

REGIONES HIDROGEOLÓGICAS

REPÚBLICA ARGENTINA

provincias de

BUENOS AIRES

MENDOZA

SANTA FE

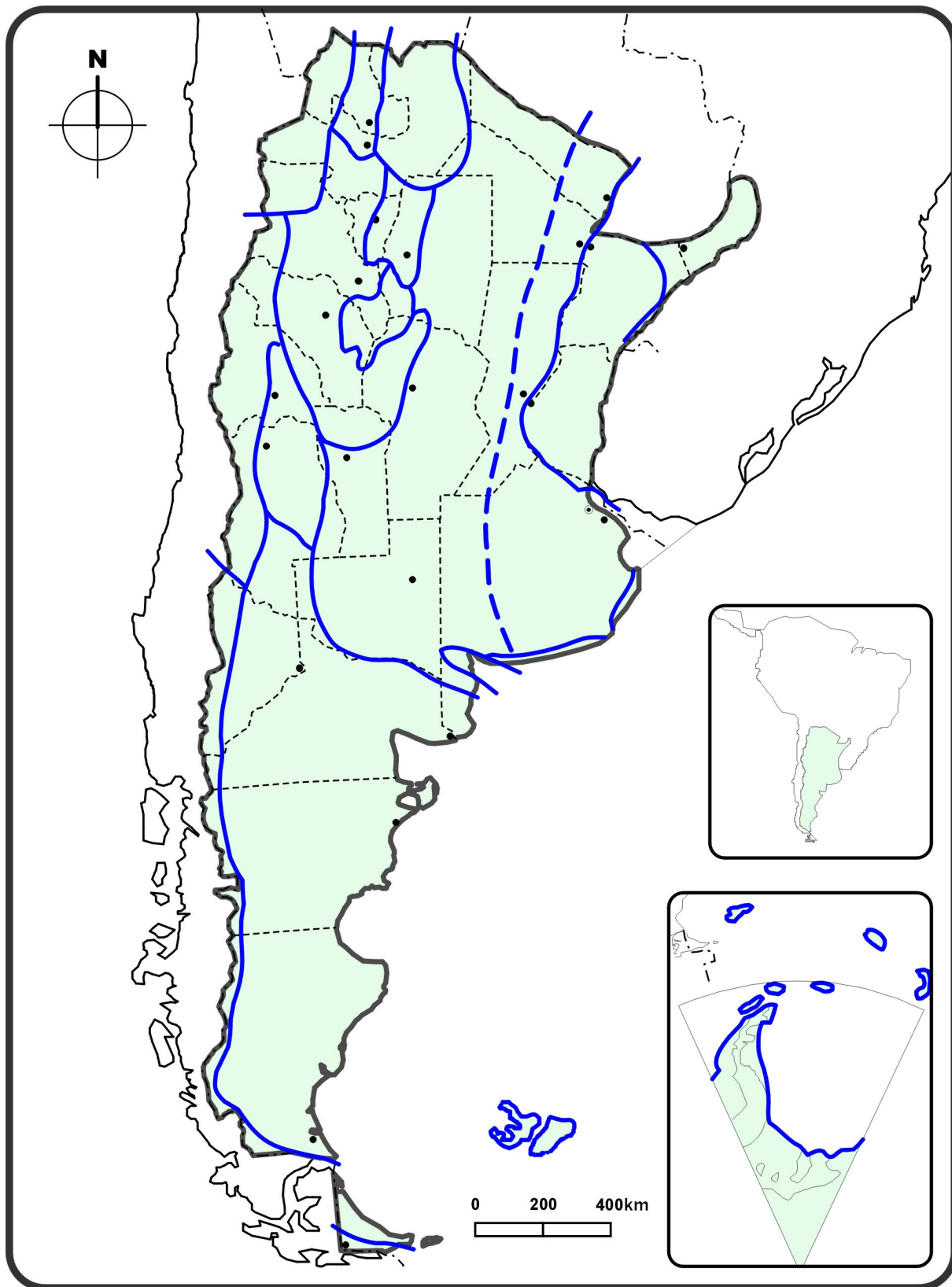
Dr. Geól. Miguel Auge

Profesor Titular de Hidrogeología
Universidad de Buenos Aires

Investigador CONICET

auge@gl.fcen.uba.ar

La Plata 2004



REGIONES HIDROGEOLÓGICAS

REPÚBLICA ARGENTINA

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
REGIÓN HIDROGEOLÓGICA	3
ZONIFICACIÓN	5
1 – PUNA	6
2 - CORDILLERA ORIENTAL – SIERRAS SUBANDINAS Y SUS VALLES	6
3 - PIEDEMONTE Y LLANURA CHACO-SALTEÑA	7
4 - LLANURA CHACO-PAMPEANA ÁRIDA	7
5 - LLANURA CHACO-PAMPEANA HÚMEDA	8
6 - CUENCA DE BAHÍA BLANCA	9
7 - SIERRAS PAMPEANAS Y SUS VALLES	9
8 - PIEDEMONTE Y LLANURA TUCUMANO-SANTIAGUEÑA	10
9 - PRECORDILLERA - CORDILLERA FRONTAL - CORDILLERA PRINCIPAL Y SUS VALLES	11
10 - PIEDEMONTE Y LLANURA CUYANA	13
11 - LLANOS RIOJANOS Y SALINAS ASOCIADAS	13
12 - CORDILLERA PATAGÓNICA Y SUS VALLES	14
13 - PATAGONIA EXTRA-ANDINA	15
14 - ENTRE RÍOS Y CORRIENTES	16
15 - MISIONES	17
16 - COSTA ATLÁNTICA BONAERENSE	17
17 - ISLAS MALVINAS Y DEL ATLÁNTICO SUR	18
18 - ANTÁRTIDA	19
BIBLIOGRAFÍA	20
CUADROS	
1. USO DEL AGUA EN EL MUNDO	1
2. EXTRACCIÓN DE AGUA EN EUROPA	2

FIGURAS

REGIONES HIDROGEOLÓGICAS

PROVINCIA DE BUENOS AIRES

INTRODUCCIÓN	23
1 - NORESTE (NE)	23
2 - DEPRIMIDO (DP)	27
3 - NOROESTE (NO)	30
4 - SERRANO (SE)	34
5 - INTERSERRANO Y PEDEMONTANO (IP)	35
6 - COSTERO (CO)	37
7 - NORPATAGÓNICO (NP)	38
8 - CUENCA de BAHÍA BLANCA (BB)	40
TECTÓNICA	41
POLÍTICA Y ESTRATEGIA para el MANEJO	41
BIBLIOGRAFÍA	43
CUADROS	
3. AMBIENTE NORESTE	45
4. AMBIENTE DEPRIMIDO	46
5. AMBIENTE NOROESTE	47
6. AMBIENTE SERRANO	48
7. AMBIENTE INTERSERRANO Y PEDEMONTANO	48
8. AMBIENTE COSTERO	49
9. AMBIENTE NORPATAGÓNICO	50
10. AMBIENTE BAHÍA BLANCA	51
FIGURAS	
2. MAPA AMBIENTES HIDROGEOLÓGICOS	52
3. MAPA SALINIDAD – ACUÍFERO LIBRE	53
4. MAPA ISOFREÁTICO	54
5. MAPA ISOPÁQUICO – ACUÍFERO PUELICHE	55
6. MAPA SALINIDAD – ACUÍFERO PUELICHE	56
7. DIAGRAMA GEOLOGÍA DEL SUBSUELO - NOROESTE	57

8. DIAGRAMA GEOLOGÍA DEL SUBSUELO	58
-----------------------------------	----

REGIONES HIDROGEOLÓGICAS

PROVINCIA DE MENDOZA

INTRODUCCIÓN	59
ZONIFICACIÓN	59
1 - REGIÓN DE LOS RÍOS MENDOZA Y TUNUYÁN	60
1.1. Geología y Comportamiento Hidrogeológico	61
1.2. Recarga	62
1.3. Reserva	63
1.4. Hidrodinámica	63
1.5. Hidroquímica	64
1.6. Contaminación	65
2 - REGIÓN ENTRE LOS RÍOS TUNUYÁN Y DIAMANTE	67
3 - REGIÓN DE LOS RÍOS DIAMANTE Y ATUEL	67
3.1. Comportamiento hidráulico	67
3.2. Hidrodinámica	67
3.3. Recarga y Descarga	67
3.4. Hidroquímica	68
4 - REGIÓN SUR	69
5 - VALLE DE USPALLATA	69
5.1. Comportamiento hidrogeológico	69
5.2. Recarga y Descarga	69
6 - VALLE MEDIO DEL RÍO TUNUYÁN	70
6.1. Comportamiento hidrogeológico	70
6.2. Comportamiento hidráulico	71
6.3. Hidrodinámica	71
6.4. Parámetros hidráulicos	72
6.5. Hidroquímica	72
7 - VALLES MEDIOS de los RÍOS DIAMANTE, ATUEL, SALADO Y MALARGÜE	73
POLÍTICA Y ESTRATEGIA PARA EL MANEJO	73

BIBLIOGRAFÍA	75
--------------	----

FIGURAS

9. MAPA UNIDADES FISIográfICAS	76
10. MAPA AMBIENTES HIDROGEOLÓGICOS	77
11. MAPA AMBIENTES HIDROGEOLÓGICOS – ZONA NORTE	78
12. MAPA ESPESOR ALUVIO MODERNO	79
13. MAPA UBICACIÓN	80
14. MAPA FLUJO SUBTERRÁNEO	81
15. MAPA PROFUNDIDAD SUPERFICIE FREÁTICA	82
16. MAPA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA PRIMER NIVEL	83
17. MAPA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA SEGUNDO NIVEL	84
18. MAPA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA TERCER NIVEL	85
19. MAPA FLUJO SUBTERRÁNEO – ZONA SUR	86
20. MAPA PROFUNDIDAD AGUA SUBTERRÁNEA – ZONA SUR	87
21. MAPA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA – ZONA SUR (0 – 30 m)	88
22. MAPA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA – ZONA SUR (30 – 60 m)	89
23. MAPA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA – ZONA SUR (100 – 165 m)	90
24. MAPA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA – ZONA SUR (165 – 200 m)	91
25. MAPA AMBIENTES HIDROGEOLÓGICOS - USPALLATA	92
26. MAPA AMBIENTES HIDROGEOLÓGICOS – ZONA CENTRO	93
27. MAPA PROFUNDIDAD AGUA SUBTERRÁNEA – ZONA CENTRO	94
28. MAPA ISOPIEZAS – ZONA CENTRO	95
29. MAPA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ACUÍFERO SUPERIOR – ZONA CENTRO	96
30. MAPA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ACUÍFERO INFERIOR - ZONA CENTRO	96

REGIONES HIDROGEOLÓGICAS

PROVINCIA DE SANTA FE

INTRODUCCIÓN	97
1 - ISLAS	97
2 - ALBARDÓN	98
3 - SALADILLOS	98

4 - TRANSICIÓN AL PUELCHÉ	98
5 - ACUÍFERO PUELCHÉ	99
6 - ACUÍFERO PAMPEANO	99
7 - CUÑA BOScosa	100
8 - MÉDANOS FIJOS	100
9 - OCCIDENTAL	100
10 - RÍO SALADO	101
11 - BAJOS SUBMERIDIONALES	101
CONSIDERACIONES FINALES	101
BIBLIOGRAFÍA	102
FIGURAS	
31. MAPA UBICACIÓN	103
32. MAPA AMBIENTES GEOCLIMÁTICOS	104
33. MAPA AMBIENTES HIDROGEOLÓGICOS	105

REGIONES HIDROGEOLÓGICAS REPÚBLICA ARGENTINA

INTRODUCCIÓN

El incremento en la demanda global de agua, debido al aumento de la población, de la producción y del riego, es un problema que ha afectado, salvo raras excepciones, a todo el planeta. Esto lógicamente se ha manifestado con mayor intensidad en las regiones densamente pobladas, especialmente en las megalópolis.

Si bien el volumen total de agua se ha mantenido prácticamente constante en la hidrósfera a través del tiempo, no ha sucedido lo mismo con su distribución espacial y temporal. En este último aspecto, inciden tanto procesos naturales como artificiales. Así, la influencia de las corrientes marinas, como la de El Niño, o el desplazamiento de masas de aire seco o húmedo, pueden influir notoriamente en las características climáticas de una región, modificando el régimen y distribución de las lluvias y/o de otras variables (temperatura, presión, insolación, humedad, viento, etc).

Las actividades antrópicas, también pueden generar alteraciones regionales significativas en el comportamiento climático y por ende, en el agua. Como ejemplo de ello se puede citar al calentamiento del aire por el uso de combustibles fósiles, o el deterioro de la capa de ozono por el empleo de flúor-cloro-carbonados.

En el transcurso de este siglo, particularmente en los últimos 50 años, a los problemas volumétricos de disponibilidad de agua, se les agregaron los de deterioro en su calidad (contaminación), ambos generados por una mala utilización tanto del recurso, como de aquellas sustancias con capacidad para degradarlo. En este sentido, el deterioro ha alcanzado en mayor o menor medida al agua en las tres fases del ciclo hidrológico (atmosférica, superficial y subterránea).

A continuación se indica el consumo de agua en nuestro planeta desde el inicio hasta la finalización del siglo 20 (cuadro 1).

CUADRO 1

USO DEL AGUA EN EL MUNDO

año	Consumo total	Agricultura		Industria		Agua potable	
	km ³ /a	km ³ /a	%	km ³ /a	%	km ³ /a	%
1900	400	350	87,5	30	7,5	20	5
1950	1.100	820	74,5	220	20	60	5,5
1975	3.000	2.200	73	650	22	150	5
2000	5.000	3.400	68	1.250	25	350	7

Fuente: Hydrogeological Principles of Groundwater Protection UNESCO

En el cuadro se aprecia que el aumento en el consumo total es del 1.150% entre 1900 y el 2000, y que la incidencia respecto agua potable, se ha mantenido con muy poca variación (5 al 7%). El uso industrial, como contraparte, creció notablemente del 7,5 al 25% y para riego, que continúa siendo el mayor consumidor mundial, disminuyó del 87,5 al 68%.

En el cuadro 2 se representa la extracción total de agua potable por país en Europa y el porcentaje de ella que tiene origen subterráneo.

CUADRO 2

EXTRACCIÓN DE AGUA EN EUROPA

	total km³/a	agua subterránea para uso humano (%)
Alemania	6,24	67
Bélgica	0,57	76
Dinamarca	0,70	98
Francia	5,0	50
Italia	9,95	36
Holanda	1,15	63
Inglaterra	2,50	32

Del cuadro se desprende el notorio predominio del agua subterránea respecto a la superficial para abastecimiento humano. Esto se debe a varias causas, entre las que se destacan su menor costo, pues no necesita tratamiento y su mejor calidad, porque está más protegida de la contaminación.

Si bien no se dispone de información fehaciente sobre el origen del agua potable en nuestro país, se estima en un 50% la de proveniencia subterránea con la que se abastece a capitales de provincias, ciudades y aglomerados importantes como La Plata, Conurbano de Buenos Aires, Mar del Plata, San Juan, Paraná, Santiago del Estero, Salta y Catamarca.

Otro factor que le otorga trascendencia al recurso hídrico subterráneo, es el predominio de los déficit en la mayor parte del territorio. Ello hace que, aproximadamente en las 2/3 partes de la superficie continental, dominen climas áridos y semiáridos, lo que incide en las características de la red fluvial que en general posee escasa manifestación, salvo en la Mesopotamia y en la Cordillera Principal, especialmente en la Patagónica. En el primer caso el mayor aporte se produce en la selva brasileña, mientras que en alguno tramos de la Cordillera Patagónica, se registran las mayores lluvias del país.

En otras regiones húmedas, como el sector sur de la Llanura Chaco-pampeana, la escasa magnitud de los caudales superficiales es producto de la pobre expresión morfológica.

ANTECEDENTES

Uno de los primeros trabajos que trató sobre la regionalización hidrogeológica de Argentina, fue el realizado por Stappenbeck (1926). En el mismo se analiza el comportamiento del agua subterránea, tanto en el aspecto dinámico como químico y la incidencia que sobre ella ejerce el componente geológico, en el ámbito ubicado al

norte del Río Negro, en una superficie aproximada de 1.200.000 km². También presenta un mapa de isohietas, uno de surgencia y otro geológico, perfiles y descripciones litológicas, con ubicación de capas productivas, niveles hidráulicos y salinidades de las perforaciones más profundas o representativas.

El primer mapa hidrogeológico de la Argentina, a escala 1:5.000.000, fue elaborado por Tapia (1941). Posteriormente, la ex Dirección Nacional de Geología y Minería (DNGM), publicó otro también a escala 1:5.000.000 en 1963 y más recientemente INCYTH (1991) confeccionó uno a escala 1:2.500.000, en el marco del Programa Hidrológico Internacional; para el Mapa Hidrogeológico de América del Sur.

El Consejo Federal de Inversiones (CFI) publicó la serie “Evaluación de los Recursos Naturales de la Argentina” (1962), en la que incluye 2 volúmenes que tratan sobre los “Recursos Hidráulicos Subterráneos”. En ellos se transcriben los perfiles de las perforaciones más representativas, a partir de una zonificación por provincia y se presenta una planilla con el inventario de los pozos recopilados, agrupados por Departamento o población.

La ex DNGM publicó 4 biblioratos con los perfiles detallados de las perforaciones realizadas por dicha institución, en todo el país, entre 1904 y 1945.

Algunas reparticiones oficiales efectuaron estudios hidrogeológicos de alcance subregional como el CRAS en Cuyo y La Rioja, EASNE y DYMAS en la Provincia de Buenos Aires, INCYTH y CFI, en varias provincias, la ex DNGM en el NO, centro y sur del país. Otras investigaciones se realizaron a través de planes y/o convenios como el PEAS (Plan Estudios Aguas Subterráneas), en Catamarca; el CAAS (Convenio Argentino - Alemán de Aguas Subterráneas), en el Valle del Conlara y en la Llanura Cordobesa-santafecina; el Programa Pico del Chaco, en el Impenetrable chaqueño. Reparticiones provinciales a cargo del control en el uso y en el manejo del agua, la mayoría como direcciones provinciales de hidráulica, de recursos hídricos, de irrigación o de saneamiento, guardan en sus archivos valiosos antecedentes de estudios y datos de perforaciones. Las universidades nacionales, a través de sus cátedras de hidrogeología, han contribuido significativamente al conocimiento del agua subterránea en el país. Las entidades privadas (consultoras y empresas de perforación), han realizado y realizan tareas de evaluación y prospección. Finalmente, los trabajos elaborados por especialistas, publicados en congresos o revistas y los inéditos, también son un valioso material para la consulta e interpretación. En relación al último punto se considera conveniente resaltar el que efectuaron Ruiz Huidobro y Sosic (1980), para el tratado de Geología Regional Argentina (Aguas Subterráneas). En el mismo proponen una subdivisión del territorio argentino en 12 provincias hidrogeológicas, sobre la base de características geológicas y fisiográficas y realizan una breve descripción de las mismas.

Lamentablemente la información citada, se encuentra dispersa por lo que resulta de difícil acceso y además carece de uniformidad temática, lo que dificulta la interpretación.

REGIÓN HIDROGEOLÓGICA

En este concepto se incluye a toda región que presente características o comportamientos distintivos en relación a sus aguas subterráneas. El término **distintivo** implica la manifestación reiterada y/o fácilmente detectable de alguna característica peculiar y por lo tanto, no siempre involucra un comportamiento homogéneo.

Los factores que ejercen mayor influencia primaria en el comportamiento hidrológico subterráneo son: el geológico, el geomorfológico, el climático y el

biológico. Por ello, el carácter distintivo es consecuencia de la señal o rúbrica impresa por alguno/s de los factores mencionados.

El **componente geológico** incide notablemente en el aspecto hidroquímico y en el hidrodinámico.

El tipo mineralógico, tanto de la zona saturada como subsaturada, constituye el elemento principal del que toma su composición química inicial el agua subterránea. El grado de litificación, la textura y la estructura, también condicionan los comportamientos químicos y dinámicos. En las rocas, que conforman medios netamente discontinuos, el agua tiene poco espacio para almacenarse, se transmite a través de fisuras, o superficies de debilidad (diaclasas, fallas, estratificación, esquistosidad), con mayor velocidad y menor superficie de contacto que en los sedimentos. El resultado general es escasa reserva, flujo rápido de tipo turbulento y baja salinidad.

La textura de los sedimentos controla la porosidad, la permeabilidad y la composición química. Bajo condiciones de porosidad intergranular el medio es continuo, la capacidad de almacenamiento y la superficie de contacto aumentan y la velocidad de flujo disminuye, en relación a ambientes rocosos. El tamaño de los poros, que en general es función del tamaño de los granos, es uno de los principales condicionantes del comportamiento hidráulico, hidrodinámico e hidroquímico. La granometría fina, se caracteriza por presentar alta porosidad total y baja permeabilidad y porosidad efectiva. El volumen total de agua almacenada es elevado, pero el extraíble es escaso. Las velocidades de flujo son bajas y la tendencia salina es hacia altas concentraciones.

Las granometrías medianas (arenas) y particularmente las gruesas (gravas), manifiestan un comportamiento opuesto al citado para las pelitas. Sin embargo la tendencia, especialmente en lo referente a la hidroquímica, puede variar sustancialmente bajo la influencia del clima. Así, en regiones con marcado exceso en el balance hídrico (húmedas), es común encontrar aguas de baja salinidad aún en sedimentos arcillosos (suelos lateríticos de Misiones), mientras que en zonas deficitarias (Llanura Chaco-pampeana árida) predominan salinidades elevadas, incluso en materiales arenosos.

La **geomorfología** de las zonas montañosas, con fuertes pendientes topográficas, origina acentuados gradientes hidráulicos y por ende da lugar a ámbitos donde predomina el flujo lateral. En los piedemontes, las pendientes topográfica e hidráulica adoptan valores intermedios y la condición de la primera, junto con la presencia de sedimentos con permeabilidades relativas altas, favorece el incremento de la recarga. La morfología de estos ámbitos y de las llanuras vecinas, es la principal responsable de la existencia de zonas de surgencia con altas presiones y caudales (Piedemonte-Llanura tucumano-santiagoña, Cuenca de Bahía Blanca, Valle de Lerma, Piedemonte-Llanura cuyana, etc).

En las llanuras, la escasa expresión morfológica controla la energía hidráulica subterránea, cuyo principal vector se orienta verticalmente. Por ello, pese a que en las mismas predominan granometrías finas, son sitios de recarga y descarga preferencial mediante flujo vertical. Otra característica que tipifica a las llanuras es el confinamiento parcial o semiconfinamiento, que permite la recarga de unidades hidrogeológicas profundas a partir de otras sobrepuestas, incluso desde la capa freática, por el proceso de filtración vertical descendente (Acuífero Puelche en el NE de la provincia de Buenos Aires y sur de Santa Fe).

El **clima** es otro de los factores que inciden en las características y el comportamiento hidrológico subterráneo.

En condiciones de aridez la recarga es escasa o prácticamente nula, la superficie freática se emplaza a profundidades considerables y la salinidad es elevada, debido a la concentración por evapotranspiración y a la falta de dilución. En regiones húmedas sucede lo contrario y el excedente en el balance suele manifestarse mediante una abundante red hidrográfica. En algunos casos, como ya se mencionó, la morfología limita la importancia de la red de drenaje (Llanura Chaco-pampeana húmeda).

El **componente biológico natural** tiende a mantenerse en equilibrio con el ambiente y el resto de los recursos naturales (agua, aire y suelo), **pero el instalado artificialmente** (cultivos, plantaciones) y las prácticas y actividades desarrolladas por el hombre (arado; riego; drenaje; fertilización; fumigación; construcciones urbanas, viales e hidráulicas; basurales; industrias; efluentes; etc), son las que generan las mayores alteraciones en el comportamiento del recurso hídrico subterráneo. En este sentido, los parámetros más afectados son la reserva, la productividad y la calidad.

ZONIFICACIÓN

Tomando en consideración las características y/o comportamientos distintivos de las aguas subterráneas, impresas o controlados por los factores mencionados previamente, se propone la subdivisión del territorio en las siguientes provincias hidrogeológicas: 1) Puna 2) Cordillera Oriental - Sierras Subandinas y sus valles 3) Piedemonte y Llanura Chaco-salteña 4) Llanura Chaco-pampeana árida 5) Llanura Chaco-pampeana húmeda 6) Cuenca de Bahía Blanca 7) Sierras Pampeanas y sus valles 8) Piedemonte y Llanura Tucumano-santiagoña 9) Precordillera - Cordillera Frontal - Cordillera Principal y sus valles 10) Piedemonte y Llanura cuyana 11) Llanos Riojanos y salinas asociadas 12) Cordillera Patagónica y sus valles 13) Patagonia Extra-andina 14) Entre Ríos y Corrientes 15) Misiones 16) Costa Atlántica Bonaerense 17) Islas Malvinas y del Atlántico Sur 18) Antártida.

En la identificación y delimitación de las regiones hidrogeológicas se ha creído conveniente mantener la denominación de las grandes unidades orográficas, pues si bien es en sus valles intermontanos donde se almacena y es factible de aprovechar el mayor volumen de agua subterránea, debido a la acumulación de potentes secuencias de sedimentos aluviales y coluviales, porosos y permeables, el principal aporte proviene de precipitaciones pluviales o nivales que predominan notoriamente en las altas cumbres. La recarga se produce a través de la infiltración en el álveo del valle, del agua conducida por los afluentes y por el colector principal. Respecto a los cuerpos serranos, pese a que generalmente están formados por rocas (medio discontinuo con porosidad secundaria), el aporte por flujo lateral a través de las mismas puede ser considerable, en el cómputo general de la recarga de los valles intermontanos. Por lo expresado se considera a la depresión receptora (valle intermontano) y a sus bordes montañosos como una unidad a la que se le asigna el carácter de región hidrogeológica.

Seguidamente se citan en forma sintética las características distintivas de cada una, cuya delimitación se indica en la figura 1.

1- PUNA

Constituye la terminación austral del Altiplano peruano-boliviano, se emplaza en el extremo NO argentino y abarca parte de las provincias de Jujuy, Salta y Catamarca, extendiéndose hacia el O y N, hasta el límite internacional con Chile y Bolivia.

Morfológicamente es una depresión elevada, o sea constituye una región con avenamiento centrípeto a cota media 3.800 m, rodeada por altos cordones montañosos. Son frecuentes los salares y altos picos volcánicos, especialmente en su borde occidental, en coincidencia con la Cordillera Principal. Hacia el E, límite con la Cordillera Oriental, predominan rocas metamórficas y graníticas del Precámbrico, a las que se les superponen sedimentitas y sedimentos del Cámbrico-Devónico y Cretácico-Reciente.

El clima es extremadamente seco y frío, con precipitaciones inferiores a 300 mm/a y temperaturas controladas fundamentalmente por la altitud. En La Quiaca a 3.461 msnm, se registra una temperatura media anual de 9,5 °C. Lo escaso de la lluvia deriva de las barreras orográficas que la limitan por el E y el O, impidiendo el paso de vientos húmedos especialmente desde el primer cuadrante. Las bajas temperaturas y sus grandes amplitudes son producto de la altitud y la escasa humedad del aire (menor al 40% promedio anual). Las condiciones descriptas son típicas de los desiertos.

La vegetación dominante es la estepa arbustiva, a la que se le asocian la de la estepa herbácea y la existente en las vegas. En términos generales la flora de la Puna, es muy similar a la patagónica

La disponibilidad de agua es muy escasa; la de ciclo se origina en los deshielos de las altas montañas y en lluvias puntuales. La infiltración de las corrientes superficiales en los faldeos pedemontanos y en los álveos, da lugar a acuíferos localizados, predominantemente libres. La calidad desmejora rápidamente hacia los salares, debido a la concentración por evaporación.

Estudios realizados por la Universidad Nacional de Jujuy, junto con organismos provinciales identificaron acuíferos aptos para consumo humano y aún para riego, pero de escaso volumen y caudales muy limitados.

2- CORDILLERA ORIENTAL - SIERRAS SUBANDINAS Y SUS VALLES

La Cordillera Oriental y las Sierras Subandinas que se le adosan por el este, componen una unidad hidrogeológica limitada al O por la Puna y al E por el Piedemonte y la Llanura Chaco-salteña, al S por las Sierras Pampeanas, mientras que por el N ingresa en territorio boliviano.

La Cordillera Oriental o Prepuna está formada por escarpadas cadenas montañosas, originadas por plegamiento y fracturación, de orientación NNE, separadas por profundos valles. Entre las primeras se puede mencionar a las sierras de Santa Victoria, Zenta, Cochinoca, Aguilar y de Chañi, cuyos núcleos están formados por rocas metamórficas y graníticas del Precámbrico, a las que se les adosan sedimentitas del Paleozoico inferior, medio y superior. Siguen en discordancia areniscas y calizas del Cretácico, cubiertas por depósitos intermontanos del Terciario. Entre los valles más conspicuos, conocidos como quebradas, se puede mencionar a las de Humahuaca y del Toro, labradas en rocas paleozoicas y/o mesozoicas, rellenas con depósitos aluviales de espesor variable.

En el ambiente serrano predominan las gramíneas de estepa formadas por matas bajas (30 a 70 cm) y en los valles se forman vegas con preponderancia de juncáceas (Cabrera, 1958).

Las Sierras Subandinas son más bajas pero reciben mayor aporte pluviométrico, debido a que conforman la primera barrera orográfica para los vientos húmedos del Atlántico. Entre las sierras se destacan las de Santa Bárbara, Zapla, Centinela, Maíz Gordo y de la Candelaria y entre los valles el del Río Grande, Metán, Lerma, Campo Santo, San Francisco, Calchaquies y Pasaje-Juramento.

En las sierras predominan rocas del Paleozoico medio y superior, cubiertas por potentes depósitos del Terciario. Hacia el sur desaparece el Carbónico pero se manifiestan las rocas del Grupo Salta (Cretácico). Los rellenos aluviales pueden ser significativos, en casos superiores a 1.000 m, lo que indica una condición paleoclimática más húmeda que la actual, junto con el marcado desnivel topográfico producido por el levantamiento serrano, durante el Cenozoico.

Son frecuentes las cuencas con importantes caudales de surgencia de agua de buena calidad (Valle de Lerma, Depresión de Güemes - Metán - Rosario de la Frontera - Valles Calchaquies).

La vegetación en el sector N, que es el más húmedo, presenta características selváticas (Orán) aunque también se da el bosque xerófilo en las riberas y el bosque marginal sobre el lecho de inundación de los ríos. En el sector sur las características fitogeográficas son similares a las de la Cordillera Oriental.

3- PIEDEMONTE Y LLANURA CHACO-SALTEÑA

Se extiende al este del faldeo oriental de las Sierras Subandinas, conformando un estrecho piedemonte y una dilatada llanura que llega hasta el vértice NO de Santiago del Estero y hasta el Pico del Chaco.

En este ámbito se destaca el gran abanico aluvial del Río Bermejo y otros más pequeños correspondientes a los ríos Dorado y Salado. Existen también amplias depresiones como el Bañado del Viñalito, que debe su origen a la descarga subterránea.

Lo escaso de la precipitación (400 a 700 mm/a) y la elevada evapotranspiración potencial (1.000 y 1.200 mm/a), hacen que la deficiencia hídrica media anual sea del orden de 500 mm. La mayor parte de la recarga se produce en el piedemonte y en los abanicos aluviales por infiltración desde los ríos. La calidad del agua freática desmejora rápidamente hacia el E. En el Pico del Chaco se descubrieron acuíferas confinadas por debajo de 150 m de profundidad, con aguas aptas para consumo humano y para riego, que subyacen a la capa freática salada.

4- LLANURA CHACO-PAMPEANA ÁRIDA

La Llanura Chaco-pampeana como unidad morfológica, ocupa 1.000.000 de los 2.800.000 km² que componen la superficie continental del territorio argentino y como toda llanura se caracteriza por su escasa pendiente topográfica, con extremos de 10⁻³ a 10⁻⁵. Por el N ingresa en el Paraguay a través de la Provincia de Formosa; su límite oriental lo constituyen la Mesopotamia y el Océano Atlántico; por el S se extiende hasta el Río Colorado y por el O, está limitada por las Sierras Subandinas y las Pampeanas.

Del total, 650.000 km² corresponden a la fracción árida y 350.000 km² a la húmeda. El límite entre ambas, sigue una línea aproximadamente meridiana entre la costa atlántica de la Provincia de Buenos Aires al sur y el E de Formosa al norte. Esta delimitación se basa en la relación entre la precipitación y la evapotranspiración real, calculada con el método de Thornthwaite. Por lo tanto coincide con la isolínea de 0 mm de exceso medio anual, al E de la cual se producen los excedentes (zona húmeda) y al O las deficiencias hídricas (zona árida).

En la **Llanura Chaco-pampeana árida** por debajo de la cubierta edafizada, domina un sedimento limo arenoso, castaño, de origen eólico, denominado Loess Pampeano, pero la magnitud de su extensión geográfica da lugar a la existencia de otros tipos litológicos, como los depósitos arenosos que forman médanos, los aluviales, restringidos a las cercanías de los cauces actuales, los lacustres en general pelíticos e incluso las acumulaciones salinas, que se incrementan hacia el O, en coincidencia con la disminución general de la precipitación. Prácticamente en todo el subsuelo del ámbito considerado, en algunos casos por debajo del Pampeano y en otros de unidades más antiguas, existe una formación de origen marino, del Terciario superior (Formación Paraná), que normalmente constituye el sustrato para el agua de baja salinidad.

La vegetación dominante se corresponde con la del dominio chaqueño integrada por el espinal, (ñandubay, algarrobo y caldén), el monte (matorral arbustivo) y el bosque (quebracho, guayacán y chañar).

En términos generales, el agua subterránea de la Llanura Chaco-pampeana árida, presenta mayor salinidad y la superficie freática se emplaza a mayor profundidad que la del sector húmedo. Los ríos son influentes y la recarga se focaliza en las depresiones, donde se concentra el flujo superficial. En algunos casos estas depresiones son prácticamente imperceptibles, pero influyen significativamente en la calidad del agua como los ríos muertos de Santiago del Estero, Chaco y Santa Fe. Otras unidades que inciden en la salinidad son los médanos, ya sea en forma de campos o arenales como los del sur de San Luis NE de La Pampa y NO de Buenos Aires, o encauzados como en los valles de La Pampa. Las formas medanosas, por su condición litológica, constituyen ámbitos favorables para la infiltración y el almacenamiento de agua de baja salinidad.

5- LLANURA CHACO-PAMPEANA HÚMEDA

Morfológica y geológicamente es similar a la anterior, de la que se diferencia fundamentalmente por su característica climática. Esta condición deriva en excedentes hídricos, debido a que la precipitación supera a la evapotranspiración.

La flora en el sector sur es la de tipo Pampeano, con gramíneas, juncales y pajonales, muy afectados por el cultivo y la ganadería. En el centro de Santa Fe se desarrolla el espinal y en el sector N, el bosque chaqueño.

El comportamiento hidrológico se caracteriza por lo restringido de la red hidrográfica y lo difusas que se presentan las cuencas, con bordes poco definidos, producto de la escasa pendiente topográfica. La mayoría de los ríos, lagunas y bañados, son efluentes, es decir constituyen ámbitos de descarga para el agua subterránea. Los sitios de recarga preferencial coinciden con las partes altas (lomas o divisorias), donde en general el agua es de mejor calidad, aumentando su contenido salino en el sentido del flujo.

En una fracción importante de esta región hidrogeológica, especialmente en las provincias de Buenos Aires y Santa Fe, por debajo del Loess Pampeano se emplaza una secuencia arenosa de origen fluvial (Arenas Puelches) del Plioceno-Pleistoceno inferior, que contiene a la unidad hidrogeológica más explotada del país (Acuífero Puelche).

6- CUENCA DE BAHÍA BLANCA

Si bien la cuenca hidrogeológica de Bahía Blanca se ubica dentro del ámbito de la Llanura Chaco-pampeana árida, sus particularidades piezométricas, termométricas y de productividad, hacen conveniente que se la considere como una unidad independiente.

De los autores que han tratado este ámbito el que más ha profundizado en su investigación es Bonorino, quien lo denomina sistema hidrotermal profundo de Bahía Blanca y le asigna una extensión comprobada de 3.000 km². “El acuífero está intercalado en una serie normal que constituye la cobertura, de edad cretácica-cenozoica, de un basamento fracturado en bloques que forman fosas y pilares tectónicos” (Bonorino, 1988).

El descubrimiento del acuífero termal profundo se realizó en el pozo Argerich 1, construido en 1912 por la ex Dirección General de Minas y Geología, que alcanzó 711 m de profundidad y alumbró 3 capas; la más profunda a partir de 710 m, con 70 m de surgencia, un caudal espontáneo de 348 m³/h y una salinidad total de 1 g/l.

Desde ese momento hasta el presente es mucho lo que se ha hecho en favor y en contra de este importante reservorio de agua subterránea, cuyas peculiaridades más significativas son: los espectaculares caudales y alturas de surgencia, con máximos de 1.000 m³/h y 200 m respectivamente; las temperaturas del agua (50 a 75 °C), en general bastante mayores que las correspondientes al gradiente geotérmico normal; la baja salinidad, fundamentalmente en virtud de que subyace a unidades hidrogeológicas con tenores salinos entre 8 y 30 g/l.

La recarga del acuífero termal profundo proviene de la infiltración en el ambiente serrano (vertiente occidental de Sierra de la Ventana) y la circulación se realizaría por vías preferenciales (paleocauces o superficies de fallamiento). El termalismo se debería al adelgazamiento de la corteza producto del rifting que causó la apertura del Atlántico.

Actualmente no se utiliza agua subterránea para el abastecimiento a la ciudad; los pozos están abandonados y muchos de ellos en surgencia por sus bocas o espacios anulares, vuelcan caudales significativos, lo que genera un daño importante en la reserva del acuífero. El uso se restringe a algunas industrias y a la Base General Belgrano, pero el volumen aprovechado es insignificante respecto a su potencialidad

7- SIERRAS PAMPEANAS Y SUS VALLES

El primero en utilizar esta denominación fue Stelzner (1885) para referirse a un grupo de sierras que se levantan como islotes en el mar de la Llanura Pampeana, en el centro y norte del país. Entre las mas destacadas se puede mencionar al grupo de sierras de Córdoba y San Luis, Guasayán, Ancasti-Ambato-Aconquija, Capillitas-Belén, Fiambalá-Zapata, Velasco, Famatina-Sañogasta, Umango-Villa Unión, La Huerta, Pie de Palo, Los Llanos-Chepes y Ulapes.

