. Rep. Argentina".

II Congreso Ibero-Americano de Geología Económica. La geología en el Desarrollo de los Pueblos. 1975.

OLIVARES, O. R., 1997.

Geoinformática aplicada a estudios ambientales de acuíferos en el Conurbano Bonaerense.

Informe de Avance CIC-INA, La Plata. (Inédito).

SANTA CRUZ J.; A. SILVA; S. AMATO; M. GUARINO; D VILLEGAS; M CERNADAS, 1996

Explotación y Deterioro del Acuífero Puelches en la región metropolitana de la República Argentina.

Agua em revista, CPRM, Brasil, Año 2, vol 1 pag 48-57.

SILVA A.S., S. AMATO , M.M GUARINO, O. OLIVARES, D. VILLEGAS, 1995.

Vinculación ente el Uso del Suelo y las perturbaciones del acuífero libre.

Primera reunión sobre uso de Suelos y organización de territorio, UNRC, Córdoba, Tomo 1 pag 111-126.

TRICART, J. 1973.

Geomorfología de la Pampa Deprimida.

Colección Científica 12. INTA, Buenos Aires.

FIGURA 1: UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

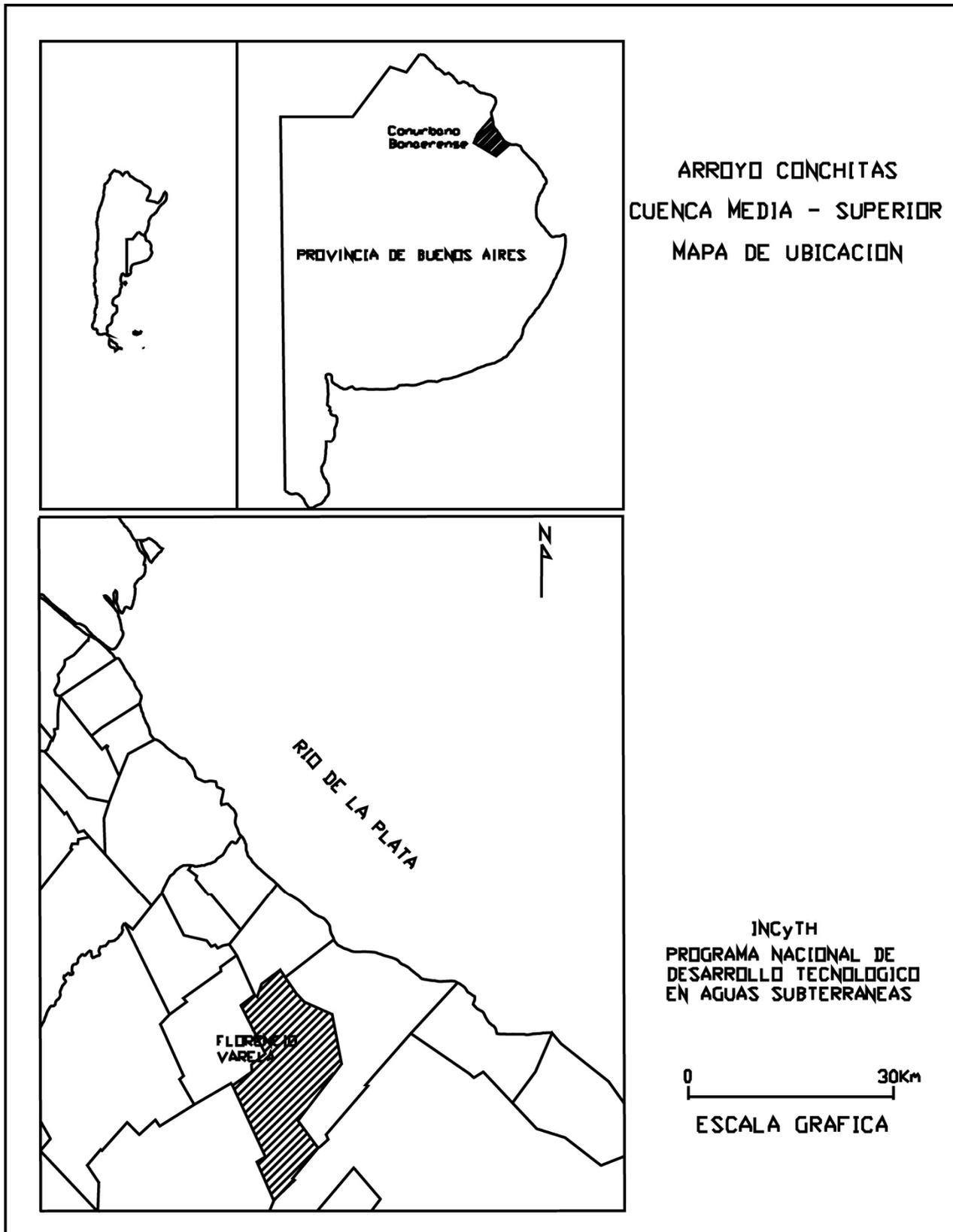


FIGURA 2: UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

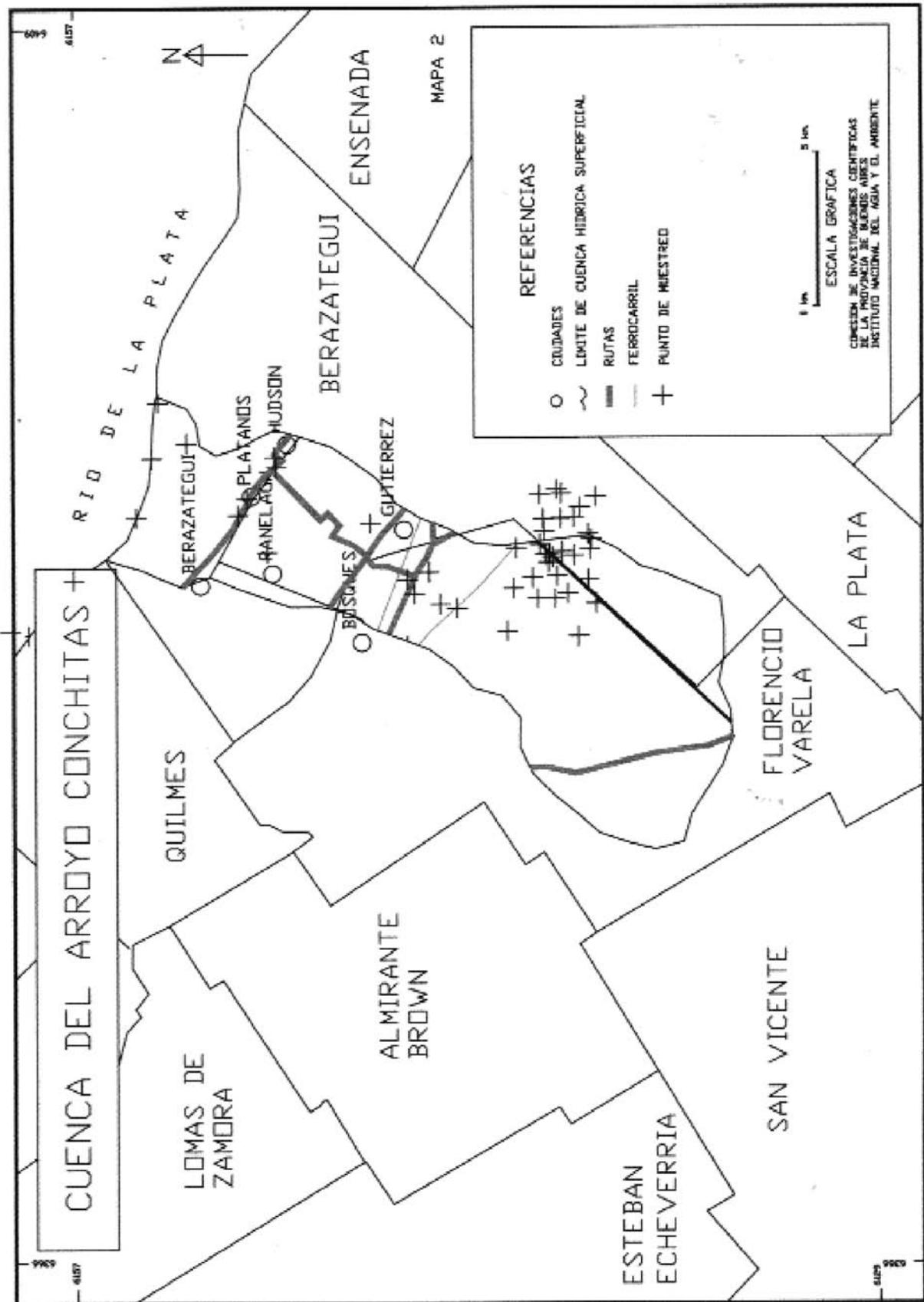


FIGURA 3: MAPA FISIOGRAFICO - MORFOLOGICO

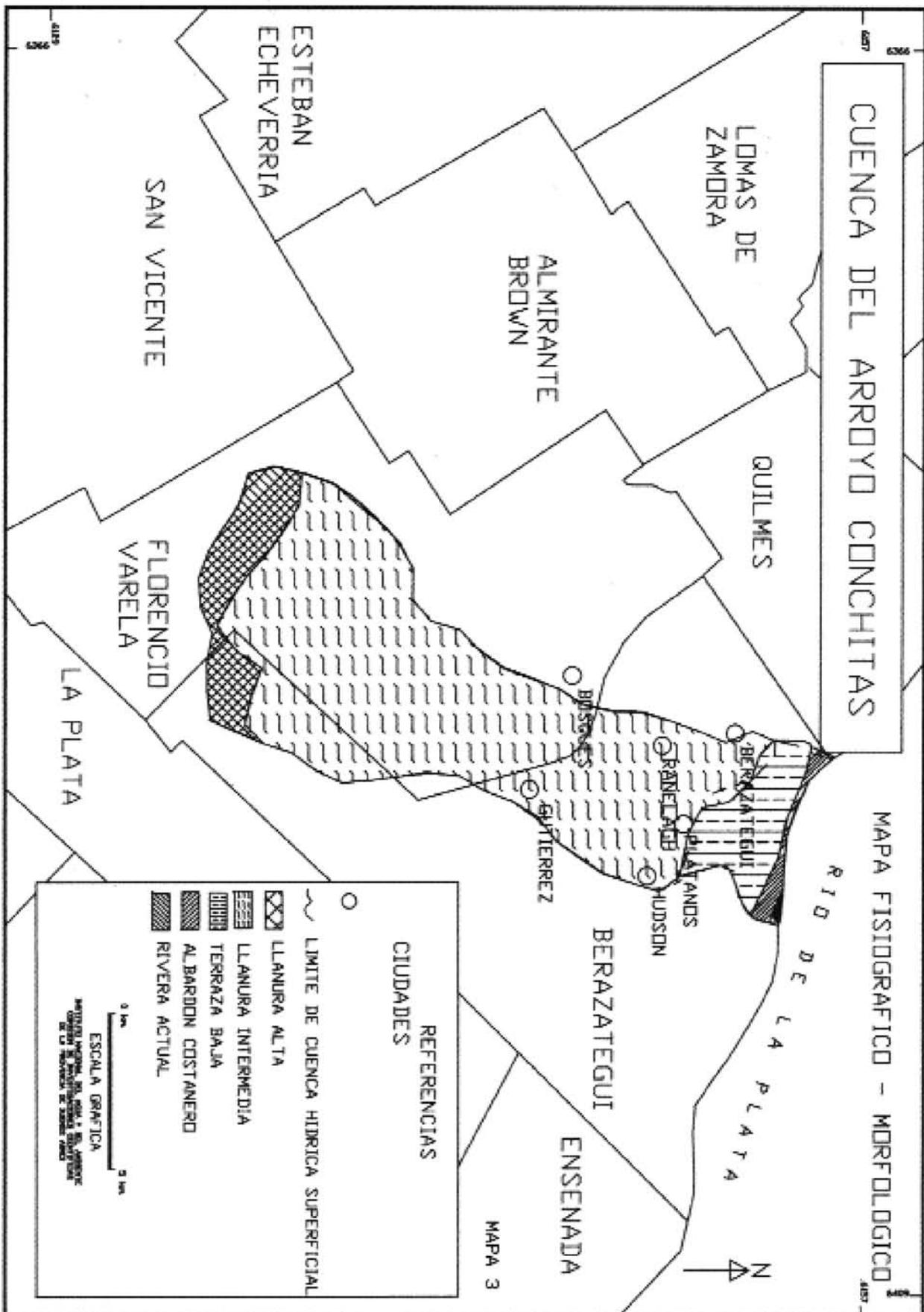


FIGURA 5: MAPA DE SUELOS

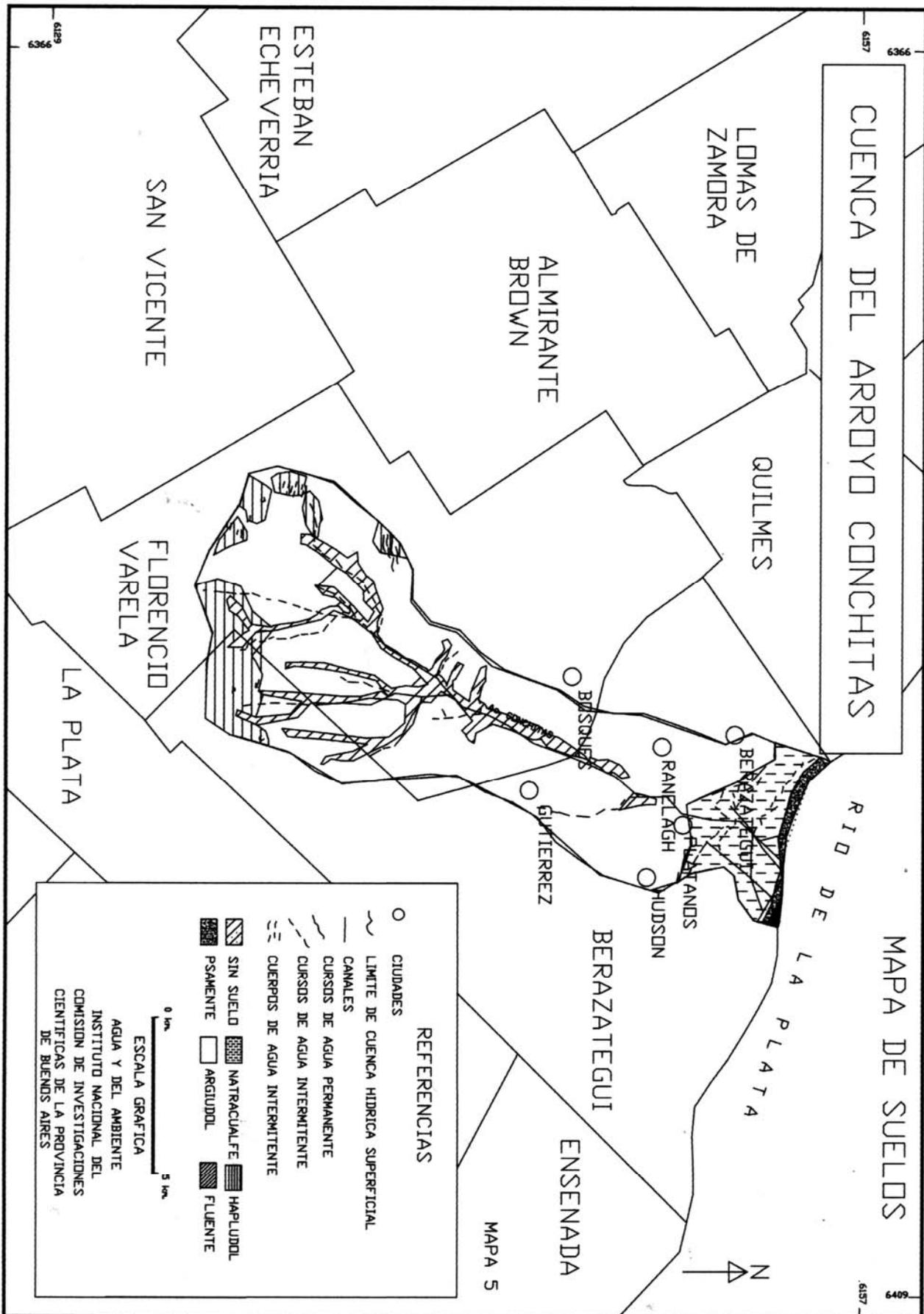


FIGURA 6: MAPAS DE VARIABLES HIDROGEOLOGICAS E HIDROQUIMICAS

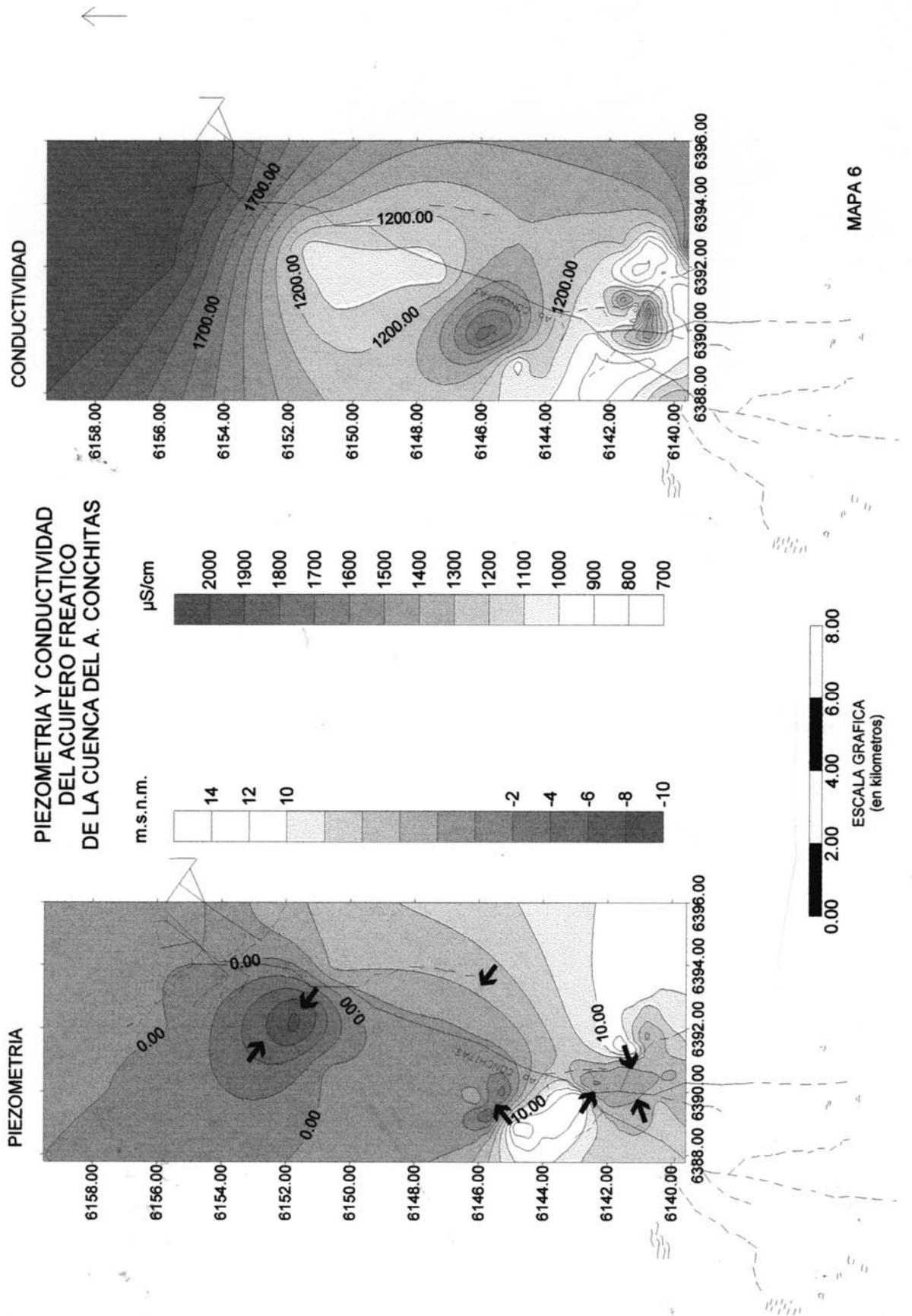
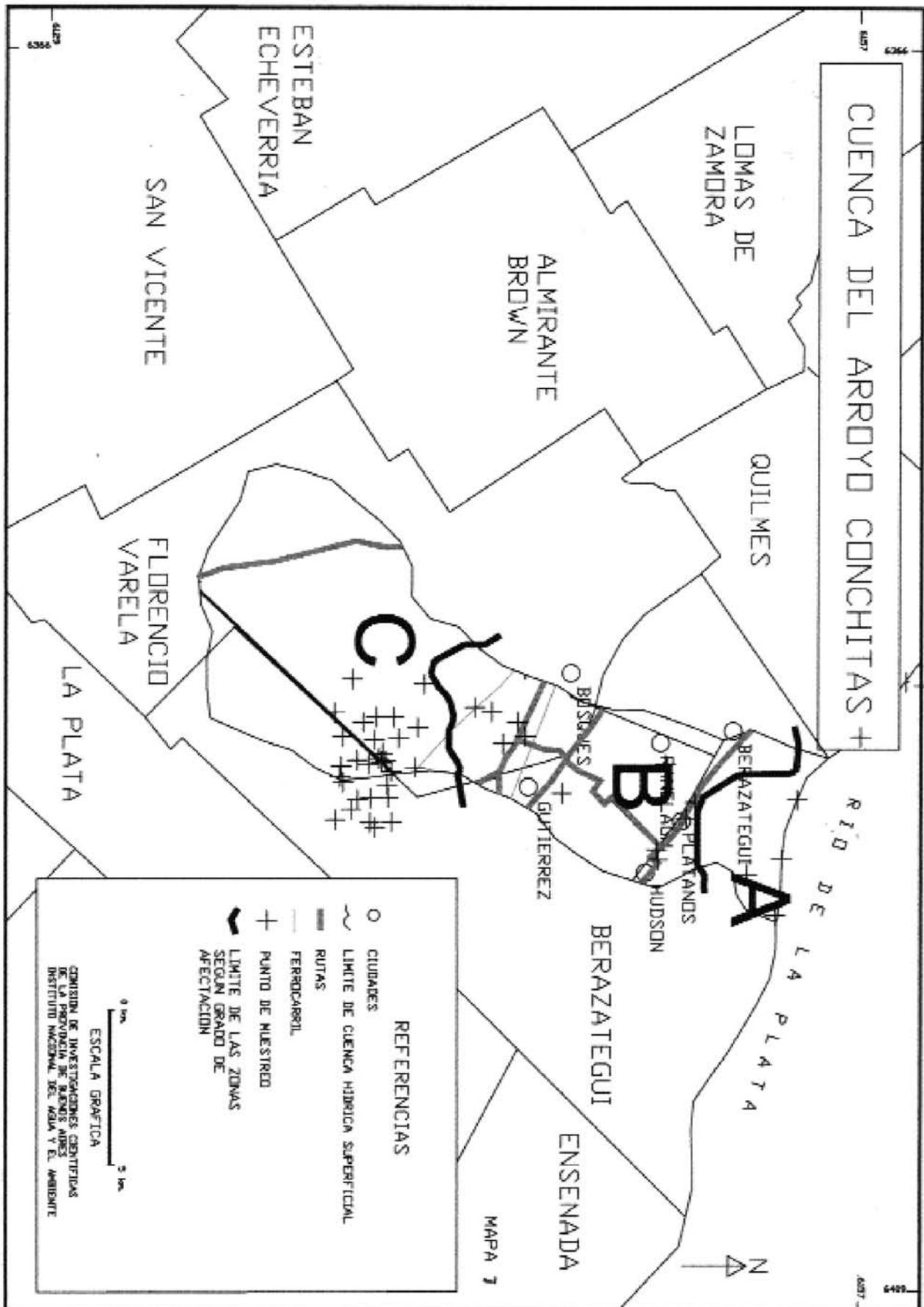