Los núcleos de las Sierras Pampeanas están formados por rocas cristalinas ígneas y metamórficas del Precámbrico y del Paleozoico inferior, pero su expresión orográfica data del Terciario superior, como consecuencia de un fallamiento regional inverso de alto ángulo y de rumbo meridiano, que originó bloques de perfil asimétrico. Entre bloque y bloque suele acumularse un potente relleno sedimentario, originado a expensas de los mismos por acción fluvial y/o gravedad, que puede constituir un importante reservorio de agua subterránea. Ejemplo de ello son los valles de Santa María (Catamarca-Tucumán-Salta), de Conlara San Luis-Córdoba), de Catamarca, de Antinaco-Los Colorados (La Rioja), de Vinchina-Villa Unión (La Rioja) y de Fiambalá (Catamarca).

La precipitación en general es escasa (100 a 400 mm/a), situación que se acentúa en las partes bajas de las serranías y en los valles. En las cumbres aumenta considerablemente superando en algunos casos los 1.200 mm/a (Sierra del Aconquija).

La recarga se produce por la infiltración en los abanicos aluviales y rellenos de valles, del agua superficial conducida por los afluentes y por el curso principal. Como se mencionó en el punto 2 (Cordillera Oriental), el aporte por flujo lateral, a través de la porosidad secundaria que presentan las rocas que forman los núcleos serranos, puede ser significativo pero es muy difícil de cuantificar.

Son frecuentes los caudales elevados y la surgencia, particularmente cuando los valles son cerrados por estructuras transversales.

El agua contenida en los depósitos aluviales es de buena calidad, pero desmejora marcadamente en los sedimentos que conforman el Terciario Subandino. Por ello, si estos últimos subyacen al aluvio, se puede producir salinización por ascenso vertical del agua salada de fondo, si se desequilibra el sistema por bombeo.

La extensión y la variedad litológica, geomorfológica y climática, que presentan las Sierras Pampeanas, hacen que se les asocie una variada gama de especies vegetales. Así en la parte baja de la falda oriental del Aconquija, se presenta una selva similar a la oranense, a alturas intermedias domina el bosque de poca altura (alisos y pinos) y en las altas cumbres las gramíneas xerófilas. Bajo condiciones de clima árido, domina el bosque serrano, hasta unos 1.500 m de altura y por encima, las sabanas o estepas de gramíneas.

8- PIEDEMONTE Y LLANURA TUCUMANO-SANTIAGUEÑA

Es una de las regiones con mayor riqueza del país tanto en lo referente a productividad, como a calidad y disponibilidad de agua subterránea.

Se ubica al E de las Sierras Pampeanas de Tucumán y Santiago del Estero, dirección en la que engrana en forma gradual con la Llanura Chaco-pampeana árida; al N, también gradualmente, limita con la Piedemonte y la Llanura Chaco-salteña y al S, con las salinas asociadas a los Llanos Riojanos.

En relación al ámbito montañoso tucumano, su cadena más destacada es la Sierra del Aconquija, que actúa como límite con la Provincia de Catamarca, prolongándose hacia el N en las Cumbres Calcahuquies. Las mayores alturas del Aconquija se dan en los Nevados de los Cerrillos con nieve perenne a unos 5.500 m.

El Aconquija constituye una típica barrera orográfica respecto a los vientos húmedos del E, cuya mayor frecuencia e intensidad durante el verano, hacen que esta estación sea la más lluviosa. Por ello su falda oriental que recibe entre 1.000 y 1.500 mm/a está cubierta por una espesa selva subtropical, por debajo de los 1.800 m; como contracuerdo su faldeo occidental, que desciende hacia el Valle de Santa María en Catamarca, presenta un monte bajo de tipo xerófilo producto de la marcada disminución de la lluvia (300 mm/a).

El faldeo oriental del Aconquija presenta una profusa red hidrográfica que se concentra en el Embalse de Río Hondo. Estos fluvios son influentes en el ámbito serrano y en el piedemonte, constituyen la principal fuente de recarga subterránea.

Los conos de deyección adosados a la sierra y los abanicos aluviales, cuyo principal representante es el formado por el Río Salí (Tineo, 1988), son medios muy favorables para la explotación de agua subterránea, pese a sus marcadas anisotropías y heterogeneidades. Esto hace que el comportamiento dominante sea el de un acuífero multiunitario, con un grado de confinamiento parcial en la sección superior, que aumenta marcadamente en la inferior, integrado por capas productivas con intercalaciones de otras de baja permeabilidad. Al S de la ciudad de Tucumán se manifiesta una zona de surgencia entre 80 y 160 m de profundidad. pero las presiones y los caudales en surgencia se incrementan notoriamente por debajo de los 200 m, alcanzando a 2 kg/cm² y 250 m³/h respectivamente (El Bracho). Hacia el

E, se mantiene la surgencia hasta distancias considerables de las sierras (Gdor. Garmendia, La Cejas y Río Hondo). El agua es de baja salinidad y por ende resulta apropiada para consumo humano y para riego.

La sierra más conspicua de esta región hidrogeológica en Santiago del Estero, es la de Guasayán, cuya prolongación boreal endica al escurrimiento subterráneo, originando la surgencia que caracteriza a las Termas de Río Hondo.

La salinidad se incrementa hacia el E, en la dirección del flujo, sentido en el que también se pierde la surgencia y disminuye notoriamente la precipitación. Al E del Río Salado no se han alumbrado acuíferas profundas aptas, quedando las aprovechables restringidas al agua freática asociada a los paleocauces.

Una mención especial merece el acuífero aluvial del Río Dulce, que se caracteriza por su elevado rendimiento y baja salinidad, por lo que se lo explota intensivamente para la provisión de agua potable a la ciudad de Santiago del Estero.

9- PRECORDILLERA - CORDILLERA FRONTAL - CORDILLERA PRINCIPAL Y SUS VALLES

Al E de la Cordillera Frontal, de la que la separan los valles de los ríos Blanco, de Iglesia, Calingasta y Uspallata, se extiende la Precordillera de San Juan y Mendoza, entre La Rioja y el N de Mendoza. Sus mayores altitudes superan escasamente los 4.500 m (Cerro Bolsa 4.670 m) siendo más frecuentes las culminaciones serranas entre 3.000 y 3.500 m (sierras del Tigre, de la Invernada, de Talacasto, de Villicum, de Uspallata, de Tontal, etc).

Los cuerpos de las sierras están formados por rocas paleozoicas, con predominio de grauvacas, calizas y lutitas, junto con otras ígneas y metamórficas.

Los valles más conspicuos son los de Jáchal, Iglesias, Zonda-Ullún, Calingasta, Matagusanos y la depresión de Gualilán. Estos valles tienen origen tectónico, por lo que suelen presentar importantes rellenos aluviales y coluviales de sedimentos cenozoicos, que resultan hábiles para el almacenamiento y la producción de elevados volúmenes de agua subterránea. Dado que es una región de escasa pluviosidad, la recarga proviene de la infiltración en los álveos durante la época de las crecidas, coincidente con los deshielos de verano.

Los sitios más explotados para riego son Jáchal, Zonda-Ullún y el Valle de Tulum en San Juan, del que se extrae también parte del agua para el abastecimiento a la ciudad. En realidad el Valle de Tulum es un gran abanico aluvial en el que se emplaza la ciudad de San Juan y al que se incluye en la región del Piedemonte y Llanura Cuyana. Es común la surgencia con elevada presión y caudal, pero la sobreexplotación ha modificado en muchos casos esta condición natural.

Las condiciones climáticas son similares a las existentes en los bolsones y sierras áridas (Cordillera Oriental y Sierras Pampeanas), con predominio de la escasa precipitación en las laderas orientales de las sierras, debido a la condensación del vapor trasladado por los vientos húmedos orientales.

En este ámbito San Juan es uno de las ciudades más secas del país, con un registro pluviométrico medio anual de 60 mm en el período 1928/37.

En lo referente a sus caracteres fitogeográficos, esta provincia hidrogeológica se enmarca dentro del dominio andino, con predominio de gramíneas xerófilas (*Festuca*, *Stipa* y *Poa*) y dicotiledóneas (*Werneria*, *Caltha* y *Hexaptera*).

Respecto a la Cordillera Frontal, que se emplaza entre la Precordillera al E y la Cordillera Principal al O, posee una constitución litológica-estratigráfica y una arquitectura geotectónica muy similares a la Precordillera, de la que se diferencia esencialmente por su mayor expresión orográfica. En este sentido y de N a S se

destacan los cordones de la Brea, de Colanguil, de Ansilta, del Plata, de Santa Clara, del Portillo, de las Lletas y del Carrizalito, alcanzando elevaciones superiores a los 5.000 m.

Entre sus valles se destacan los de los ríos Cajón, de la Brea, Santa Rosa, Blanco, Castaño y de las Cuevas y también las cuencas superiores de los ríos Jáchal y San Juan.

Los comportamientos climático, fitogeográfico e hidrogeológico de esta unidad morfoestructural, son muy parecidos a los mencionados para la Precordillera, radicando su diferencia más notoria en la mayor altitud de la Cordillera Frontal y los desniveles más marcados entre las culminaciones y sus valles.

El primer factor permite la acumulación de mayor cantidad de nieve, cuyo derretimiento e infiltración en los álveos, constituye la principal fuente de recarga subterránea.

Al O de la Cordillera Frontal, se desarrolla la Cordillera Principal o del Límite, no existiendo entre ambas durante largos trechos una marcada separación fisiográfica, debido a la ausencia de valles importantes. La diferencia más notoria entre ambos cuerpos orográficos es que la Cordillera Principal, por su mayor altura, constituye la divisoria de agua entre la vertiente atlántica y la pacífica. Además, geológicamente, la Cordillera Frontal está constituida por una importante asociación de rocas piroclásticas de edad Triásica, inyectadas por intrusivas ácidas, y rocas paleozoicas de origen sedimentario, mientras que en la Cordillera Principal predominan sedimentos marinos jurásicos y cretácicos.

En la Provincia de San Juan se define con mayor claridad el límite entre ambas cordilleras, por la existencia de los valles de la Sal y del Cura.

Más frecuentes son los ríos antecedentes, con cabeceras en las altas cumbres de la Cordillera Principal, que cortan a la Cordillera Frontal y aún a la Precordillera en su bajada hacia el E (Blanco, Castaño, de los Patos, San Juan, Mendoza, de las Cuevas, etc).

Más al S, se presentan valles de orientación meridiana que separan a las cordilleras Principal y Frontal (Tupungato, Tunuyán).

El comportamiento hidrogeológico de la Cordillera Principal es similar al mencionado para Precordillera y Cordillera Frontal, con acumulación de agua subterránea en los rellenos aluviales de los valles, recargados por la infiltración del agua de deshielo en los cauces principales y sus afluentes, pero estos aluvios presentan menores espesores que los registrados en los valles de Precordillera y Cordillera Frontal. También, como ya se mencionó, debe existir aporte a través de la porosidad secundaria de las rocas que componen el cuerpo serrano.

Los sitios más favorables para la explotación de agua subterránea se ubican a mayor altitud y por ende son más inhóspitos que los referidos previamente.

Hacia el S la Cordillera Principal engrana mediante un límite difuso, con la Cordillera Patagónica aproximadamente a la latitud de 36° S, en el límite entre las provincias de Mendoza y Neuquén.

10- PIEDEMONTE Y LLANURA CUYANA

Los depósitos aluviales de los ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante y Atuel, en el piedemonte de la Precordillera, constituyen un importante reservorio de agua subterránea que se explota intensivamente para riego.

Ya se mencionó al Valle de Tulum sobre un gran abanico que posee espesores de aluvio de hasta 1.000 m. Los caudales individuales medios de los pozos que captan acuíferos del tipo multiunitario son del orden de 150 m³/h.

Los ríos Mendoza y Tunuyán a través de su evolución geológica, también originaron abanicos coalescentes que se extienden hacia el E hasta la cuenca del Desaguadero. Como sucede con los típicos depósitos de piedemonte, la granometría se reduce a medida que aumenta la distancia al ámbito serrano, disminuyendo también la permeabilidad. Hacia los ápices se presentan sedimentos gruesos (rodados y gravas), en la parte media predominan arenas y en la llanura, hacia la que se pasa gradualmente, limos y arcillas. También en este caso, el mayor aprovechamiento de agua subterránea es para riego.

El abanico generado por la acción de los ríos Diamante y Atuel es el más austral del Piedemonte y la Llanura Cuyana. Posee características morfológicas, estratigráficas e hidrogeológicas muy similares a las de los descriptos anteriormente, presentando un acuífero libre hacia el O (piedemonte) y capas semiconfinadas y confinadas hacia el E, a medida que disminuye la granometría por la mayor distancia al cuerpo serrano. En dicha dirección también aumenta el contenido salino, por concentración en el sentido del flujo.

Climáticamente la región se caracteriza por lo escaso de la lluvia, menor a 500 mm/a en el sector S y a 100 mm/a en San Juan y una distribución bastante uniforme a lo largo del año, debido a que constituye el ámbito de transición entre las zonas de régimen atlántico y pacífico.

La recarga subterránea proviene de la infiltración de los deshielos en los cauces principales y sus afluentes durante la época estival, de la infiltración en los canales para regadío y del retorno del agua empleada para regar.

La vegetación dominante es la estepa arbustiva o el matorral espinoso, con abundancia de jarilla, alpataco, atamisque y uña de gato.

11- LLANOS RIOJANOS Y SALINAS ASOCIADAS

La Llanura Riojana, al E de la Sierra de Velasco y entre las de Malazán y Ancasti, constituye un ambiente árido, con agua subterránea salada y salobre a profundidades considerables (más de 100 m).

En superficie predominan sedimentos pelíticos y arenosos cuaternarios, subyacidos por los correspondientes al Terciario Subandino.

La concentración de las aguas superficiales, que deriva del neto predominio actual de la evapotranspiración sobre la precipitación y probablemente de las subterráneas, en épocas pasadas, cuando el agua freática se ubicaba a poca profundidad, dieron lugar a la formación de grandes salinas (La Antigua, Salinas Grandes).

La región considerada recibe la descarga de los valles de Antinaco-Los Colorados y de Catamarca y el drenaje de la Sierra Grande de Córdoba y es justamente en la cercanía de estas descargas, donde existen mejores posibilidades para alumbramiento de aguas aptas. En el resto de la comarca, que ocupa una superficie notoriamente mayor, los estudios y prospecciones realizados hasta el presente identificaron acuíferos con alta salinidad, tanto libres como confinados.

La deficiencia de agua es del orden de 700 mm/a, con una precipitación de unos 300 mm/a y una evapotranspiración potencial entre 900 y 1000 mm/a.

Fitogeográficamente se combinan las provincias del monte y la chaqueña. La primera presenta los mismos ejemplares mencionados para el piedemonte y la Llanura Cuyana y en la chaqueña, dominan el quebracho de la sierra, el tala, el incienso y el piquillín.

12- CORDILLERA PATAGÓNICA Y SUS VALLES

Esta unidad orográfica, conocida también como Cordillera Principal Austral, constituye la prolongación hacia el S de la Cordillera Principal Septentrional y como ésta, actúa como divisoria de aguas y límite jurisdiccional con Chile.

Ya se mencionó en el punto 9 el ensamble gradual que caracteriza al pasaje entre las dos cordilleras principales, aproximadamente a los 36° de latitud S, en el límite interprovincial entre Mendoza y Neuquén.

La Cordillera Patagónica presenta culminaciones más bajas que la Septentrional y su cuerpo, además de las sedimentitas paleozoicas, está formado por grandes batolitos de composición granítica, especialmente de tipo granodiorítico. Además los efectos de la acción glacial pleistocena, descienden hasta el fondo de los valles, donde se presentan grandes y profundos lagos formados por el endicamiento que sobre los fluvios, producen las acumulaciones morénicas.

El clima y la vegetación de la Cordillera Patagónica, también se diferencian claramente respecto de la Septentrional.

En el primer caso su acción como barrera orográfica frente a los vientos húmedos del Pacífico, hace que en la vertiente occidental (chilena) pero también en la oriental (argentina) se produzcan copiosas lluvias y fuertes nevadas. Por ello en el Lago Quillén (Neuquén), durante varios años consecutivos se registró una lluvia promedio de 4.500 mm/a y en el Lago Tromen (39° 34' S) en 1946 se midió 6.252 mm, que constituye el mayor registro conocido en nuestro país.

El comportamiento pluviométrico deriva en grandes excesos en el balance hídrico, lo que da lugar a la existencia de una flora en la que predominan el bosque, los matorrales, la pradera y aún la tundra. El bosque de hojas perennes tiene aspecto selvático, con gigantescos árboles de 30 a 50 m de altura y bajo éstos, arbolitos de menor talla y floridos arbustos o densos cañaverales de bambú.

Existe una profusa red de drenaje con ríos y arroyos de frías aguas cristalinas y extensos y profundos lagos, que en algunos casos superan los 500 m (Nahuel Huapi). En la Cordillera Patagónica nacen los ríos que luego de recorrer cientos de km a través de la árida Patagonia Extra-andina, desembocan en el Océano Atlántico.

Se presentan importantes reservorios de agua subterránea asociados a las acumulaciones fluviales y especialmente a las glacifluviales. Dentro de estas últimas la más interesantes son las morenas y los eskers por sus elevadas porosidades y permeabilidades. Sin embargo el aprovechamiento es muy escaso y generalmente se restringe a captaciones domiciliarias, tanto en las zonas rurales como en las periurbanas donde no hay servicio de agua potable. El contenido salino es muy bajo y en la generalidad no supera 200 mg/l.

La mayoría de los sitios urbanizados se abastecen a partir de los lagos (Bariloche, San Martín de los Andes, Esquel), pero estos ya manifiestan signos de contaminación fundamentalmente por el vertido de residuos cloacales (Nahuel Huapi, Lácar, Futalaufquen).

13- PATAGONIA EXTRA-ANDINA

Al E del ámbito cordillerano, coincidentemente con las últimas estribaciones serranas o a partir del ensamble con el piedemonte adyacente, se desarrolla la región patagónica extra-andina, que llega hasta la costa del Océano Atlántico. En este ámbito predomina el relieve de tipo mesetiforme, formado por amplias tablas que descienden desde la cordillera hacia la costa y cuyas culminaciones generalmente están constituidas por rodados o basaltos.

Los primeros, denominados también Rodados Patagónicos, pertenecen al Cuaternario y su origen se discute aún hoy, pues algunos autores les asignan una

génesis marina, otros glacial y otros glacifluvial o glacimarina. Los rodados poseen gran importancia hidrogeológica, pues pese a que generalmente están cementados por carbonato de calcio, conforman una unidad favorable para la infiltración del agua de lluvia o de la proveniente de la fusión de la nieve.

También son frecuentes las mesetas basálticas constituidas por efusiones terciarias a holocenas de las cuales se han reconocido hasta 6 (Basalto I a VI).

Los basaltos se comportan de forma similar a los rodados, particularmente los más modernos, pues presentan una estructura esponjosa derivada de la innumerable cantidad de alvéolos, originados en el escape de los gases durante el enfriamiento de las coladas. Esta estructura facilita la infiltración, el almacenamiento y la circulación de agua, por lo que suelen brindar caudales elevados de agua con bajo contenido salino, a captaciones verticales (pozos), horizontales (zanjas, galerías) o en forma de manantiales, según sea su posición topográfica y su relación con el subyacente.

Fuera del ámbito de mesetas, se destacan los valles de los ríos alóctonos que nacen en la Cordillera Patagónica y desembocan en el mar (Colorado, Negro, Chubut, Deseado, Santa Cruz), con amplias planicies aluviales, especialmente en los tramos inferiores de sus cuencas. Estas dilatadas terrazas fluviales, que alcanzan hasta 30 km de ancho, son producto de una capacidad erosiva mucho mayor en épocas pasadas que la que poseen los ríos actualmente. Los ríos se comportan como influentes y como transportan aguas de baja salinidad originadas en lluvias y deshielos cordilleranos, la calidad del agua subterránea desmejora desde las márgenes hacia los bordes de los valles. En las cercanías de las márgenes de los fluvios actuales, se obtienen elevados caudales de agua de baja salinidad proveniente de acuíferos libres.

Otras formas que también condicionan el comportamiento hidrogeológico son las elevaciones serranas extracordilleranas, entre las que se destacan la Precordillera Patagónica (Cordón de Hualjaina o Sierra de Tecka) con cumbres relativamente continuas de 1.300 a 1.500 m y las Sierras Centrales (Taquetrén, Olte, Lonco Tapial y Nevada) con 1.550 m de altura máxima, ambas en la Provincia de Chubut.

La característica climática de la Patagonia extra-andina es la escasa precipitación y la alta evapotranspiración, favorecida por los secos e intensos vientos que la cruzan de O a E, luego de perder su humedad en la Cordillera Patagónica. Por ello el clima es árido y ventoso lo que origina la estepa patagónica, con una vegetación fuertemente xerófila, muy raleada, que se levanta a poca altura sobre el suelo, del que se sostiene mediante profundas raíces.

La Evtp varía entre 500 mm/a en el sector sur (Tierra del Fuego) y 800 mm/a en el extremo norte (Río Colorado) y la precipitación, en la mayor parte del área, es inferior a 200 mm/a ubicándose entre 200 y 500 mm/a en el sector N y más de 500 mm/a en el extremo S.

En las mesetas patagónicas predomina agua subterránea salobre y salada, con niveles freáticos profundos (de 50 a 150 m) y baja productividad. Esto es consecuencia del déficit en el balance hídrico y de la presencia de un sustrato de origen marino (Formación Patagonia). En el sector S predomina una sucesión de vulcanitas mesozoicas ácidas (pórfitos cuarcíferos) con porosidad secundaria, que en algunos sitios, debido a la fisuración y/o alteración, producen caudales relativamente elevados con tenores salinos bajos e intermedios.

14- ENTRE RÍOS Y CORRIENTES

Las provincias citadas componen junto con la de Misiones, la región conocida como Mesopotamia, limitada por los ríos Paraná, Uruguay, Iguazú, Pepirí Guazú y San Antonio.

La diferencia dentro de la Mesopotamia se fundamenta en el comportamiento hidrogeológico, controlado fundamentalmente por el componente geológico que caracteriza a ambas regiones. En este sentido, el subsuelo de Entre Ríos y Corrientes, hasta unos 100 a 200 m de profundidad, está compuesto por sedimentos sueltos predominantemente arenosos, cenozoicos, de origen aluvial, con porosidad y permeabilidad primarias, apoyados sobre arcilitas marinas del Terciario medio o rocas basálticas mesozoicas.

Las unidades aluviales cenozoicas son las que presentan mejores condiciones para el almacenamiento y la productividad y por ello y por la calidad del agua, son ampliamente utilizadas como fuente para consumo humano y para riego. Respecto a este uso la extracción intensiva para el cultivo del arroz, ha producido un descenso apreciable en los niveles piezométricos como consecuencia de la disminución de la reserva.

En los últimos 2 años, en la vecindad de la margen del Río Uruguay, en la Provincia de Entre Ríos (Federación, Concordia, Villa Elisa, Colón y Concepción del Uruguay), se han ejecutado perforaciones de más de 1.000 m de profundidad para captar de las Areniscas de Misiones = Formación Tacuarembó, que subyacen a los Basaltos de Serra Geral, con el objeto de aprovechar el agua para bañoterapia. Esta práctica fue iniciada en el Uruguay hace más de 40 años, con el descubrimiento de las Termas de Arapey.

En el extremo NE y en una amplia zona del centro-sur de Corrientes, afloran los Basaltos de Serra Geral y en sectores más reducidos, las Areniscas de Misiones.

En lo referente al clima, la precipitación media anual varía entre 1.000 mm al S (Entre Ríos-Delta) y 1.500 mm al N (límite de Corrientes con Misiones), mientras que la evapotranspiración potencial crece de 850 a 1.000 mm/a y el exceso medio anual de agua de 150 a 500 mm, ambos de S a N. Lo expresado indica condiciones favorables para la recarga.

La vegetación autóctona, compuesta por gramíneas, quebrachos, bosque xerófilo, juncuales y pajonales, ha sido fuertemente alterada por la implantación de cultivos entre los que se destacan los frutales y los cereales, especialmente el arroz.

15- MISIONES

Constituye el ámbito más septentrional de la Mesopotamia y se caracteriza por un fuerte exceso en el balance hídrico y un paisaje marcadamente ondulado, con apreciables pendientes topográficas. Lo mencionado, junto con un sustrato basáltico de baja permeabilidad que aflora, o subyace a suelos residuales lateríticos, favorece la existencia de una profusa red de drenaje cuya divisoria principal coincide con la Sierra de Misiones.

Los basaltos mesozoicos de Serra Geral presentan la mayor parte de sus alvéolos ocluidos por precipitados silíceos o carbonáticos y dado que las diaclasas de enfriamiento se cierran a escasa profundidad entre las coladas, la porosidad y permeabilidad secundarias son bajas, lo que limita la capacidad de almacenamiento y la productividad. El agua contenida en los basaltos presenta muy baja salinidad, normalmente menor a 150 mg/l, lo que hace necesario agregarle sales sobre todo para abrevamiento del ganado. Los bajos caudales obtenibles del basalto no permiten el empleo del agua para riego, que en general se utiliza para el abastecimiento a comunidades reducidas, escuelas, industrias pequeñas y algunos pobladores rurales.

En sectores reducidos de la provincia, afloran areniscas de la Formación Misiones = Botucatú (San Ignacio sobre el Paraná y San Javier sobre el Uruguay), pero en el resto están cubiertas por los basaltos.

Las areniscas son muy explotadas en Brasil, en los estados de Sao Paulo, Matto Grosso, Paraná, Río Grande do Sul, Santa Catarina, mediante pozos de profundidades variables entre 200 y 1.500 m, muchos de ellos surgentes.

En nuestro país es prácticamente desconocida, dado que sólo se la aprovecha incipientemente en Entre Ríos como ya se mencionó y en San Ignacio, para la provisión de agua potable, y en la vecindad de Curuzú Cuatiá para riego y consumo humano.

Se estima en 1.500.000 km² la extensión de este mega-acuífero, que ocupa parte de los territorios de Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina y en 40.000 km³ el volumen de agua dulce almacenada, constituyendo uno de los reservorios más grandes del mundo. Recientemente y para unificar las terminologías empleadas en los países mencionados, se propuso denominarlo Acuífero Guaraní.

Actualmente se está intentando el logro de acuerdos para la elaboración de una legislación internacional, destinada a reglamentar el uso y la preservación de este recurso, que resulta fundamental para el desarrollo de grandes regiones comprendidas en el MERCOSUR.

16- COSTA ATLÁNTICA BONAERENSE

Se caracteriza por la presencia de una cadena de dunas casi continua entre Punta Rasa en el extremo S de la Bahía Samborombón y Bahía Blanca.

Las dunas alcanzan alturas máximas del orden de 25 msnm y medias entre 5 y 10 m, variando su ancho entre algunas decenas de m y unos 5 km. En su constitución predominan arenas silíceas bien seleccionadas de granometría fina, aunque también son frecuentes los fragmentos calcáreos de moluscos y los clastos de minerales pesados, especialmente magnetita.

Estas dunas, cuyo origen se debe a la acción marina sobre los Sedimentos Pampeanos, constituyen unidades de gran importancia hidrogeológica pues su elevada permeabilidad permite la rápida infiltración de la lluvia y la acumulación de agua dulce, que es la única fuente de aprovisionamiento que poseen la mayoría de las localidades costeras, especialmente las emplazadas entre la Bahía Samborombón y Mar del Plata como: San Clemente del Tuyú, Santa Teresita, San Bernardo, Mar de Ajó, Pinamar y Villa Gesell, entre las más importantes.

El acuífero freático, que se desarrolla hasta unos 10 o 15 m de profundidad, es el más aprovechado en las captaciones domiciliarias, por algunas plantas industriales pequeñas (soderías), para riego en menor escala y para el ganado. Generalmente contiene agua de salinidad baja a intermedia, siendo muy vulnerable a la contaminación por su escasa profundidad y la elevada permeabilidad de la formación arenosa que compone la zona de aireación o subsaturada. En algunos sitios por debajo del acuífero libre, se desarrolla otro semiconfinado también portador de agua dulce; en otros el acuífero semiconfinado subyacente, tiene agua salobre o salada.

En ambos acuíferos son frecuentes las elevadas concentraciones de Fe⁺⁺, cuya oxidación a Fe³⁺ genera problemas bastante serios por los precipitados y geles de tonalidad ocrácea, que afectan al agua y por su intermedio a las cisternas y cañerías de distribución.

Si bien el acuífero semiconfinado está más protegido frente a la contaminación, su vulnerabilidad sigue siendo elevada pues los acuitardos no son continuos y por ende puede cambiar su comportamiento a libre.

Otro de los factores a considerar es la vulnerabilidad del sistema a la salinización, circunstancia que puede evitarse equilibrando la extracción con la recarga e impidiendo la formación de conos de depresión con ápices profundos.

Las precipitaciones en la costa atlántica disminuyen hacia el SO, desde 900 mm/a en la Bahía Samborombón a 500 mm/a en la Bahía Blanca. La mayor parte de esta lluvia se infiltra, debido a la alta capacidad de absorción que tienen las dunas.

La vegetación dominante natural es el tamarisco y en las depresiones intermedanas el junco y la paja brava. Con el objeto de fijar las dunas se ha practicado forestación, mediante el implante de pino, eucalipto y en menor medida araucaria y cedro, los que en general han tenido buena adaptación al medio.

17- ISLAS MALVINAS Y DEL ATLÁNTICO SUR

Es poco lo que se conoce sobre la geología y menos aún sobre la hidrogeología de este conjunto insular en el que se incluye de N a S a las islas: Malvinas, Georgias del Sur y Sandwich del Sur, pues a las Orcadas del Sur y las Shetland del Sur, se las incorpora en el ambiente peninsular antártico.

En el aspecto geológico las más conocidas son la Islas Malvinas, integradas por un basamento cristalino precámbrico en el extremo austral de la Gran Malvina, al que se le superpone una secuencia sedimentaria meso y neopaleozoica de cuarcitas y lutitas fosilíferas y otra triásica, todas caracterizadas por porosidad secundaria y por ende con poca capacidad de almacenamiento.

El Cuartario más conspicuo está representado por “ríos de piedra” (Borrello, 1972) que ocupan las vaguadas de los valles de fondo chato que caracterizan a las islas. Están formados por cantos y bloques provenientes de las areniscas del mesopaleozoico (Devónico), con fragmentos que oscilan entre 0,5 y 3 m de diámetro. Entre los bloques o cubriéndolos, cuando su tamaño se lo permite, se desarrolla una vegetación tupida y baja y turberas que avanzan sobre los ríos de piedra.

Huidobro et al (1980) consideran que la alta permeabilidad de estas acumulaciones pedregosas, hace que se comporten como “interesantes depósitos de agua subterránea de fácil captación”.

El clima en las Islas Malvinas es de tipo marítimo con temperaturas medias anuales del orden de 6 °C y lluvias de 700 mm/a, mucho mayores que las registradas en la Patagonia Extra-andina a la misma latitud (Río Gallegos 300 mm/a). En relación al balance el exceso de es del orden de 150 mm/a, lo que indica condiciones favorables para la recarga.

18- ANTÁRTIDA

Conocida también como continente helado, se la puede dividir en 3 partes bien diferenciadas, tanto geológica como fisiográficamente (Caminos, 1972).

Antártida oriental, comprende al sector ubicado al S de África, la India y Australia; presenta un relieve mesetiforme con rasgos propios de un cratón o escudo precámbrico, cubierto parcialmente por sedimentitas paleozoicas.

Antártida occidental, es la región ubicada directamente al S de América y se la conoce también como Antártida plegada. Está formada por cordones montañosos (Andes Antárticos), que se consideran la prolongación austral de los Andes Sudamericanos. En su composición geológica intervienen metamorfitas supuestamente precámbricas y sedimentitas paleozoicas y mesozoicas, plegadas y fuertemente intruídas por rocas graníticas cretácicas y terciarias.

Antártida central, es una zona estrecha y deprimida, emplazada entre las anteriores, limitada por grandes fallas por lo que también se la conoce como graben antártico.

El sector **antártico argentino**, que abarca unos 1.200.000 km², ocupa tierras pertenecientes a la Antártida occidental, toda la Península antártica y otras correspondientes a la Antártida oriental.

En su constitución geológica se destacan rocas cristalinas (granitos y metamorfitas) precámbricas; grauvacas, lutitas, carbonatitas y andesitas del Paleozoico inferior; areniscas y lutitas del Paleozoico superior; areniscas tobáceas, lutitas, vulcanitas y plutonitas mesozoicas; areniscas y vulcanitas terciarias y acumulaciones morénicas y depósitos marinos y glaciarios del Cuaternario.

Evidentemente las mejores condiciones para el almacenamiento de agua subterránea se dan en las unidades cuaternarias, pero en virtud de que la demanda se obtiene directamente del hielo, prácticamente no se ha realizado investigación hidrogeológica en el sector antártico.

Además, en algunos sitios el espesor medio de la calota de hielo supera con amplitud 1.000 m, lo que dificulta notoriamente la exploración tanto geológica como hidrogeológica.

En relación al clima, la Antártida es uno de los sitios más rigurosos del mundo, con temperaturas medias anuales de -5 °C en Orcadas y -4 °C en Decepción; lógicamente hacia el Polo Sur dichos valores deben descender significativamente. Respecto a las mínimas, la más baja en Orcadas (1928/37) se registró el 16/6/33 con -38,3 °C.

Las precipitaciones se producen casi exclusivamente en forma de nieve, cuya medición se hace complicada por el arrastre de los fuertes vientos, que caracterizan al clima antártico. Debido al intenso frío, a la falta de sol y a la alta humedad del aire, la evaporación es mínima, lo que favorece la acumulación de nieve y la formación de glaciares.

La vegetación es escasísima y sólo aparece sobre rocas batidas por el mar o en islas volcánicas con aguas termales o fumarolas. El tipo dominante es la tundra de musgos y líquenes (Cabrera, 1958).

BIBLIOGRAFÍA

AUGE M. 1997. Hidrogeología Regional Argentina. Provincias Hidrogeológicas. Primer Congreso Nacional de Hidrogeología. Inéd: 1-20. Bahía Blanca.

AUGE M. 1999. Ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. Inéd. Banco Mundial: 1-38. La Plata.

AUGE M. 1999. Ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Mendoza. Inéd. Banco Mundial: 1-39. La Plata.

AUGE M. 1999. Ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Santa Fe. Inéd. Banco Mundial: 1-10. La Plata.

AUGE M. 1999. Hidrogeología de la Cuenca del Río Salado – Provincia de Buenos Aires. Inéd. La Plata.

AUGE M. 2000. Hidrogeología Ambiental. Quinto Curso de Postgrado. UBA. Inéd: 66. Buenos Aires.

BONORINO G. 1988. Geohidrología del sistema hidrotermal profundo de la región de Bahía Blanca. Tesis doctoral - UNS. Inéd: 268.

BORRELLO A. V. 1972. Islas Malvinas. En Geología Regional Argentina: 755-770. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba.

CABRERA A. L. 1958. Fitogeografía. En La Argentina Suma de Geografía. T III: 101-206. Buenos Aires.

CAMINOS R. 1972. Antártida Argentina. En Geología Regional Argentina: 771-796. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba.

CFI 1962. Recursos hidráulicos subterráneos. Serie Evaluación de los Recursos Naturales de la Argentina. Vol 1, T V: 474. Buenos Aires.

CFI 1962. Recursos hidráulicos subterráneos. Serie Evaluación de los Recursos Naturales de la Argentina. Vol 2, T V: 475-843. Buenos Aires.

CHIOZZA E. M. y GONZÁLEZ VAN DOMSELAAR. 1958. Clima. En la Argentina Suma de Geografía T II: 183. Buenos Aires.

DGIM 1949. Diez años de perforaciones 1926-1935. Publ.146. Buenos Aires.

DNGM 1963. Mapa hidrogeológico de la República Argentina. Escala 1:5.000.000. Buenos Aires.

DNGM 1970. Perfiles de perforaciones. Período 1936-194". Buenos Aires.

GONZÁLEZ BONORINO F. 1958. Orografía. En la Argentina Suma de Geografía T III: 100. Buenos Aires.

INCYTH 1991. Mapa hidrogeológico de la República Argentina. Escala 1:2.500.000, con texto explicativo. MOSP - UNESCO. Buenos Aires.

KOZLOVSKY E. A. Ed. 1984. Hydrogeological principles of groundwater protection. UNESCO - UNEP: 164. Moscú.

INGM 1958. Perfiles de perforaciones. Período 1904-1915. Publ.146. Buenos Aires.

RUIZ HUIDOBRO O. J. y M. V. SOSIC 1980. Aguas subterráneas. En Geología Regional Argentina: 1641-1691. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba.

STAPPENBECK R. 1926. Geologie und grundwasserkunde der Pampa: 409. Stuttgart.

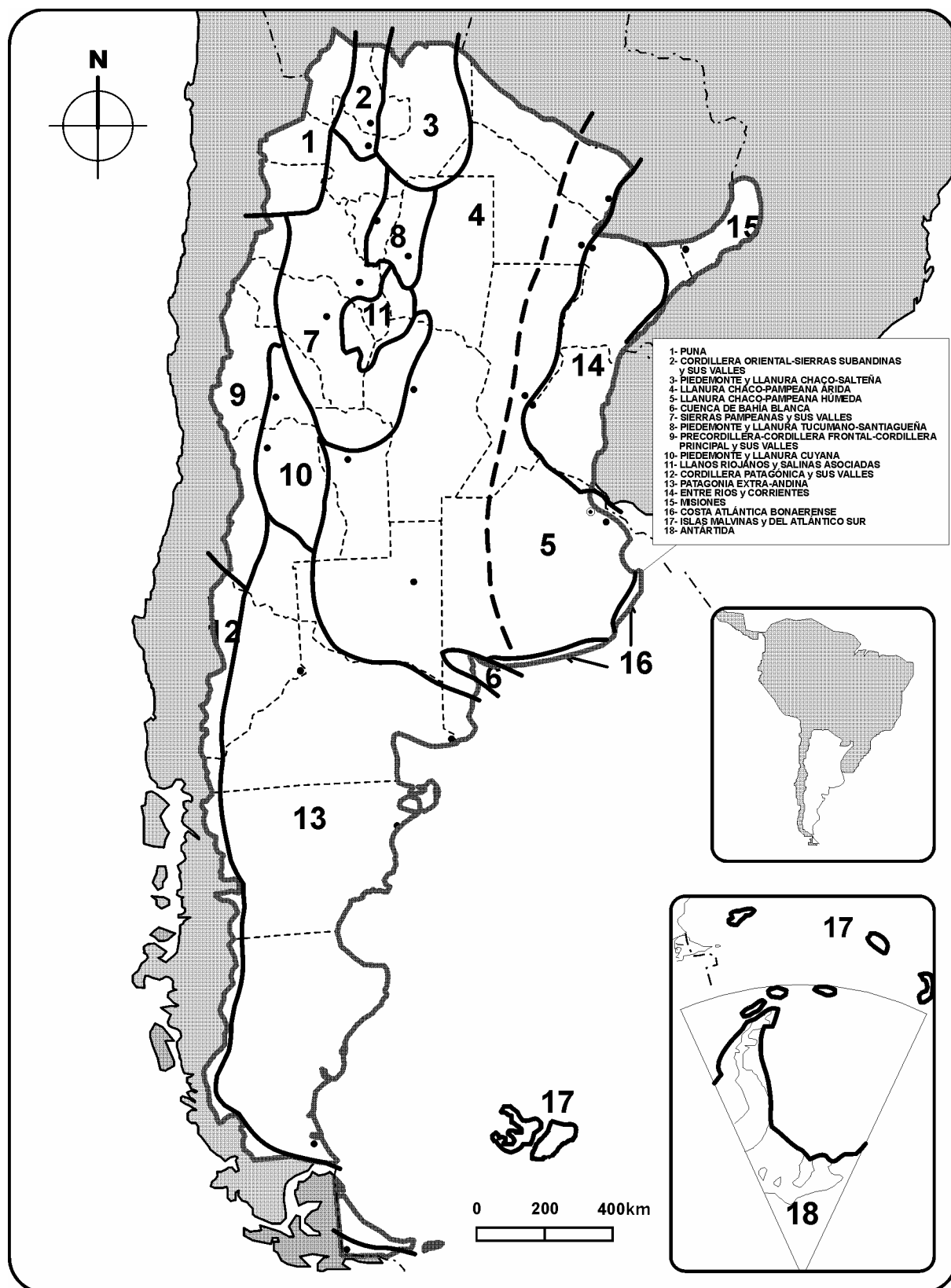
STELZNER A.1885. "Beitrage zur geologie und paleontologie der Argentinischen Republik: 63. Berlín.

TAPIA A. 1941. Mapa hidrogeológico de la República Argentina. Escala 1:5.000.000.

TINEO A. 1988. La cuenca sedimentaria del Río Salí. Provincia de Tucumán. V Congreso Geológico Chileno. T 2: 115-116. Antofagasta.

Figura 1

REGIONES HIDROGEOLÓGICAS



REGIONES HIDROGEOLÓGICAS PROVINCIA DE BUENOS AIRES

INTRODUCCIÓN

La diferenciación de ambientes hidrogeológicos en la Provincia de Buenos Aires, se realizó sobre la base de dos de los factores que mayor incidencia ejercen en el agua subterránea (geología y geomorfología), pues los dos restantes (clima y biota) poseen menor influencia debido a su mayor uniformidad.

En efecto, si bien existe disminución en la precipitación y la temperatura hacia el SO y S respectivamente, en ambos casos el descenso es gradual. Respecto al componente biológico, el vegetal y animal naturales fueron severamente alterados por las prácticas agrícolas, que además constituyen un factor de elevado riesgo frente a la aptitud de los recursos biota, agua y suelo, especialmente por el uso de plaguicidas y la extracción de agua subterránea para riego, cuya práctica ha crecido notablemente en los últimos tiempos.

En el desarrollo del tema se puso énfasis en la identificación y descripción de las unidades geológicas de superficie y de subsuelo y en la incidencia que estas ejercen sobre el comportamiento hidrogeológico, especialmente en los aspectos hidráulicos, hidrodinámicos e hidroquímicos y en el uso del agua subterránea, sintetizándose los mismos mediante cuadros individuales para cada ambiente reconocido, cuya extensión geográfica se indica en la figura 2.

Las descripciones se inician por las unidades más modernas, dado que son las que mantienen un contacto más directo con las fases atmosférica y superficial del ciclo hidrológico.

1. NORESTE (NE)

Comprende la región ubicada en el sector NE de la Provincia de Buenos Aires, con límites: al NO la Provincia de Santa Fe; al NE y SE los ríos Paraná y de la Plata, respectivamente y al SO la divisoria entre las cuencas hidrográficas del Plata y del Salado. Es el ambiente más propicio de la provincia, pues a la abundancia de agua superficial dulce (ríos Paraná y de la Plata), se agregan la calidad y la disponibilidad de agua subterránea, la aptitud de los suelos y el clima, y la favorable condición morfológica, que facilita el drenaje superficial y por ende limita los anegamientos al Delta del Paraná y a las planicies de inundación de ríos importantes como Luján, Reconquista, Matanza, Paraná y de la Plata.

Como se aprecia en la figura 2, existe un notorio predominio del escurrimiento superficial hacia el NE (Cuenca del Plata) en relación al SO (Cuenca del Río Salado).

El clima es bastante uniforme debido a que se trata de una llanura de escasas dimensiones (350 km de largo y 100 de ancho). A partir de los registros climatológicos de la Estación Mercedes, ubicada aproximadamente en el centro de la región considerada, se tiene que: la precipitación media anual oscila en 950 mm, con muy pocas variaciones longitudinales y transversales. Entre diciembre y marzo, se concentra el 40% de la lluvia, mientras que el invierno (junio – agosto) registra sólo el 16%. La temperatura media anual es 16,5 °C, la máxima media se da en enero (24,5 °C) y la mínima en julio (9,2 °C). Considerando los valores de precipitación y temperatura, el clima es templado – húmedo, de acuerdo a la clasificación de Koppen.

La evapotranspiración real media anual es de alrededor del 70% de la lluvia (Auge, 1997) o sea 665 mm, la infiltración se estima en un 20% (190 mm/a) y la

escorrentía en un 10 % (95 mm/a). El exceso de la lluvia frente a la evapotranspiración (285 mm/a), indica que la región es húmeda.

Las condiciones morfológicas, con pendientes bajas (del orden de 10^{-3}) y las características edafológicas y geológicas, favorecen el proceso de infiltración y por ende la recarga.

Postpampeano. Constituye la sección estratigráfica más moderna de la región (Holoceno) y está formado por sedimentos de origen fluvial, marino y lacustre, en los que predomina la granometría fina (limo, arcilla y arena fina).

Los fluviales (Formación Luján), se emplazan en las planicies de inundación de los ríos y arroyos, destacándose por su extensión lateral y espesor, los que ocupan la costa del Río de la Plata y el Delta del Paraná. Los marinos (Formación Querandí), alcanzan hasta cota 10 m, disponiéndose por debajo de los fluviales, con un marcado desarrollo en los sitios mencionados y en las cuencas inferiores de los ríos Luján, Reconquista y Matanza.

La granometría pelítica y el origen marino, hacen que el agua subterránea asociada al Postpampeano sea de elevada salinidad (3 a 10 g/l) y con frecuencia sulfatada, debido a la oxidación de los sulfuros metálicos formados en los ambientes reductores donde se acumuló.

También se caracteriza el Postpampeano por su baja productividad lo que, junto con la elevada salinidad, hacen que el agua prácticamente no sea utilizada.

Una excepción al comportamiento señalado, son los cordones de conchilla que, paralelos y a menos de 5 km de la costa del Río de la Plata, se extienden al SE de la ciudad de La Plata. La elevada permeabilidad de la conchilla, relictos de la regresión del Mar Querandino, favorece la infiltración de la lluvia y de las crecidas del Río de la Plata, constituyendo la única fuente de provisión segura de agua para los pobladores rurales, con salinidades menores a 2 g/l.

Dado que los cordones prácticamente afloran, carecen de protección natural y por ende los acuíferos libres asociados, son muy vulnerables a la contaminación.

Pampeano. El Loess Pampeano (Frenguelli, 1955), está formado por limos arenosos y arcillosos, castaños y pardos de origen eólico, con intercalaciones de tosca, que subyacen a la cubierta superficial edafizada en la mayor parte del ámbito considerado y a los Sedimentos Postpampeanos, donde estos se presentan.

Los Sedimentos Pampeanos contienen al Acuífero Pampeano, que es uno de los más utilizados en la Llanura Chacopampeana para consumo humano, ganadero e industrial y para riego. En la sección superior del Pampeano se emplaza la capa freática, mientras que con el aumento de la profundidad, es frecuente la presencia de capas semiconfinadas normalmente por debajo de los 50 m. El espesor del Pampeano varía entre 120 m en Colón (extremo NO del ámbito estudiado) y 0 m en las cuencas inferiores de los ríos Luján, Reconquista y Matanza y en el Delta, debido a que fue eliminado por erosión fluvial.

La figura 3 es una compilación de los mapas correspondientes al informe DYMAS (1974) y en ella se representa la salinidad del acuífero libre dentro del Pampeano. Se observa que la mayor parte del ambiente considerado posee concentraciones menores de 1 g/l; algunos sectores más reducidos presentan tenores entre 1 y 2 g/l, mientras que los que registran más de 2 g/l, se restringen a la costa del Río de la Plata.

La figura 4 (compilación DYNAS, 1974) es el mapa de curvas isofreáticas y del mismo se desprende el carácter efluente de los ríos y arroyos principales, especialmente en los tramos medios y bajos de sus cuencas, por lo que se constituyen en sitios de descarga del agua subterránea. Este comportamiento resulta trascendente respecto a la trayectoria de un eventual contaminante, que bajo

las condiciones de flujo señaladas, debería hacerlo hacia los cauces. Por ello, de no existir alteración antrópica (explotación), el agua subterránea está protegida de la contaminación proveniente de la superficial.

En este ambiente se emplea al Acuífero Pampeano para consumo doméstico rural, para el ganado y para consumo doméstico periurbano, en aquellos sitios que no cuentan con servicio de agua potable.

En lo referente al riego, en las regiones donde se lo practica en forma complementaria, (centro y NO) suele captarse al Pampeano mediante pozos de hasta 20" de diámetro, sin entubar (debido a la estabilidad del loess), con caudales de hasta 120 m³/h (San Antonio de Areco, Arrecifes, Pergamino). El agua en general es más dura que la del Acuífero Puelche subyacente, pero no genera daños a los cultivos ni al suelo, pues sólo se riega durante cortos períodos en verano. En los últimos 10 años se han instalado numerosos equipos de riego por aspersión, para mejorar los cultivos de maíz, trigo, soja y girasol, en virtud de los precios de dichos cereales en el mercado internacional; sin embargo la caída registrada en los últimos 5, obligó a reducir la superficie cultivada y el riego.

En la región donde se practica agricultura intensiva (hortalizas, flores y frutales) generalmente se lo capta junto con el Puelche, mediante pozos sin encamisar, que penetran pocos metros (menos de 10) en las Arenas Puelches subyacentes. En estas comarcas (San Pedro; Baradero, Escobar, Conurbano de Buenos Aires, La Plata), normalmente se riega de octubre a marzo con extracciones significativas, como sucede en el cinturón verde que rodea a La Plata, donde para regar 20.000 ha de hortalizas y flores, se emplean alrededor de 110 hm³/año de agua exclusivamente subterránea, proveniente en un 30% del Pampeano y en un 70% del Puelche (Auge, 1997).

La explotación se efectúa mediante unos 4.000 pozos, constituyendo esta actividad el mayor consumidor de agua de la región. Le sigue el consumo humano, con unos 100 hm³/a de los cuales aproximadamente la mitad es de origen subterráneo, proveniente del Acuífero Puelche y el resto del Río de la Plata. Donde se emplea únicamente el Acuífero Pampeano es en las zonas suburbana y rural, que no poseen servicio de agua potable, con un insumo de unos 2,6 hm³/a.

En el Conurbano de Buenos Aires se utilizan unos 355 hm³/a de agua subterránea para abastecimiento humano, con una participación de alrededor del 30% del Acuífero Pampeano y unos 120 hm³/a para riego, con un porcentaje similar. La industria emplea 300 hm³/a de agua subterránea proveniente del Puelche. Considerando todos los usos, la distribución en el Conurbano es: 62% de agua subterránea y 38% de agua superficial (Auge, 2000).

El Acuífero Pampeano se recarga por la infiltración de la lluvia y constituye la vía para la transferencia hidráulica hacia el Puelche subyacente.

A partir de balances hídricos edáficos seriados, para un lapso de 84 años consecutivos en La Plata (Auge, 1997), concluye en que la evapotranspiración potencial es prácticamente igual a la real, lo que indica que no hay deficiencia de agua. Considerando el mismo lapso y con un balance global estima que la evapotranspiración es del 71%, la infiltración del 24% y la escorrentía del 5%, todas respecto a la lluvia.

Arenas Puelches. También conocidas como Formación Puelches, subyacen al Pampeano en todo el NE de la Provincia de Buenos Aires, donde ocupan 83.000 km² (Auge, 1986), ingresando por el N en las vecinas de Santa Fe y Entre Ríos. Están formadas por "arenas cuarzosas, francas, sueltas, medianas y finas, de color amarillento a blanquecino, algo micáceas, tornándose arcillosas hacia la Cuenca del Salado y la Bahía Samborombón" (Auge y Hernandez 1984). Contienen al acuífero

más explotado del país pues de él se abastecen gran parte del Conurbano y otras ciudades importantes como La Plata, Zárate, Campana, Baradero, San Nicolás, Arrecifes, Pergamino, Luján, etc.

Las Arenas Puelches se extienden al SO del Río Salado, para engranar lateralmente con arcilitas arenosas y yesíferas del Araucano, que contiene agua con elevada salinidad, siguiendo una línea que pasa entre Junín y Lincoln, 9 de Julio y Bragado, Saladillo y Gral. Alvear, Las Flores y Gral. Alverdi y entre Dolores y Rauch (fig. 5). Dentro de la Provincia de Buenos Aires, las Arenas Puelches tienen un volumen de $2,8 \cdot 10^{-6}$ hm³, de los que alrededor de 560.000 hm³ son de agua recuperable (Auge y Hernandez 1984). En la figura 6 se representa la variación areal en la salinidad del Acuífero Puelche, que presenta tenores menores a 2 g/l en la mayor parte del ambiente considerado, salvo en las cercanías de los ríos Paraná y de la Plata, donde esta supera 2 y aún 20 g/l.

Ya se mencionó al tratar el Pampeano, que el Acuífero Puelche es ampliamente empleado para riego, consumo humano, ganadero e industrial. En la zona flori-hortícola de La Plata se extraen unos 75 hm³ para regar 20.000 hectáreas durante 6 meses al año. Para el abastecimiento de la ciudad se utilizan otros 50 hm³/a, mientras que la industria emplea sólo 1,5 hm³/a. En el Conurbano de Buenos Aires se extraen alrededor de 255 hm³/a para consumo humano, 300 para la industria y 85 hm³/a para riego (Auge 2000).

El Puelche se recarga a partir del Pampeano mediante filtración vertical descendente a través de capas de baja permeabilidad, en los sitios donde este último tiene mayor potencial hidráulico y, se descarga en el Pampeano, donde se invierten los potenciales hidráulicos (Auge, 1986).

La productividad más frecuente del Acuífero Puelche varía entre 30 y 150 m³/h y la profundidad de su techo entre 15 y 120 m en San Pedro y Colón respectivamente, mientras que el espesor oscila entre 10 m (Zárate) y 50 m (San Nicolás – fig. 5).

Las unidades hidrogeológicas que subyacen a las Arenas Puelches (**formaciones Paraná y Olivos**) poseen aguas con elevados tenores salinos, generalmente superiores a 5 g/l, por lo que a la sección superior arcillosa de la Formación Paraná, se la considera el sustrato de aquellas aprovechables para los usos corrientes. La Cuenca Inferior del Río Matanza constituye una excepción al comportamiento hidroquímico general, pues allí una capa productiva contenida en la Formación Paraná tiene unos 3 g/l de salinidad total, frente a los 20 g/l que registra el Puelche.

Basamento hidrogeológico. Se agrupa bajo esta denominación a toda roca carente, desde un punto de vista práctico, de porosidad y permeabilidad intergranulares, por lo que constituye el zócalo impermeable donde se asienta la secuencia hidrogeológica. En La Plata se lo ubicó a 486 m de profundidad, compuesto por rocas gnéisicas similares a las que forman las Sierras de Tandil; en Buenos Aires se emplaza a profundidades algo menores (334 m en el Puente Pueyrredón, 291 en el Jardín Zoológico) y a 247 m en Olivos, mientras que se manifiesta aflorando en la Isla Martín García. Hacia la Cuenca del Salado el basamento se profundiza marcadamente, debido al desplazamiento producido por fallas escalonadas. Por ello en Cañuelas, no fue alcanzado por una perforación de 717 m de profundidad.

El cuadro 3 sintetiza los caracteres, el comportamiento y el uso del agua subterránea descriptos previamente.

2. DEPRIMIDO (DP)

Se incluyen en este ambiente a los sectores deprimidos de la Cuenca del Salado, como la propia del Río Salado, la del Arroyo Vallimanca y lagunas asociadas y la región anegadiza vecina a la Bahía Samborombón (fig. 2). Su característica distintiva es la escasísima pendiente topográfica (10^{-4} a 10^{-5}), que deriva en un notorio impedimento para la evacuación de los derrames superficiales y por ende en un ámbito fácilmente inundable. Los suelos son pesados y arcillosos y el agua subterránea generalmente presenta contenidos salinos elevados.

El clima es similar al descripto para el Ambiente Noreste, tanto en la Cuenca del Salado como en la zona anegadiza vecina a la Bahía Samborombón, por lo que resultan excedentes hídricos semejantes. Sin embargo en el Deprimido estos excedentes están mucho más limitados para infiltrarse, debido a la baja permeabilidad de los sedimentos superficiales, entre los que predominan los finos (limos y arcillas) y además por la escasa profundidad a que se emplaza la superficie freática, que con frecuencia aflora.

En la Cuenca del Vallimanca, la precipitación disminuye hacia el SO desde unos 950 mm en Monte a 700 mm en Carhué. Rigen para este sector del ambiente, las mismas consideraciones respecto a la infiltración que las citadas para el anterior, con el agravante de la disminución de los excedentes e incluso con la manifestación de déficit hídrico en el extremo occidental.

Postpampeano. Es la unidad estratigráfica más moderna que subyace a la cobertura edáfica. Perteneció al Holoceno y está representada por sedimentos de origen eólico, fluvial, lacustre y marino, correspondientes a las formaciones La Plata, Luján y Querandí (Platense, Lujanense y Querandinense) (Ameghino 1886).

Las unidades más interesantes en relación al aprovechamiento directo de agua subterránea, o como medios de transferencia hacia otras más profundas, son los médanos (**Formación Junín**). Se reconocen tres ciclos de formación de médanos (Frenguelli, 1950). Los más modernos, se originaron por el ingreso de arenas desde el Oeste, pertenecientes al anillo medanoso peripampásico y a la acumulación en las cercanías de grandes cubetas de deflación (lagunas importantes). Aunque los médanos vivos son los que tienen mayor permeabilidad y porosidad efectiva, el conjunto, incluyendo los más antiguos, constituye un ámbito de infiltración preferencial o de recarga para el sistema subterráneo. En general, poseen agua con un tenor salino de moderado a bajo, pero en algunos casos, este supera ampliamente la norma de potabilidad (2 g/l), como sucede en la Ea. Los Cerritos, Partido de Gral. Belgrano.

La recarga deriva de la infiltración de la lluvia y, en función de la capacidad de absorción, es más alta en los médanos vivos que en los semifijos y fijos.

El agua contenida en esta unidad suele emplearse para el abastecimiento doméstico y del ganado, mediante equipos de captación de bajo caudal (molinos, bombas manuales, bombeadores y pozos de balde); menos frecuente es el abastecimiento a pequeñas localidades y/o parajes.

Debido a su elevada permeabilidad vertical y cercanía con la superficie, es muy vulnerable y suele contaminarse con facilidad a partir de excretas humanas y del ganado y de los plaguicidas y fertilizantes utilizados en las prácticas agrícolas.

Otras unidades que también poseen singular interés hidrogeológico son los cordones de conchilla remanentes de la regresión del Mar Querandino, incluidos en la **Formación La Plata o Platense**. Sobre ellos, se emplaza la mayor parte del trazado de la ruta 11, entre Punta Indio y Esquina de Crotto.

Los cordones presentan elevada porosidad efectiva y permeabilidad, lo que favorece la infiltración de la lluvia y la acumulación de agua de tenor salino moderado a bajo, constituyendo la fuente principal de provisión rural para consumo

humano y ganadero. La captación normalmente se realiza con molinos a viento ubicados a la vera de la ruta 11, que vierten en recipientes cerrados en los que, el aumento de la presión ejercida por el aire sobre el agua, permite el transporte de la misma por tuberías, hasta los cascos de las estancias, ubicados generalmente a varios kilómetros. Los cordones se extienden a lo largo de centenas de km en el sentido de su eje mayor, pero el ancho rara vez supera 500 m. Las **formaciones Luján y Querandí**, carecen de interés hidrogeológico, pues la primera se restringe a los cauces menores de los valles y el fondo de las lagunas importantes de la región (Río Salado, A° Vallimanca, A° Saladillo; lagunas Chascomús, del Monte, Chis Chis, Lobos, Epecuén, Alsina); posee baja permeabilidad y espesor y por ende escasa productividad, lo que hace que prácticamente no se la utilice como fuente de provisión. Lo mismo sucede con el Querandino, de origen marino, con agua de elevada salinidad, que se emplaza en zonas deprimidas, normalmente por debajo de cota 10 m, en coincidencia con los terrenos anegadizos que circundan la Bahía Samborombón. Presenta muy baja productividad y agua con alta salinidad (mayor de 10 g/l), lo que limita severamente su empleo

Pampeano. Compone en forma ininterrumpida, el sustrato de todo el ambiente considerado. En algunos casos, sólo está cubierto por la franja edáfica, en otros por los Sedimentos Postpampeanos (eólicos, marinos o fluviales). Constituye el típico Loess Pampeano, formado por limos arenosos y arcillosos, castaños de origen eólico, con intercalaciones de tosca.

Hidrogeológicamente, se caracteriza por contener a la capa freática, aunque en profundidad puede presentar niveles semiconfinados, debido a la intercalación de horizontes arcillosos. En lo referente al contenido salino, se aprecia un notorio incremento hacia el ámbito de descarga regional (cauce del Río Salado y llanura inundable de la Bahía Samborombón – fig. 3).

La recarga, también deriva de la lluvia, debido a que en la zona existe exceso en el balance hídrico (precipitación > evapotranspiración) y por ello los ríos y lagunas son efluentes; esto es: no aportan agua al subsuelo sino que actúan como drenes naturales, recibiendo una parte significativa de la descarga del acuífero libre o freático (fig. 4). En los casos donde el Pampeano está cubierto directamente por suelo, la recarga está condicionada por la capacidad de infiltración del mismo. En aquellos sitios donde subyace al Postpampeano, especialmente a las unidades medanosas, recibe el aporte de las mismas, presentando agua con bajos tenores salinos. La escasa pendiente topográfica, que en general no supera 10^{-4} (dm/km) y con frecuencia es del orden de 10^{-5} (cm/km), dificulta notoriamente la escorrentía superficial y concomitantemente favorece la infiltración.

Al Pampeano se lo utiliza ampliamente para el abastecimiento rural y urbano de la mayoría de las localidades ubicadas en el ámbito descripto (Carhué, Bolívar, Bragado, Gral. Belgrano, Lobos, Las Flores, Monte, Junín, Chascomús). El espesor saturado, que en algunos casos supera los 100 (Junín) y su permeabilidad, que normalmente se ubica entre 1 y 10 m/día, hacen que su productividad sea de media a alta, permitiendo la captación mediante bombas centrífugas mecánicas. En forma limitada también se lo utiliza para riego complementario. La calidad del agua contenida en el Pampeano mejora notoriamente cuando está cubierto por médanos que favorecen la infiltración y la transferencia vertical descendente. La presencia de minerales de origen volcánico, da lugar en algunos sitios a tenores altos de flúor y en menor medida de arsénico.

Arenas Puelches. En este ámbito, la secuencia arenosa que subyace al Pampeano, se hace arcillosa y hacia la costa adopta un carácter marino; su comportamiento sigue siendo acuífero, pero la presencia de matriz pelítica, indica

una permeabilidad menor que en el Ambiente Noreste. La salinidad se incrementa, en algunos casos a más de 10 g/l (Gral. Belgrano, Monte). El espesor, en el sector donde las arenas se presentan varía entre 30 m (Lobos) y 80 m (Gral. Belgrano - fig. 5). En la mayor parte del DP correspondiente a la cuenca del Vallimanca y Lagunas Encadenadas del Oeste, las Arenas Puelches faltan debido a que están remplazadas por las pelitas del Araucano.

El Acuífero Puelche es el más utilizado del país, pues de él se abastece gran parte del Conurbano de Buenos Aires y ciudades importantes como La Plata, San Nicolás, Luján, Pergamino, Zárate y Campana, emplazadas en el Ambiente Noreste. En el Deprimido, debido al incremento de la salinidad (fig. 6), es poco empleado para los usos corrientes, sin embargo en algunos sitios presenta agua con bajo tenor en sales, lo que permite su aprovechamiento para abastecimiento humano y para riego complementario (Saladillo, Bragado).

Las unidades hidrogeológicas que subyacen a las Arenas Puelches y que en orden de profundidad creciente coinciden con las **formaciones Paraná y Olivos** del Terciario superior y las correspondientes al Terciario inferior y al Cretácico (**Las Chilcas, Río Salado y Gral. Belgrano**), poseen aguas con elevadas salinidades, normalmente superiores a 5 g/l y en algunos casos (Río Salado y Gral. Belgrano) mayores a 100 g/l, lo que limita el aprovechamiento para los usos corrientes. Esto, junto con la profundidad a que se emplazan (mayor a 100 m – Paraná y a 1.000 m – Las Chilcas y más antiguas), hacen que a la sección superior arcillosa de la Formación Paraná, se la considere como el sustrato de aquellas unidades utilizables para el abastecimiento de agua (Postpampeano, Pampeano y Puelche). Los altos tenores salinos derivan del origen marino dominante y de su aislamiento con la faz atmosférica del ciclo hidrológico, lo que dificulta notoriamente la reposición por infiltración.

Los únicos sitios donde se citan salinidades relativamente bajas (del orden de 2 g/l) son Maipú y Gral. Guido, aunque existen dudas de que el agua captada provenga efectivamente de la Formación Olivos.

Basamento Hidrogeológico. En Huetel (Partido de 25 de Mayo) se alcanzó una roca cuarcítica a 215 m de profundidad, que indica un alto estructural en el subsuelo. En el resto del ambiente, la posición del basamento, sólo pudo detectarse mediante técnicas geofísicas. Hacia los bordes, existen rocas cristalinas precámbricas, aflorantes en las Sierras de Tandil y a 486 m de profundidad en la ciudad de La Plata. Hacia la Cuenca del Salado, el basamento se profundiza debido a fracturas escalonadas de rumbo NO-SE, hasta más de 6 km en el Cabo San Antonio (Zambrano, 1974).

Geológicamente, gran parte del ambiente considerado se ubica dentro de la Cuenca Sedimentaria del Salado, que es un ámbito donde domina un marcado hundimiento. El resto, se corresponde con otra zona subsidente, pero de menor expresión, denominada depresión radial (Frenguelli, 1950). En esta última, las fallas principales tienen rumbo OSO-ENE.

En el cuadro 4 se sintetizan las características y el comportamiento hidrogeológico mencionados.

3. NOROESTE (NO)

Comprende el ámbito limitado por el Río Salado al NE y por las cuencas del Arroyo Vallimanca y las Lagunas Encadenadas al SO; ocupa unos 75.000 km² y se caracteriza por ser una región arreica (sin ríos) salvo los citados. Otra característica distintiva es la presencia de médanos en el 75% de su superficie, que actúan en forma disímil. Como factor positivo constituyen ámbitos de infiltración preferencial de la lluvia y en ellos y en la sección superior de la unidad subyacente (Pampeano), se

forman las lentes de agua dulce que son las únicas fuentes de provisión de agua potable. El aspecto negativo es la disposición de los médanos longitudinales (transversales a la pendiente topográfica regional), que dificulta notoriamente en algunos casos, e impide en otros, el escurrimiento superficial limitado ya por la baja inclinación topográfica.

Postpampeano. También conocido como Sedimentos Postpampeanos, incluye a una serie de unidades geológicas de diferente extensión, origen y características, que se desarrollan a partir del Holoceno.

En la zona estudiada, la unidad que presenta mayor continuidad areal, es el Médano Invasor (Tapia, 1937) o Formación Junín (De Salvo et al, 1969), o Platense eólico (Frenguelli, 1950), formada por arenas finas y limos arenosos de tonalidad castaña y origen eólico. Tiene escasa manifestación vertical, con el mayor espesor registrado hasta el presente en Salliqueló (20 m). Esta unidad es la de mayor interés hidrogeológico, pues a los médanos se asocian las lentes de agua dulce, única fuente de abastecimiento de las ciudades más importantes de la región. También al Postpampeano corresponden los limos-arcillosos del fondo de las depresiones (cubetas de deflación) especialmente de las lagunas permanentes.

Los sedimentos arenosos que forman los médanos, cubren la mayor parte del ambiente NO (55.000 sobre 75.000 km²), por lo que también se lo denomina Pampa Arenosa disponiéndose como médanos longitudinales en el sector Norte (38.000 km²) y como médanos parabólicos (17.000 km²) en el sector Sur (Casas et al, 1987). El espesor disminuye de O a E entre 20 m (Salliqueló-Trenque Lauquen) y 5 m (Bragado-25 de Mayo). Hacia el E, también pierden continuidad, apareciendo los médanos en forma saltuaria.

La unidad medanosa ejerce un notorio control en el comportamiento hidrológico, tanto superficial como subterráneo, de la región. En efecto, la disposición de los médanos longitudinales en el sector Norte, con una orientación NNE-SSO, que resulta transversal a la pendiente topográfica regional (O-E), impide el flujo del agua superficial y da lugar a la formación de extensos anegamientos, durante períodos de intensas precipitaciones, especialmente en las depresiones intermedanas.

Hidrográficamente la región es arreica (sin ríos), pues sólo en sus bordes se emplazan el Río Salado y el Arroyo Vallimanca.

En relación al agua subterránea, la elevada permeabilidad de los médanos favorece la infiltración y por ende la recarga (Auge et al, 1988), lo que deriva en lentes de agua freática de baja salinidad, vinculadas a cuerpos medanosos (Mari Lauquen, Henderson, Moctezuma, 9 de Julio, Salliqueló, Cnel. Granada, Pasteur). Estas lentes de agua dulce, que no sólo se emplazan en los médanos sino también en la sección superior de la Formación subyacente (Pampeano), constituyen la única fuente segura para la provisión de agua potable a la mayoría de las localidades y ciudades del NO de la Provincia de Buenos Aires (Salliqueló, Trenque Lauquen, 9 de Julio, Gral. Villegas, Lincoln, Rivadavia). Otras como Pehuajó y Carlos Casares también se abastecen del agua de las lentes, a través de un acueducto que la transporta desde 9 de Julio. En la figura 3 puede apreciarse la variación en el contenido salino que presenta el acuífero freático emplazado en los médanos y en la sección superior del Pampeano cuando estos faltan.

El notorio incremento en las prácticas de riego para cultivos extensivos (maíz, trigo, girasol, soja) desarrolladas en los últimos 10 años, ha generado un grave conflicto de uso por la competencia con el abastecimiento humano. Esta situación puede tornarse sumamente complicada si no se legisla otorgando prioridad al empleo del agua para consumo humano y estableciendo que la propiedad del

recurso hídrico subterráneo es del Estado y no del dueño de la tierra. Lo antedicho tiene por finalidad preservar la aptitud de un recurso sumamente frágil y por ende fácilmente degradable si se emplean prácticas de explotación que no contemplen el necesario equilibrio entre los ingresos (recarga por infiltración de la lluvia) y los egresos debidos a la extracción.

Pampeano. Subyace al Postpampeano en el sector occidental pero en el oriental, donde éste pierde continuidad, está cubierto directamente por el suelo.

En el presente trabajo, se distinguen dos unidades dentro de los Sedimentos Pampeanos, en virtud de sus diferencias litológicas que influyen en la salinidad del agua subterránea. La más moderna (Pampeano), constituida por limos arenosos con CO_3Ca en forma de tosca y la más antigua (Araucano), formada por areniscas arcillosas y arcillas yesíferas.

El Pampeano, “está formado por limos arenosos finos, algo arcillosos, castaño rojizos, con concreciones calcáreas, también de origen eólico pero en forma de loess. Corresponde al Pleistoceno y subyace al Postpampeano” (Auge et al, 1988).

El Pampeano presenta continuidad en toda el área estudiada, con variaciones de espesor poco significativas. Las mayores potencias se registran en Gral. Pinto (155 m) y Lincoln (165 m). También se observan espesores importantes en Junín (130 m) y Saladillo (110 m). En el Oeste (Villa Sauze) y el Este de la región (Micheo), como así también en el centro (Moctezuma), el espesor disminuye a unos 80 m.

Hidrogeológicamente, el Pampeano actúa como acuífero de media productividad siendo, por su granometría y empaquetamiento, menos permeable que el Postpampeano arenoso. La intercalación de algunos niveles arcillosos (acuitardos) de poco espesor, le otorgan un confinamiento parcial (semiconfinamiento) que se incrementa en profundidad. La salinidad, al igual que el Postpampeano, manifiesta una acentuada zonación lateral y vertical. La primera debida al flujo y a la variación litológica de los sedimentos portadores y la restante, por diferencia en la densidad del agua y por cambios litológicos. Por ello, la sección superior es la que posee menor contenido salino, fundamentalmente cuando está cubierta por médanos, debido a la recarga proveniente de los mismos y en estos casos se lo aprovecha para consumo humano en ciudades como 9 de Julio o Trenque Lauquen, en esta última junto con la unidad superior (Formación Junín).

La composición mineralógica del Pampeano, con algunos horizontes donde abunda el vidrio volcánico, particularmente asociado a sedimentos tobáceos, hace que el agua subterránea pueda presentar altos tenores de flúor y en algunos casos de arsénico (Lincoln, Gral. Villegas, Trenque Lauquen, Salliqueló, 9 de Julio).

Araucano y Arenas Puelches. Son dos unidades geológicas sincrónicas, pero de características sedimentológicas y comportamiento hidrogeológico diferentes.

El Araucano se ubica en el subsuelo de la mayor parte del área estudiada, al Oeste de una línea que pasa entre Junín y Lincoln, Bragado y 9 de Julio, 25 de Mayo y Huetel, Saladillo y Micheo (fig. 7). Las Arenas Puelches o Formación Puelches, se emplazan al Este de dicha línea, cuya orientación es subparalela al cauce del Río Salado.

El Araucano “está integrado por areniscas arcillosas, castaño claras, con cemento calcáreo y abundante yeso, con intercalaciones de arcillas de tonalidades rojizas. De origen lagunar, pertenece al Plioceno” (Auge et al, 1988). Se ubica entre el Pampeano y la Formación Paraná, conformando, tanto su piso como su techo, sendas superficies de discordancias erosivas.

Hidrogeológicamente, se comporta como acuífero de baja productividad, en partes como acuitardo, debido a su granometría predominantemente fina. El

rendimiento varía entre 0,05 y 0,1 m³/h.m. El incremento salino en profundidad, su constitución arcillosa y la presencia de abundante yeso, hacen que el agua contenida en esta unidad tenga elevada salinidad (mayor de 5 g/l) y sea del tipo sulfatada. Esto limita su aprovechamiento a la provisión para el ganado.

El espesor del Araucano aumenta hacia el SO, desde la línea donde engrana con las Arenas Puelches. En Timote, Gral. Villegas y Va. Sauze registra 90 m, en Moctezuma y en Maza 100 m y en Rivera 140 m.

Las Arenas Puelches: “Son arenas cuarzosas francas, sueltas, medianas y finas de color amarillento y blanquecino, algo micáceas, tornándose arcillosas hacia la Cuenca del Salado y la Bahía Samborombón. Lateralmente, engranan con sedimentos limo-arenosos conocidos como Araucano” (Auge et al 1984). Aunque no existe consenso total, la mayoría de los investigadores les asignan una edad Pliopleistocena y un origen fluvial. Su techo limita con el Pampeano y su base con la Formación Paraná, mediante superficies de discordancia erosiva.

Hidrogeológicamente, componen una unidad francamente acuífera de carácter semiconfinado que por: su extensión areal, el fácil acceso mediante perforaciones, los caudales que brinda a los pozos y por la calidad química de sus aguas, es el recurso subterráneo más explotado del país; principalmente para consumo humano en el Conurbano Bonaerense (Región Noreste).

En el sector de la zona estudiada donde se emplazan las Arenas Puelches, el tenor salino del agua subterránea asociada, es bastante más elevado que en la región ubicada al N del Río Salado (fig. 6). En el ambiente NO, son frecuentes valores superiores a 2 g/l y aún a 10 g/l; esto limita su aprovechamiento a sectores reducidos vecinos al cauce del Río Salado (Bragado). Las Arenas Puelches que, como sucede con las unidades descriptas previamente no han sido afectadas por dislocaciones tectónicas apreciables, observan un aumento de espesor hacia el Río Salado, con extremos de 0 m entre Junín y Gral Pinto, 60 m en 25 de Mayo y 55 m en Saladillo (fig. 5).

Ya se mencionó que las unidades subyacentes a la Arenas Puelches (**formaciones Paraná, Olivos, Las Chilcas y Abramo**), las tres primeras del Terciario y Abramo del Cretácico, son portadoras de agua de alta salinidad. Esto, junto con la profundidad a que se ubican, hace que a la sección arcillosa cuspidal de la Formación Paraná, se la considere como el sustrato donde se apoya la secuencia hidrogeológica con agua que puede resultar apta par los usos corrientes.

En el diagrama en paneles (fig. 7), se aprecia la distribución subterránea de las unidades aprovechables y de las más antiguas. En el diagrama se ve la continuidad que caracteriza a la Formación Paraná, con la probable ausencia en las perforaciones de El Parche y Micheo. En Huetel su espesor se reduce a 10 m debido al ascenso del Basamento Paleozoico por fracturación. En el resto de la zona estudiada, registra potencias variables entre 100 m (Larramendy) y 40 m (Pehuajó). El piso de la Formación Olivos está afectado por fracturación, de acuerdo a la posición que observa en las perforaciones Huetel y Guanaco (fig. 7), con espesores extremos de 80 m (Va. Sauze y Huetel) y más de 230 m (Maza).

Si bien la tendencia general de los potenciales hídricos es a disminuir en profundidad, las características litológicas de los componentes del subsuelo, así como sus caracteres y propiedades hidráulicas, señalan un impedimento cierto al flujo vertical descendente del agua superficial o freática, para alcanzar a las unidades profundas (Paraná, Olivos, Las Chicas y más antiguas).

En efecto, la litología que surge de las descripciones de los pozos, no señala presencias importantes de paquetes calcáreos o basálticos, que son las únicas rocas con posibilidades de presentar cavernas y oquedades de gran tamaño,

capaces de transmitir volúmenes significativos de agua a través de secciones pequeñas. En la zona, sólo fueron identificadas rocas calcáreas, pero sin evidencias cavernosas, en Villa Sauze. Respecto al comportamiento hidráulico, las potentes capas arcillosas que forman el Araucano y las secciones superiores de las formaciones Paraná y Olivos, además de disminuir notablemente la permeabilidad en sentido vertical, les otorgan un alto grado de confinamiento a los acuíferos profundos. Esto último, limita apreciablemente la capacidad de admisión de agua en estos acuíferos.