FIGURA 7: AREAS SEGUN GRADO DE AFECTACION



Sumario de TRABAJOS PUBLICADOS en Actas y Publicaciones Especiales de la ASAGAI

ACTA I (1981)	Trabajo	Autor/es	Pág
	Tratamiento de la cimentación de algunos elementos de la presa vertedero de Paso de las Carretas, provincia de San Luis.	<i>Horacio Víctor Rimoldi y Oscar Alberto Vardé</i>	13
	Geología de la galería de conducción de "Las Maderas", provincia de Jujuy.	<i>Ricardo Mon</i>	29
	Investigaciones geológicas y geotécnicas realizadas para el proyecto de una central hidroeléctrica de acumulación por bombeo.	<i>Víctor Mauriño, Oscar A. Vardé y Raúl Scanavino</i>	45
	Estudio geotécnico de la obra central hidráulica Agua del Toro, provincia de Mendoza.	<i>Belarmino Antelo y Carlos Alberto Di Salvo</i>	67
	Geología y clasificación geotécnica del macizo rocoso del aprovechamiento hidroeléctrico Segunda Angostura, río Limay, provincias de Río Negro y Neuquén.	<i>Carlos Alberto Di Salvo y Eloy Depiante</i>	81
	Posibilidades de aprovechamiento hidroeléctrico de la cuenca del río Aluminé, Neuquén.	<i>Ladislao Pedro Lanyi y Guillermo Esteban Turazzini</i>	103
	Problemas en la meteorización del gneis en la presa principal del Complejo Hidroeléctrico Río Grande, Córdoba.	<i>Arturo J. Amos, Antonio Granero Hernández y Ricardo J. Roca</i>	123
	El desarrollo de las clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos.	<i>Carlos Alberto Di Salvo y Jorge A. Casajus</i>	137
	Elaboración de un proyecto geotécnico para la excavación en roca de un túnel de grandes dimensiones	<i>Jorge A. Casajus y Raúl E. Sarra Pistone</i>	159
	Aprovechamiento Hidroeléctrico Arroyito, río Limay, Geología	<i>Enrique De Alba y Carlos A. Gentili</i>	173
	Estudio geológico de la cuenca del río Aluminé-Collón Cura, con vistas al enclave de posibles aprovechamientos hidroeléctricos	<i>José Carlos Banchemo</i>	195
	Estudio del aluvión de Melipal, San Carlos de Bariloche, provincia de Río Negro	<i>Eduardo Domínguez, Jorge Rabassa y Ricardo Cabral</i>	221
	Las fallas activas de la República Argentina	<i>Arturo J. Amos, Raúl H. Caligari y Carlos W. Siches</i>	235
	Geología aplicada en la obra del pique central, Hierro Patagónico, Sierra Grande, provincia de Río Negro	<i>Oscar Alberto vardé y Horacio Víctor Rimoldi</i>	243
	Geología del subsuelo del área oeste de la ciudad de San Miguel de Tucumán	<i>Roberto Germano, Ricardo Mon y Graciela Sánchez</i>	267
	Estabilidad de la ladera del valle del río Ñireco, San Carlos de Bariloche, provincia de Río Negro	<i>Eduardo Domínguez y Jorge Rabassa</i>	277
	La geología-geotecnia aplicada a la estabilidad de obras viales	<i>Santiago Hugo Saumench</i>	287
	El empleo de las rocas ígneas y metamórficas en la industria de la construcción	<i>Fernando L. Sesana</i>	305
	Optimización de la prospección geofísica en las investigaciones geotécnicas	<i>Eduardo J. C. Barassi</i>	319
	El perfilaje eléctrico aplicado a la investigación de las fundaciones de la presa Piedra del Águila en el Río Limay (provincias del Neuquén y Río Negro)	<i>César. A. Moreno</i>	327
	Determinación de la configuración del basamento mediante el método gravimétrico inverso adaptado a una calculadora programable	<i>Antonio Introcaso y Eduardo Huerta</i>	341

ACTA II (1982)	Trabajo	Autor/es	Pág
	Metodología aplicada al estudio de fallas activas	<i>Arturo J. Amos</i>	9
	Fases de la investigación geotécnica en la concepción de presas. Una propuesta de metodología de trabajos hasta nivel de prefactibilidad.	<i>Jorge Casajus, Carlos A. Di Salvo, Carlos Siches, Guillermo E. Turazzini</i>	19
	Las condiciones geológicas para el emplazamiento de una empresa de embalse sobre el río Collon Cura a la altura del Cañadón Corral de Piedra, Provincia de Neuquén	<i>José Carlos Banchemero</i>	31
	Estudio de la estabilidad del túnel de restitución del Complejo Hidroeléctrico Río Grande I, Córdoba	<i>Juan C. Del Río, Raúl Sarra Pistone, Roberto Cravero</i>	49
	Determinación gráfica mediante proyecciones del buzamiento y dirección del buzamiento de los hastiales de túneles con eje inclinado.	<i>Oscar Carubelli</i>	69
	Caracteres geológicos y geotécnicos de las sedimentitas de la Formación Puerto Yerúa, en vinculación con las sedimentaciones del Puente Paysandú (R.O.U)-(R.A.)	<i>Horacio Víctor Rimoldi</i>	75
	El colapso de un puente ferroviario sobre el Río Salí, provincia de Tucumán	<i>Luis Eduardo Suayter</i>	95
	Propiedades mecánicas de diferentes rocas en vinculación con proyectos y obras hidroeléctricas.	<i>Néstor José L. Vendramini, Jorge Alberto Fabra</i>	103
	El mejoramiento de las condiciones de fundación por efecto de un terraplén de pruebas. Proyecto Paraná Medio, Santa Fé, Argentina	<i>Ricardo F. Dubois</i>	131
	Licucación de arena en la Provincia de San Juan	<i>Hugo Giuliani, Raúl Suarez, Juan Manuel Florez</i>	139
	Estudio de Sismicidad de la zona de emplazamiento del Complejo Hidroeléctrico El Sauzal, Santiago del Estero	<i>Luis H. Casella</i>	153
	Determinación de las características elásticas de los suelos por métodos dinámicos	<i>Juan Gerardo Meira</i>	165
	Enfoque sistemático de la geomorfología aplicada a la ingeniería	<i>Eliseo Popolizio</i>	181
	La enseñanza de la geología aplicada a la ingeniería	<i>Horacio Víctor Rimoldi</i>	195
ACTA III (1986)	Trabajo	Autor/es	Pág
	Estudio Geológico Geotécnico de las rocas de fundación para el proyecto del aprovechamiento hidroeléctrico el Chuhuido, Río Neuquén, Neuquén	<i>J. C. Malecki y O. R. Gonzalez</i>	7
	Rasgos geológicos del aprovechamiento hidroeléctrico Cordon del Plata, Mendoza	<i>A.A. Palma, A.J. Fuentes, R.A. Veloy R.D. Cantarelli</i>	25
	Metodología aplicada al estudio geotécnico de un macizo alterado, emplazamiento Pichi Picun Leufu, Río Limay, aprovechamiento hidroeléctrico del Limay Medio	<i>J.C. Malecki, S. Ingaramo y J. Bustinza</i>	47
	Evaluación estadística del fracturamiento integral de un macizo de fundación, emplazamiento Pichi Picun Leufu, aprovechamiento hidroeléctrico del Limay Medio, Neuquén y Río Negro	<i>S. Ingaramo</i>	57
	Estabilización de un portal de embocadura de grandes dimensiones	<i>J.C. del Río y R. I. Cravero</i>	70
	Estudio de mecánica de rocas aplicados a dos proyectos hidráulicos con central en caverna	<i>N. Vendramini y J. Fabra</i>	90
	Método matemático para la determinación de criterios de rotura y envolventes de Mhor para rocas	<i>C. Sánchez, N. Vendramini, C. Riveros, y J. Fabra</i>	109
	Las anisotropías de los macizos rocosos, su importancia geotécnica	<i>A. J. Amos</i>	118
	Presunta existencia de fallas activas en el borde oriental del bloque de San Rafael, Mendoza	<i>A.A. Palma, R.A. Velo, A.J. Fuentes y R.D. Cantarelli</i>	127
	Estudio de las discontinuidades en el interior de un macizo migmatítico	<i>J.I. Grassi, J.C. Perucca y L.I. Salinas</i>	144

ACTA III (1986) cont.	Trabajo	Autor/es	Pág
	Consideraciones geotécnicas en estabilidad de taludes rocosos	<i>J.A. Casajus</i>	160
	Geología y características geotécnicas de la nueva traza a San Javier, Tucumán	<i>J.C. Valoy y J.E. Eremchuk</i>	167
	Problemas de deslizamientos en la ruta provincial N° 338, San Miguel de Tucumán – San Javier, Tucumán	<i>J.C. Valoy y A. Urdaneta</i>	174
	Metodología aplicada en el estudio del yacimiento de áridos para el aprovechamiento hidroeléctrico “El Baqueano”, Mendoza	<i>M.C. Alicata, A. Sarasúa de Cardone, A. Giannuzzi, M.L. Robert, J.A. Salassa y Vacirca</i>	186
	Replamamiento artificial de playas, sus posibilidades de aplicación en la costa marplatense, Buenos Aires	<i>F.I. Isla y E.J. Schnack</i>	202
	Análisis de variables que rigen la estabilidad y obstrucción de canales de marea: el caso de Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires.	<i>F.I. Isla</i>	218
	Criterios para la concepción de obras de infraestructura en áreas afectadas por crecientes e inundaciones.	<i>E. Popolizio</i>	243
	Las constantes elásticas de las rocas determinadas con modernos perfilajes de pozo.	<i>C.A. Montero</i>	258
	La componente de rotación en un campo de deformación elástica.	<i>R. Miró y W. Gambaretto</i>	272
	Aplicación de técnicas geoelectricas en el estudio de prefactibilidad para la construcción de un dique en el Angosto de Andaluca, provincia de Catamarca	<i>B. Calvetty Amboni</i>	280
	Análisis crítico del uso de gradientes verticales de gravedad en la detección y cubicación de yacimientos	<i>A. Introcaso</i>	289
	La formación en geología aplicada a la ingeniería en España y Portugal, y su implementación en nuestro país.	<i>A.C. Massabie</i>	300
ACTA IV (1989)	Trabajo	Autor/es	Pág
	Grandes obras hidráulicas - ¿Cuánta investigación geotécnica?	<i>José F. Speziale</i>	7
	Optimización de las inversiones en estudios geotécnicos para grandes obras.	<i>Jorge P. Grunbaum</i>	16
	Presencia de yeso en un tramo de las fundaciones de la presa “Casa de Piedra”. Aplicación de una metodología de investigación geotécnica. Adecuación del diseño de la presa.	<i>Armando C. Massabie y Eduardo O. Capdevilla</i>	26
	Degradación de rocas débiles.	<i>Jorge P. Grunbaum</i>	39
	Aplicación de fotointerpretación geológica y/o geomorfológica a la sección y sectorización geotécnicas de trazas de líneas de extra alta tensión.	<i>Armando C. Massabie</i>	69
	El uso de las clasificaciones geotécnicas y el diseño de soportes.	<i>Jorge P. Grunbaum</i>	74
	Efectos de explosiones submarinas sobre el comportamiento de los sedimentos de un sector del área portuaria Ingeniero White, provincia de Buenos Aires.	<i>J. Calo; G. Espósito; W. Lizasoain y R. Zibecchi</i>	81
	Determinación de algunos parámetros hidráulicos en el loess de la región suroccidental bonaerense.	<i>Rubén H. Torrente; Eduardo O. Ruggiero y Alejandro G. Bonorino</i>	90
	Mejoramiento del adobe mediante el agregado de cemento y de asfalto.	<i>J. Calo; A. Marcos; E. Competella; G. Panzini; A. Gómez y P. Rossi</i>	100
	El uso de suelo cemento plástico en presas de retardo para control de erosión.	<i>Pablo V. Abbona; Roberto E. Terzariol; Ricardo J. Rocca y Emilio R. Rodolfi</i>	111
	Procesamiento electrónico de perfiles y sondeos geotécnicos.	<i>Eloy L. Depiante</i>	121
	Estudios sobre leyes de atenuación para la región central de la República Argentina.	<i>Luis A. Decanini y Ricardo J. Rocca</i>	130