Lo expuesto es un indicio claro de que el exceso de agua acumulada durante las épocas muy lluviosas, que originan grandes anegamientos, no puede disiparse mediante inyección en los acuíferos profundos.

Al Terciario inferior y al Cretácico, pertenecen las formaciones Las Chilcas y Abramo respectivamente. Sólo tres perforaciones atraviesan a la primera registrando los siguientes espesores: Va. Sauze 150 m, Guanaco 160 m y Larramendy 290 m.

En el diagrama en paneles regional (fig. 8) se aprecia la fracturación que afecta tanto al piso como al techo de la Fm Las Chilcas. Esta característica es típica de la geología del subsuelo de la Provincia de Buenos Aires, donde el tectonismo se va disipando gradualmente hacia las unidades más modernas hasta hacerse imperceptible a partir del Terciario superior.

La Formación Abramo sólo fue atravesada por las perforaciones Guanaco y Larramendy, con 130 y 345 m de espesor respectivamente (fig. 7). En ambos casos, se apoya directamente sobre basamento de composición granítica.

Basamento Hidrogeológico. Tomando en consideración su comportamiento hidráulico se incluye bajo esta denominación a las unidades del Paleozoico y Precámbrico.

Básicamente se trata de rocas acuífugas que sólo pueden transmitir agua a través de superficies de debilidad estructural (equistosidad, fracturas, diaclasas) de Discontinuidad estratigráfica (discordancias, estratificación, contactos) y oquedades debidas a disolución.

Componen el basamento hidrogeológico los granitos, probablemente precámbricos, alcanzados en Guanaco a 644 m y en Larramendy a 1.022 m de profundidad, las cuarcitas paleozoicas de Huetel a 214 m y las calizas paleozoicas de Villa Sauze a 497 m de profundidad.

Debido a su antigüedad, es la unidad más afectada por los procesos tectónicos, especialmente por el fallamiento.

Su rasgo más destacable es que constituye la base impermeable del sistema hidrológico subterráneo.

En el cuadro 5 se sintetizan los caracteres y el comportamiento hidrogeológico descriptos.

4. SERRANO (SE)

En este ambiente se incluyen a las unidades orográficas de Tandilia y Ventania (fig. 2), que constituyen los únicos sistemas montañosos de la Provincia de Buenos Aires y ocupan sólo el 5% de su superficie.

Postpampeano y Reciente. Esta unidad se caracteriza por su discontinuidad areal y está integrada por limos arenosos de origen eólico que se adosan a los faldeos serranos de Tandilia y de Ventania. En las depresiones (valles) predominan depósitos aluviales y coluviales, derivados de la acción fluvial y gravitacional respectivamente.

Los sedimentos eólicos, que pertenecen a la Formación Junín (Platense eólico), normalmente no superan 5 m de espesor y suelen presentar niveles

calcáreos (tosca). Los depósitos aluviales y coluviales (limos arenosos, arenas, gravas y bloques), tienen una expresión areal y vertical más reducida.

El conjunto se comporta como pobremente acuífero, contiene a la capa freática y presenta salinidad de moderada a baja (3,5 a 0,5 g/l); su empleo se restringe al ámbito rural.

Pampeano. En algunos lugares serranos (Chillar) sobrepuesto al basamento cristalino, existe una secuencia de sedimentos arcillo-limosos de baja permeabilidad, asignables al Pampeano, pero en este caso para el lapso Pliopleistoceno. Ello pues, la sección inferior o aún toda la secuencia, podría correlacionarse con el Araucano.

Por su granometría predominantemente pelítica, se comporta como acuícludo a acuitado y por lo tanto, es de muy baja productividad. Por ello suele ser captado mediante pozos cavados para consumo domiciliario. La salinidad varía de moderada a alta (2 a 7 g/l).

El Pampeano típico (limos-arenosos calcáreos y loess) ocupa las depresiones interserranas, conformando el sustrato de los Sedimentos Postpampeanos. El espesor del Pampeano en el Ambiente Serrano varía entre 0 y 30 m, se comporta como acuífero de moderado rendimiento, contiene a la capa freática y normalmente agua con menor salinidad que la del Postpampeano (0,5 - 2,5 g/l), aunque suele presentar tenores en flúor relativamente altos (Puán, Tornquist, Olavarría, María Ignacia, Barker). Se lo utiliza para la provisión de algunas localidades de pocos habitantes y en la zona rural, para el abastecimiento doméstico y ganadero.

Basamento Hidrogeológico. Ya se mencionaron las características hidrogeológicas de las rocas que se incluyen en esta unidad, pero un caso particular, es el comportamiento que le cabe a la cobertura meteorizada (weathering) que suele tener un desarrollo importante en rocas de tipo granítico. En este caso, la alteración de los minerales feldespáticos puede originar una porosidad similar a la intergranular o primaria. Por lo tanto en la cobertura meteorizada, el almacenamiento y el flujo pueden ser los que caracterizan a un medio continuo (porosidad y permeabilidad, primarias), a uno discontinuo (porosidad y permeabilidad secundarias), o a ambos. Ello, dependerá de la importancia relativa de la alteración frente a la fracturación de la roca.

Los caracteres hidrogeológicos de los dos cordones serranos son muy similares. En el de Tandil, predominan cuarcitas, lutitas, arcilitas, dolomitas y areniscas, dentro de las rocas sedimentarias de edad paleozoica y esquistos, gneises, mármoles y milonitas, dentro de las metamórficas de edad precámbrica (basamento cristalino). Este basamento domina, como constituyente del cuerpo de las sierras, en el sector central de las mismas (Tandil).

En el cordón de Ventana, sólo existen afloramientos de mínima expresión areal de rocas del basamento cristalino, predominando en forma excluyente: cuarcitas del Paleozoico inferior y conglomerados, pizarras, lutitas y areniscas del Paleozoico superior. La fuerte deformación tectónica que afecta a las rocas de estas sierras y que se manifiesta en pliegues de diferente orden y magnitud, dio origen a un intenso diaclasamiento subvertical, que permite la infiltración aún en cuarcitas, de permeabilidad y porosidad primarias prácticamente nulas.

El diaclasamiento, también es evidente en las sedimentitas y metamorfitas de las Sierras de Tandil, pero en este caso en una proporción bastante menor.

Los sistemas de diaclasas y la esquistosidad, facilitan el flujo en un sentido dominante subvertical, mientras que las superficies de estratificación, lo hacen en uno subhorizontal. Sin embargo, debido al comportamiento marcadamente anisótropo y heterogéneo del basamento, las zonas preferenciales de flujo, poseen

mayor importancia a nivel regional (como fuentes de recarga de unidades más modernas) que a nivel local (fuentes de agua a los pozos).

La productividad, varía de nula a muy baja y la salinidad del agua contenida en rocas del basamento, es en general baja (menor de 1 g/l). En algunos casos, sin embargo, la salinidad crece a moderada o alta (2 a 5 g/l), como sucede en Chillar.

Las zonas de flujo preferencial, tienden a desaparecer en profundidad por el cerramiento de las superficies de debilidad, derivado de la elevada carga litostática. Es a partir de allí, que el basamento se transforma en base impermeable del sistema hidrológico subterráneo, conformando el verdadero basamento hidrogeológico.

En el aspecto estructural, las fallas que afectan al sistema de Tandilia no llegan al Pleistoceno. En Ventania, donde domina notoriamente el plegamiento, éste es anterior al Mioceno. Como ya fuera expresado, la tectónica es la principal responsable de la fisuración que, en forma de diaclasas, permite el flujo vertical.

Resulta sumamente complicado ubicar zonas aptas para la captación de agua subterránea en el Ambiente Serrano. En general la limitación está referida a la productividad que en este ámbito depende de dos factores (concentración del flujo y permeabilidad adecuada). El flujo se concentra en las depresiones (valles, cañadas y lagunas) pero es en estos sitios, especialmente en los dos primeros, donde la roca aflora o se emplaza a poca profundidad. Por ello normalmente el éxito se basa en ubicar roca meteorizada o cubierta por sedimentos con más de 10 m de espesor. La baja productividad limita el empleo de agua subterránea al abrevamiento de ganado y al abastecimiento doméstico rural. Algunas ciudades pequeñas sin embargo, se abastecen parcialmente con perforaciones de escaso caudal (Villa Ventana) y otras (Chillar) han requerido la construcción de acueductos, por ubicarse las fuentes aptas fuera del ejido urbano.

En el cuadro 6, se esquematizan las características estratigráficas y el comportamiento hidrogeológico descriptos previamente.

5. INTERSERRANO y PEDEMONTANO (IP)

Se incluye en este ambiente al sector que, en forma de silla topográfica, se extiende entre los sistemas serranos de Tandilia y de Ventania, a los piedemontes de ambos y a las bajadas desde las sierras e intersierras, hacia el Ambiente Deprimido en dirección NE y NO y hacia la costa atlántica en dirección SE y SO (fig. 2).

Postpampeano. Está representado por depósitos discontinuos de origen aluvial, eólico y lagunar, de edad Holocena.

Los primeros se corresponden con la Formación Luján y están constituidos por limos arenosos grises y castaños, visibles en las barrancas que limitan los cauces menores de los arroyos que bajan por los faldeos NE y SO de ambas sierras. Hacia las cabeceras son frecuentes las intercalaciones de niveles arenosos y conglomerádicos.

Los depósitos eólicos se manifiestan como relictos pequeños, dispuestos en forma saltuaria, generalmente en sitios protegidos del viento. Presentan una constitución litológica similar a la del Pampeano, del que se distinguen fundamentalmente por su menor agregación. Son limos arenosos castaños, en partes blanquecinos por la presencia de CO_3Ca pulverulento. En la cuenca del A° del Azul (Tandilia), los mayores espesores registrados "rondan 2 m, en ámbitos de piedemonte, para acuñarse hacia el sector serrano y la llanura circundante, donde es reemplazado por los horizontes edáficos" (Auge y Strelczenia 1990).

Los depósitos lagunares son predominantemente pelíticos y se ubican en el fondo de numerosos cuerpos ácuos hacia los que fueron transportados por vía fluvial y eólica. La mayoría de las lagunas existentes en el ámbito interserrano deben su origen a la acción eólica que, mediante el proceso de deflación, en períodos áridos (glaciales), formó cubetas subcirculares poco profundas, que fueron ocupadas por el agua en épocas posteriores más húmedas.

La discontinuidad de los Sedimentos Postpampeanos, el reducido espesor (normalmente menor de 5 m) y su posición superficial los hacen intrascendentes como reservorios para el agua subterránea. Sin embargo, constituyen el primer horizonte geológico por debajo del edáfico que atraviesa el agua al infiltrarse, por lo que su presencia incide en la composición química del agua subterránea. Los extremos de salinidad reconocidos son 0,5 y 5 g/l.

Pampeano. Constituye la unidad de mayor interés hidrogeológico del ámbito considerado, pues contiene al acuífero más productivo y de buena calidad, por lo que es el más utilizado tanto en las zonas rurales como en las ciudades.

Los Sedimentos Pampeanos son de tipo loessoide (limo-arenoso), abarcan el lapso Pliopleistoceno, tienen tonalidades castañas y son de origen eólico y fluvial. La ejecución de pozos y perforaciones, es sumamente dificultosa, debido a la existencia en el techo de la unidad de potentes y tenaces bancos de tosca (hasta 5 m).

La sección superior del Pampeano contiene a la capa freática, mientras que en los niveles inferiores aumenta el grado de confinamiento, hasta generar acuíferos semiconfinados cuando el espesor supera 40 o 50 m.

En la región interserrana, en Laprida, se registró un espesor de 170 m de Sedimentos Pampeanos sobrepuestos al Paleozoico, mientras que en el piedemonte de Tandilia, en la ciudad de Azul, el espesor del Pampeano oscila en 150 m pero aquí sobrepuesto al Precámbrico.

En este ámbito, los Sedimentos Pampeanos se apoyan directamente sobre el basamento hidrogeológico formado por rocas paleozoicas o proterozoicas, sin que se intercalen unidades terciarias (Fm Paraná o Fm Olivos) lo que indica que los sectores serranos e interserranos se mantuvieron sobreelevados durante la sedimentación del Terciario medio y superior.

La productividad del Pampeano resulta significativamente alta en algunas regiones como Balcarce y alrededores, donde se lo emplea para el riego de papa, mientras que prácticamente la totalidad de la provisión de agua para consumo humano se obtiene de esta unidad, tanto en el ámbito rural como en las ciudades (Azul, Olavarría, Laprida, Gral. Lamadrid, Cnel. Suárez, Juárez, Tres Arroyos, etc).

La salinidad del Pampeano oscila entre 0,5 y 2 g/l (fig. 3) y, como sucede en la mayoría de los centros urbanos, el agua subterránea presenta elevados tenores en NO_3^- (Azul, Olavarría). En otros casos la contaminación puede ser natural por altas concentraciones de flúor (Cnel. Dorrego, Cnel. Pringles, Tres Arroyos, Juárez, Gral. Lamadrid, Cnel. Suárez).

Basamento Hidrogeológico. Esta constituido por rocas que presentan las mismas características litológicas que las que forman los cuerpos serranos (granitoides, cuarcitas, calizas, dolomitas y arcillitas)

Conforma un medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo con agua en fisuras y productividad de nula a muy baja. Compone el zócalo impermeable sobre el que se asientan las unidades hidrogeológicas con porosidad primaria.

En Azul (Piedemonte de Tandilia) se lo ubicó a 150 m de profundidad conformado por roca granítica y en Laprida (Ambiente Interserrano) a 170 m compuesto por areniscas arcillosas paleozoicas.

En el cuadro 7 se sintetizan los caracteres descriptos.

6. COSTERO (CO)

Comprende el ámbito de la Costa Atlántica Bonaerense que, casi sin solución de continuidad, se extiende desde Punta Rasa (Cabo San Antonio) hasta Punta Alta (vecina a Bahía Blanca), a lo largo de 640 km. En el mismo se emplaza una faja de dunas que poseen gran importancia hidrogeológica, pues constituyen la única fuente de abastecimiento de agua potable con que cuentan la mayoría de las ciudades balnearias (San Clemente del Tuyú, Santa Teresita, San Bernardo, Mar de Ajó, Pinamar, Villa Gesell, Claromecó, Monte Hermoso).

Las dunas son el relicto arenoso generado por la acción del mar sobre los Sedimentos Pampeanos y sometidas posteriormente a la acción del viento. Tienen una altura máxima de alrededor de 15 m snm en Punta Médanos, pero más común es que oscilen entre 5 y 10 m. El ancho más frecuente de los cordones es de unos 3 km y rara vez superan los 5 km desde la costa.

Las dunas y unidades arenosas asociadas, poseen elevada permeabilidad y porosidad efectiva, debido a la arena suelta y bien seleccionada que las componen; esto les otorga gran capacidad de absorción frente a la lluvia, aún en aquellos sitios donde han sido fijadas con vegetación artificial (San Bernardo, Pinamar, Villa Gesell, Monte Hermoso).

Existe un solo sector donde se interrumpe el cordón medanoso y es entre Santa Clara del Mar y Chapadmalal (40 km), debido a la existencia de altas barrancas formadas en los Sedimentos Pampeanos y al ingreso del extremo SE de la Sierra de Tandil en el mar, en la ciudad de Mar del Plata.

La elevada permeabilidad vertical que presentan las dunas y que constituye un factor altamente favorable para la recarga, actúa en sentido inverso respecto a la vulnerabilidad del agua subterránea. En efecto, la cobertura arenosa tiene muy baja capacidad de retención respecto a la mayoría de los contaminantes que pueden ingresar con la lluvia, o con las aguas servidas (pozos ciegos, vertidos domésticos, industriales y/o agropecuarios). La rapidez con que el agua atraviesa la zona subsaturada y el escaso o nulo contenido en materia orgánica de la misma, son las variables de mayor trascendencia que limitan la capacidad de fijación y degradación de los contaminantes en la zona subsaturada de las dunas. A modo de ejemplo puede citarse que la mayoría de las bacterias asociadas a la materia fecal humana, mueren antes de los 100 días de abandonar dicho hábitat. Por lo tanto si el recorrido por la zona subsaturada insume más de 100 días, prácticamente no existen posibilidades de contaminación bacteriológica del agua subterránea, pero si el tiempo es menor el riesgo aumenta.

En el Ambiente Costero, la permeabilidad vertical (K_v) puede estimarse en por lo menos 1 m/día, pese a que la K_v depende, además de las propiedades físicas del medio, del grado de saturación existente en la zona de aireación y esta puede variar significativamente en función del régimen pluviométrico y de evaporación. De cualquier manera, asumiendo una porosidad efectiva (P_e) de 0,2 y una profundidad del nivel freático (L) de 10 m, el tiempo de tránsito (t) desde la superficie del suelo es:

$$t = L / K_v \cdot P_e = 10 \text{ m} / 1 \text{ m/d} / 0,2 = 50 \text{ días}$$

Por lo tanto la llegada del agua con sus contaminantes, eventualmente bacterias, se produce en términos de pocos días pero no de meses. La polución bacteriana y con nitratos es uno de los problemas más graves con que se enfrenta la provisión de agua potable a los centros urbanos de la Costa Bonaerense, debido

a que muchas localidades carecen total o parcialmente de desagües cloacales y por ende sus habitantes deben recurrir a pozos ciegos.

Otro factor que puede romper el equilibrio hidrodinámico y favorecer la salinización por intrusión de agua de origen marino, es la excesiva explotación a que está sometido el acuífero durante el verano, en aquellos balnearios donde vacacionan gran cantidad de turistas. Al Norte de Mar del Plata, se estima en 2 millones la población veraniega de las ciudades balnearias citadas previamente, lo que implica una extracción de unos 35 hm³ en los 90 días de asistencia intensiva entre diciembre y marzo. Felizmente la población estable durante el invierno, no supera los 100.000 habitantes, con la consiguiente disminución en el requerimiento de agua, lo que permite la reposición de la reserva y el mantenimiento hasta el presente del delicado equilibrio entre los ingresos naturales (recarga) y los egresos artificiales (explotación).

En el cuadro 8 se sintetizan los caracteres y comportamientos descriptos.

7. NORPATAGÓNICO (NP)

Es el ambiente que, se ubica al Sur de la depresión Chasicó - Bahía Blanca, originada por un fuerte tectonismo que afectó hasta las unidades del Terciario Superior (formaciones Ombucta y Barranca Final) con fallas escalonadas de hasta 1.000 m de rechazo.

Se caracteriza por la presencia del clásico relieve mesetiforme de la Patagonia, que se manifiesta al Sur del Río Colorado por: la existencia de depresiones cerradas ocupadas por lagunas, salinas y salitrales (Chasicó, El Salitral, Salitral de la Vidriera, Salitral de la Gotera, Salitral Grande, Salitral del Algarrobo, Salina de Piedra, Salina del Inglés); los relieves elaborados por los ríos Colorado y Negro; la presencia de cadenas medanosas O-E y por la existencia de fuertes barrancas en la costa atlántica.

Al N limita con el Ambiente Interserrano y Pedemontano, al O con las provincias de La Pampa y Río Negro, al S con esta última y al E con la costa atlántica (fig. 2).

En lo referente al clima, la lluvia es escasa, disminuyendo de N a S desde 545 mm/año en Chasicó, a 340 mm/a en Carmen de Patagones, mientras que la temperatura media anual también desciende hacia el Sur (15 °C en Bahía Blanca, 14 °C en Carmen de Patagones). La relación entre precipitación (P) y evapotranspiración potencial (Evtp), indica déficit en el balance hídrico edáfico, considerando un paso anual. Así para valores medios, la Evtp ronda los 770 mm/a en Bahía Blanca frente a una P de 538 mm/a, mientras que en Carmen de Patagones la relación es: $Evtp = 756 \text{ mm/a}$ $P = 340 \text{ mm/a}$ bajo estas condiciones el clima es árido a semiárido, con escasas posibilidades para la recarga.

Postpampeano. Está formado por unidades con características hidrogeológicas muy diferentes entre sí.

Arenas finas que componen los médanos fijos, semifijos y desnudos (Médano Invasor), conforman un medio geológico favorable para la infiltración y la recarga subterránea, dando lugar a la formación de lentes de agua dulce de escaso volumen, que son aprovechadas por los pobladores rurales y el ganado.

Arenas medianas, gravas y limos, que constituyen las terrazas aluviales del Río Colorado. En este ambiente el agua subterránea es de baja salinidad y el acuífero libre posee buena productividad; sin embargo es poco utilizado pues el abasto para riego se realiza con agua superficial.

Rodados cementados o Rodados Patogénicos, se disponen en forma de manto, en las partes altas del relieve, con potencias de 2 a 5 m y cementados por carbonato de calcio, lo que les otorga escasa capacidad de infiltración.

Limos, arcillas y depósitos salinos, que se emplazan en los sitios bajos o deprimidos en coincidencia con las lagunas, salinas y salitrales mencionados previamente, cuyo origen se debe a la concentración de salina por evaporación de las aguas superficiales y subterráneas que descargan en dichas depresiones.

En la costa también se presentan sedimentos pelíticos pero de origen marino (Ingresión Querandina), especialmente en la Bahía San Blas.

El agua subterránea asociada con los depósitos pelíticos y salinos posee elevadas salinidad.

Pampeano. esta restringido al extremo N de la región y por ende posee poca significación hidrogeológica.

Arenas Ríonegenses, ocupan el subsuelo de gran parte del ambiente considerado, al S del bajo del Chasicó, subyaciendo a los Rodados Patogénicos, a los médanos y a las pelitas del Postpampeano. Cuando están cubiertas por médanos, que actúan como vías de recarga preferencial, pueden almacenar agua de baja salinidad (menor de 1 g/l). De cualquier manera, los rendimientos son bajos y por ende no aptos para el riego.

En la figura 3 se indican las variaciones de salinidad de la capa freática, apreciándose dos fajas subparalelas con tenores menores de 1 g/l. Una coincide con la cadena medanosa que, con rumbo O - E, se desarrolla desde la cercanía del límite con La Pampa hasta la vecindad de la costa atlántica, pasando por Mayor Buratovich. La otra se sitúa en la vecindad del Río Colorado y deriva de su infiltración en los depósitos que componen las terrazas aluviales.

Las salinidades mas elevadas (mayores de 2 g/l), coinciden con los ámbitos deprimidos donde se emplazan las salinas y los salitrales.

La figura 4 reproduce, mediante líneas de igual potencial hidráulico, la red de flujo del acuífero libre. En ella se visualiza la coincidencia de las depresiones cerradas con los ámbitos de descarga subterránea (lagunas Chasicó y El Salitral, Salina Chica) con cotas hidráulicas menores de - 20 m. Las zonas de recarga, que coinciden con las menores salinidades, se ubican en las márgenes del Río Colorado y el Oeste de Mayor Buratovich.

Por debajo de la Formación Río Negro o Arenas Ríonegenses, se dispone una secuencia continental (Formación Chasicó) y otra marina (Formación Barranca Final), correlacionable con la Formación Paraná del resto de la provincia, integrada por arcillas con intercalaciones de arenas y abundante yeso y anhidrita. Las acuíferas contenidas en ambas formaciones son de tipo semiconfinado y con elevados tenores salinos, lo que limita severamente su utilización.

La Formación Ombucta del Terciario inferior a medio, es portadora de un acuífero termal con fuerte surgencia, baja salinidad y elevados caudales en la Cuenca de Bahía Blanca. Su existencia fue comprobada en el sector Norte del ambiente considerado mediante las perforaciones Chasicó, Argerich, Médanos, Algarrobo y Ombucta con profundidades entre 500 y 800 m y caudales en surgencia entre 100 y 600 m³/h. El acuífero mencionado, denominado "Sistema Hidrotermal Profundo de Bahía Blanca" (Bonorino, 1988), se corresponde con la Cuenca Hidrogeológica de Bahía Blanca, la que se superpone con el Ambiente Norpatagónico en su sector Norte, debido a que a este se lo identificó a partir de sus caracteres superficiales (clima, geomorfología, geología) mientras que la Cuenca de Bahía Blanca se desarrolla en el subsuelo.

Hacia el Sur (Pedro Luro, Villalonga), la secuencia continental de Ombucta es reemplazada por otra marina (Formación Elvira) por lo que el agua asociada adquiere elevada salinidad.

En el cuadro 9 se sintetizan los conceptos vertidos para este ambiente.

8. CUENCA DE BAHÍA BLANCA (BB)

Si bien la Cuenca Hidrogeológica de Bahía Blanca se ubica dentro del ámbito de la Llanura Chacopampeana árida, sus particularidades piezométricas, termométricas y de productividad, hacen conveniente que se la considere como una unidad independiente.

Bonorino, lo denomina Sistema Hidrotermal Profundo de Bahía Blanca y le asigna una extensión comprobada de 3.000 km². “El acuífero está intercalado en una serie normal que constituye la cobertura, de edad cretácica-cenozoica, de un basamento fracturado en bloques que forman fosas y pilares tectónicos” (Bonorino, 1988).

El descubrimiento del acuífero termal profundo se realizó en el pozo Argerich 1, construido en 1912 por la ex Dirección General de Minas y Geología, que alcanzó 711 m de profundidad y alumbró 3 capas; la más profunda a partir de 710 m, con 70 m de surgencia, un caudal espontáneo de 348 m³/h y una salinidad total de 1 g/l.

Desde ese momento hasta el presente es mucho lo que se ha hecho en favor y en contra de este importante reservorio de agua subterránea, cuyas peculiaridades más significativas son: los espectaculares caudales y alturas de surgencia, con máximos de 1.000 m³/h y 200 m respectivamente; las temperaturas del agua (50 a 75 °C), en general bastante mayores que las correspondientes al gradiente geotérmico normal; la baja salinidad, fundamentalmente en virtud de que subyace a unidades hidrogeológicas con tenores salinos entre 8 y 100 g/l.

La recarga del acuífero termal profundo proviene de la infiltración en el ambiente serrano (vertiente SO de Sierra de la Ventana) y la circulación se realizaría por vías preferenciales (paleocauces o superficies de fallamiento).

El termalismo se debería al adelgazamiento de la corteza producto del rifting que causó la apertura del Atlántico.

Actualmente no se utiliza agua subterránea para el abastecimiento a la ciudad, que era la única fuente en el pasado, debido a que se construyó un embalse en Sierra de la Ventana. Los pozos están abandonados y muchos de ellos en surgencia por sus bocas o espacios anulares, vuelcan caudales significativos, lo que genera un daño importante en la reserva del acuífero. El uso se restringe a algunas industrias y a la Base General Belgrano, pero el volumen aprovechado es insignificante respecto a su potencialidad.

En el cuadro 10 se sintetizan los conceptos vertidos para este ambiente.

TECTÓNICA

La Provincia de Buenos Aires, así como el resto de la gran Llanura Chacopampeana, está directamente vinculada a la evolución de regiones subsidentes o de hundimiento de la sección superior de la corteza terrestre.

En efecto los ámbitos de hundimiento geológico, conocidos como cuencas sedimentarias, derivan de movimientos epirogénicos que contrastan con los orogénicos o formadores de montañas.

Debido a la baja energía morfogenética que deriva del escaso relieve generado por los movimientos epirogénicos, las llanuras se caracterizan por (Auge et al, 1984):

“Monotonía geológica superficial, debido a la escasez de afloramientos”.

“Escasa deformación tectónica, situación que se acentúa en las entidades más modernas y se traduce en una posición estratigráfica dominante de tipo subhorizontal”.

“Predominancia de sedimentos finos y medianos sobre gruesos”. Los limos y las arcillas predominan sobre las arenas y estas sobre las gravas y rodados.

“Continuidad y extensión areal considerable de las entidades geológicas”.

POLÍTICA Y ESTRATEGIA PARA EL MANEJO

Se recomiendan aquellas acciones que, en el entendimiento del suscrito, son necesarias para lograr un adecuado manejo del agua subterránea en la provincia.

Resulta imprescindible crear una base de datos hidrogeológicos con la información disponible, que lamentablemente se encuentra dispersa en diferentes reparticiones públicas como: Obras Sanitarias de la Provincia, Dirección Provincial de Hidráulica, INA (Instituto Nacional del Agua), Secretaría de Industria y Minería, cátedras de Hidrogeología de la UBA (Universidad de Buenos Aires) y de la UNLP (Universidad Nacional de La Plata), CFI (Consejo Federal de Inversiones), SPAR (Servicio Provincial de Agua Potable), etc.

Para concretar esta acción se hace necesario revisar, seleccionar y centralizar la información hidrogeológica, tarea que deben desarrollar y supervisar especialistas en agua subterránea (hidrogeólogos), con la colaboración de técnicos o estudiantes avanzados de geología.

Esta acción fue iniciada en 1985 por la ex Dirección Provincial de Geología, Minería y Aguas Subterráneas, hoy disuelta, que tenía por misión efectuar los estudios hidrogeológicos necesarios para lograr un manejo adecuado del recurso hídrico subterráneo y elaborar el mapa hidrogeológico provincial.

La tarea sugerida resultará ardua y demandará al menos 3 años para lograr una base de datos sólida, que lógicamente deberá actualizarse en forma permanente.

La información más importante, cuya incorporación a la base de datos se considera imprescindible se refiere a:

- datos climáticos (lluvia, temperatura, radiación, humedad, dirección y velocidad del viento, heliofanía, etc).

- balances hídricos a nivel edifico y general.

- geología superficial y subterránea.

- geomorfología (origen, distribución y características de las geoformas).

- hidrología superficial (caudales de ríos y arroyos y niveles de lagos y lagunas).

- perfiles de pozos (características y ubicación hidrodinámica e hidroquímica subterráneas.

- distribución y características hidráulicas de los acuíferos.

volúmenes extraídos para diferentes usos (humanos, riego, industrial, ganadero)

- estado del agua subterránea frente a la contaminación (urbana, industrial agropecuaria).

- legislación, regulación y reglamentación vigentes, respecto a la propiedad, el uso, el manejo y la disposición de los efluentes de origen subterráneo y superficial.

- identificación de regiones con problemas para el abastecimiento de agua potable por:

elevada salinidad; contaminación natural (F y/o As), artificial (NO₃-), escasa disponibilidad o baja productividad, etc.

Es necesario realizar estudios para establecer el estado del agua subterránea en zonas densamente pobladas como el Conurbano de Buenos Aires. En esta región donde se emplaza alrededor del 25% de la población del país, muchos de sus habitantes emplean pozos domiciliarios para abastecerse de agua, dado que carecen del servicio de agua potable y de cloacas. Si bien no se han efectuado investigaciones hidrogeológicas sobre todo el Conurbano, respecto a la calidad del agua captada en forma domiciliaria, es altamente probable que la misma presente un elevado grado de contaminación bacteriológica y con NO_3^- .

También debe propenderse a la ejecución de estudios hidrogeológicos en zonas con escasa disponibilidad de agua como las regiones Deprimida; Noroeste y Norpatagónica, a fin de detectar nuevas fuentes y de lograr un manejo destinado a preservar la calidad y la reserva de agua subterránea. Un claro ejemplo en este sentido son las lentes de agua dulce del NO, que han comenzado a explotarse para riego con el consiguiente conflicto que crea este uso, respecto al abastecimiento humano, dado que constituyen la única fuente segura de agua potable.

Resulta evidente que es necesario crear un organismo dentro de la estructura provincial, que se aboque a realizar los trabajos mencionados previamente, pues la Dirección de Obras Sanitarias, hoy ABSA, atiende la extracción y la distribución de agua potable.

También se considera necesario habilitar un registro de perforadores de pozos para agua, con el objeto de: identificar a las empresas y a los individuos que se dedican a ello; impartir enseñanza respecto a la forma mas conveniente de construir perforaciones para distintas finalidades y en distintos ambientes hidrogeológicos, destinadas a preservar la aptitud del agua subterránea; requerir la presentación de un plano preliminar del pozo a ejecutar, a fin de lograr la autorización para su construcción.

Establecer redes para el monitoreo hidrogeológico, consistente en la medición de niveles para verificar los cambios en el volumen almacenado y el análisis de muestras de agua para verificar la evolución en la aptitud de la misma.

Delimitar áreas de protección en las regiones explotadas o por explotar, a fin de preservar la calidad y disponibilidad del agua subterránea.

BIBLIOGRAFÍA

AMEGHINO F. 1886. Las secas y las inundaciones de la Provincia de Buenos Aires". F. Lajouane: 1-102.

AUGE M. P. y M. A. HERNÁNDEZ 1984. Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense. Coloquio Intern. Hidrol. de Grandes Llanuras. UNESCO. Actas: Vol. III: 1019-1043. Buenos Aires - París.

AUGE M. P. 1986. Hydrodynamic behavior of the Puelche Aquifer in Matanza River Basin. Ground Water # 24 (5): 636-642 Dublin, Ohio.

AUGE M. P. R. MÉNDEZ ESCOBAR y M. I. NAGY 1988. Hidrogeología del Partido de Salliqueló, Provincia de Buenos Aires, República Argentina". Rev. Asoc. Bras. Aguas Subterráneas (ABAS). Vol. 12: 75-90. Sao Paulo.

AUGE M. P. y V. B. STRELCZENIA 1990. Características hidrogeológicas de Azul, Provincia de Buenos Aires, República Argentina". VI Congr. Bras. de Aguas Subterráneas. Anales: 72-81. Porto Alegre.

AUGE M. P. 1997. Investigación hidrogeológica de La Plata y alrededores. Tesis doctoral. FCEN. UBA. 2T: 1-171, 58 mapas, 36 tablas, 86 figuras. Inéd. Buenos Aires.

AUGE M. P. 2004. Hidrogeología Ambiental. Sexto Curso de Postgrado. UBA. Inéd: 1-278. Buenos Aires.

CASAS A. 1987. El agua y el suelo en el Noroeste Bonaerense. MAA: 1-31. La Plata. M. Auge redactó los capítulos Clima, Geología y Aguas.

De SALVO O. J. H. CECI y A. DILLON 1969. Características geológicas de los depósitos eólicos del Pleistoceno superior de Junín, Provincia de Buenos Aires. IV Jornadas Geol. Arg. Actas: 269-278. Buenos Aires.

DYMAS 1974. Contribución al mapa geohidrológico de la Provincia de Buenos Aires. Inéd. CFI. La Plata.

FIDALGO F. O. De FRANCESCO y R. PASCUAL 1975. Geología superficial de la Llanura Bonaerense. VI Congr. Geol. Arg. Relatorio: 103-138. Buenos Aires.

FRENGUELLI J. 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la Provincia de Buenos Aires. LEMIT. Ser. II, N° 33: 1-72. La Plata.

FRENGUELLI J. 1955. Loess y Limos Pampeanos. UNLP. Ser. Técn. y Didác. N° 7: 1-88. La Plata.

HERNÁNDEZ M. A. M. F. FILI M. P. AUGÉ y J. H. CECI 1975. Geohidrología de los acuíferos profundos de la Provincia de Buenos Aires. VI Congr. Geol. Arg. Actas. T II: 479-500. Buenos Aires.

SALA J. M. 1975. Recursos hídricos (especial mención de las aguas subterráneas).

VI Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 169-193. Buenos Aires.

SALSO J. 1966. La Cuenca de Macachín, Provincia de La Pampa. RAGA. T XXI, N° 2. Buenos Aires.

TAPIA A. 1937. Datos geológicos de la Provincia de Buenos Aires. Aguas Minerales. Com. Nac. Climat. y Aguas Min. T II: 23-90. Buenos Aires.

YRIGOYEN M. R. 1975. Geología del subsuelo y plataforma continental. VI Congr. Geol. Arg. Relatorio: 140-168. Buenos Aires.

ZAMBRANO J. J. 1974. Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la Provincia de Buenos Aires. RAGA. T XXIX, N° 4: 443-469. Buenos Aires.

Cuadro 3**AMBIENTE NORESTE**

Espesor (m)	Formación	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
0 - 10	La Plata	Holocena	Conchillas formando cordones	Acuífero libre discontinuo Salinidad (1- 5 g/l)	Rural y ganadero
0 – 25	Querandí	Holocena	Arcillas y arenas muy finas, marinas	Acuitardo a probrem. acuífero. Salinidad (5-10 g/l)	
0 – 5	Luján	Holocena	Limos arcillo-arenosos, fluviales	Acuitardo a pobrem. acuífero. Salin. (2-10 g/l)	
0 – 120	Pampeano	Pleistocena	Limos arenosos y arcillosos c/ tosca, eolo - fluviales	Acuíf libre; en prof. pasa a semiconf. Moderada prod. Salin. (0,5-2 g/l)	Urbano, rural, riego complem. ganadero e industrial
10 – 50	Arenas Puelches	Plio-Pleistocena	Arenas sueltas, finas y medianas, fluviales	Acuíf. semiconfinado de media a alta prod. (30-150 m ³ /h). Salin. (< 2 g/l)	Urbano, rural, riego intensivo y complem. ganadero e industrial
50 – 200	Paraná	Miocena superior	Arcillas y arenas c/fósiles marinos	Acuícludo en la secc sup. Salin. > 5 g/l. Excepc. 3 g/l. Acuífero de alta prod. en la secc. inf.	Industrial restringido
100 - 300	Olivos	Miocena inferior	Areniscas y arcilitas c/yeso y anhidrita, eolo - fluviales	Acuíf. confinado de baja productividad. Salin. > 10 g/l	
	Basamento Cristalino	Proterozoica	Genises, milonitas, granitos	Acuífugo, medio discont. Base imperm. sección hidrogeológica	

Cuadro 4

AMBIENTE DEPRIMIDO

Espesor (m)	Formación	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
0 – 10	Junín	Holocena	Arenas finas (médanos)	Acuífero libre descont. (1 – 3 g/l)	Rural y ganadero
0 – 10	La Plata	Holocena	Conchillas (cordones)	Acuífero libre descont. (1 – 5 g/l)	Rural y ganadero
0 – 25	Querandí	Holocena	Arcillas limosas marinas	Acuitardo a pobrem. acuífero. Salin. (>10 g/l)	
0 – 5	Luján	Holocena	Limos arcilloarenosos fluviales	Acuitardo a pobrem. acuífero. Salin. (2 - 10 g/l)	
10 – 120	Pampeano	Pleistocena	Limos arenosos y arcillosos (loess) con intercalac. de tosca eolo- fluviales	Acuífero libre continuo; en los niveles inferiores. Puede ser semiconfinado. Moderada productividad. Salin. (0,5 – 20 g/l)	Urbano, industrial, rural ganadero, riego complementario
0 – 80	Arenas Puelches	Plio-Pleistoc.	Arenas finas y medianas, arcillosas, fluviales y marinas	Acuífero semiconfinado de moderada a alta productividad. Salin. (2 – 10 g/l)	Urbano y riego complementario, restringidos
100 – 900	Paraná	Miocena superior	Arcillas, arenas arcillosas y arenas con fósiles marinos	Acuícludo en la sección sup. Acuitardo a acuífero de baja productiv. en la secc. inf. Salin. (10 – 30 g/l)	
90 - 400	Olivos	Miocena inferior	Areniscas y arcillas c/yeso y anhidrita	Acuífero confinado de baja productividad a acuícludo. Salin. (1,5 – 60 g/l)	
1.000 max	Las Chilcas	Terciaria inferior	Limolitas gris verdosas, marinas	Acuícludo? Salinidad muy alta	
3.000 max	Río Salado Gral. Belgrano	Cretácica	Areniscas c/limolitas y arcilitas subordinadas	Acuífero de baja productividad Salinidad muy alta	
	Basamento Hidrogeológico	Paleozoica Proterozoica	Cuarcitas, gneises y granitos	Acuífugo, medio discontinuo. Base impermeable de la sección hidrogeológica	

Cuadro 5

Espesor (m)	Formación	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
0 – 20	Médano invasor o Junín	Holocena	Arenas finas a limosas, eólicas	Acuífero libre descont. de buena productividad. Salin. (0,5 – 2 g/l)	Urbano, rural, riego complem. Industrial
80 – 165	Pampeano	Pleistocena	Limos arenosos y arcillosos (loess)	Acuífero libre cont. de media productividad, en prof. pasa a semiconf. Salin. (1 – 30 g/l)	Rural, ganadero, industrial y urbano restringido
0 – 140	Araucano	Plio Pleistocena	Areniscas arcillosas, calcáreas y yesíferas continentales	Acuícludo con tendencia a acuitardo o pobremente acuífero. Salin. (> 5 g/l)	
0 – 10	Arenas Puelches	Plio Pleistocena	Arenas finas a medianas con matriz arcillosa	Acuífero semiconfinado de moderada a alta productividad. Salin. (2 – 10 g/l)	Urbano e industrial restringidos
10 – 100	Paraná	Miocena superior	Arcillas, arenas arcillosas y arenas con niveles calcareos y fósiles marinos	Acuícludo en la sección sup. Acuífero de baja productiv. en la secc. inf. Salin. (10 – 30 g/l)	
80 – 230	Olivos	Miocena inferior	Areniscas y arcillas c/yeso y anhidrita	Acuícludo en la sección sup. Acuífero confinado de baja productiv. en la secc. inf. Salin. (6 – 60 g/l)	
150 – 290	Las Chilcas	Paleocena	Limolitas y arcilitas marinas	Acuícludo con agua de alta salinidad	
130 – 345	Abramo	Cretácica	Areniscas bien consolidadas y limolitas arenosas, cont.	Acuífero confinado de baja productividad a acuícludo. Salin. (1,5 – 60 g/l)	
	Basamento Hidrogeológico	Paleozoica Proterozoica	Cuarcitas y calizas, gneises y granitos	Acuífugo, medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo. Base impermeable de la sección hidrogeológica	

AMBIENTE NOROESTE

Cuadro 6**AMBIENTE SERRANO**

Espesor (m)	Formación	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
0 – 5	Junín, aluvios y coluvios	Holocena y Reciente	Limos arenosos y arcillosos, arenas, gravas y bloques	Pobrementemente acuífero, discontinuo. Salinidad (0,5 – 3,5 g/l)	Rural y ganadero, restringidos
0 – 30	Pampeano	Pleistocena y Pliocena	Limos arenosos y arcillosos (loess), con intercalaciones de tosca	Acuífero libre de moderada productividad, discontinuo. Salinidad (0,5 – 7 g/l)	Urbano, rural y ganadero, restringidos
	Basamento Hidrogeológico	Paleozoica Precámbrica	Cuarcitas, lutitas, arcilitas, dolomitas y calizas, paleozoicas. Esquistos, gneises, mármol y milonitas, precámbricas.	Acuífugo. Medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo; agua en fisuras. Productividad nula a muy baja. Salinidad (1 – 5 g/l)	Urbano y rural, restringidos

Cuadro 7**AMBIENTE INTERSERRANO Y PEDEMONTANO**

Espesor (m)	Formación	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
0 – 5	Luján, La Plata y Junín	Holocena	Arenas finas a limosas con intercalaciones arcillosas, eolo-fluvial.	Acuífero libre discontinuo de baja productividad. Salinidad (0,5 – 5 g/l)	Rural y ganadero
10 – 170	Pampeano	Holocena	Limos areno - arcillosos (loess)	Acuífero libre continuo (1 – 5 g/l)	Urbano, riego complementario, rural, ganadero e industrial
	Basamento Hidrogeológico	Paleozoica Proterozoica	Cuarcitas, calizas y arcilitas (Paleozoica) Esquistos y gneises (Precámbrica)	Acuífugo. Medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo. Agua en fisuras. Productividad nula a muy baja	

Cuadro 8**AMBIENTE COSTERO**

Espesor (m)	Formación	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
5 – 30	Punta Médanos	Holocena Reciente	Arenas finas bien selecc. Dunas costeras	Acuífero de buena productiv. Salin. (0,5-2 g/l) muy vulnerable	Urbano (ciudades balnearias), rural, ganadero, industrial restringido
0 – 50	Querandí	Holocena	Arcillas arenosas marinas	Acuitardo. Salin. (5-20 g/l)	
5 – 30	Pampeano	Pleistocena	Limos arenosos y arcillosos	Acuífero de baja productividad. Salin. (2-10 g/l)	Urbano, rural, ganadero
0 – 40	Arenas Puelches	Plio Pleistocena	Arenas arcillosas marinas	Acuíf. de media a baja productiv. (Salin.10-30 g/l)	
> 500	Paraná y Olivos	Miocena sup. e inf.	Arcillas y arenas marinas	Acuíf. de baja productiv. Salin. (15-60 g/l)	
0 – 3.500	Río Salado Las Chilcas	Cretácica Terciaria inf.	Areniscas, arcilitas, limolitas	Salinidad muy alta	
	Basamento Hidrogeológico	Palezoica Proterozoica	Cuarcitas Gneises	Medio discontinuo. Base impermeable de la sección hidrogeológica	

AMBIENTE NORPATAGÓNICO

Espesor (m)	Formación	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
0 – 20	Médano Invasor	Holocena	Arenas finas bien seleccionadas	Acuífero de moderada productividad	Rural, ganadero
0 – 30	Aluvio Río Colorado	Holocena	Arenas medianas, gravas y limos	Acuífero de media a alta productividad. Salinidad baja	Rural, ganadero
2 – 5	Rodados Patagónicos	Holocena	Rodados cementados	Acuífero libre discont; la infiltración está condicionada por el grado de cementación	
0 – 20	Querandí	Holocena	Limos y arcillas marinas; depósitos salinos	Elevada salinidad	
0 - 40	Pampeano	Pleistocena	Limos arenosos y arcillosos, calcáreos	Acuífero de moderada productividad. Salinidad (2-20 g/l)	Rural, ganadero
60 – 90	Río Negro	Plio Pleistocena	Arenas medianas con estratificación entrecruzada	Acuífero de moderada productividad. Salinidad (1-15 g/l)	Rural, ganadero
100 – 200	Chasicó	Pliocena	Areniscas arcillosas, continentales	Acuífero surgente Salinidad (3-20 g/l)	
100 – 500	Barranca Final	Miocena superior	Arcillas y arenas yesíferas marinas	Salinidad (8-100 g/l)	
200 - 400	Ombucta	Terciaria inferior a media	Areniscas medias y gruesas con intercalaciones arcillosas	Acuífero profundo surgente Salinidad (2-20 g/l)	Industrial

AMBIENTE BAHIA BLANCA

Espesor (m)	Formación	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
0 – 20	Médano Invasor	Holocena	Arenas finas bien seleccionadas	Acuífero de moderada productividad	Rural y ganadero
2 – 5	Rodados Patagónicos	Holocena	Rodados cementados	Acuífero libre descont. (1 – 5 g/l)	
0 – 20	Querandí	Holocena	Limos y arcillas marinas, depósitos salinos	Elevada salinidad	
5 – 40	Pampeano	Pleistocena	Limos arenosos y arcillosos calcáreos	Acuífero de moderada productividad Salinidad (2 – 20 g/l)	Rural y ganadero
50 – 100	Río Negro	Pliocena Pleistocena	Arenas fluviales medianas	Acuífero de moderada productividad Salinidad (1 – 15 g/l)	Rural y ganadero
150 – 200	Chasicó	Pliocena	Areniscas arcillosas yesíferas	Acuífero surgente. Salinidad (3 – 20 g/l)	
200 – 300	Barranca Final	Miocena	Arcillas y arenas marinas	Salinidad (8 – 100 g/l)	
250 - 520	Ombucta	Terciaria inferior	Areniscas medianas y gruesas	Acuífero profundo surgente Salinidad (1 – 2 g/l)	Fue la única fuente de aprovisionamiento a Bahía Blanca. Hoy lo emplea la industria en forma restringida
80 – 120	Pedro Luro	Cretácica superior	Lutitas y arcillitas	Acuícludo	
600 - 700	Colorado	Cretácica media	Areniscas gruesas	Acuífero profundo surgente Salinidad (1 – 3 g/l)	Provisión a Puerto Belgrano

Figura 2

AMBIENTES HIDROGEOLÓGICOS

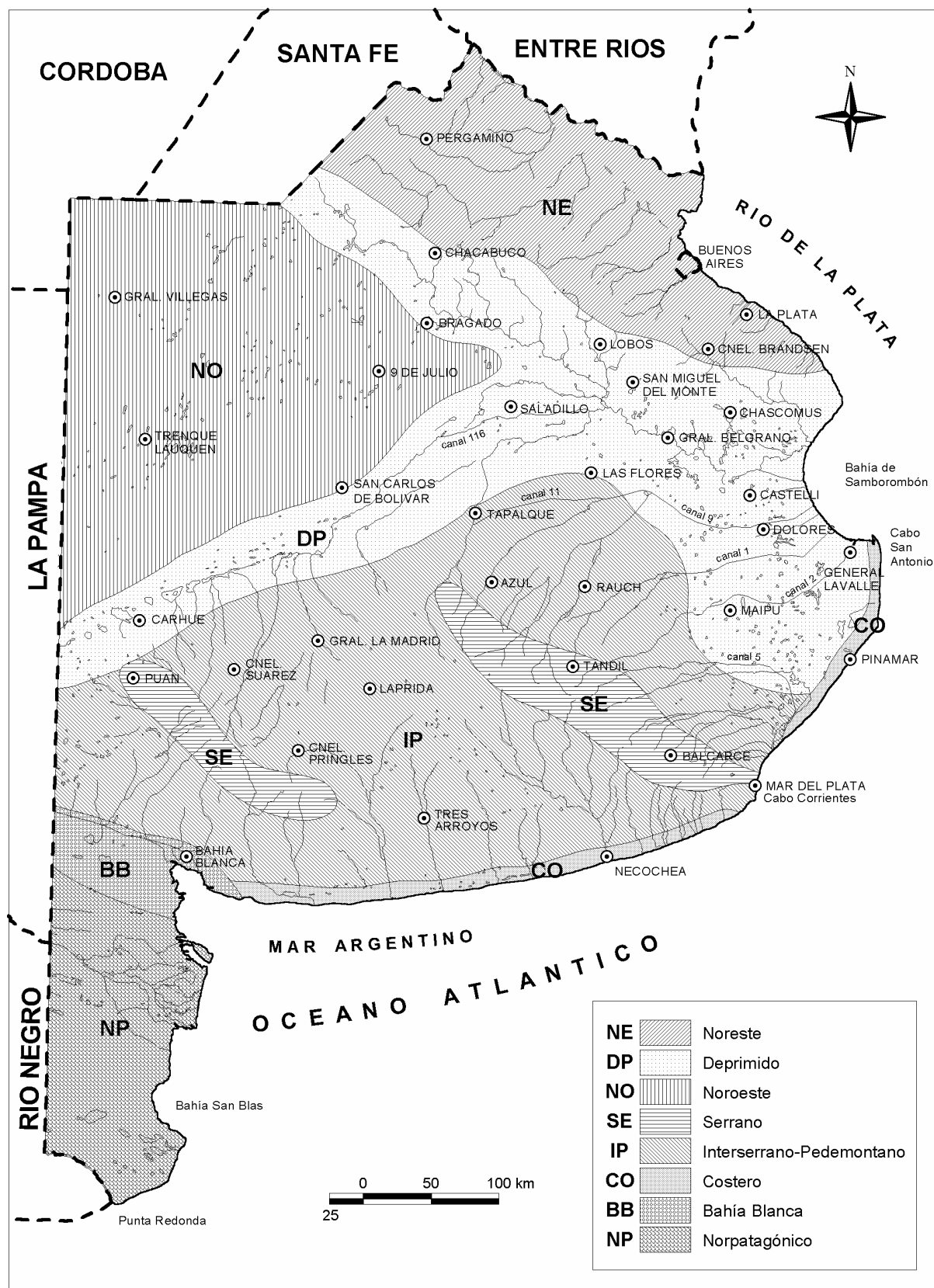


Figura 3

SALINIDAD – ACUÍFERO LIBRE

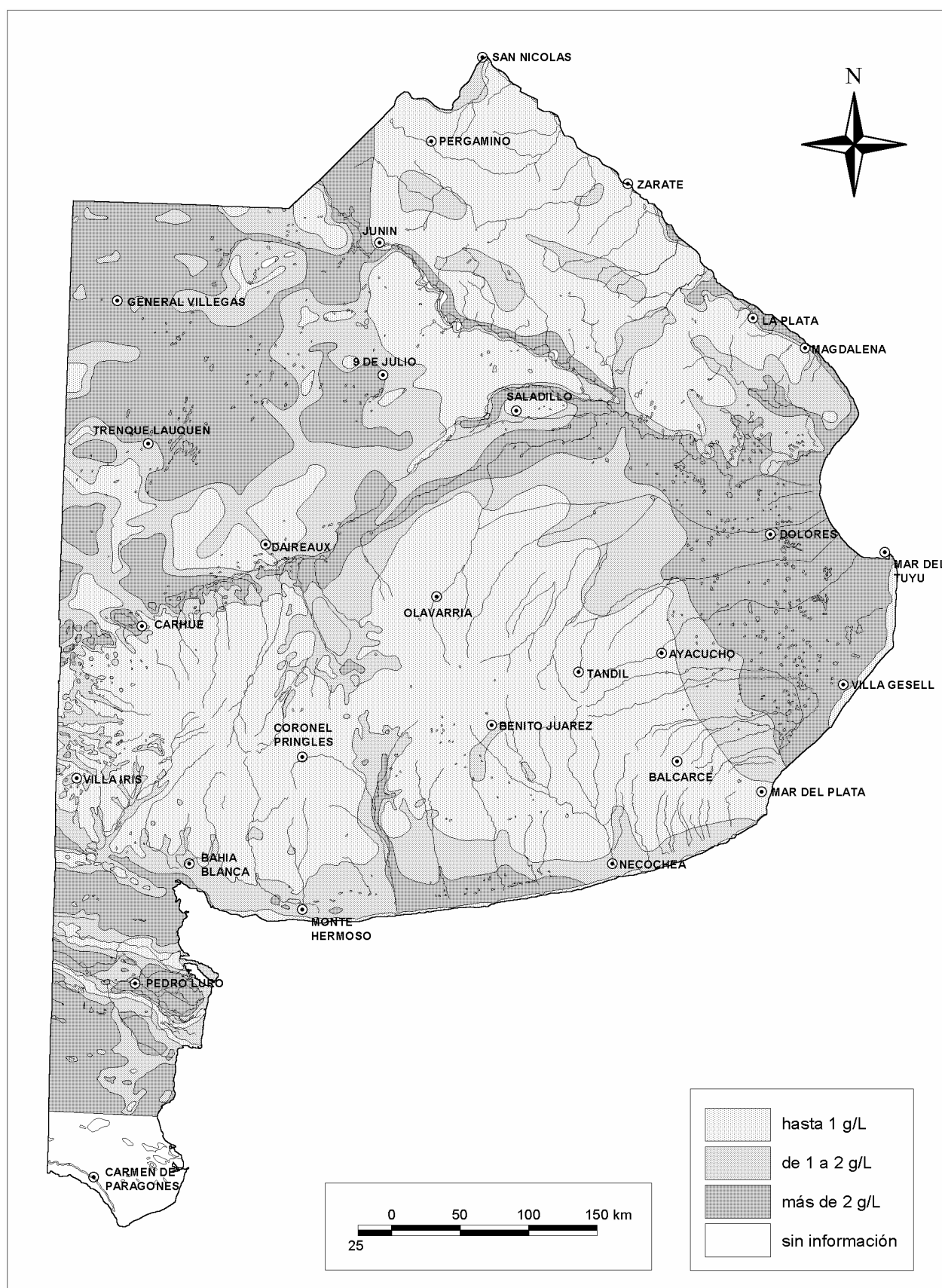


Figura 4

ISOFREÁTICO

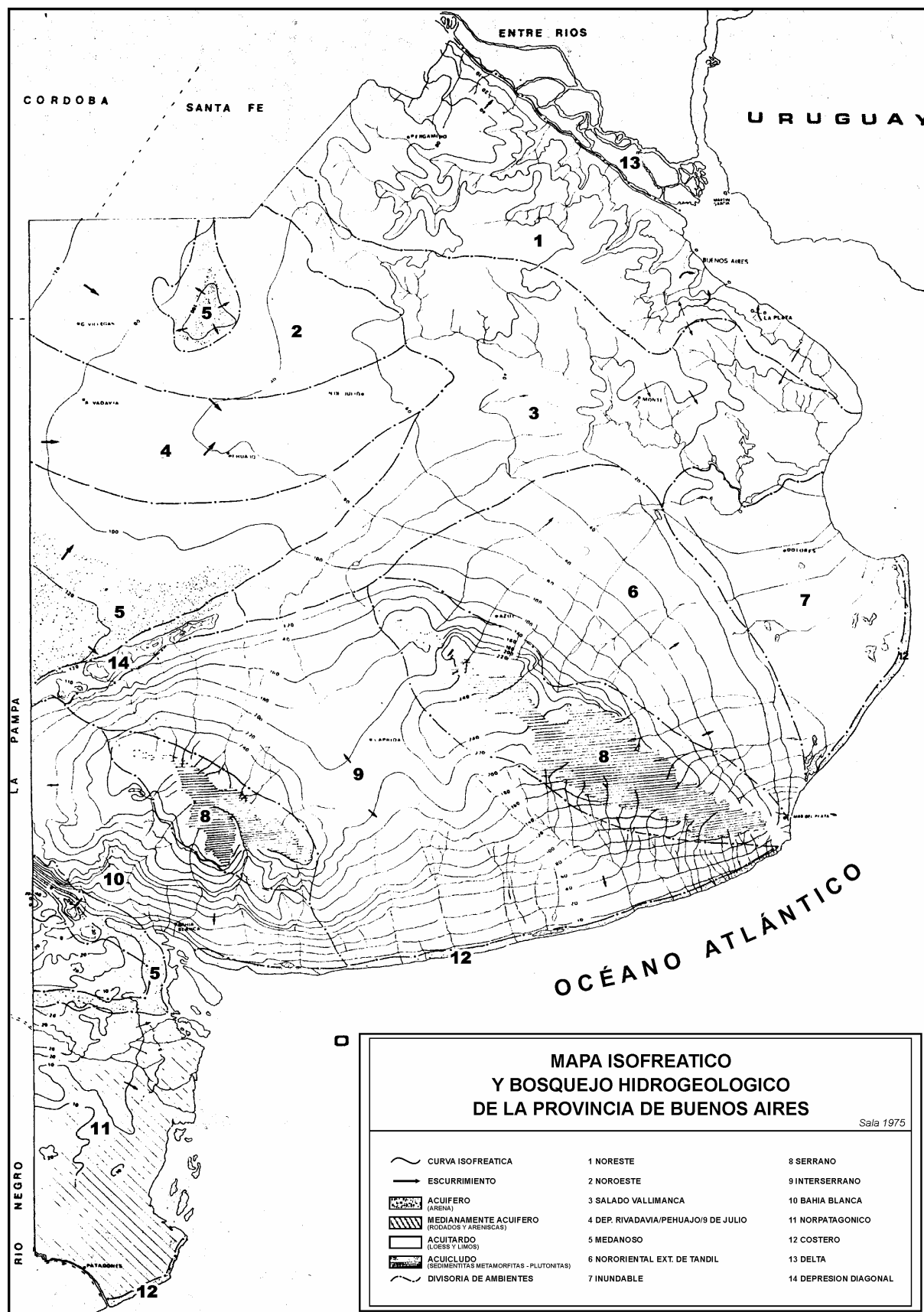
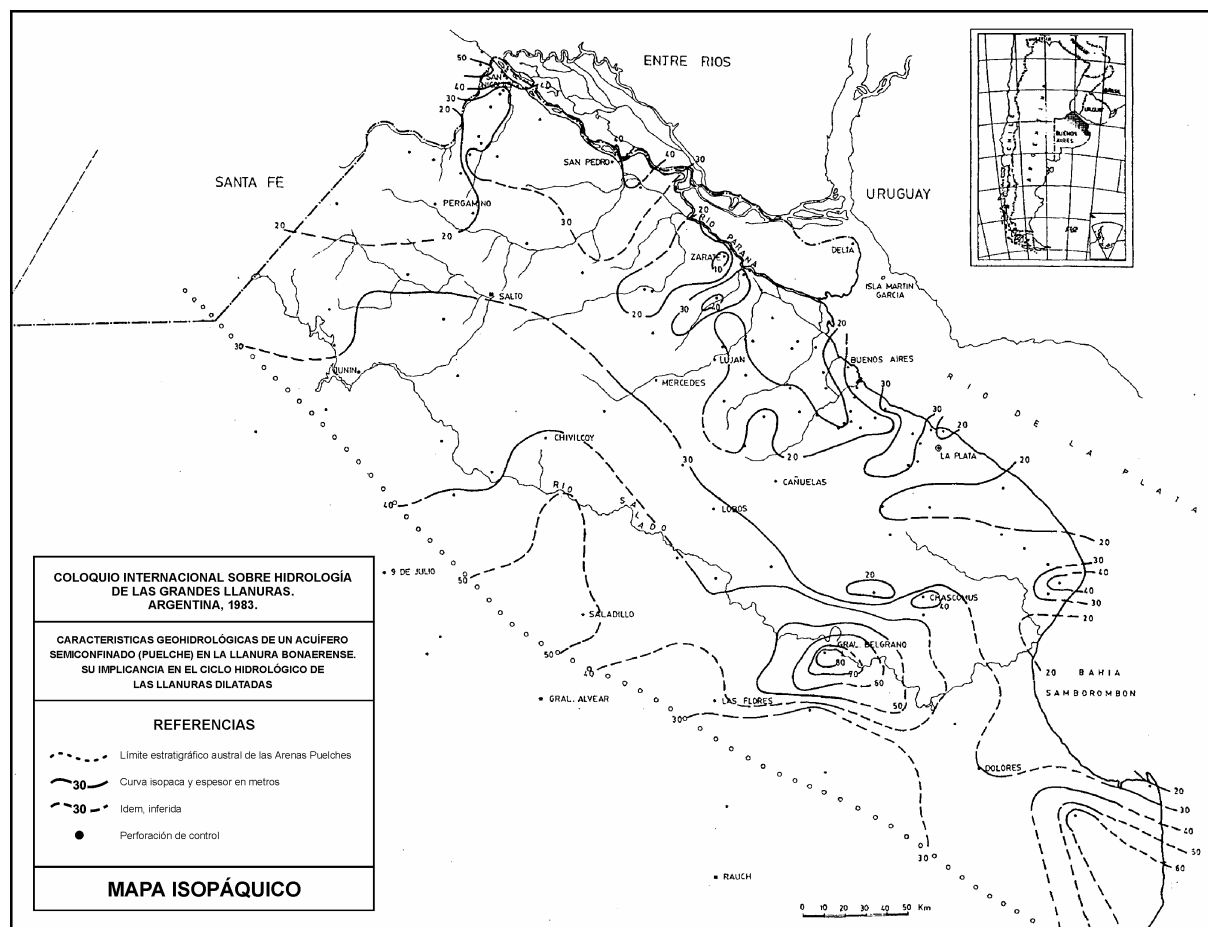


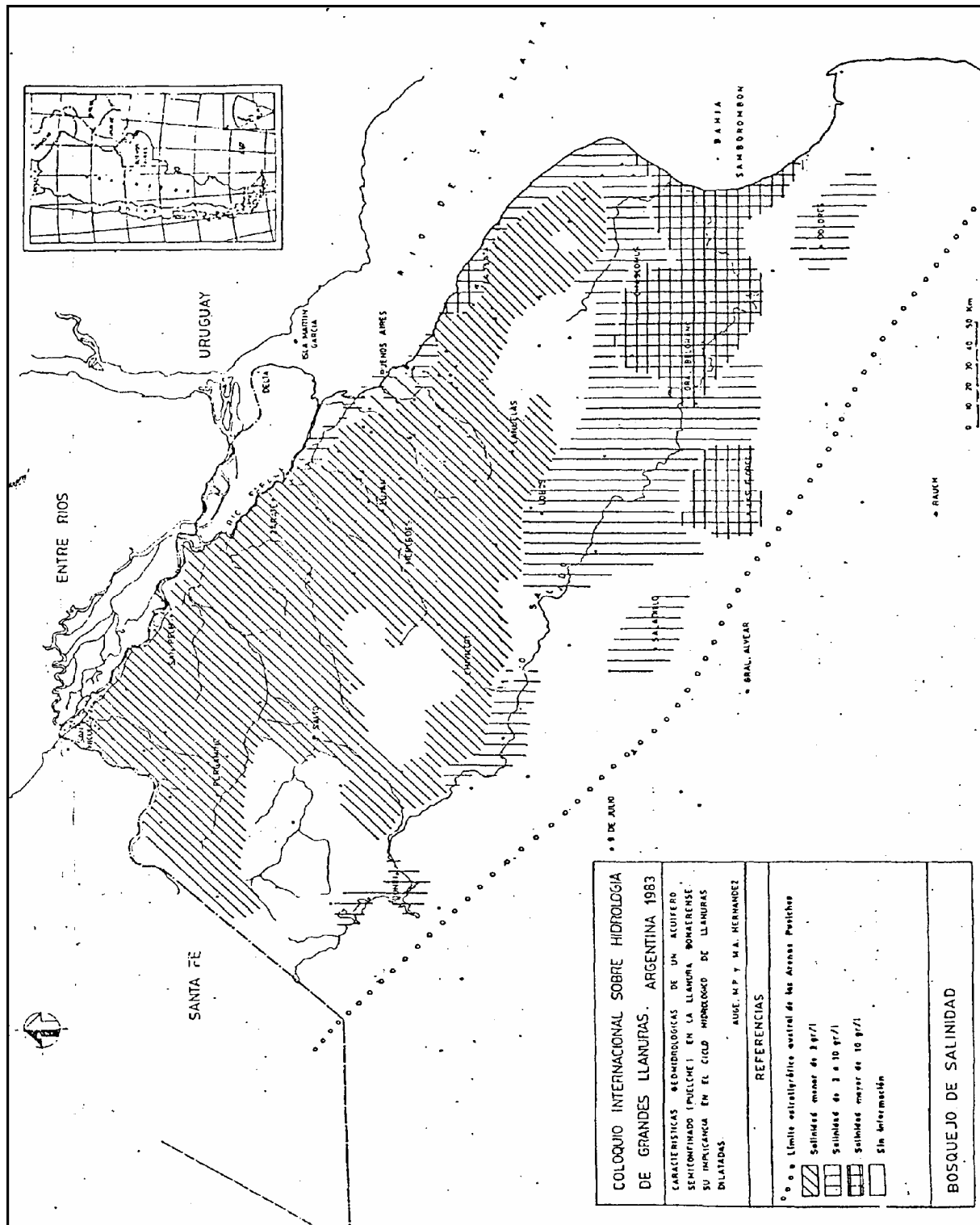
Figura 5

ISOPÁQUICO – ACUIFERO PUELCHÉ

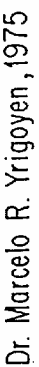


SALINIDAD – ACUÍFERO PUELCHE

Figura 6







REGIONES HIDROGEOLÓGICAS

PROVINCIA DE MENDOZA

INTRODUCCIÓN

La Provincia de Mendoza fue una de las primeras en emplear agua subterránea para riego desde el siglo pasado y actualmente es uno de los mayores consumidores del país en ese rubro. Como ejemplo puede mencionarse la extracción que se realiza en la región Norte (ríos Mendoza y Tunuyán) que, mediante 16.000 perforaciones, oscila entre 100 hm³/a (100 millones de m³) para un año hidrológico rico en agua superficial (84/85) y 600 hm³/a para otro pobre (71/72).

ZONIFICACIÓN

En lo referente a la zonificación hidrogeológica de Mendoza, se pueden reconocer dos megaregiones (Llanura y Montaña), dentro de las cuales se desarrollan ambientes más reducidos con caracteres distintivos.

En la figura 9 se indica la distribución geográfica de ambas regiones, situándose la mayor parte de la Llanura en el sector oriental de la provincia, con unos 52.000 km²; en su subsuelo se emplazan los reservorios más importantes de agua subterránea por su volumen, productividad y calidad.

El ambiente de Montaña se emplaza fundamentalmente en el sector Oeste de la provincia, extendiéndose en forma de faja de orientación meridiana a lo largo de 650 km, con un ancho máximo de 150 km en la latitud de San Rafael. En esta región se destacan la Precordillera, la Cordillera Frontal y la Cordillera Principal, mientras que manifiestan menor expresión orográfica la Cerrillada Pedemontana, el Bloque de San Rafael y las mesetas y cerros basálticos del Sur mendocino. Dado que el cuerpo de las montañas está constituido por rocas de muy baja permeabilidad, los reservorios más interesantes de agua subterránea se ubican en los valles intermontanos, en coincidencia con los depósitos aluviales, aunque el volumen almacenado en ellos es significativamente menor que el contenido en la Llanura.

Seguidamente se identifican y describen en forma sintética los ambientes hidrogeológicos reconocidos en la Llanura y en la Montaña, de acuerdo a la interpretación realizada por Pazos et al (1993), trabajo del que también se tomaron las figuras 11 a 30.

En la **llanura** se distinguen las siguientes regiones:

- 1- de los Ríos Mendoza y Tunuyán
- 2- entre los Ríos Tunuyán y Diamante
- 3- de los Ríos Diamante y Atuel
- 4- Sur

En la **montaña** se destacan:

- 5- Valle de Uspallata
- 6- Valle medio del Río Tunuyán
- 7- Valles medios de los Ríos Diamante, Atuel, Salado y Malargüe

1. Región de los Ríos Mendoza y Tunuyán

También conocida como Cuenca Hidrogeológica Norte, ocupa unos 23.000 km² al N del Río Tunuyán; otros límites son: el Río San Juan por el N, el Río Desaguadero por el E, la Precordillera y la Cerrillada Pedemontana por el Oeste.

El agua subterránea se encuentra en depósitos con porosidad primaria, de edad cuaternaria y origen aluvial, generados fundamentalmente por los ríos Mendoza y Tunuyán. En algunos sectores se presentan sedimentos de origen eólico (médanos) que cubren a los anteriores. Constituye uno de los reservorios más importantes por su potencialidad y posición estratégica, dado que en esta región habita alrededor del 80 % de la población de la provincia.

2. Región entre los Ríos Tunuyán y Diamante

Ocupa alrededor de 12.500 km² con límites al N el Río Tunuyán, al S el Río Diamante, al E el Río Desaguadero y al O la Cerrillada Pedemontana. Es un ambiente poco conocido hidrogeológicamente, que se diferencia de la región anterior y de la de los ríos Diamante y Atuel, por sus mecanismos de recarga, a través de la lluvia y de los ríos secos que esporádicamente bajan de la Cerrillada Pedemontana.

3. Región de los Ríos Diamante y Atuel

También se la conoce como Cuenca de San Rafael – Alvear. Ocupa unos 9.000 km², con límites al N el Río Diamante, al O el Bloque de San Rafael y Río Atuel, al E el Valle del Desaguadero – Salado y al S la Región Sur; la recarga dominante proviene del Río Diamante.

4. Región Sur

Se ubica al SE de la anterior de la que se diferencia por el predominio de sedimentos más finos (limos y arenas eólicas). Hidrogeológicamente es muy poco conocida.

5. Valle de Uspallata

Emplazado entre la Precordillera y la Cordillera Frontal, es una depresión tectónica de orientación meridiana que ocupa unos 200 km² en el NO mendocino. Vinculados al ámbito montañoso y en parte a la llanura se tiene:

6. Valle medio del Río Tunuyán

Limitado al N y al E por la Cerrillada Pedemontana, al O por la Cordillera Frontal y al S por elevaciones basálticas que lo separan del Río Diamante. Ocupa unos 7.500 km², destacándose dos secciones con comportamientos hidráulicos diferentes. La superior, hasta unos 80 m, donde predomina el comportamiento libre y la inferior, de 85 a 250 m de profundidad, en la que domina el confinamiento.

7. Valles medios de los Ríos Diamante, Atuel, Salado y Malargüe

Se ubica al S del anterior con límites al E el Bloque de San Rafael, al S los cerros y mesetas basálticas y al O la Cordillera Principal; abarca unos 9.000 km². A continuación se realiza una descripción hidrogeológica más detallada de los ambientes citados.

1. REGIÓN DE LOS RÍOS MENDOZA Y TUNUYÁN

A este ambiente también se lo denomina Cuenca Hidrogeológica Norte y se extiende al N del Río Tunuyán en una superficie de alrededor de 23.000 km². Forma una amplia llanura, cuyos límites ya fueron mencionados, en la que habita el 80% de la población de la provincia y se radican sus industrias más importantes.

En ella fluyen los ríos Mendoza y Tunuyán y el Arroyo Carrizal, con caudales medios de 50, 30 y 1 m³/seg, respectivamente.

En la figura 11 se representa la distribución areal de las unidades hidrogeológicas reconocidas en superficie, en función de su permeabilidad.

El agua subterránea apta, que se extrae fundamentalmente para riego, está contenida en sedimentos aluviales, de grano y permeabilidad variables, generados durante el Cuartario por una red de drenaje mucho más importante que la actual. El espesor del aluvio supera en la mayor parte del área los 300 m, presentando un máximo cerrado de 900 m en el Carril a Lavalle (fig. 12). Hidráulicamente predomina en el sector SO un comportamiento libre, mientras que en el NE los acuíferos se desarrollan bajo confinamiento parcial.

Tomando en cuenta el uso del agua subterránea y los caracteres fisiográficos, se pueden distinguir dos sectores; el occidental al O del Río Mendoza donde la actividad dominante es la agricultura bajo riego y el oriental, al E del Río Mendoza, donde se practica ganadería (fig. 13). En el Oasis de la Cuenca Norte, están parceladas y en condición de ser labradas unas 250.000 hectáreas que actualmente se riegan con agua del Río Mendoza, del Embalse El Carrizal y con la que se extrae de unas 16.000 perforaciones. Se estima en 80.000 ha, la superficie media que se riega con agua subterránea. El proyecto Potrerillos, que contempla la construcción de un embalse regulador en el Río Mendoza, en la Precordillera, prevé ampliar el área bajo riego (Auge, 1998).

1.1. Geología y Comportamiento Hidrogeológico

En este punto se analiza y clasifica a las unidades geológicas en función de su aptitud hidrogeológica; esto es teniendo en cuenta su capacidad para admitir y transmitir agua, o sea considerando sus propiedades hidráulicas principales (porosidad y permeabilidad).

En el sector occidental precordillerano afloran unidades estratigráficas que abarcan desde el Paleozoico hasta el Cuartario, mientras que en el resto del mismo y en todo el oriental, sólo se presentan en superficie depósitos cuaternarios del Pleistoceno hasta el Reciente.

Hidrogeológicamente se reconocen 3 unidades (fig. 11 - Pazos et al, 1993): Basamento Acuífugo, Sedimentitas poco Permeables y Sedimentos Permeables. El Basamento Acuífugo incluye a rocas paleozoicas y prepaleozoicas, fuertemente consolidadas, que por procesos litogenéticos han perdido su porosidad primaria. Por lo tanto, sólo pueden presentar permeabilidad por procesos de fracturación, metamorfización, o disolución en calizas, pudiendo formar en estos casos acuíferos en medios discontinuos, en general de muy baja productividad. Se lo considera la base impermeable más profunda del sistema hidrológico subterráneo.

Las Sedimentitas poco Permeables se caracterizan por haber perdido parte de su permeabilidad; en algunos casos la pérdida es significativa, debido a procesos de litificación y/o cementación. A este grupo pertenecen unidades triásicas y terciarias, siendo estas últimas las más interesantes hidrogeológicamente, pues algunas formaciones son hábiles para almacenar y transmitir agua, conformando acuíferos de baja productividad y generalmente de alta salinidad.

Los Sedimentos Permeables que componen la cuenca hidrogeológica explotada, se corresponden con el Terciario superior y el Cuaternario.

Al Plioceno superior pertenece la Formación Mogotes, compuesta por un espeso intervalo de conglomerados varicolores, intercalados con areniscas arcillosas, amarillentas. Hacia el E, en la llanura pedemontana, disminuye la granometría, por lo que los rodados pasan a arenas y areniscas finas rojizas y grises. La Formación Mogotes tiene origen aluvial y gravitacional y se formó como consecuencia del brusco ascenso de la región montañosa, en el Terciario medio y

superior. Aflorando se presenta como permeable, pero hacia el E se emplaza exclusivamente en el subsuelo y la disminución granulométrica conlleva un descenso marcado en la permeabilidad y un incremento en la salinidad, que desmejoran sus condiciones como acuífero.

Los depósitos cuaternarios y recientes, que yacen en discordancia angular sobre los terciarios y preterciarios, forman dos niveles de piedemonte de características aterrazadas.

Depósitos aluviales gruesos y medianos. Los primeros están formados por rodados redondeados, provenientes de la remoción del piedemonte, constituyendo abanicos y terrazas aluviales modernas. Los medianos son arenas con gravilla que rellenan los cauces actuales. Ambos presentan alta permeabilidad y porosidad efectiva y junto con los niveles de piedemonte, conforman los acuíferos y las vías de recarga más importantes de la región.

Depósitos finos, están constituidos por arcillas y limos que forman los barreales y el fondo de las lagunas actuales.

Depósitos eólicos, en forma de médanos cubren extensas áreas al E del Río Mendoza, constituyendo ámbitos favorables para la infiltración.

Suelos salinos, están formados por sedimentos finos asociados a sales solubles; son comunes en el sector oriental, en los sitios más alejados de los ámbitos montañosos.