ACTA IV (1989) cont.	Trabajo	Autor/es	Pág
Degradación en las estructuras viales por acción del agua de vertiente en ruta provincial E-53. Tramo Salsipuedes – Ascochinga, provincia de Córdoba.		<i>F. Quintana Salvat; Norberto J. Bejerman y Elías J. Nazar.</i>	148
ACTA V (1990)	Trabajo	Autor/es	Pág
El proceso de la remoción en masa: su incidencia como riesgo geológico natural en el fenómeno del 29/3/1984 en el sureste de la sierra de Aguargue, Salta (República Argentina).		<i>Emilio F. González Díaz y Eduardo C. Malagnino</i>	7
Erosión en márgenes de grandes embalses: aplicación de un método para su pronóstico.		<i>José A. Sanguinetti y Raúl J. Ceresole</i>	19
Evaluación geotécnica del macizo de Cuesta del Viento.		<i>Oscar Ferrari y Oscar Mazuelos</i>	36
Modelación matemática hidrogeológica en sedimentos glaciares. Aplicación al área del proyecto hidroeléctrico “La Elena”, Río Carrenleufú., Provincia de Chubut.		<i>E. Díaz; M. Fili; H. Savoy; J. Tomas y M. Venencio</i>	48
Factibilidad económica del soporte integral de excavaciones en roca.		<i>Raúl Sarra Pistone</i>	63
Estudio y proyecto geotécnico de la fundación de un puente en roca débil.		<i>Raúl Sarra Pistone</i>	68
Estudio de las características de los suelos para la construcción de un gasoducto, provincia de Santa Fe, Argentina.		<i>Jorge Caló y Angel Marcos</i>	74
Condiciones geoestructurales de la traza vial “El Rodeo – La Puerta” (Cataratas, Argentina)		<i>Miriam Cisternas; Jorge E. Eremchuk y Ricardo R. Rojas.</i>	84
Investigación de materiales rocosos presentes en la costa en la localidad de Claromecó, provincia de Buenos Aires (Argentina), para evaluar su utilidad en una construcción marítima.		<i>Jorge Caló y Roberto Schillizzi</i>	93
Sistema IPD		<i>N. J. Bejerman; C. A. Carignano y M. A. Cioccale</i>	101
Evaluación del terreno en el área comprendida entre los 31° 08' y 31° 13' latitud sur y 64° 16' y 64° 24' longitud oeste, ciudad de Río Ceballos, provincia de Córdoba.		<i>N. J. Bejerman; C. A. Carignano y M. A. Cioccale</i>	106
Modelación geotécnica del subsuelo de la ciudad de Córdoba.		<i>Ricardo J. Rocca; Enrique Quintana Crespo y Victor Rinaldi</i>	121
Mapa de riesgo de deslizamiento de los taludes rocosos en la ruta provincial E-55. Tramo: La Calera – Dique San Roque, provincia de Córdoba.		<i>F. Quintana Salvat; N. J. Bejerman; C. A. Carignano y M. A. Cioccale</i>	131
Caracterización técnica de mármoles		<i>Ernesto A. Lapidus</i>	160
ACTA VI (1991)	Trabajo	Autor/es	Pág
Movimientos deformantes en la roca de fundación de la central hidroeléctrica Nihuil II. Río Atuel, Mendoza		<i>R.D. Cantarelli ; A.J. Fuentes; N.A. Pirello ; C. Vacirca y R.A. Velo</i>	7
Condicionantes geotécnicos del aprovechamiento hidroeléctrico La Elena-Río Carrenleufu, Chubut		<i>C.A. Di Salvo; M.Fili; R. Sarra Pistone</i>	29
Principales aspectos geotécnicos en el diseño del revestimiento del túnel de presión del aprovechamiento hidroeléctrico Uruguay-I (Misiones)		<i>J.C. Malecki; Raúl A. Lezcano</i>	50
Voladuras controladas en la central hidroeléctrica del arroyo Uruguay-I		<i>A. Adur; R. Depetris</i>	59
Prospección geofísica aplicada al proyecto hidroeléctrico Chihuido II – Río Neuquén		<i>F. Silveira</i>	81
Fenómenos de remoción en masa en la cuenca del río Caraparí-Itiyuro, Salta		<i>R.E. Amengual</i>	94
Evaluación del riesgo del deslizamiento en taludes cercanos al dique los Molinos (Córdoba) utilizando el sistema IPD		<i>N.J. Bejerman</i>	103

ACTA VI (1991) cont.	Trabajo	Autor/es	Pág
	Caracterización geomorfológica aplicada a estudios geotécnicos en la llanura aluvial del río Paraná (curso medio)	<i>O.L. Jacquenod; R.J. Ceresole</i>	112
	Una traza alternativa del Ferrocarril General Belgrano entre León y El volcán, Quebrada de Humahuaca, Jujuy: utilidad del mapeo geomorfológico en la toma de decisión	<i>E. Gonzales Díaz; L. Fauque y F.X. Pereyra</i>	122
	Riesgo sísmico en el valle longitudinal de las Sierras de Córdoba	<i>R.J. Rocca; L.D. Decanini y C.A. Prato</i>	136
	Condiciones geomecánicas y edad del fallamiento neotectónico en las Sierras Pampeanas Orientales, Córdoba, Argentina.	<i>A. C. Massabie; C. F. Szlafsztein</i>	154
	La importancia del estudio geomorfológico de base para la planificación de asentamientos urbanos.	<i>G. Arguello; J. Sanabria; A. Manzur y A. Baldís</i>	169
	Geomorfología aplicada a proyectos urbanos, sector norte de la ciudad de San Juan	<i>G. M. Suvire; A. F. Wetten y O. Orosco</i>	175
	Aplicación de la geología ambiental en la urbanización de la ciudad de Alderetes, departamento Cruz Alta – provincia de Tucumán.	<i>L. E. Suayter</i>	182
	Sistema de evaluación geotécnica del terreno en áreas urbanas	<i>E. Quintana Crespo</i>	189
	Mapa geotécnico de la Provincia de Tucumán	<i>L. E. Suayter</i>	202
	Proceso automático de análisis granulométricos	<i>E. Depiante</i>	214
	Evaluación del potencial de las rocas dolomíticas para producir la reacción alcali-cárbónato	<i>C. A. Milanesi y O. R. Batic</i>	226
	Propiedades geotécnicas de las rocas ornamentales de la provincia de Buenos Aires	<i>M. B. Domínguez y M. B. P. de De Mario</i>	242
	Cálculo analítico de redes de filtración	<i>C. M. Carranza Torres</i>	250
	El riesgo hídrico por inundaciones. Aportes para el conocimiento de su zonificación y la legislación del ordenamiento territorial.	<i>V. J. Ferreiro</i>	268
ACTA VII (1993)	Trabajo	Autor/es	Pág
	Morfología y geología de la ciudad de Buenos Aires – Evaluación e incidencia geotécnica.	<i>M. R. Yrigoyen</i>	7
	Estudio hidrogeológico para el drenaje del aluvión del Río Limay en Pichín Picun Leufu, provincia de Neuquén.	<i>M. P. Auge</i>	39
	Problemática en la captación del agua potable para la ciudad de Cabilda, departamento de Caseros, provincia de Santa Fe.	<i>M. E. Fresina</i>	59
	Sobredimensionamiento innecesario en las obras de protección y control de erosión.	<i>F. R. Rivelli</i>	73
	Aplicación del índice de posibilidad de deslizamiento (IPD) en la Ruta Provincial N° 4 – Termas de Reyes – Lagunas de Yala.	<i>M. A. González</i>	89
	Evaluación del riesgo de deslizamiento en taludes rocosos mediante el sistema IPD.	<i>N. J. Bejerman</i>	97
	Las inundaciones del noroeste de la provincia de Buenos Aires y el río Salado. Aporte para su conocimiento.	<i>R. A. Benavidez; O. F. Casiani; V. J. Ferreiro; M. A. Hernández y J. Saravia</i>	102
	Variaciones morfodinámicas costaneras provocadas por el espigón N I, Santa Teresita.	<i>R. A. López y S. C. Marcomini</i>	153
	Geomorfología y cuencas hídricas como base del ordenamiento territorial.	<i>V. J. Ferreiro y M. Giraut</i>	164
	Estadísticos de posición y dispersión para la orientación de discontinuidades. El programa Disper	<i>O. Campanella; D. Oriviglia y G. Sagripanti</i>	178