En la figura 12 se reproduce mediante isopacas, las variaciones en el espesor de los depósitos aluviales que contienen a los acuíferos más importantes de la Cuenca Hidrogeológica Norte. Del análisis del mapa, que se basa en la interpretación de sondeos geoeléctricos verticales (Robles, 1983), se desprende que a corta distancia de la salida del Río Mendoza al piedemonte, el espesor del aluvio supera 600 m, para disminuir hacia el SE, zona del Embalse El Carrizal, donde el aluvio desaparece por la convergencia de las estructuras Lunlunta–Barrancas–Carrizal y Cacheuta–Tupungato. Otros incrementos importantes de espesor se registran entre Maipú y Lavalle, con más de 900 m y en Junín con más de 700 m.

1.2. Recarga

De las 2.300.000 hectáreas que componen la región, aproximadamente 250.000 integran el oasis o zona regada. En este ámbito existen unas 16.000 perforaciones privadas que se emplean para riego, tanto en los sitios que no disponen de canales como en aquellos que sí los tienen, donde el agua subterránea se utiliza en forma complementaria respecto de la superficial, especialmente en los años hidrológicos pobres o de escaso derrame superficial.

La recarga subterránea se produce a través de 3 procesos a) infiltración en el lecho del Río Mendoza b) infiltración en las parcelas regadas c) infiltración en los canales de riego.

a) constituye la principal vía de recarga, manifestándose con significativa trascendencia entre la garganta de Cacheuta (salida del Río Mendoza de la Precordillera a la llanura) y el Dique Cipolletti. En este tramo, el río recorre unos 15 km y pierde por infiltración en su lecho, entre un 12 y un 17% de su caudal (Hernández, 1984).

b) la infiltración del agua a nivel de parcela, o flujo de retorno, constituye el segundo proceso en importancia para la recarga, estimándose en un 25% del total aplicado para riego. Este índice fluctúa en función de una serie de factores entre los que se destacan: permeabilidad del suelo, altura y permanencia de la lámina de agua aplicada, capacidad de retención de la vegetación y pérdidas por evapotranspiración.

c) finalmente, la infiltración en los canales de riego (principales, secundarios y prediales) carentes de revestimiento, conforma la tercera vía en importancia respecto a la recarga, con alrededor del 15% del agua circulante.

Respecto a la factibilidad de recarga a partir de la lluvia, aplicando el método de Thornthwaite, que tiene en cuenta la relación entre ésta y la evapotranspiración potencial, surgen importantes deficiencias hídricas mensuales (enero 92 mm) y anual (493 mm), por lo que la factibilidad de infiltración o recarga es prácticamente nula, dado que sólo julio con 3 mm aparece con exceso. En la tabla adjunta se desarrolla el balance para valores medios mensuales de temperatura y precipitación de la Estación Chacras de Coria.

Balance Hídrico de Thornthwaite

Estación Chacras de Coria (Lat. 32° 69' S - Long. 68° 52' O)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
(°C)	22,4	21,4	18,2	13,9	9,3	5,9	5,6	8,4	11,1	16,3	19,2	21,8	14,4
i	9,68	9,04	7,07	4,70	2,56	1,28	1,19	2,19	3,34	5,82	7,67	9,29	
Evtp (s/a)	105	98	77	51	28	14	13	24	37	63	83	108	
Coef. Aj.	1,23	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,17	1,25	
Evtp aj.	129	102	81	48	25	12	11	23	37	71	97	126	762
P	37	36	43	21	11	6	14	10	23	11	19	38	269
P-Evtp	-92	-66	-38	-27	-14	-6	3	-13	-14	-60	-78	-88	-493

1.3. Reserva

El volumen de agua almacenada en la totalidad de la Cuenca Hidrogeológica Norte (23.000 km²), considerando tanto al acuífero libre como a los semiconfinados supera 500.000 hm³, mientras que el correspondiente al sector occidental (7.000 km²), que es donde cultiva, se estima en 150.000 hm³.

1.4. Hidrodinámica

Las direcciones dominantes del flujo subterráneo son hacia el Noreste, Este y Sudeste, a partir del ápice hidráulico generado por la recarga en el lecho del Río Mendoza, cuando éste ingresa en el piedemonte. Las mayores cotas piezométricas superan 970 m snm en el extremo occidental del abanico aluvial y las menores, llegan a 510 en el borde oriental del mismo (fig. 14 - Pazos et al, 1993).

El **gradiente hidráulico** en dirección NE oscila en 0,4% hasta Luján de Cuyo; al NE de dicha localidad aumenta hasta 5,5%, debido a la fracturación que afecta al anticlinal Lunlunta-Barrancas-Carrizal; más al NE se produce otra disminución que culmina en la zona de Lavalle-Costa de Araujo con valores del 0,12%. Hacia el E el gradiente es más uniforme, disminuyendo de 1,3% (entre el Río Mendoza y el anticlinal Lunlunta) a 0,17% al E de San Martín. Hacia el SE, se manifiestan dos direcciones de flujo dominantes. El sector que se ubica entre el Río Tunuyán y el Anticlinal Lunlunta, presenta un gradiente hidráulico medio del 0,27% y el que se emplaza al SO del anticlinal (filete que pasa por Ugarteche y finaliza en el Embalse El Carrizal), es algo mayor (0,36%).

La **profundidad de la superficie freática** varía entre más de 200 m al Oeste de Luján de Cuyo y 0 m en la vecindad de Palmira (fig. 15 - Pazos, 1998). La línea de isopropundidad de 0 m, que se elonga hacia el NO de dicha localidad, limita un ámbito de surgencia con niveles superiores a 5 m por encima del terreno, en la

zona de engranaje entre los acuíferos libre al SO y semiconfinados al NE. El mapa está referido al monitoreo realizado en jul-ago/96.

Los niveles hidráulicos profundos encarecen el bombeo de los pozos, debido a la necesidad de emplear mayor energía para extraer al agua, mientras que el agua freática somera (menos de 1,5 m de profundidad) perjudica el laboreo agrícola, puede dañar a las plantas si alcanza a sus raíces y facilita la salinización del suelo por la concentración, debida a la evaporación, del agua que asciende por capilaridad.

1.5. Hidroquímica

El **acuífero libre** influenciado por la recarga directa del Río Mendoza, en el tramo que se emplaza entre el Dique Cipolletti y el sector precordillerano, posee una composición química muy similar a la del río; por lo tanto es agua sulfatada-cálcica y eventualmente sulfatada-cálcica-sódica. Algo similar ocurre en el ámbito de recarga del Río Tunuyán.

Para los horizontes acuíferos explotados actualmente, el ex CRAS (Centro Regional de Agua Subterránea) define la existencia de una zonación hidroquímica vertical en tres niveles diferenciados principalmente por su grado de mineralización, que en general disminuye con la profundidad.

En lo referente a la evolución de la salinidad del agua subterránea en su movimiento horizontal desde las áreas de mayor recarga (sector occidental de la cuenca - área de influencia del Río Mendoza), hacia el E, NE y SE, se produce un aumento progresivo en la dirección del flujo principal, variable para los distintos niveles de explotación y con diferente grado de afectación por acciones antrópicas.

La profundidad de los tres niveles de explotación, diferenciados desde el punto de vista hidroquímico, varía según la zona y condiciones hidrogeológicas.

El primer nivel de explotación en el área del acuífero libre corresponde a los primeros 50 m de espesor saturado, por lo que varía entre 150 y 200 m de profundidad, mientras que en el área de confinamiento se emplaza a profundidades menores a 80 m. La salinidad del agua varía desde 1.000 umho/cm en el área de máxima recarga, a más de 5.500 umho/cm en zonas de intensa actividad agrícola ubicadas al E del Río Mendoza (San Martín - fig. 16). La salinidad de este nivel no se correlaciona con el movimiento en el acuífero, dado que su origen se debe principalmente a la percolación de los excedentes de riego y a la proximidad del nivel freático a la superficie del terreno

Segundo nivel de explotación. Se ubica a profundidades que varían entre 100 y 180 m. Los tenores más bajos de salinidad, oscilan entre unos 700 y 1.000 umho/cm y se presentan en el área de acuífero libre y en casi todo el sector de influencia del Río Mendoza. Hacia el E de la cuenca la salinidad aumenta progresivamente, hasta alcanzar valores de 2.800 umho/cm (Tres Portañas - fig. 17).

Tercer nivel de explotación. Se emplaza a profundidades superiores a 200 m y es el menos expuesto a procesos de salinización de origen antrópico. En general posee una salinidad y composición, que se correlaciona con la evolución química natural del agua en las formaciones acuíferas. La salinidad varía entre unos 800 y 1.800 umho/cm, pero en el área de influencia del Río Mendoza no supera 1.200 umho/cm (fig. 18 – Pazos et al, 1993).

1.6. Contaminación

Son numerosos los efectos no deseados, registrados actualmente sobre la calidad del recurso hídrico subterráneo, inducidos por la explotación, que producen graves perjuicios en la actividad productiva regional.

Se mencionan a continuación las actividades desarrolladas por el hombre que han generado un mayor grado de deterioro en la calidad del agua subterránea.

Actividad agrícola. La explotación de los acuíferos semiconfinados en las regiones central y oriental, ha generado la intrusión descendente de aguas con elevados tenores salinos provenientes de la freática, que sufre un incremento en su salinidad natural como consecuencia del riego. Los excedentes empleados para el lixiviado de los suelos, arrastran las sales precipitadas en los mismos, incrementando la salinidad de la capa freática y generando el ascenso de su nivel hidráulico, lo que favorece el ascenso capilar y la concentración por evaporación.

Se ha detectado la existencia de procesos de contaminación por salinización descendente en el área central de la Cuenca Norte, en importantes zonas de los departamentos de San Martín, Junín y Rivadavia. Allí la salinidad de los acuíferos emplazados entre 100 y 200 m de profundidad ha aumentado, hasta valores superiores a 4.500 umho/cm por lo que el agua se ha vuelto inapropiada para bebida y para riego. La información histórica y la obtenida a partir del monitoreo esporádico que efectúa el ex CRAS desde hace unos veinte años, permite deducir que esos procesos fueron consecuencia del crecimiento acelerado de la superficie cultivada, que fue acompañado por la ejecución de numerosas perforaciones, muchas de ellas construidas sin seguir las reglas del arte en lo referente a entubamientos y cementaciones.

En esta zona el acuífero más somero posee alta salinidad, que puede transmitir al segundo nivel de explotación a través de los pozos mal construidos, o naturalmente por el proceso de filtración vertical descendente que caracteriza a los acuíferos semiconfinados, cuando disminuye el potencial hidráulico de los más profundos.

En el tercer nivel no se detecta contaminación salina manteniéndose por lo tanto las condiciones hidroquímicas naturales. Este nivel, de acuerdo a la información geológica disponible, está más protegido de la intrusión vertical descendente de aguas salobres y saladas, por estratos arcillosos de muy baja permeabilidad.

Un estudio estadístico efectuado en la zona central de la cuenca indicó que un 36% de las perforaciones que explotan el 2º y 3º nivel están en mal estado y que aquellas que extraen una mezcla del 1º y 2º nivel, pasaron de aguas de calidad buena a regular para riego (Clase III) a regular a mala (Clase IV – U.S. Salinity Laboratory).

El incremento salino del agua para riego que se extrae del segundo nivel, ha producido una disminución en el rendimiento de algunos cultivos, estimada en un 20% en el caso de la vid.

Otra actividad agrícola que genera un riesgo potencial respecto a la contaminación del agua subterránea es el empleo de agroquímicos (pesticidas, fertilizantes y herbicidas). En este sentido el acuífero más vulnerable es el freático, especialmente en los sitios donde se ubica a poca profundidad (regiones central y oriental). De los contaminantes mencionados sólo se han realizado determinaciones de nitratos, identificándose áreas destinadas a la horticultura en los departamentos de Maipú (Rodeo del Medio), Guaymallén (Corralitos y Rodeo de la Cruz) y Luján de Cuyo (Ugarteche), con valores de 20 a 40 mg/l de NO_3^- , que indican contaminación a partir de fertilizantes. Si bien se presume la existencia de contaminación con pesticidas en la mayoría del ámbito irrigado, no se han efectuado hasta el presente estudios sistemáticos que permitan verificar los grados de afectación.

Actividad petrolera. El área petrolera se superpone en parte con la cuenca hidrogeológica y con el ámbito cultivado bajo riego superficial y subterráneo, originando en numerosas ocasiones serios daños como consecuencia de derrames accidentales de hidrocarburos, o por la infiltración de las aguas saladas de separación, provenientes de los yacimientos petrolíferos. Esta actividad genera grandes cantidades de sales y otros agentes contaminantes, entre los que se destacan hidrocarburos, metales pesados y sustancias radiactivas.

En la subcuenca El Carrizal se registró hace 10 años, un caso de contaminación de agua subterránea con aguas de purga del Yacimiento Ugarteche, que se disponían en una pileta de infiltración de grandes dimensiones. El efecto fue detectado en primera instancia por los productores ubicados aguas abajo en la dirección del flujo subterráneo, quienes al regar con el agua salinizada deterioraron sus cultivos y sus suelos.

Hasta el presente, en la Provincia de Mendoza no se han efectuado estudios sistemáticos, que permitan cuantificar el grado de afectación de las aguas subterráneas como consecuencia de la actividad petrolera.

Actividad industrial y sanitaria. Existen zonas críticas donde puede producirse contaminación por percolación de líquidos industriales, de pozos sépticos y de basureros municipales. Los contaminantes asociados a estas actividades son muy variados, encontrándose agentes biológicos (bacterias y virus), todo tipo de sustancias químicas y materia orgánica.

Industrial. Una situación de riesgo muy importante lo constituye la ubicación de la mayoría de las industrias y parques industriales, ya que para ello no se ha tenido en cuenta la vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación. Estas se han localizado principalmente en zonas de acuífero libre con agua dulce, que son áreas naturales de recarga preferencial, por lo que una disposición inadecuada de desechos líquidos y/o sólidos, dará lugar al ingreso de contaminantes en el sistema subterráneo. Las industrias que mayor contaminación producen por la naturaleza de sus efluentes y por descuidos en la disposición de los mismos, son las alcoholeras, químicas, petroquímicas, curtiembres, lácteas, frigoríficas y mataderos.

Se destaca el caso particular del Colector Pescara, receptor de efluentes de la zona alcoholera y de otras industrias del Departamento Maipú.

Sanitaria. En el Gran Mendoza, la percolación de líquidos cloacales que se produce a partir de los pozos sépticos, plantas de tratamiento y disposición de efluentes, produce contaminación del agua subterránea en áreas urbanas y periurbanas, que se manifiesta fundamentalmente por la concentración de nitratos. En un sector de la cuenca donde los acuíferos son libres, los estudios han detectado baja contaminación de origen biológico, en el segundo nivel de explotación de agua subterránea, con contenidos en nitratos entre 20 y 50 mg/l. En el primer nivel de explotación existe alta contaminación con nitratos, con valores que varían entre 50 y 100 mg/l y en el área ubicada bajo la mayor urbanización, la contaminación es muy alta (100 a 180 mg/l).

Los efluentes de la actividad sanitaria provenientes de las áreas urbanas, tienen tratamientos primarios y posteriormente, en algunos casos, se reusan para riego y en otros se vierten en cauces superficiales. En el área de jurisdicción del Río Mendoza, existen dos plantas de tratamiento primario de líquidos cloacales emplazadas en áreas donde los acuíferos de agua dulce son semiconfinados, por lo que están mucho más protegidos ante la contaminación que los libres.

Los efluentes de la Planta de Paramillos (Departamento Lavalle), son derivados al Río Mendoza poco antes de la última toma (San Pedro y San Pablo) contaminando así a los 5 canales del tramo Inferior.

En el Río Tunuyán, aguas abajo del Embalse El Carrizal, revisten importancia los vertidos cloacales de la ciudad de San Martín sobre los canales Gral. Contreras-Sta. Rita-Las Lagunas y de la ciudad de Rivadavia, directamente sobre el río.

2. REGIÓN ENTRE LOS RÍOS TUNUYÁN Y DIAMANTE

Abarca unos 12.500 km², limitada al O por la Cerrillada Pedemontana, al E por el Río Desaguadero, al N por el Río Tunuyán y al S por el Río Diamante.

Es un ámbito donde se han practicado numerosas perforaciones y estudios sísmicos con fines petroleros, pero es muy poco conocido en lo referente a las características y comportamiento de sus aguas subterráneas.

Se diferencia de la Región Norte, entre otras cosas, porque la recarga proviene esencialmente de la lluvia y de los ríos secos, que descienden de la Cerrillada Pedemontana y aportan sus caudales en forma esporádica.

La escasez de perforaciones hidrogeológicas exploratorias impide: establecer los espesores y la distribución areal de las capas productivas y de los sellantes; conocer la posición del sustrato impermeable; como asimismo definir el comportamiento piezométrico e hidroquímico del sistema.

3. REGIÓN DE LOS RÍOS DIAMANTE Y ATUEL

También se la conoce como Llanura Sanrafaelina y se extiende desde el Bloque de San Rafael hacia el Este, hasta el Río Salado y por el S hasta la Provincia de La Pampa, cubriendo una superficie de unos 9.000 km². Existen dos oasis bien definidos que involucran a los sectores agrícolas de los departamentos de San Rafael y Gral. Alvear, constituyendo por el volumen de agua subterránea utilizado, el ámbito más importante de la región Sur de Mendoza. En el resto de las cuencas, el agua subterránea se emplea para consumo humano en el ámbito rural y para el ganado, con caudales escasos que generalmente fluctúan entre 2 y 5 m³/h.

3.1. Comportamiento hidráulico

La Llanura Sanrafaelina constituye un importante reservorio de agua subterránea explotado por unas 2.000 perforaciones. Al igual que en las otras llanuras, predominan los acuíferos libres al O mientras que hacia el E, aumenta el grado de confinamiento. En este caso los espesores saturados aumentan de unos 12 m en la Villa 25 de Mayo, a 150 m en Cuadro Nacional, en condiciones de acuífero libre. Al Este, se pasa a un comportamiento de semiconfinamiento y aún de confinamiento en profundidad, con espesores de hasta 400 metros.

Las secciones productivas (arenas y gravas) e improductivas (limos y arcillas) de este ambiente, deben su origen a la acción de los ríos citados (depósitos aluviales)

3.2. Hidrodinámica

El agua se mueve en forma radial divergente desde la entrada del Río Diamante a la Llanura, hacia el NE, E y SE (fig. 19). Los gradientes hidráulicos en el ámbito del acuífero libre varían entre 0,7 y el 1,2%, pasando en la zona de semiconfinamiento a 0,3%, para tomar valores del orden de 0,2% en el de mayor confinamiento.

3.3. Recarga y descarga

La recarga principal deriva del Río Diamante, fundamentalmente en la zona de la Isla del Diamante y depende de su caudal, pudiendo alcanzar en años ricos valores de infiltración próximos a 130 hm³/año. Con respecto a este río, las curvas isopiezas indican que el mismo recarga al acuífero desde la de 760 hasta la de 650 msnm y que los flujos dominantes son hacia el E, ENE y ESE, este último en dirección al Río Atuel (fig. 19).

El Río Atuel se comporta como efluente (drena al acuífero) entre las isopiezas de 650 y 530 msnm, pero aguas debajo de la última cota, se transforma en influente (recarga al acuífero).

Las mayores profundidades de la superficie freática se dan en el sector NO (Colonia El Usillai) con valores de 20 a 50 m y en el Sur (Colonia Las Malvinas) con magnitudes similares. En el resto de la cuenca las profundidades varían entre 1 y 10 m, para alcanzar en el Departamento de General Alvear los 2 m (fig. 20).

Las mayores transmisividades coinciden con el acuífero libre (sector O) con valores entre 2.000 y 4.000 m²/d, los coeficientes de almacenamiento varían entre 10-2 y 10-3, mientras que los rendimientos específicos superan los 40 m³/h/m. En el ámbito con confinamiento, estos valores disminuyen a 500 - 1.200 m²/d, 10-4 a 10-5 y a 20 m³/h/m.

La extracción por bombeo para un año medio, está estimada en 120 hm³.

3.4. Hidroquímica

La acumulación alternante de materiales finos y gruesos ha establecido diferentes acuíferas que si bien constituyen un sistema multiunitario, varían en sus características químicas y productividad. Estudios geofísicos realizados en distintos sectores, corroborados hidroquímicamente han permitido identificar dos secciones productivas y una improductiva a las que se denominó acuífero superior, acuífero principal y capa profunda.

Acuífero superior. Su espesor varía entre 30-40 m y 60-70 m a la altura de Monte Comán, pudiendo alcanzar en dirección SE espesores cercanos a los 100 m. En las inmediaciones de la zona de recarga del Río Diamante (isla del Río Diamante), es explotado principalmente en dos niveles: 0-30 m y 30-60 m y es aceptable para riego. La conductividad eléctrica crece en forma radial a partir de la zona de recarga desde 1.000 a más de 5.000 umho/cm en la franja de transición libre-confinado. Los iones predominantes son calcio y sulfato. El agua subterránea es utilizada para riego, aunque en algunos casos debe mezclarse con la superficial pues excede los rangos admisibles de salinidad. El incremento salino se produce, hacia el E, en coincidencia con las direcciones dominantes del flujo subterráneo (fig. 21 y 22).

Acuífero principal. En algunos sitios comienza a 60 m y se puede extender hasta más de 200 m de profundidad. En este rango se produce una subdivisión entre el Acuífero principal superior (60-165 m) y el Acuífero principal inferior (más de 165 m). La franja de transición libre-confinado, se ubica aproximadamente entre 60 y 100 m de profundidad.

Acuífero principal superior. La conductividad eléctrica varía entre 1.000 y 4.000 umho/cm (fig. 23). El agua sigue siendo sulfatada – cálcica, pero su calidad es considerablemente mejor que la de los niveles superiores, debido a su menor salinidad, por lo que se la explota para riego con buenos resultados.

Acuífero principal inferior. Presenta conductividades entre 1.000 y 2.500 umho/cm (fig. 24) y es el más uniforme en salinidad y composición iónica, por ser el menos vulnerable a factores externos. Contiene aguas con mayor contenido en sodio que los anteriores, aunque el calcio y el sulfato se mantienen en concentraciones apreciables; representan el rango de mayor calidad y estabilidad de las aguas para riego.

4. REGIÓN SUR

Se emplaza al Sur y al Este de la región hidrogeológica precedente y se caracteriza por una cobertura de depósitos aluviales finos, frecuentemente limos salinos y por médanos en parte discontinuos.

La recarga dominante proviene de la lluvia y de los aportes de ríos y arroyos efímeros que bajan de las cerrilladas basálticas ubicadas en el borde occidental de la cuenca.

La composición y concentración salina del agua subterránea es muy variable en cortas distancias y dado que los caudales son pobres, el recurso no aparece preliminarmente como apto para el riego. De cualquier manera el conocimiento que se tiene del mismo es muy escaso, por lo que se considera necesario profundizar en la investigación hidrogeológica, para establecer con mayor certeza sus características y comportamiento.

Actualmente el mayor empleo es para abastecimiento doméstico en el ámbito rural y para el ganado.

5. VALLE DE USPALLATA

Constituye un típico valle intermontano, que se enclava en el NO de la Provincia de Mendoza, entre la Cordillera Frontal al O y la Precordillera al E (fig. 10), con una longitud de unos 40 km (N-S) y un ancho máximo de 8 a 9 km y mínimo de 2 a 3 km (E-O), ocupando unos 200 km² (Vaca, A. en Pazos et al, 1993).

5.1. Comportamiento hidrogeológico

Hidrogeológicamente se distingue: **Medio fisurado y Medio poroso.**

El **Medio fisurado** está formado por rocas anteriores al Cuaternario, que carecen de porosidad y permeabilidad primarias y por lo tanto, sólo pueden almacenar y transmitir agua a través de superficies de debilidad. En el caso más favorable, llegan a conformar acuíferos pobres si se pretende una explotación puntual mediante perforaciones; sin embargo, regionalmente, pueden transmitir volúmenes apreciables al relleno aluvial, que compone el reservorio más importante del valle.

El **Medio poroso**, está formado por sedimentos sueltos entre los que se diferencian aquellos que componen acuíferos pobres (depósitos emplazados en los sectores laterales del valle, o en posiciones topográficamente elevadas) y buenos acuíferos coincidentes con el relleno aluvial del centro del valle.

En la figura 25 se indica la cuenca superficial que drena hacia el Valle de Uspallata y las características hidrogeológicas de las rocas y sedimentos en los que se desarrolla.

5.2. Recarga y descarga

El principal río del valle es el Mendoza que ingresa por el SO y sale por el SE, describiendo un amplio arco convexo hacia el Norte. Otro fluvio importante es el Arroyo Uspallata que corre de N a S y recibe por su margen derecha el aporte de numerosos tributarios, entre los que se destaca el A° San Alberto. Una característica que distingue a estos cursos es la desaparición del agua cuando ingresan en el aluvio del valle, lo que indica una vía importante para la recarga. Respecto a la descarga natural, las condiciones geológicas y morfológicas apuntan a una salida subterránea por el sector Sur de la cuenca.

El agua subterránea, pese a que existe poca información sobre su salinidad y composición iónica, aparece en principio como apta para regar.

El Hotel Uspallata posee una perforación surgente, lo que apunta a la existencia de acuíferos confinados o semiconfinados en la sección profunda del relleno aluvial.

6. VALLE MEDIO DEL RÍO TUNUYÁN

Abarca una superficie de aproximadamente 7.600 km², comprendiendo parte de los Departamentos de Tupungato, Tunuyán, San Carlos y Rivadavia. Los límites naturales son los siguientes: al Norte los afloramientos terciarios de la Cerrillada Pedemontana; al Sur la divisoria de agua superficial entre los ríos Tunuyán y Diamante; al Este las Huayquerías y al Oeste la Cordillera Frontal (Pazos et al, 1993 – fig. 10). Este ámbito forma parte de una gran depresión de origen tectónico, conocida como Depresión de los Huarpes.

El Río Tunuyán actúa como colector general de una serie de arroyos y constituye el único egreso superficial de la cuenca, con un caudal medio de 34 m³/seg. El área de concentración de las aguas (cuenca alta) se ubica en las cordilleras Frontal y Principal, donde las acumulaciones en forma de nieve al pasar al estado líquido en verano, originan cursos superficiales de características permanentes y estacionales. Los más importantes son los ríos Tunuyán y de las Tunas y los arroyos de la Carrera, Anchayuyo, Chupasangral, Villegas, Olmo, Grande, Manzano, Yaucha y Aguanda.

La infiltración se inicia en la cuenca alta, en aquellos lugares donde existen fracturas y fisuras, pero es más importante a partir del piedemonte debido a la permeabilidad de los depósitos aluviales.

6.1. Comportamiento hidrogeológico

La figura 26 reproduce la distribución areal de las unidades geológicas en función de su capacidad para admitir y transmitir agua.

Unidad 1. Se agrupan en la misma a los afloramientos de la zona montañosa, constituidos por rocas volcánicas, plutónicas, sedimentarias y metamórficas, todas del Paleozoico, que están en contacto con los sedimentos del pie de monte. Por sus características litológicas (alta consolidación y muy baja porosidad y permeabilidad) y por ubicarse en áreas con fuertes pendientes, actúan como basamento impermeable del sistema hidrogeológico. Existen excepciones donde la roca ha sufrido fracturación adquiriendo porosidad y permeabilidad secundarias, que permiten la infiltración y la circulación lateral.

Unidad 2. Está constituida por sedimentitas del Terciario medio a superior, que afloran en su mayor parte en el sector oriental y actúan como borde de cuenca para el agua subterránea. Son depósitos continentales caracterizados por la alternancia de conglomerados, areniscas, limolitas y arcilitas, de tonalidades claras, que generalmente contienen sustancias calcáreas.

Unidad 3. Se corresponde con conglomerados friables y camadas de rodados, intercalados con bancos de arenas arcillosas. Pertenecen al grupo de sedimentos precuaternarios y presentan buzamientos de moderados a altos. Afloran constituyendo lomadas, en las que las lluvias esporádicas se infiltran y erosionan, formando cauces.

Unidad 4. Comprende a remanentes de conos aluviales y de llanuras pedemontanas antiguas. Se encuentra adosada a la zona cordillerana y en algunos sectores del borde oriental, está constituida por un conglomerado grueso con bloques grandes.

Unidad 5. Consiste en una serie de volcanitas cuaternarias que se extiende al Sur del Río Tunuyán con un carácter eminentemente basáltico y cenizas y tobas, que enmascaran a las otras formaciones en zonas protegidas de los agentes erosivos.

Unidad 6. Comprende a los depósitos de la zona distal de los conos y la planicie aluvial, caracterizados por su variado tamaño de grano. Estos sedimentos constituyen el relleno de la cuenca, por lo que tienen gran relevancia desde el punto de vista hidrogeológico, ya que en ellos se encuentran los principales acuíferos. Las

variaciones horizontales y cambios de facies, producen acuíferos de las capas permeables y relaciones complejas de interdigitación con aquellas carentes de permeabilidad dando lugar, en ocasiones, a afloramientos de agua, es decir, a zonas de descarga.

Unidad 7. Agrupa a los sedimentos acumulados en la parte proximal de la llanura aluvial y en las bajadas. Los tamaños dominantes (gruesos) y la posición topográfica (bajada), determinan que esta unidad sea la zona de conducción del agua subterránea infiltrada en los cauces y de las lluvias estacionales.

Unidad 8. Es el complejo eólico areno-limoso que forma los médanos y guadales, cuya distribución depende del relieve y de la dirección de los vientos.

6.2. Comportamiento hidráulico

Respecto al funcionamiento hidráulico subterráneo se pueden distinguir las siguientes zonas de Oeste a Este:

a) zona de infiltración en el piedemonte (unidades 4 y 7), donde se origina una extensa franja de dirección N-S, de agua libre con movimiento rápido, dado que los sedimentos son gruesos y sueltos.

b) al Este de la precedente, se ubica la zona intermedia o de conducción y reservorio, con disminución en el tamaño del grano e intercalación de niveles finos; pertenece a la unidad 6.

c) la zona de descarga está situada al E de la anterior y en ella se producen los principales afloramientos de agua por desnivel topográfico o barreras de permeabilidad que también dan lugar a zonas de confinamiento.

En la zona libre el movimiento del agua está controlado por la topografía y el medio constituido por sedimentos gruesos, generalmente fanglomerados y conglomerados, con tamaños de bloques, gravas y arenas

La zona confinada se origina por la alternancia de gravas y arenas, con limos y arcillas y se ubica principalmente en el centro-este de la cuenca.

El Valle medio del Río Tunuyán está explotado por más de 2.000 pozos, la mayoría de ellos con profundidades entre 80 y 250 m. Existen dos paquetes hidráulicos importantes, el primero hasta 80 m (acuífero libre) y otro desde 85 a 250 m (confinado), con una surgencia media de +15 m (fig. 27). Se han registrado surgencias mayores en algunas perforaciones con profundidades de más de 250 m, que en casos superan +60 m, lo que apunta hacia un tercer acuífero confinado con fuertes presiones.

6.3. Hidrodinámica

A partir del mapa con curvas de isopiezas (fig. 28) y teniendo en cuenta la recarga y el sentido del flujo subterráneo, se ha dividido el área en tres subzonas, la Norte, la Media y la Sur. La primera va desde el Río Las Tunas hasta el borde N de la cuenca, la Media comprende el área entre los ríos Las Tunas y Tunuyán y la Sur se extiende desde el Río Tunuyán hasta el borde S de la cuenca.

Subzona Sur. En esta parte de la cuenca, ubicada en el Departamento de San Carlos, las líneas de flujo tienen dirección S-N, notándose la recarga proveniente del Arroyo Yaucha y de otros pequeños cursos. Los mayores gradientes hidráulicos se registran en la localidad de Pareditas donde alcanzan valores de 2,3%, mientras que hacia el N la pendiente disminuye a 0,25%.

Subzona Media. Aquí se manifiestan las influencias del Río Tunuyán y del Arroyo Las Tunas. Con excepción del Tunuyán, los demás ríos y arroyos se infiltran totalmente en el piedemonte a poco de abandonar sus cuencas imbríferas. El agua que se infiltra generando recarga, da origen a un acuífero freático y a una serie de nuevos arroyos que vuelcan sus aguas al Río Tunuyán.

Los gradientes al O son del orden del 1%, incrementándose en la parte central al 2% para nuevamente bajar, próximo a la ciudad de Tunuyán, al 0,5%. El flujo subterráneo dominante tiene dirección O-E.

Subzona Norte. Está recargada por una serie de arroyos que tienen sus nacientes en el Cordón del Plata y por el Río Las Tunas. Todos estos ríos y arroyos son aprovechados en parte para riego, pero un caudal importante se infiltra a poco de discurrir por la bajada pedemontana.

Las líneas de flujo tienen una dirección general NO-SE y convergen en el punto de salida de la cuenca (Río Tunuyán). Los gradientes fluctúan desde el 0,5% al NO hasta el 2% al SE.

6.4. Parámetros hidráulicos

En términos generales la transmisividad disminuye de Oeste a Este, como así también de Sur a Norte; es decir que los valores más bajos se encuentran en la zona bajo confinamiento. En las proximidades de San Carlos los valores medios de los parámetros hidráulicos son: transmisividad $1.000 \text{ m}^2/\text{d}$; coeficiente de almacenamiento $2 \cdot 10^{-4}$ y rendimiento específico $18 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$.

Al O, la transmisividad fluctúa entre 2.500 y $9.000 \text{ m}^2/\text{d}$; el coeficiente de almacenamiento es del orden de $1 \cdot 10^{-3}$ y los rendimientos específicos de $30 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. En cambio en el sector E y N, los valores descienden a $200 \text{ m}^2/\text{d}$, $2 \cdot 10^{-4}$ y $8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, respectivamente.

En la Zona Centro hay 21 cauces de caudal permanente que erogan anualmente unos 380 hm^3 y por consiguiente, debido a los materiales permeables por los que fluyen, generan una abundante recarga subterránea.

Los caudales que se obtienen en este ambiente son muy importantes; las perforaciones realizadas en el acuífero libre sobrepasan $150 \text{ m}^3/\text{h}$ y las que captan acuíferos bajo confinamiento, superan $300 \text{ m}^3/\text{h}$.

6.5. Hidroquímica

Existen en el área diferentes cursos de agua superficial y cada uno de ellos ejerce un efecto **químico** importante sobre el agua subterránea. El Río Tunuyán tiene un módulo de $34 \text{ m}^3/\text{s}$ y su salinidad varía de 1.000 a $1.500 \text{ umho}/\text{cm}$. Los máximos valores de salinidad coinciden con los menores caudales; por lo tanto el carácter hidroquímico del Río Tunuyán cambia según las condiciones hidrológicas, desde una composición sulfatada cálcica a sulfatada cálcica-sódica. Este cambio de carácter incide a su vez en la composición química del agua subterránea en el área de influencia de dicho río.

Respecto al agua subterránea en general **existe una estratificación hidroquímica vertical** en por lo menos dos niveles bien definidos.

Acuífero superior. La salinidad para este nivel varía entre 300 y $2.300 \text{ umho}/\text{cm}$, presentándose los valores más altos en la cercanía de La Consulta con más de $2.000 \text{ umho}/\text{cm}$. La zona que registra menor salinidad es la central, comprendida entre el Arroyo La Cieneguita y Vista Flores. En ella el agua subterránea posee entre 300 y $390 \text{ umho}/\text{cm}$ (fig. 29).

Acuífero inferior. Los pozos que explotan este nivel no se encuentran distribuidos uniformemente en la cuenca, localizándose en el sector E de la misma, en el área de confinamiento donde la mayoría es surgente. En general, a esta profundidad, el agua es menos salinizada y más uniforme en su composición que la del acuífero superior.

La conductividad eléctrica (CE) varía entre $210 \text{ umho}/\text{cm}$ (Tunuyán) y $850 \text{ umho}/\text{cm}$ (Tupungato). La zona de menor salinidad se localiza en la parte central de la cuenca, con valores de CE inferiores a $400 \text{ umho}/\text{cm}$ (fig. 30). En cambio, al N

de la Villa de Tupungato se han determinado las mayores CE (590 a 850 umho/cm). En general la salinidad de este nivel aumenta en el sentido del flujo subterráneo.

Para ambos acuíferos, la variación de la salinidad en su recorrido está acompañada por un aumento en la concentración de sulfatos y de sodio. La calidad del agua subterránea para riego del acuífero superior es buena a regular y la del acuífero inferior es buena.

7. VALLES MEDIOS DE LOS RÍOS DIAMANTE, ATUEL, SALADO Y MALARGÜE

No existe consenso para delimitar con precisión el pasaje de los valles medios de los ríos Diamante y Atuel, respecto a la llanura por la que fluyen aguas abajo dichos ríos. Algo similar sucede con los valles medios de los ríos Salado y Malargüe. Por ello, con el objeto de unificar criterios, se identifica como valles medios de estos ríos, a las regiones que se desarrollan principalmente sobre sedimentitas y volcanitas preterciarias y terciarias, que poseen baja porosidad y permeabilidad primarias y escaso relleno aluvial. Esto hace que no resulten buenos reservorios para el almacenamiento ni la explotación de agua subterránea. Además, en aquellos casos en que el Terciario presenta capas productivas, en general son de elevada salinidad y por lo tanto no resultan aptas para los usos comunes.

POLÍTICA Y ESTRATEGIA PARA EL MANEJO

No cabe duda de que para lograr un manejo adecuado de cualquier recurso natural, previamente es necesario conocer sus características y comportamiento esenciales. También es cierto que el conocimiento es más o menos preciso en función de: la información disponible; la investigación realizada; los parámetros y variables medidos; el seguimiento de la evolución del recurso en el espacio y en el tiempo (monitoreo).

Cuanto mayor sea el conocimiento citado, menores serán las deficiencias que se cometan en el manejo. Los recursos naturales en general y el agua subterránea en particular, se rigen por algunos postulados básicos como por ejemplo, la ley de conservación de la energía o la ley de gravedad para el flujo; sin embargo las condiciones del sistema pueden variar notablemente en espacios o lapsos muy reducidos (variación de permeabilidad, porosidad, grado de saturación, etc), lo que obliga a asumir esquemas o modelos generales para descifrar o predecir un comportamiento particular. Esto en definitiva deriva en un conocimiento aproximado del sistema, que generalmente se va precisando en función de los resultados obtenidos durante el manejo.

En Mendoza existe un organismo (ex CRAS) que desde hace unos 30 años realiza estudios de prospección y evaluación del agua subterránea, con personal altamente especializado e instrumental adecuado para ello. En el transcurso de 1998 el ex CRAS pasó a formar parte del INA (Instituto Nacional del Agua y el Ambiente), desligándose de su vinculación institucional con la Provincia de Mendoza, hecho que en el entendimiento del suscrito debiera revertirse a la condición anterior, donde además del ente nacional, tenían representación en dicho organismo las provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja. De esta manera Mendoza se aseguraría la realización de las investigaciones hidrogeológicas que resultan fundamentales para lograr un adecuado desarrollo regional.

En lo referente al riego no cabe duda que es imprescindible mejorar la eficiencia actual, que se estima alrededor de sólo un 40%. Esto, que constituye uno de los fundamentos para un manejo adecuado, asume mayor relevancia aún en zonas áridas como Mendoza, que deben aprovechar al máximo sus escasos recursos hídricos.

Actualmente se riega por surco y una forma de mejorar la eficiencia es cambiar el sistema por el de aspersión y/o goteo. Para ello será necesario la conjunción de dos condiciones; una referida a la rentabilidad de los cultivos y la otra a la costumbre en la práctica del riego.

Resulta evidente que si el productor no percibe una rentabilidad apropiada no efectuará inversiones para mejorar el sistema de riego ni otros afines. De cualquier manera si la rentabilidad lo permitiese, sería necesario difundir las ventajas de los sistemas propuestos y enseñar su uso, pues los productores hace más de 100 años que están regando por surco.

En lo referente a información hidrogeológica se considera conveniente la creación de un banco con datos de: perforaciones (ubicación, perfiles, caudales, uso, niveles, composición del agua, rendimientos, etc); clima (precipitación, temperatura, humedad, viento, insolación, radiación, etc); geología (informes, mapas, perfiles); geomorfología (geoformas); hidrología superficial (caudales y derrames de los ríos y arroyos y alturas de las lagunas); edafología (tipos y distribución de los suelos); riego (volúmenes aplicados, origen del agua, pérdidas); piezometría (niveles de agua subterránea y su evolución en el espacio y en el tiempo); uso del agua (consumo humano, riego, ganadero, industrial).

Para el banco de datos, posee una cuantiosa y valiosa información el ex CRAS y también el Departamento General de Irrigación.

En lo referente a estudios regionales y puntuales, se considera conveniente que:

- el ex CRAS continúe con el monitoreo hidrogeológico de la Cuenca Norte (Región de los Ríos Mendoza y Tunuyán) que inició hace más de 20 años, pero que debió interrumpir en 1998 por falta de fondos.
- se profundice la evaluación del sector N de la cuenca mencionada (ámbito de acuíferos bajo confinamiento) hasta lograr la información suficiente para formular un esquema hidrogeológico conceptual ajustado, sobre cuya base deberá asentarse el desarrollo de cualquier modelo numérico o analógico.
- se investiguen las regiones de los ríos Tunuyán y Diamante, Región Sur y Valle de Uspallata, que son poco conocidas hidrogeológicamente.
- se efectúen estudios sobre la infiltración efectiva que se produce en los lechos de los ríos principales (Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel, Salado, Malargüe) dado que constituyen las vías principales para la recarga subterránea.
- se realicen estudios similares para precisar las pérdidas en los canales de distribución y en las parcelas regadas.
- se hagan experiencias respecto a la modificación de la capacidad de infiltración en los canales, en las parcelas y en el cauce del Río Mendoza, en función de las aguas claras que derivará el futuro Embalse Potrerillos.
- se instale una red de pozos para monitoreo en ambas márgenes del Río Mendoza, entre su salida de la Garganta de Cacheuta y la Central Alvarez Condarco, pues en ese tramo el río quedará prácticamente seco cuando opere el Embalse Potrerillos; el objeto es efectuar un seguimiento de las alteraciones en los niveles y en la reserva del acuífero libre en el tramo citado.

BIBLIOGRAFÍA

AUGE M. P. 1998. Hidrogeología. En Evaluación de Impacto Ambiental del Embalse Potrerillos – Mendoza. Ambiental S.A. Inéd: 50. Mendoza.

HERNÁNDEZ M. 1984. Río Mendoza. Infiltración en el tramo Cacheuta – Cipolletti. Provincia de Mendoza. CRAS – D87. San Juan.

PAZOS J. A. BESSONE J. L. VIVAS J. A. VACA A. WETTEN C. y C. E. VALERO 1993. Recursos hídricos subterráneos y aguas termales. En Geología y Recursos Naturales de Mendoza. Relatorio XII Congr. Geol. Arg: 551-599. Buenos Aires.

ROBLES J. 1983. Prospección geoeléctrica en la subcuenca Carrizal Norte – Provincia de Mendoza. CRAS – D69. San Juan.

VACA A. 1993. La Cuenca de Uspallata. En Recursos hídricos subterráneos y aguas termales. Geología y Recursos Naturales de Mendoza. Relatorio XII Congr. Geol. Arg: 583- Hidrogeología 586. Buenos Aires.

Figura 9

UNIDADES FISIOGRAFICAS

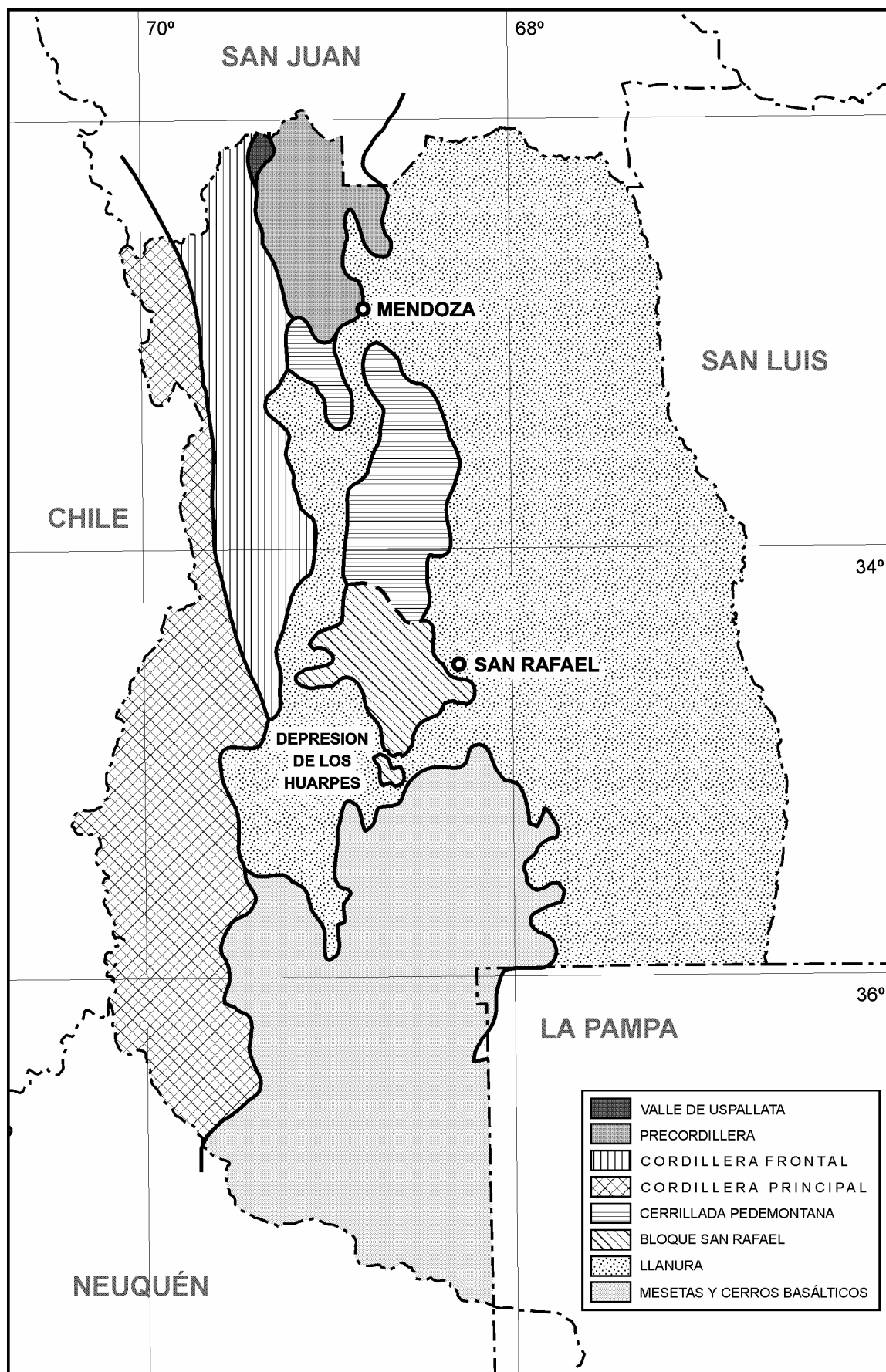


Figura 10

AMBIENTES HIDROGEOLÓGICOS

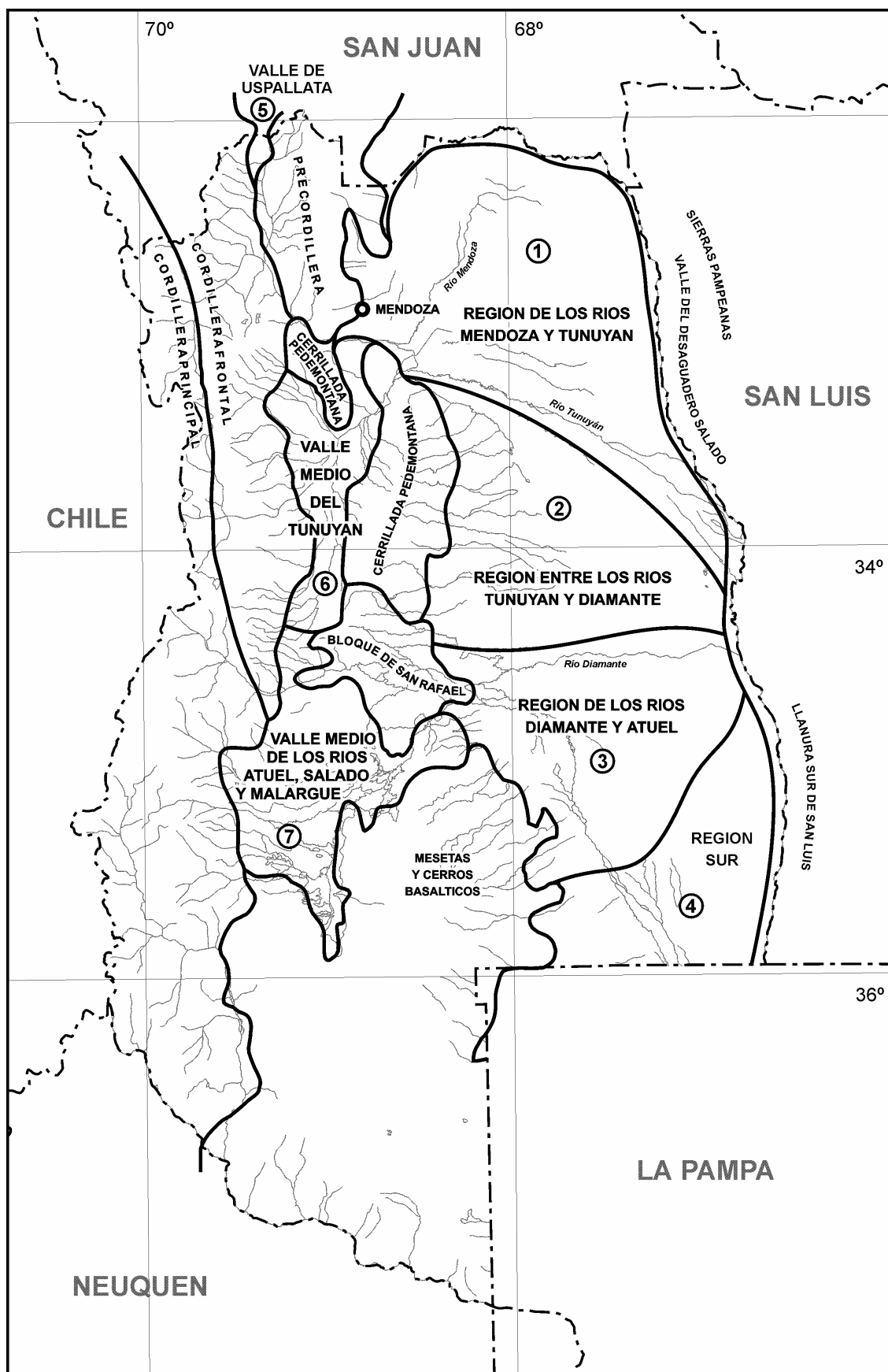
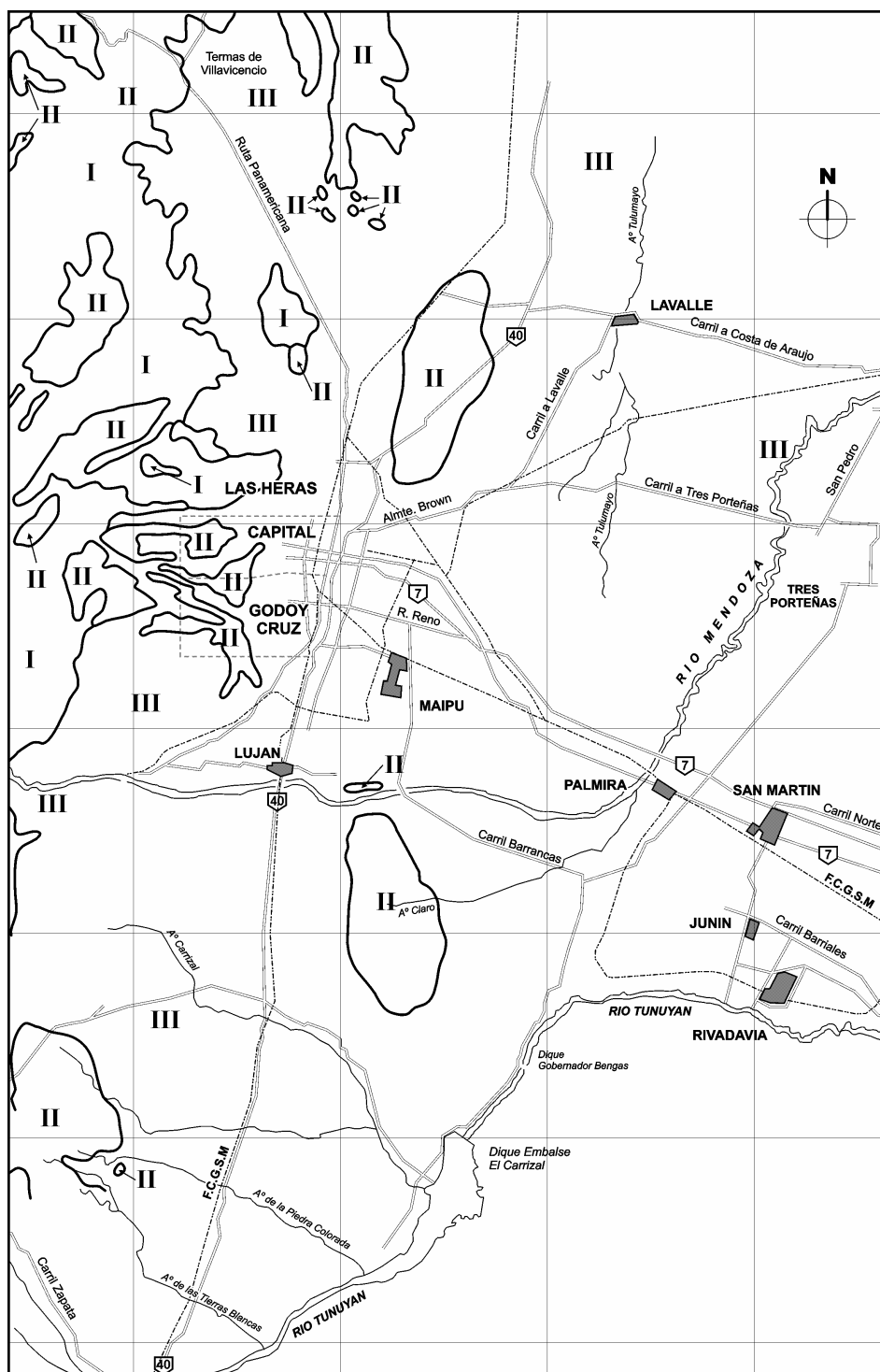


Figura 11

AMBIENTES HIDROGEOLÓGICOS – ZONA NORTE



- I: Rocas compactas localmente con permeabilidad secundaria por fracturación o disolución (generalmente no acuífero o acuífero pobre).
- II: Sedimentitas y escasas rocas ígneas impermeables o poco permeables con poca agua mineralizada.
- III: Cubierta sedimentaria generalmente permeable que contiene los principales acuíferos.