ACTA VII (1993) cont.	Trabajo	Autor/es	Pág
	Porosidad y permeabilidad de arenas puelchenses de San Lorenzo, provincia de Santa Fe, estimadas a partir de su granulometría y selección.	<i>M. C. Etcichury y M. E. Fresina</i>	185
	Método mineralógico para la tipificación numérica de sedimentos loessicos.	<i>A. Karlsson</i>	199
	Inundaciones en el área metropolitana de Buenos Aires.	<i>M. E. Fonzinetti y O. D. Mascardini</i>	205
	Alteración y deterioro de rocas ornamentales.	<i>M. B. Domínguez y M. B. P. de De Maio</i>	220
	La carta geotécnica de la ciudad de Buenos Aires, su realización: una decisión impostergradable.	<i>C. A. Di Salvo</i>	227
	Puente del Inca – un monumento natural comprometido.	<i>H. V. Rimoldi</i>	235
	El río Pilcomayo “Superior”, su retroceso. ¿Causas naturales o antrópicas?	<i>V. J. Ferreira</i>	255
	Política de planificación para un mejor control de la dinámica de las cuencas y aprovechamiento del suelo en territorio sanjuanino.	<i>L. Salinas y M. M. Herrera</i>	260
ACTA VIII (1994)	Trabajo	Autor/es	Pág
	Deslizamientos de tipo block-glide en el noroeste de la provincia de Catamarca. Identificación y análisis de peligrosidad.	<i>L. E. Fauqué</i>	7
	Estudio de estabilidad en el sector del barrio sismográfico de Comodoro Rivadavia.	<i>N. Hirtz; H. Prez y J. C. Rodríguez</i>	46
	Consolidación e impermeabilización de suelos mediante la técnica del Jet Grouting.	<i>R. Saleh</i>	58
	Inyecciones cementicias estables. Su empleo en la presa Urugua-I (Misiones, Argentina)	<i>A. Adur</i>	75
	Verificación de la disminución de la permeabilidad en terrenos tratados con Jet Grouting en la presa de Ertan, República Popular de China.	<i>R. Saleh y J. Carrica</i>	94
	Tratamiento integral de datos obtenidos mediante líneas de muestreo.	<i>N. Vendramini y A. Niell</i>	104
	Estudio sobre la relación entre los ensayos SPT y triaxiales no consolidados no drenados.	<i>O. Campanella; G. Sagripanti y D. Origlia.</i>	118
	Tratamiento de datos de orientación de discontinuidades Modelo Estructural Probabilístico (MEP).	<i>N. Vendramini y A. Niell</i>	122
	Aspectos geológicos y geotécnicos del proyecto de puentes en la ruta nacional 51, km 80 y 86, provincia de Salta.	<i>J. Marcuzzi</i>	135
	Hidrogeología del partido de Salliquelo.	<i>M. P. Auge; M. I. Nagy y R. Méndez Escobar</i>	148
	Estudio geohidrológico de Mar del Sur.	<i>L. F. Rossi</i>	172
	El agua subterránea en la localidad de Carcaraña, departamento de San Lorenzo, provincia de Santa Fe.	<i>M. E. Fresina</i>	189
	Resistencia mecánica en rocas ornamentales. Nuevas técnicas de evaluación.	<i>O. E. Nestiero</i>	215
	Doctor Pellegrino Strobel: primer profesor de geología aplicada a la ingeniería.	<i>M. R. Yrigoyen</i>	229
ACTA IX (1995)	Trabajo	Autor/es	Pág
	Geología: presente y futuro en la Argentina.	<i>A. C. Riccardi</i>	7
	Presa El Chocón – aspectos geológicos-geotécnicos vinculados al tratamiento de las fundaciones.	<i>O. A. Varde</i>	12

ACTA IX (1995) cont.	Trabajo	Autor/es	Pág
	Proyecto hidroeléctrico La Escondida, río Persey, provincia del Chubut. Caracterización geotécnica y evaluación de costos asociados.	<i>C. A. Di Salvo</i>	43
	Evaluación cualitativa de los factores de riesgo geológico en Rada Tilly, Chubut.	<i>J. O. Codignotto y M. C. Del Valle</i>	64
	Consideraciones para el manejo de puertos deportivos en el Río de La Plata, Club Náutico Quilmes.	<i>R. A. López y S. C. Marcomini</i>	78
	Determinación y cuantificación de la deriva litoral en la costa este de la provincia de Buenos Aires.- Método geomorfológico.	<i>R. R. Kokot</i>	95
	Aplicación de modernas técnicas de diseño a la remodelación de la escollera sur del puerto de Quequén.	<i>D. Serman; J. Cardini e I. Ruiz</i>	107
	El transporte de fondo y la componente estacionaria en el modelo de onda arenosas de Allen. Su justificación teórica y su medición.	<i>R. Miró</i>	142
	Aportes de la modelización física a problemas de la geología aplicada a la ingeniería: Flujos viscosos.	<i>E. A. Rosello y A. O. Sfriso</i>	154
	El impacto ambiental ocasionado por la erosión de rocas labiles "weak-rocks" en el Gran Mendoza.	<i>H. V. Rimoldi</i>	163
	Caracterización sedimentológica de la zona de aireación y su vinculación con el origen del arsénico en aguas superficiales y subterráneas del Departamento San Cristóbal, provincia de Santa Fe.	<i>M. C. Etbichury; M. E. Fresina; M. E. Fonzinetti y O. Tófaló</i>	192
	Evaluación cualitativa de la vulnerabilidad del acuífero libre en el área hidrogeológica del Río Salado.	<i>M. E. Fresina; M. E. Fonzinetti y A. A. Silva Busso</i>	214
	Categorización de la alteración potencial en rocas graníticas ornamentales.	<i>A. Karlsson; R. Ayala y M. Combina</i>	225
	Metodología para cuantificar la facilidad de corte en la industrialización de rocas ornamentales.	<i>M. B. Domínguez</i>	237
	Aplicación de técnicas sedimentológicas al estudio de revoques en edificios históricos.	<i>M. C. Etbichury y O. R. Tófaló</i>	246
	La evaluación química de los suelos del nordeste en la provincia de Corrientes en su vinculación con cimentaciones de estructuras de hormigón.	<i>A. M. Fazio; P. Miretzky y O. Tóbaló</i>	253
	Empleo de tensioactivos en la dispersión de sedimentos para su estudio granulométrico y sedimentológico.	<i>N. Llambías y A. C. López</i>	265
ACTA X (1996).	Trabajo	Autor/es	Pág
	Áreas críticas actuales y potenciales en un sector de la ciudad de Córdoba.	<i>L. M. Argüello y G. A. Sacchi</i>	7
	Algunas características hidrogeológicas y ambientales de la cuenca inferior del arroyo Morón (Pcia. De Buenos Aires).	<i>L. A. Borello y A. G. González</i>	24
	Piedra del Águila – descripción del paleocauce y su comportamiento a cuatro años del llenado del embalse.	<i>J. Bustinza</i>	38
	La influencia de la geología y el medio ambiente en el deterioro de viviendas en Ingeniero White (Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires)	<i>J. Caló; E. Fernández y H. Aldacour</i>	61
	Análisis de estabilidad de una falla geológica con el método de las discontinuidades de los desplazamientos.	<i>C. Carranza Torres y Charles Fairhurst</i>	73
	Río de La Plata: fenómenos antrópicos, geodinámicos y legislación sobre uso costero.	<i>J. O. Codignotto; C. L. Herrera y P. A. Aiello</i>	82
	El ascenso del nivel freático en la llanura pampeana.	<i>R. I. Cravero</i>	94

ACTA X (1996) cont.	Trabajo	Autor/es	Pág
	Estudio de estabilidad de pendientes de la Quebrada de Troya, sierra de los Colorados, provincia de la Rioja.	<i>M. A. González y L. Fauqué</i>	109
	Remediación del suelo contaminado con cromo en el sector costero de la ciudad de Buenos Aires.	<i>M. Griznik y N. Hirtz</i>	135
	Evolución y acción antrópica en el sector costero de la ciudad de Buenos Aires	<i>P. T. Holocwan</i>	144
	Aspectos ambientales y riesgos geológico costero en zonas urbanas del Golfo San Jorge.	<i>R. R. Kokot; M. C. Del Valle y J. O. Codignotto</i>	169
	Fallamiento neotectónico en las Sierras Pampeanas Orientales, implicancias aplicadas a diferentes escalas.	<i>A. C. Massabie</i>	187
	Características geológicas, zonificación y usos de la costa en la ciudad de Puerto Madryn, Chubut.	<i>A. J. A. Monti</i>	199
	Análisis de las estructuras condicionantes de la explotación de rocas dimensionales en un cuerpo de Kinzingita, Departamento Calamuchita, provincia de Córdoba.	<i>O. E. Nestiero</i>	213
	Riesgo sísmico generado por grandes presas.	<i>H. V. Rimoldi</i>	228
	Fundamentos empleados en la microzonificación sísmica de la ciudad de Córdoba.	<i>R. J. Rocca; E. Quintana Crespo; M. G. Goio y E. G. Abril</i>	237
	Algunos casos históricos de proyectos de autopistas ibéricas con importantes condicionantes ambientales y geotécnicos.	<i>R. Sarra Pistone</i>	256
ACTA XI (1997)	Trabajo	Autor/es	Pág
	Trabajos presentados al V Simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Medio Ambiente		—
	Impacto de las actividades humanas en la desembocadura de la Quebrada del Infiernillo y en la Cuenca del Chateau, ciudad de Córdoba.	<i>L. M. Argüello; G. A. Sacchi y A. I. Pasquini</i>	7
	Estudio hidrogeomorfológico para el control de las inundaciones en la zona sur de la ciudad de Córdoba.	<i>O. Barbeito; A. Santa y S. Ambrosino</i>	21
	Evaluación de la dirección de los esfuerzos en un macizo rocoso subvolcánico a partir del análisis de sus discontinuidades.	<i>M. M. Carrizo</i>	28
	Evaluación de aptitud de sitios para plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos.	<i>G. J. Fernández y S. Marani</i>	42
	Método de categorización de la alteración mineral.	<i>A. Karlsson y R. Ayala</i>	47
	Análisis de los factores formodinámicos actuantes en la pérdida de suelos, Monte Ralo – Desempeñaderos, Córdoba, Argentina.	<i>L. Mansilla y P. R. Bassola</i>	53
	Metodología para la cartografía geomecánica a escala 1:25.000 de las Quebradas de Purmamarca y Yacoraite (Jujuy)	<i>M. A. González y M. Ferrer</i>	61
	Evaluación del impacto ambiental del Dique derivador Los Molinos, Jujuy, Argentina.	<i>O. A. Orosco; W. Chayle y N. Solís</i>	73
	Metodologías para la evaluación de impactos ambientales.	<i>J. O. Pierini y S. A. Reyes</i>	90
	Estudios geotécnicos en el tramo sur de la ruta 40, provincia de Mendoza.	<i>M. A. M. de Sarquís y J. C. Perucca</i>	103
	Zonificación general del riesgo geológico y geotécnico en la provincia de Tucumán, escala aproximada 1:1.000.000.	<i>L. E. Suayter</i>	109
	Modelo para análisis de estabilidad por equilibrio límite para roturas planas y en cuña de taludes rocosos.	<i>N. Vendramini y A. Niell</i>	118

ACTA XI (1997) cont	Trabajo	Autor/es	Pág
	El ambiente y la historia (exposición realizada como parte del Panel interdisciplinario sobre Problemática Ambiental).	<i>M. Forte</i>	126
2. Trabajos generales			
	Una captación profunda en Liborio Luna, provincia de San Luis. Caracterización del Acuífero.	<i>M. E. Forzinetti y M. E. Fresina</i>	135
	Estado de situación del recurso hídrico subterráneo en el partido de Escobar, provincia de Buenos Aires, primeras aproximaciones.	<i>M. M. Guarino y M. E. Fresina</i>	144
	Manejo urbano – costero en Caleta Olivia, provincia de Santa Cruz.	<i>F. A. Quinton Piegas Luna</i>	168
	Estimación del riesgo sísmico en el ejido urbano de la ciudad de Río Cuarto.	<i>G. L. Sagripanti; H. D. Origlia y O. R. Campanella</i>	188
	La hidrogeología en la república Argentina. Evolución de la actividad.	<i>J. N. Santa Cruz</i>	203
	Influencias geomecánicas regionales sobre el comportamiento de taludes artificiales: aplicación al Bajo de la Alumbreira (Argentina).	<i>A. O. Sfriso y E. A. Rosello</i>	210
PUBLICACION ESPECIAL I (1993)	Trabajo	Autor/es	Pág
	Carta de restricciones de uso agrícola y ganadero del area mal drenada comprendida entre General Levalle y Laboulaye, Córdoba, República Argentina.	<i>S. Degiovanni y M. Cantú</i>	7
	Carta de riesgo de inundación de la ciudad de Santa Rosa de Calamuchita.	<i>O. Barbeito y S. Ambrosino</i>	26
	Carta geotécnica de la ciudad de San Martín de Los Andes.	<i>S. M. Engelland y J. L. Fernández</i>	35
	Carta urbana básica digital de la ciudad de Córdoba.	<i>M. E. D'Amelio</i>	53
	Cartas geotécnicas del Departamento Pocito, provincia de San Juan.	<i>L. I. Salinas; S. I. Varela y M. C. Puertas.</i>	62
	Cartografía de los recursos hídricos.	<i>V. J. Ferreiro</i>	71
	Cartografía ecodinámica del sur de San Juan.	<i>E. R. Puigdomenech y J. C. Perucca</i>	84
	Cartografía geoambiental aplicada a la resolución de problemas ambientales en el Partido de General Pueyrredón, Provincia de Buenos Aires.	<i>H. A. Massone; J. L. Del Río y J. L. Cionchi</i>	98
	Delimitación de áreas erosionadas mediante fotografía infrarrojo color en el Distrito Chilcas, Entre Ríos.	<i>G. E. Carñel; C. Romero; A. B. Brizuela y C. A. Aguirre</i>	107
	Determinación del riesgo a la contaminación del acuífero libre por sistemas de saneamiento in situ: Ciudad de Río Cuarto, Departamento Río Cuarto, Córdoba, Argentina.	<i>M. Blasarín; C. Eric; C. Frigerio y S. Bettera</i>	114
	Diagnóstico ambiental y zonificación preliminar de la granja ecológica Mishki Huasi (Mendiolaza, Córdoba).	<i>B. E. Rossi; P. E. Villagra y L. M. Argüello</i>	132
	El empleo de mapas temáticos geológicos – geotécnicos para la planificación urbanística de la ciudad de Salta.	<i>J. J. Marcuzzi; R. A. Argañaraz; N. J. Bejerman y R. R. Battaglia</i>	151
	El uso de mapas temáticos en el planeamiento ambiental del Partido de La Plata (Provincia de Buenos Aires).	<i>M. G. Cabral; M. A. Hurtado; J. E. Giménez y M. M. Da Siva</i>	166
	MAC: Un programa para la generación y visualización de mapas de actividades.	<i>M. J. Bó y J. Martinez Arca</i>	180
	Mapa de vulnerabilidad del acuífero libre de la cuenca del arroyo Las Cortaderas, Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba.	<i>M. Blasarín; A. Cabrera y O. Campanella</i>	186
	Mapa geomorfológico del valle de Jachal, provincia de San Juan.	<i>M. M. Herrera y G. Elizondo</i>	202
	Modo raster vs. Modo vector en la cubicación de arenas para repoblar playas, Mar del Plata.	<i>F. I. Isla</i>	212

PUBLICACION ESPECIAL I (1993) cont.			
Trabajo	Autor/es		Pág
Plano detallado del Distrito Chilcas, Entre Ríos, a partir de fotografía infrarrojo color.	<i>G. Díaz; A. De Giusto; E. Rolle; A. Brizuela y G. Carñel</i>		219
Zonas vulnerables a la degradación de suelos en el valle de Tulum, provincia de San Juan.	<i>B. R. Pereyra y S. I. Varela</i>		226
PUBLICACION ESPECIAL II (1995)			
Simbología para Mapas Geológico-Ingenieriles			
PUBLICACION ESPECIAL III (1995)			
Trabajo	Autor/es		Pág
Discurso de Apertura a la Segunda Reunión sobre Preparación y Uso de Mapas Temáticos.			7
Las cartas temáticas como una técnica de comunicación de la información geológico ambiental para planes de desarrollo urbano.	<i>E. Fernandez; J. Calo y H. Aldacour</i>		11
La cartografía temática como base para la determinación de peligros geológico-ambientales. Un caso de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires.	<i>H. Aldacour; J. Calo; E. Fernandez y P. Bonzini</i>		27
Propuesta de una metodología de mapeo para la evaluación geológico-ambiental en la planificación urbana del municipio de Bahía Blanca.	<i>H. Aldacour; J. Calo y E. Fernandez</i>		43
Mapa de peligro de deslizamiento del tramo La Calera – Dique San Roque en la ruta provincial E-55, provincia de Córdoba, Argentina.	<i>N. J. Bejerman</i>		53
Mapa de posibilidad de deslizamiento en un tramo de la ruta provincial A-73, Departamento Punilla, Provincia de Córdoba, Argentina.	<i>N. J. Bejerman y C. D. Giraud</i>		71
Cartografía de diagnóstico y prescriptiva como base para la actualización del catastro rural y para la planificación futura del uso de los recursos naturales, área San Basilio – Monte de los Gauchos.			
Parte I: Carta de deterioro actual y de susceptibilidad a la erosión de tierras.	<i>S. Degiovanni; M. Blasarin y A. Cabrera</i>		80
Cartografía de diagnóstico y descriptiva como base para la actualización del catastro rural y para la planificación del uso de los recursos naturales, área San Basilio – Monte de los Gauchos.			
Parte II: Carta de aptitudes y restricciones del uso del agua subterránea.	<i>M. Blasarin y A. Cabrera</i>		97
Mapa de riesgo a la contaminación del acuífero libre por uso de agroquímicos en la hoja 3363-19-1, Río Cuarto, departamento Río Cuarto, provincia de Córdoba, Argentina.	<i>M. Blasarin; A. Cabrera; M. Villegas y C. Eric</i>		115
Uso de mapas temáticos en el planeamiento ambiental del partido de San Vicente, provincia de Buenos Aires.	<i>M. Cabral; M. Hurtado; J. Giménez y M. Da Silva</i>		135
Cartografía de Tierras de Pastizal (Comunicación).	<i>S. P. Debelis y A. A. Bozzo</i>		158
Análisis de riesgo de la erosión eólica en la cuenca media y baja del arroyo La Cruz, provincia de Córdoba.	<i>S. Degiovanni y N. Doffo</i>		167
Estado actual y tendencia evolutiva de los procesos de erosión hídrica en un sector de la hoja de Río Cuarto.	<i>S. Degiovanni; M. Villegas y N. Doffo</i>		185
Investigación sobre residuos urbanos en los departamentos de Chimbas y Albarдон, cartografía temática.	<i>L. Elizondo; M. A. Herrera; H. Mendoza y S. Villagra</i>		204
Carta de evaluación impacto ambiental Rincón de Emilio – Río de Neuquén – ciudad de Neuquén.	<i>S. Engelland y L. Arroyo</i>		219

PUBLICACION ESPECIAL III (1995) cont. Trabajo	Autor/es	Pág
La formación pampeana en la llanura cordobesa. Delimitación de la línea de costa (primera aproximación) de la ingresión del entrerriano.	<i>M. E. Gómez</i>	232
Cartografía de una cuenca aluvional en el Valle de Jáchal, San Juan, aplicando IDRISI.	<i>M. M. Herrera y M. A. Mattar de Sarquis</i>	255
Representación temática del escurrimiento superficial en un sector de la llanura santafesino-cordobesa destinada a la investigación geológica y a la geomorfología aplicada.	<i>P. Pasotti y C. A. Canoba</i>	268
Aplicación de un sistema de información georeferenciado a la planificación vial.	<i>E. Quintana Crespo</i>	288
Toponimia, cartografía y patrimonio cultural.	<i>C. E. Quintana Salcedo</i>	304
Observaciones toponímicas al mapa Catastro de escala 1:200.000.	<i>I. A. Rivero</i>	316
Carta geotécnica de la ciudad de Córdoba. R. Rocca; E. Quintana Crespo;	<i>M. G. Goio y E. Abril</i>	322
Protección geológico ambiental – cartas de remoción de áreas cordilleranas próximas a rutas, Departamento Iglesia, provincia de San Juan, República Argentina.	<i>L. Salina; S. Varela; M. Navas y E. Sanchez</i>	341
Mapeo de la degradación de bosques naturales mediante procesamiento digital de imágenes Landsat MSS y TM.	<i>G. Salinas de Salmuni; F. Maldonado; M. Puertas y C. Puigdengolas de Uñac</i>	359
Carta de cobertura vegetal y uso de suelo agrícola, obtenida mediante procesamiento digital de imágenes satelitarias.	<i>G. Salinas de Salmuni; M. I. Lund; F. Maldonado y M. Puertas</i>	367
Conceptos de riesgo geológico.	<i>J. Ayala Carcedo</i>	375

INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Editorial		
Instrucciones para autores		
Evaluación de impacto ambiental de la reconstrucción de la Ruta Provincial N° 4. Tramo: Laguna de los Platos - Ruiz Díaz de Guzmán. Dtos: Juárez Celman y Presidente Roque Sáenz Peña. Provincia de Córdoba.	<i>Norberto Jorge Bejerman y Sandra Cabral</i>	1
Algunas estrategias para la protección del recurso hídrico subterráneo. Aspecto Legal	<i>M^a del Pilar Cebollada y Verdaguer</i>	13
Hidroquímica de las aguas superficiales y subterráneas en las vecindades de San Miguel del Monte	<i>Ana María Fazio, Griselda Galindo, Alicia Fernández Cirelli</i>	29
Características hidrodinámicas e hidroquímicas del acuífero freático, en la cuenca inferior del arroyo Cristiano Muerto, Localidad de Orense. Pdo. de Tres Arroyos. Pcia. de Buenos Aires.	<i>Fresina M. E., Guarino M.M.</i>	41
Características de los principales acuíferos de la Provincia de La Pampa	<i>Santiago B. Giai y Jorge O. Tullio</i>	51
Caracterización geotécnica de las Unidades Geoambientales del Espacio Geológico Urbano (EGU) del gran Salta, Salta, Argentina.	<i>Marcuzzi J.J., Torrejon D., Peralta C.M, N.J. Bejerman ,</i>	69
Caracterización de los recursos hídricos en la zona del sistema de las lagunas encadenadas de Chascomus. Provincia de Buenos Aires. Estudios Preliminares.	<i>Miretzky, P.S., Herrero, M.A., Galindo, G., Fernandez Cirelli, A.,</i>	85
Características geológicas y geotécnicas del área urbana de Tucumán y poblaciones vecinas	<i>Ricardo Mon</i>	101
Mapa geológico ambiental del departamento Uruguay, Entre Ríos, Argentina	<i>Lic. Luis A. Muñoz , Ing. Pablo F. Blanc</i>	113
Procesos de remoción en masa en un sector de la Cordillera Principal (Mendoza) .Una aproximación geomorfológica.	<i>Fernando X. Pereyra y Daniela Villegas</i>	123
Implicancias ambientales del uso del suelo sobre el acuífero freático de la cuenca del Arroyo Conchitas Buenos Aires, Argentina	<i>Adrián Silva; Oscar R. Olivares</i>	141
Sumario de trabajos publicados en Actas y Publicaciones Especiales de la ASAGAI		155

**VI SIMPOSIO DE GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA Y AL MEDIO AMBIENTE
Y
TERCERA REUNION SOBRE PREPARACION Y USO DE MAPAS TEMÁTICOS**

*SAN CARLOS DE BARILOCHE
26, 27 y 28 DE MAYO de 1999*

Por información dirigirse al Comité Organizador
*Casilla de Correo 371 - 8324 Cipolletti
Dirección electrónica- asagai99@arnet.com.ar*

Plazo de entrega de resúmenes- 26 de febrero
Plazo de entrega de trabajos- 26 de marzo

**SEGUNDO ENCUENTRO NACIONAL
DE UNIDADES AMBIENTALES DEL SECTOR VIAL**

*CORDOBA
4,5y 6 DE MAYO de 1999*

Por información dirigirse al Comité Organizador
*Casilla de Correo 846 - 5000 Córdoba
Dirección electrónica- asagai@infovia.com.ar
Plazo de entrega de trabajos: 2 de abril*

Copyright 1998 by Editorial ASAGAI
Maipú 645 - 1^{er} piso - Buenos Aires
Printed in Argentina

*Producción Gráfica y Editorial
Callerio y Asociados
(0351) 4245924
Córdoba.*

Se terminó de imprimir en Diciembre de 1998
en sistemas de impresión directa
de Callerio y Asociados
Córdoba - Argentina