Figura 12

ESPESOR ALUVIO MODERNO

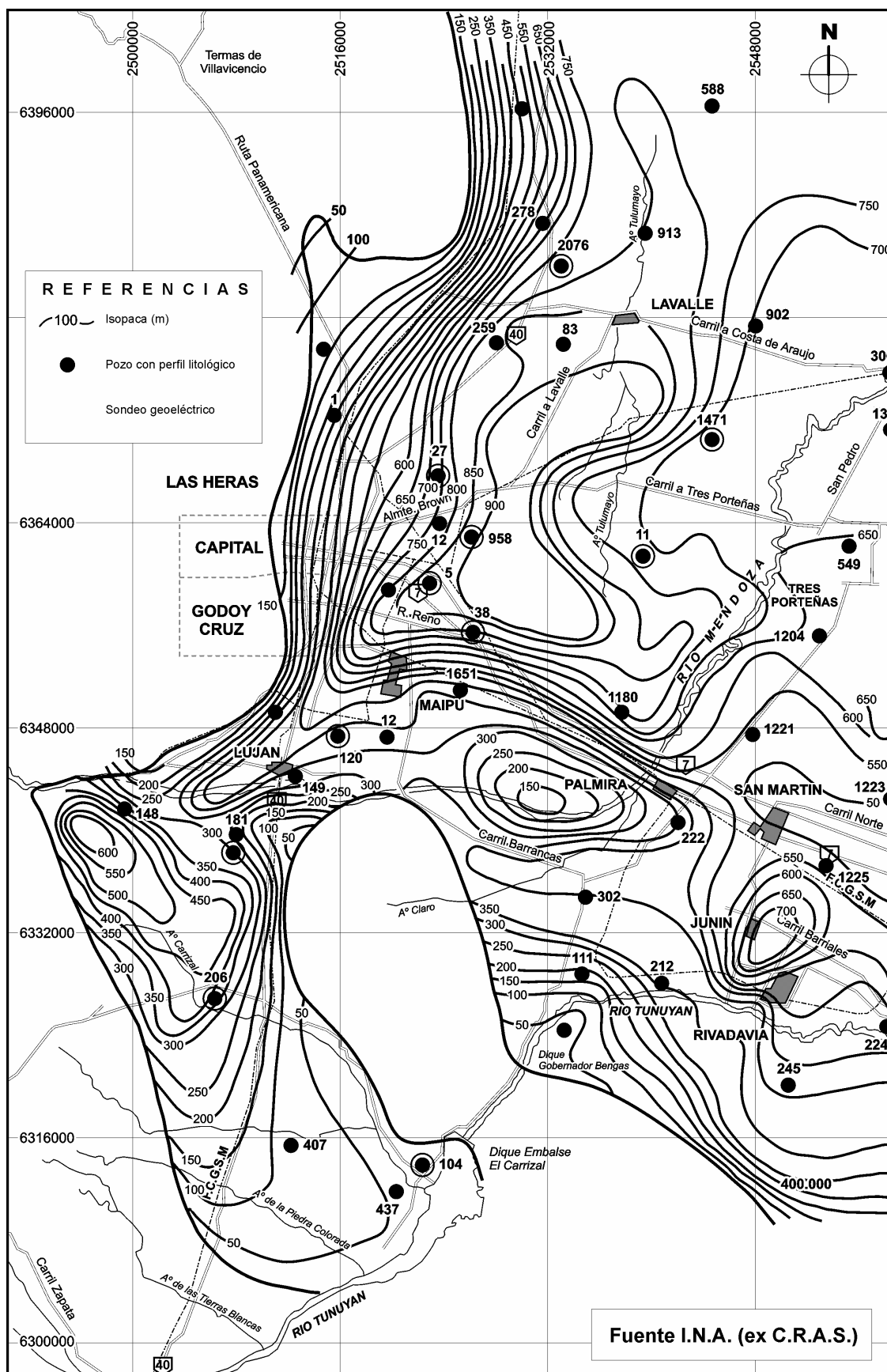


Figura 13

UBICACIÓN

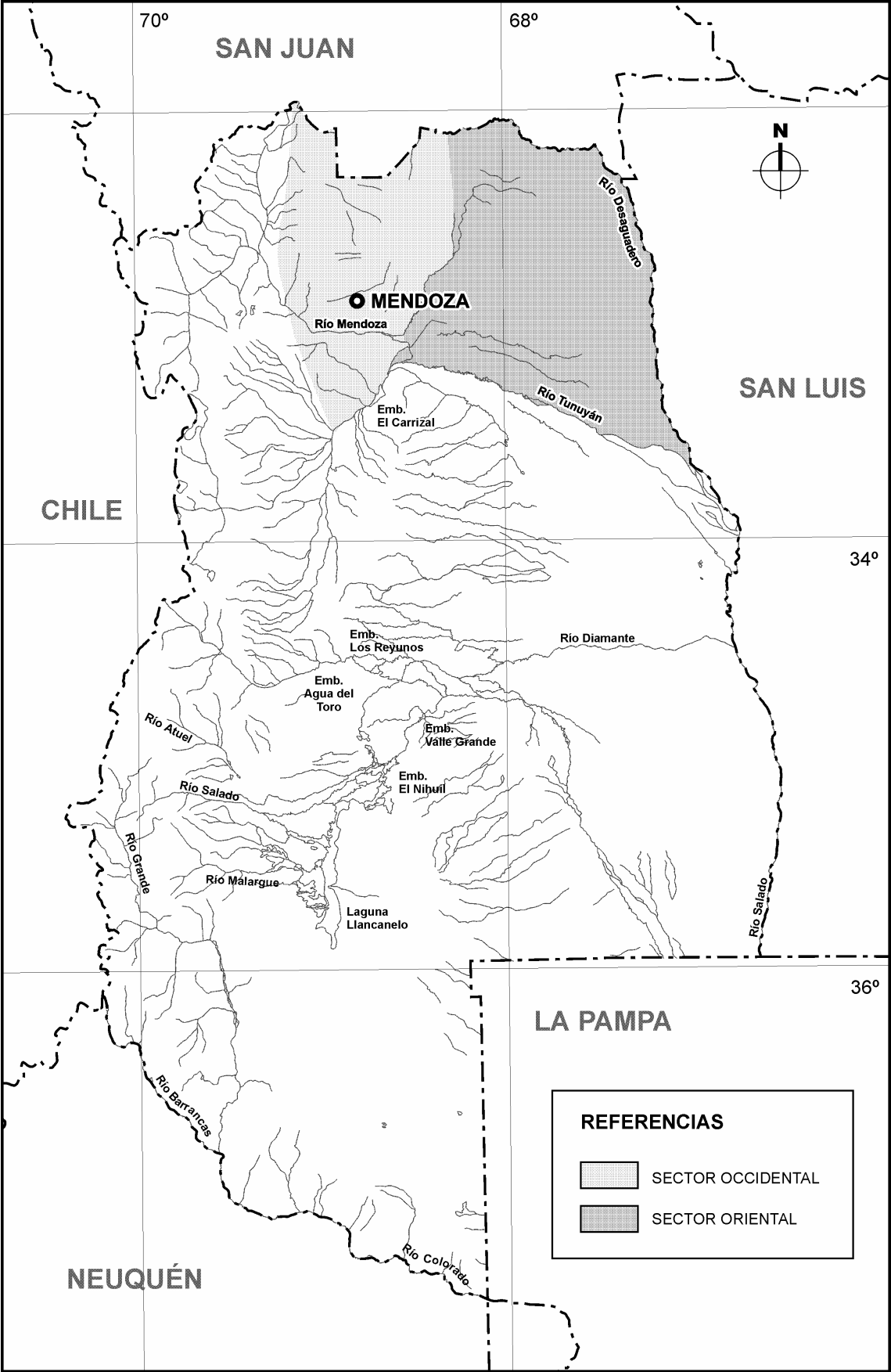


Figura 14

FLUJO SUBTERRÁNEO

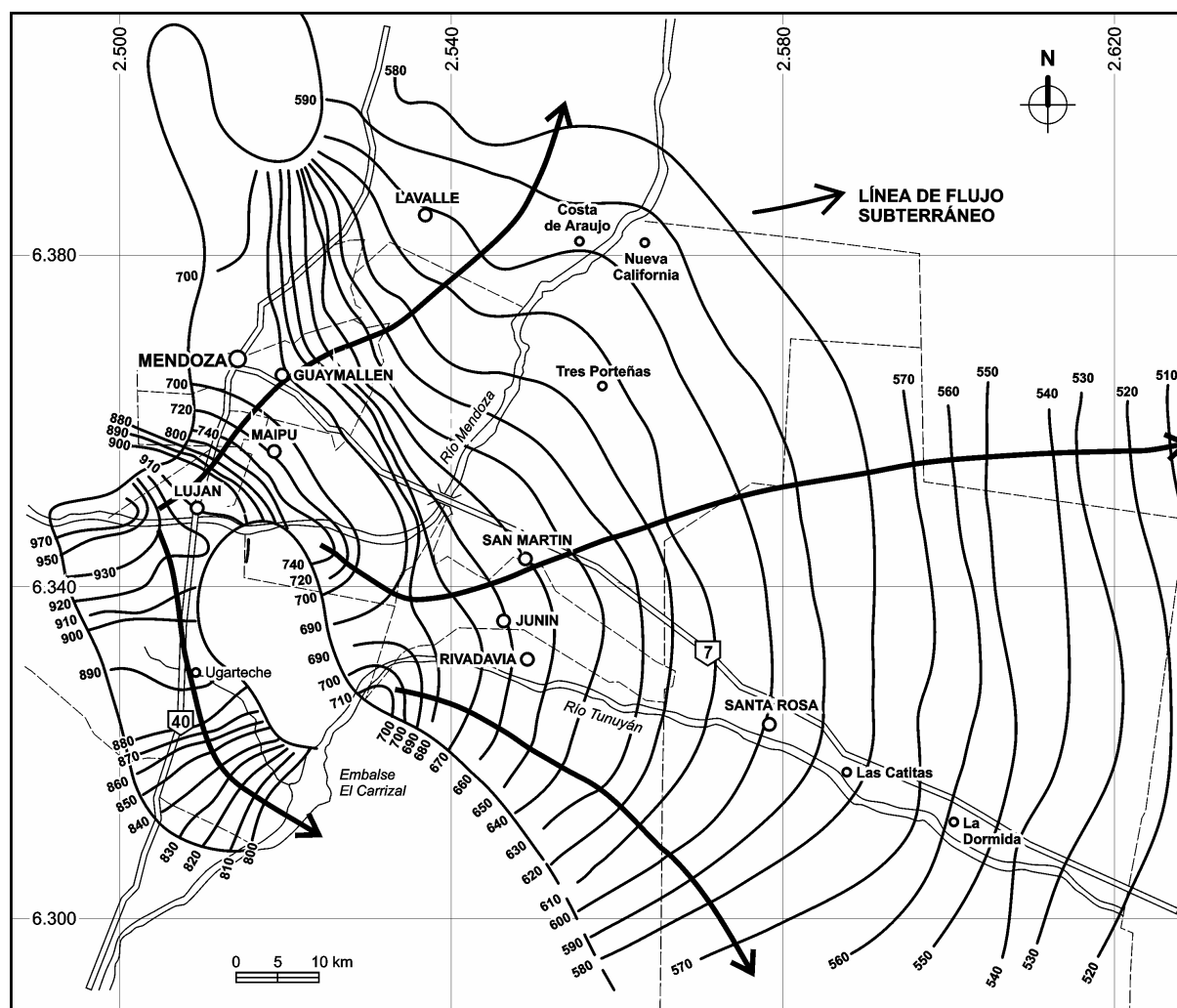


Figura 15

PROFUNDIDAD SUPERFICIE FREÁTICA

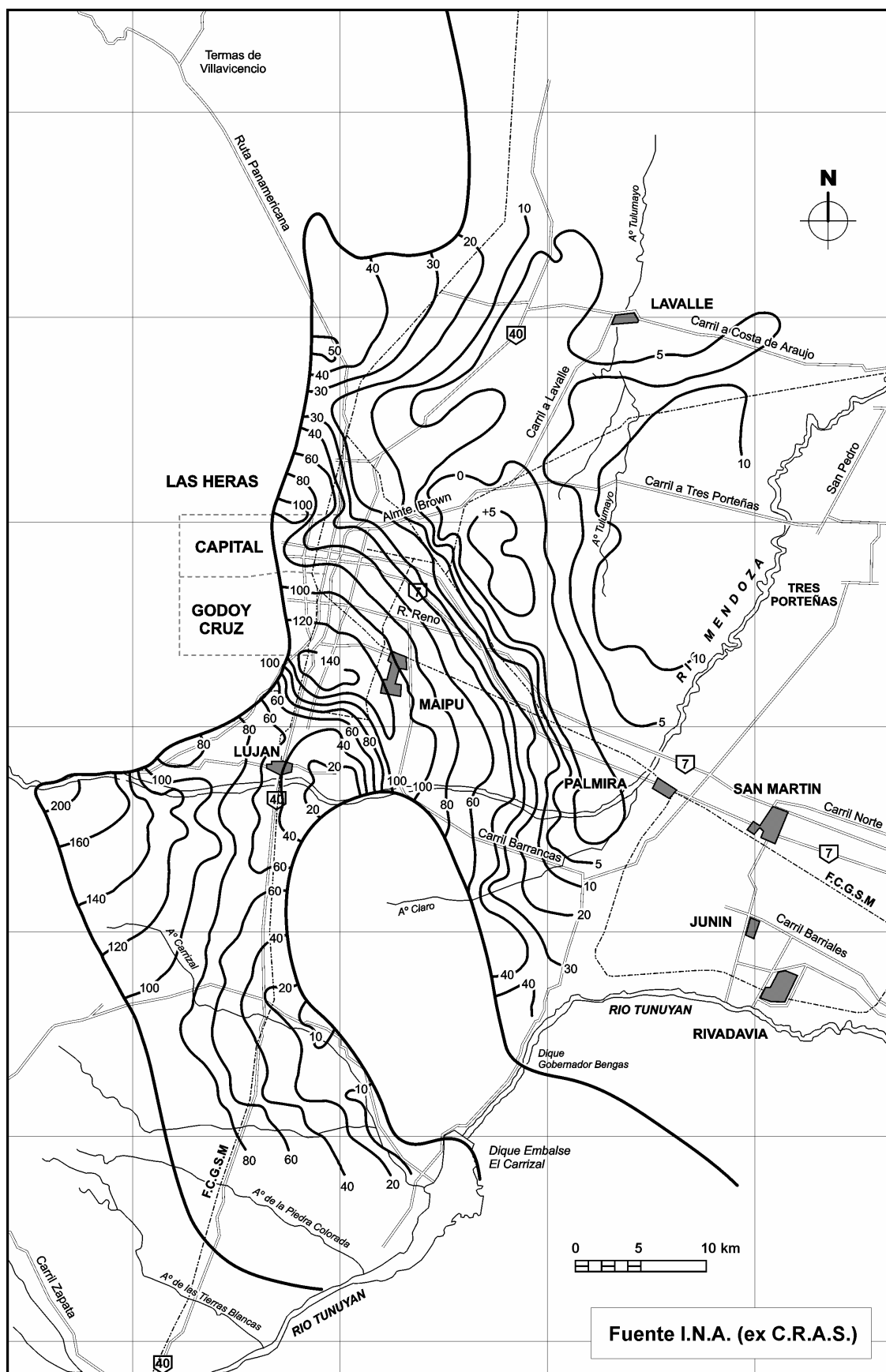


Figura 16

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA PRIMER NIVEL

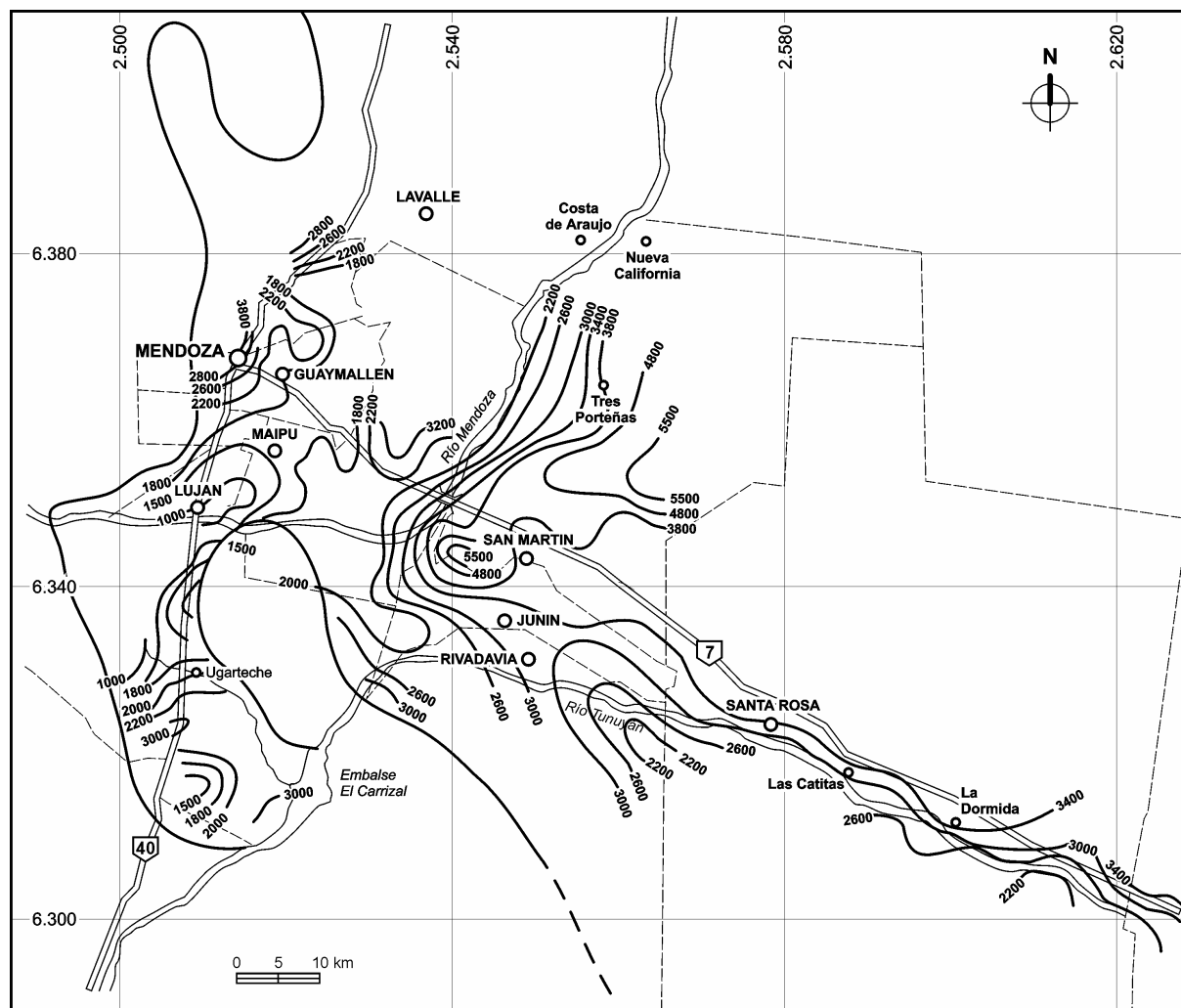


Figura 17

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA SEGUNDO NIVEL

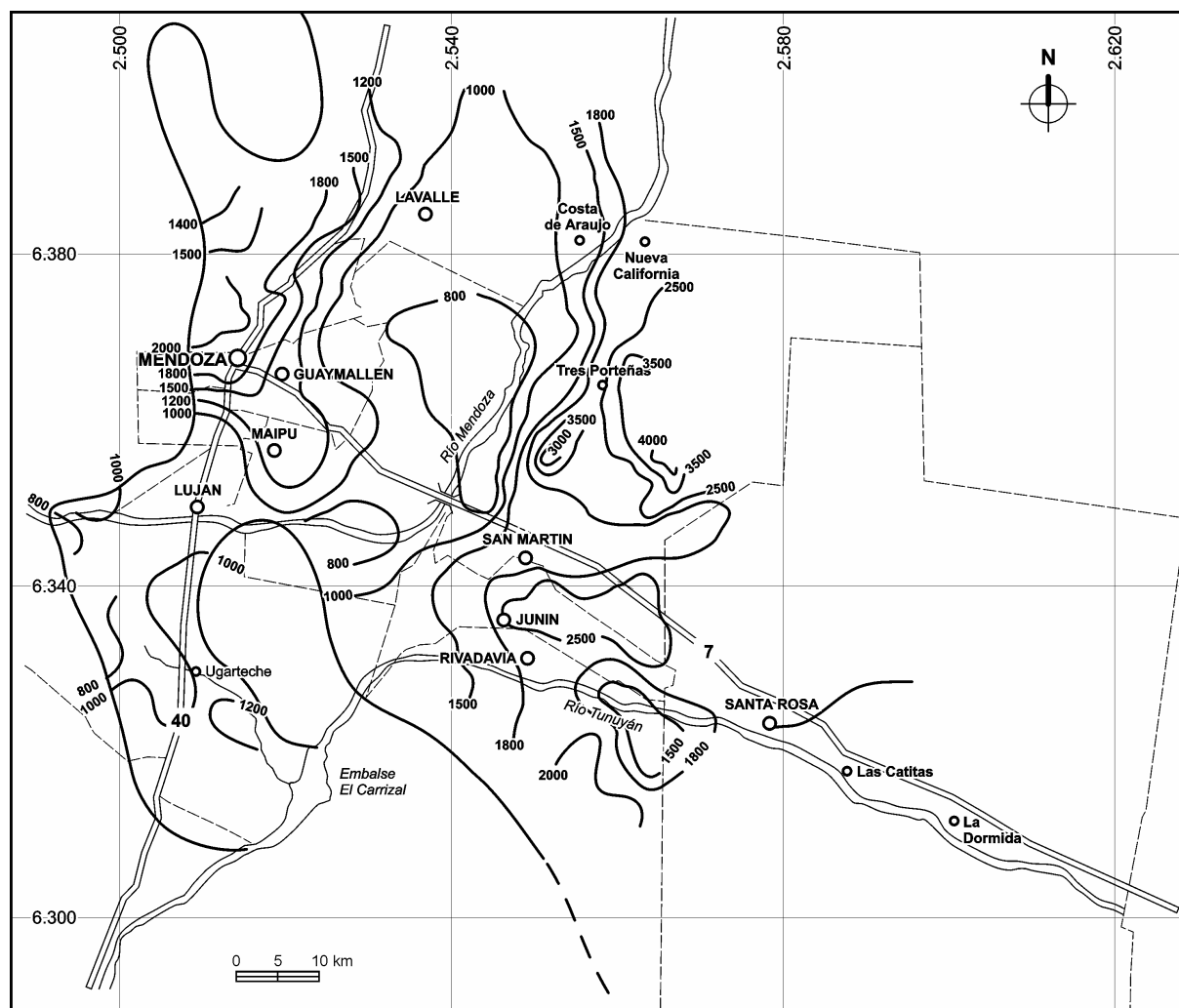


Figura 18

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA TERCER NIVEL

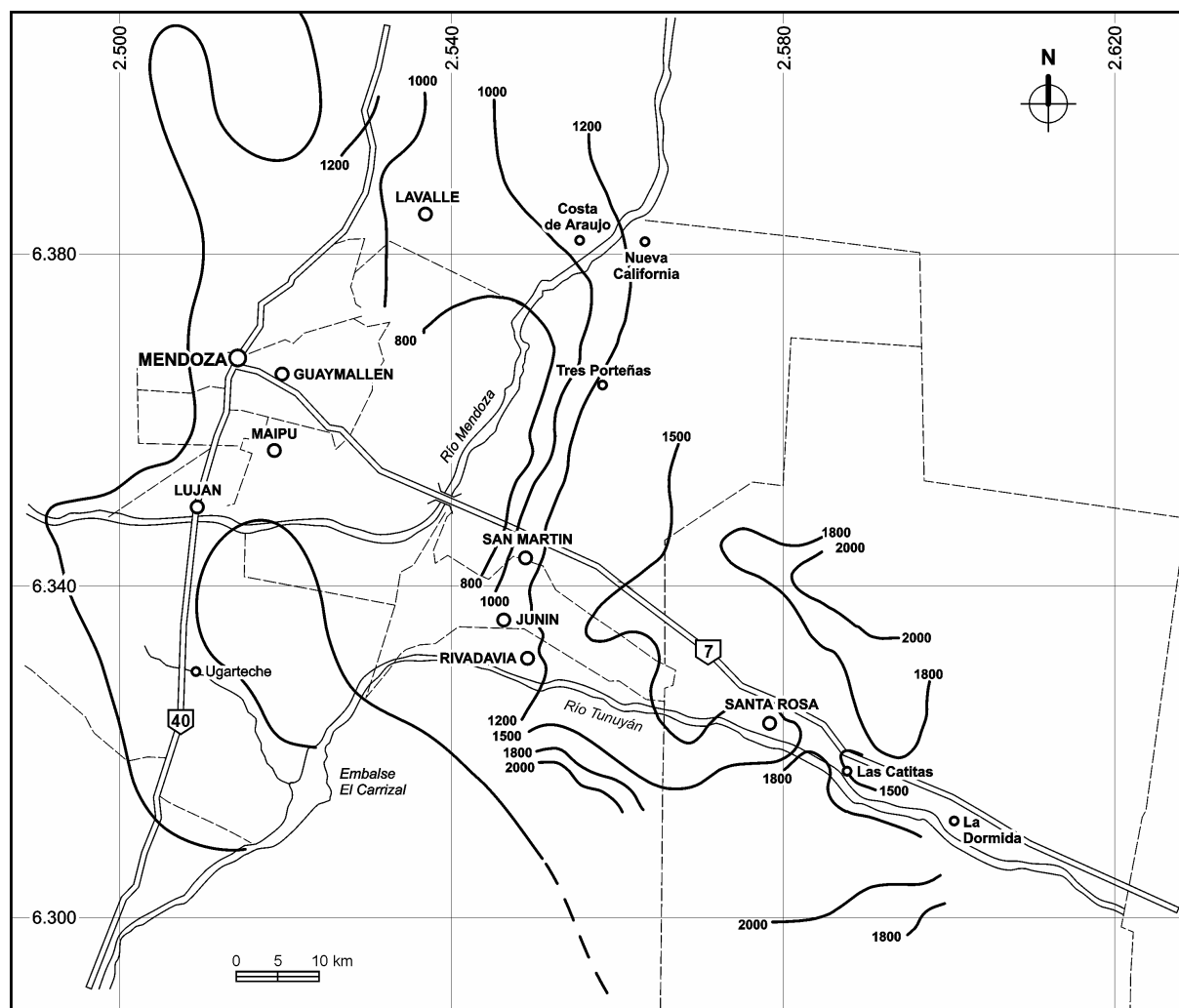
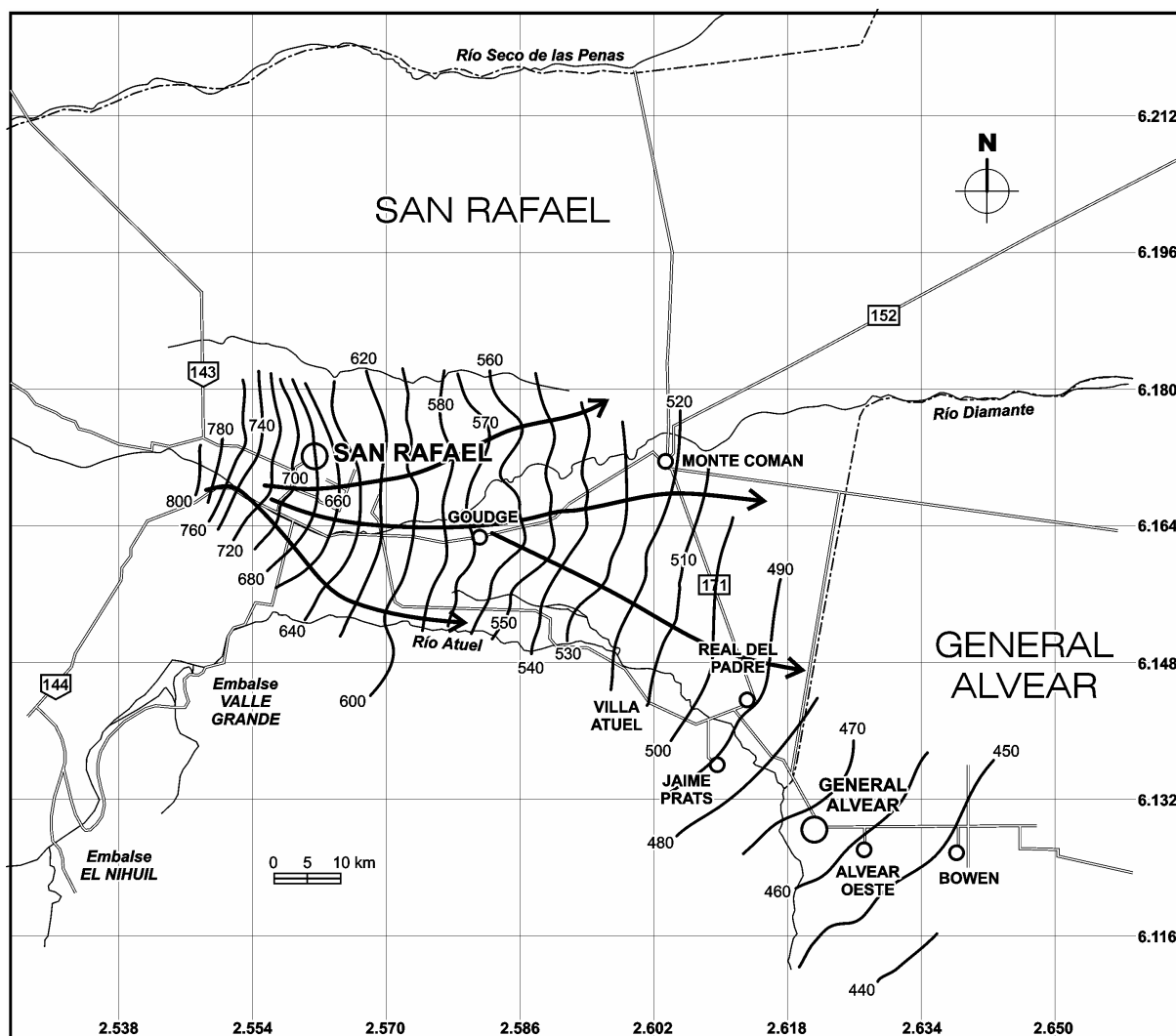


Figura 19

FLUJO SUBTERRÁNEO – ZONA SUR



PROFUNDIDAD AGUA SUBTERRÁNEA – ZONA SUR

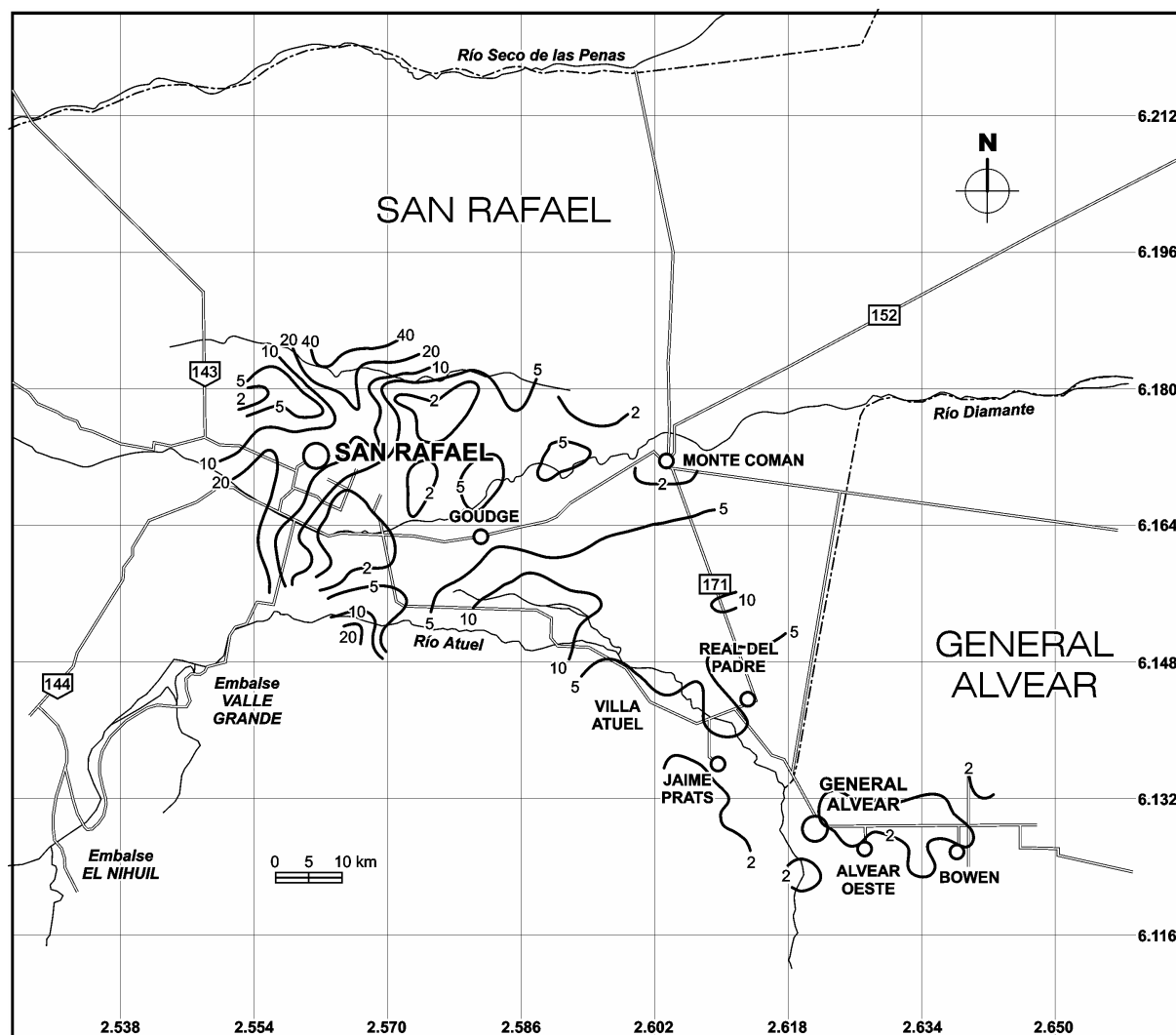


Figura 21

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA – ZONA SUR (0 – 30 m)

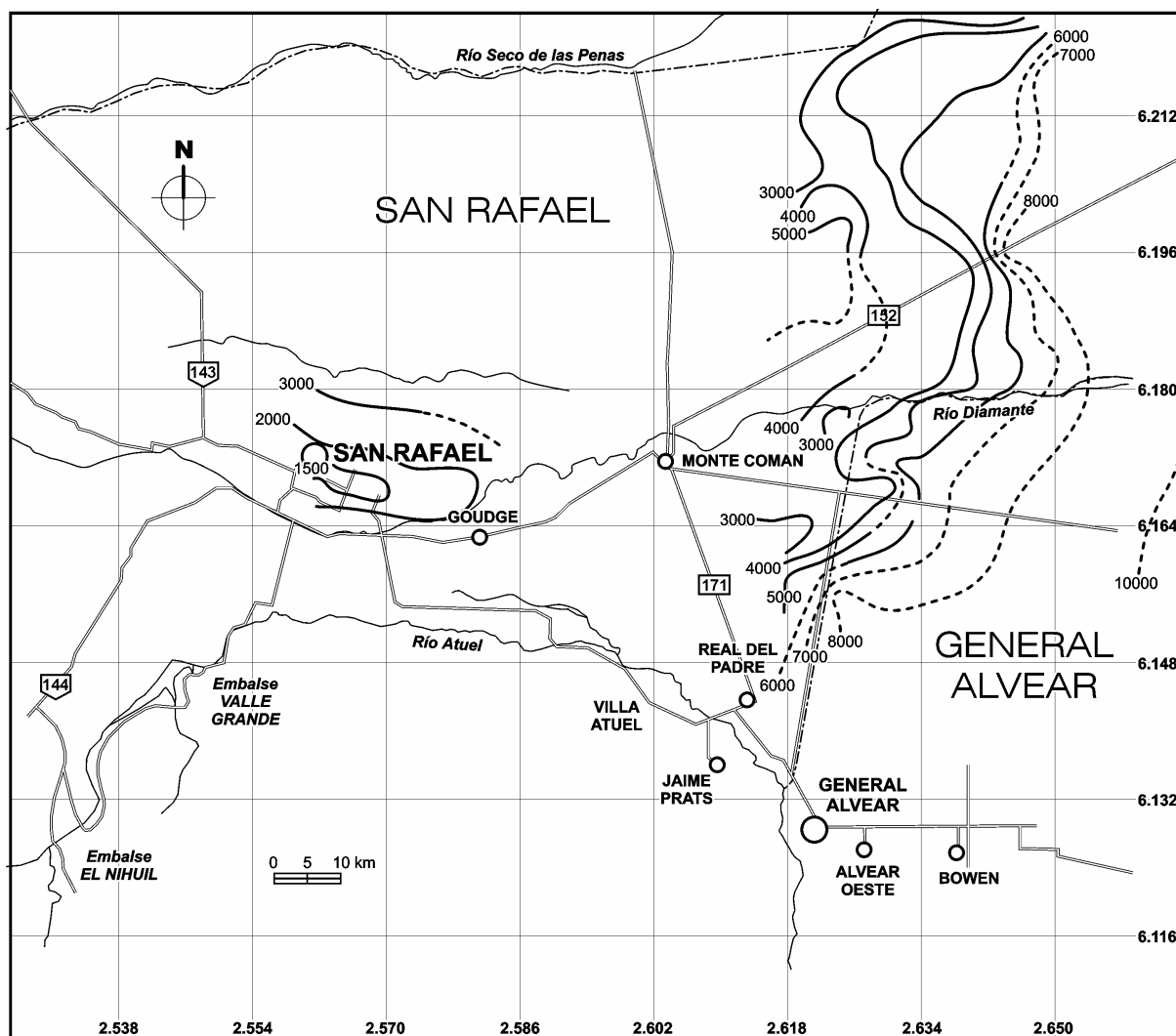
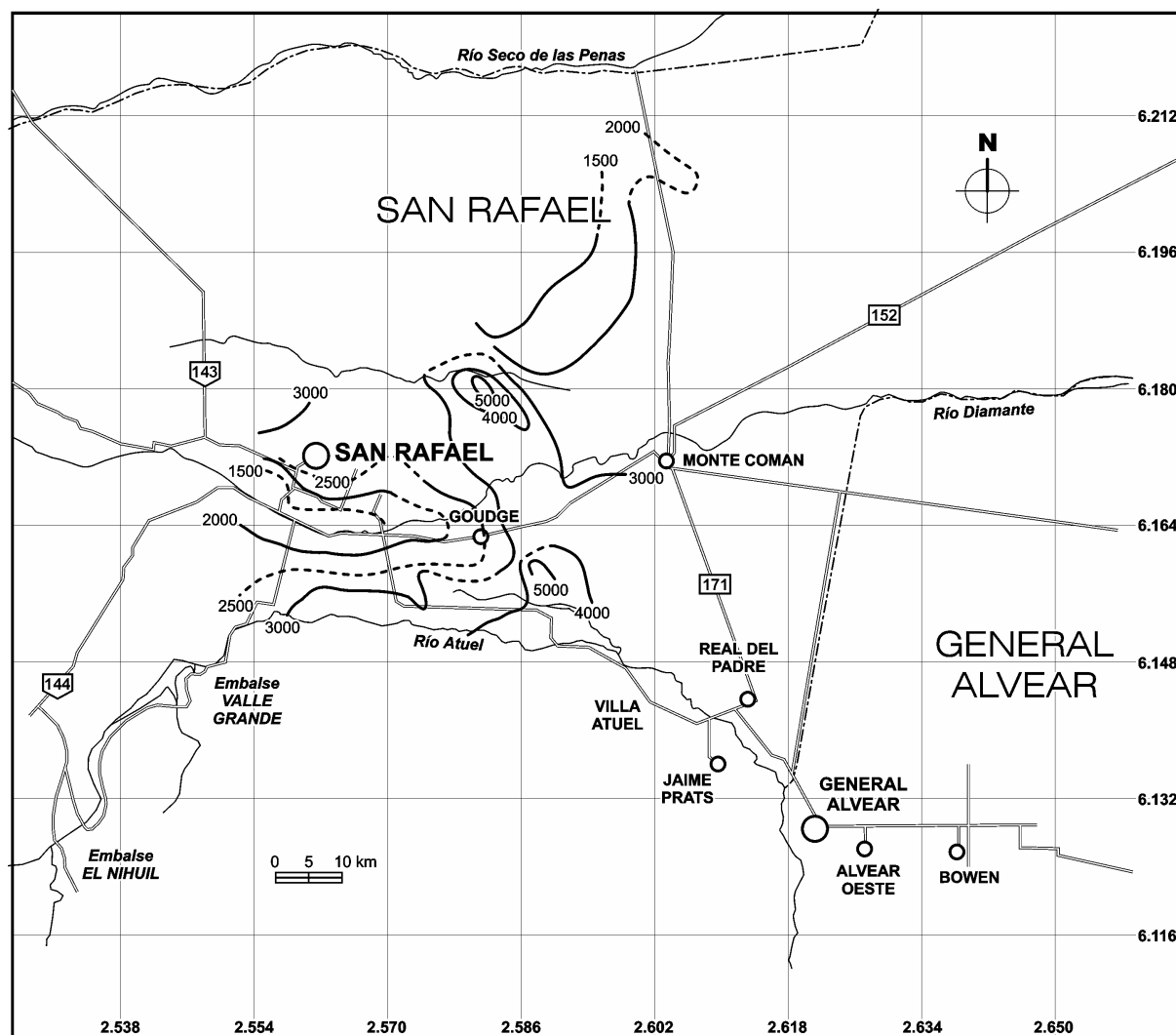


Figura 22

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA – ZONA SUR (30 – 60 m)



CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA – ZONA SUR (100 – 165 m)

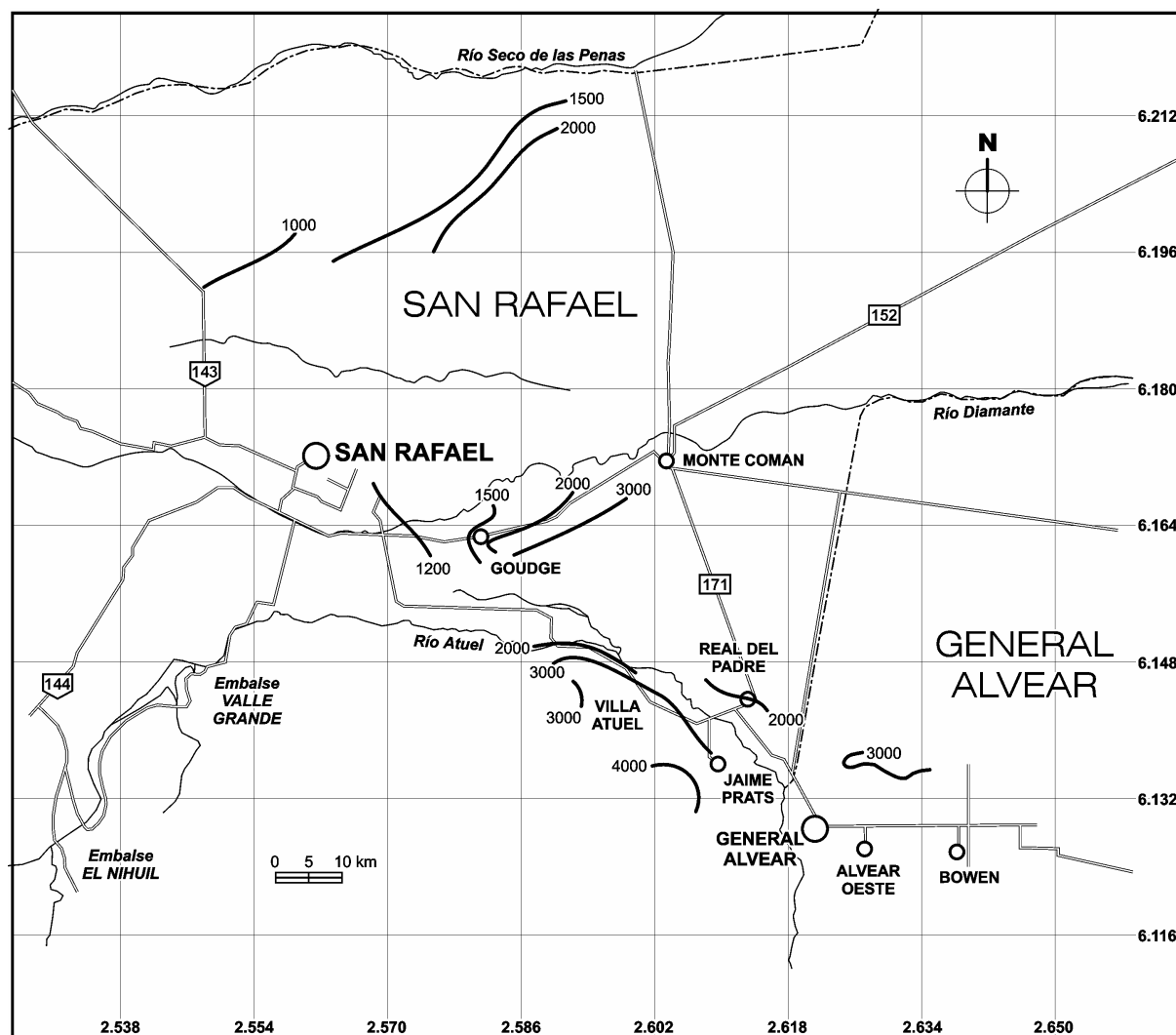
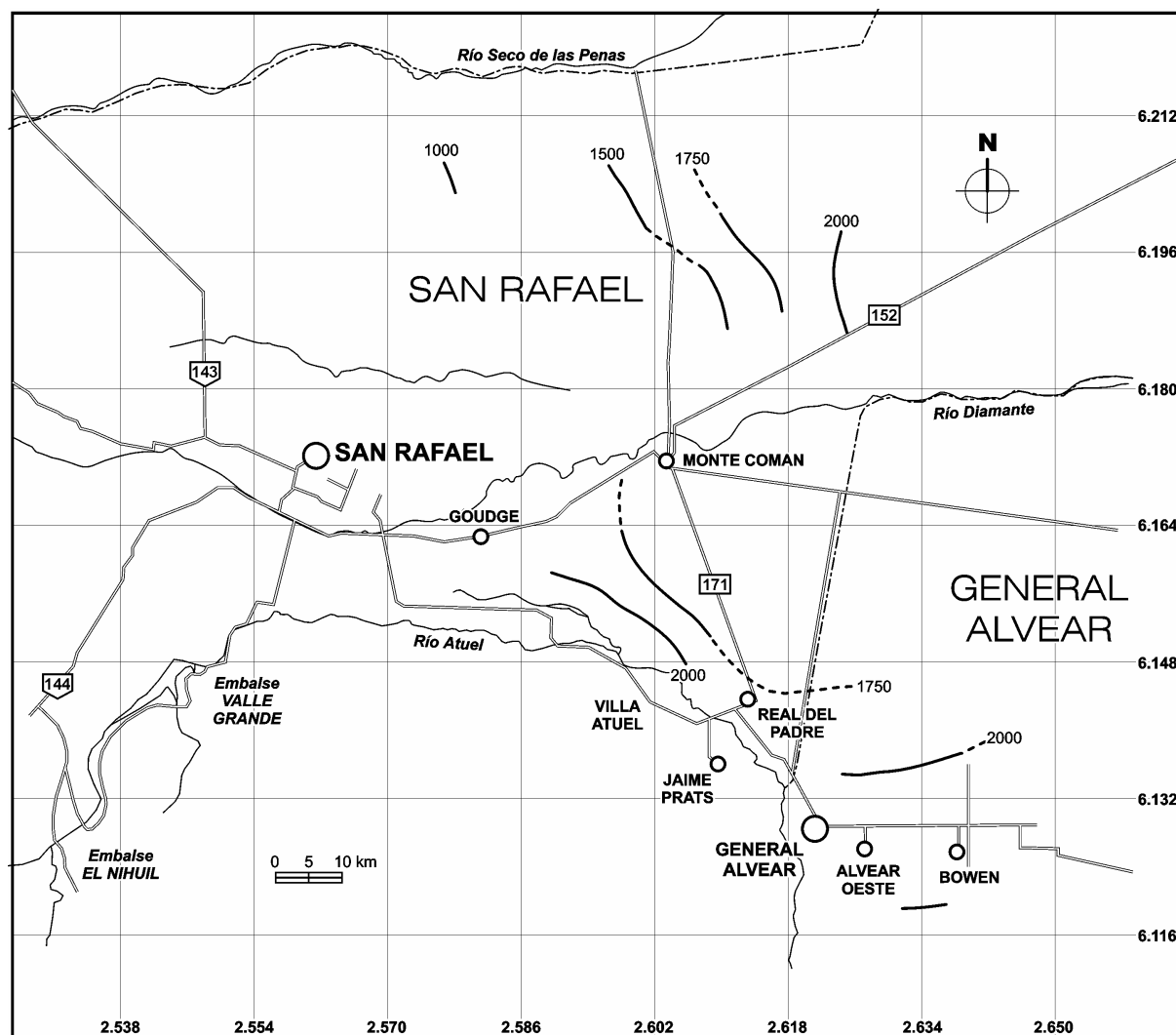
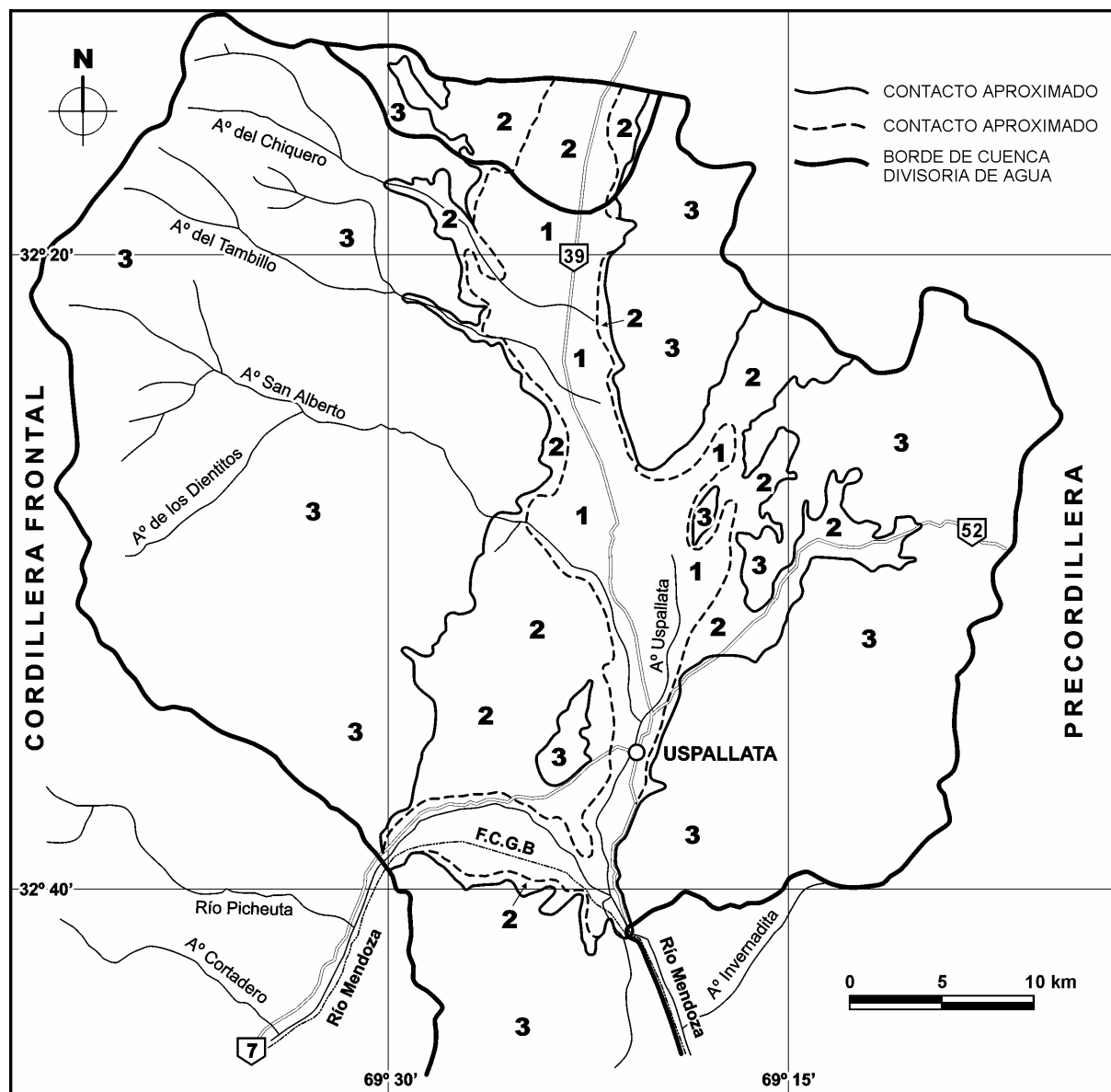


Figura 24

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA – ZONA SUR (165 – 200 m)



AMBIENTES HIDROGEOLÓGICOS – USPALLATA



Mapa hidrogeológico preliminar. Uspallata.

Referencias:

- 1:** medios porosos, material suelto poroso y permeable.
- 2:** medios porosos, material suelto o poco consolidado, en posición topográfica elevada.
- 3:** medios fisurados, material consolidado, con porosidad y permeabilidad secundaria.

Figura 26

AMBIENTES HIDROGEOLÓGICOS – ZONA CENTRO

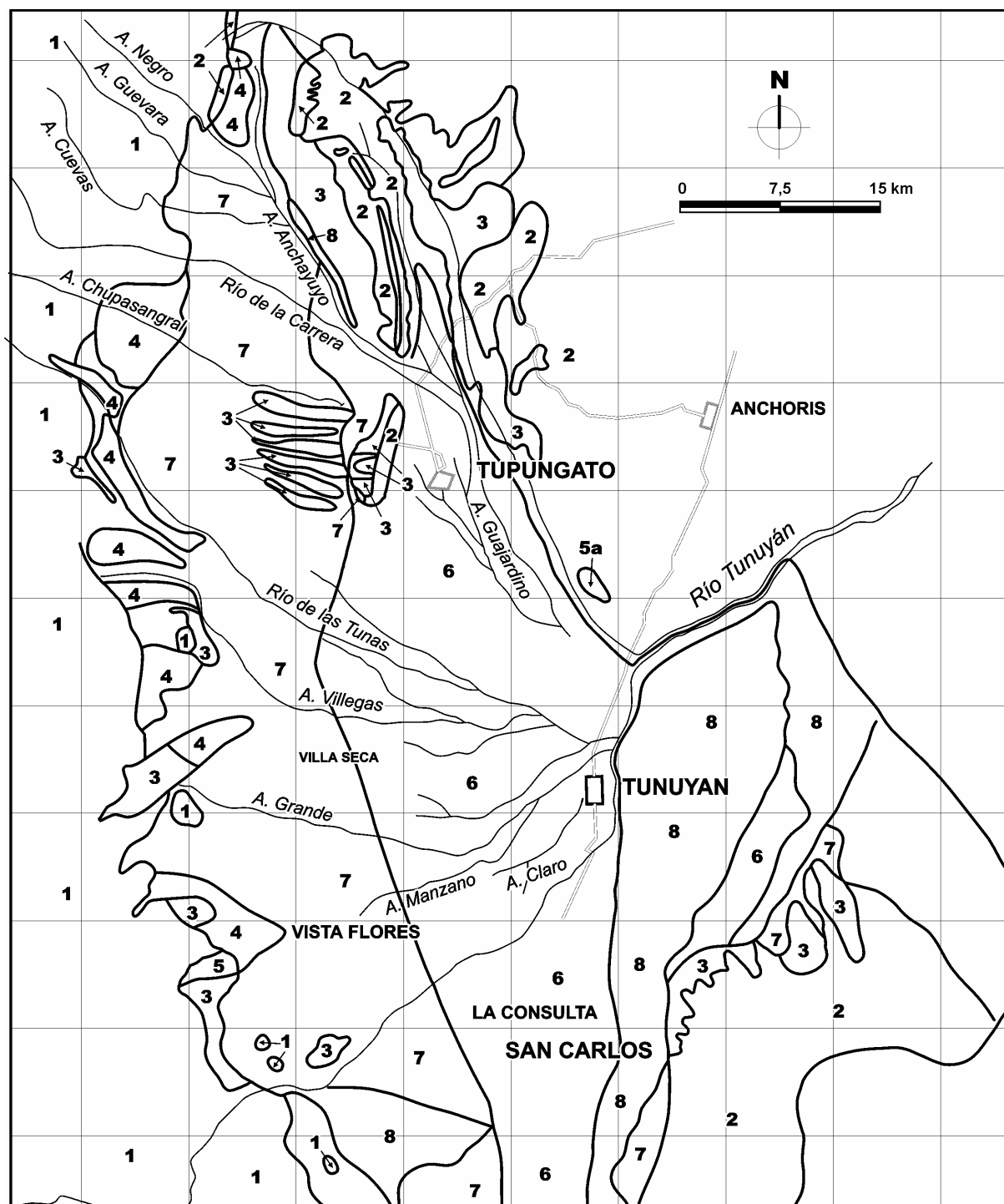
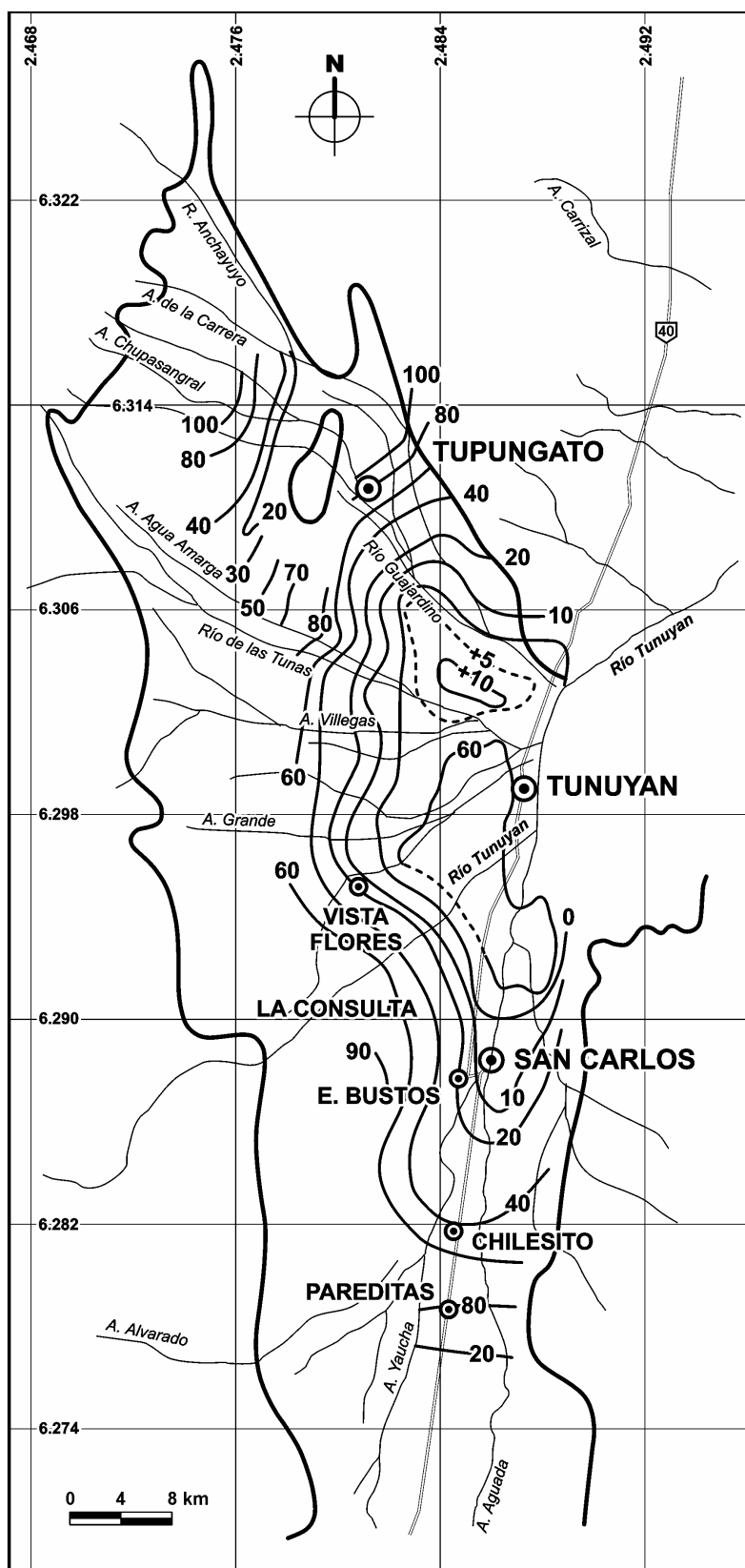


Figura 27

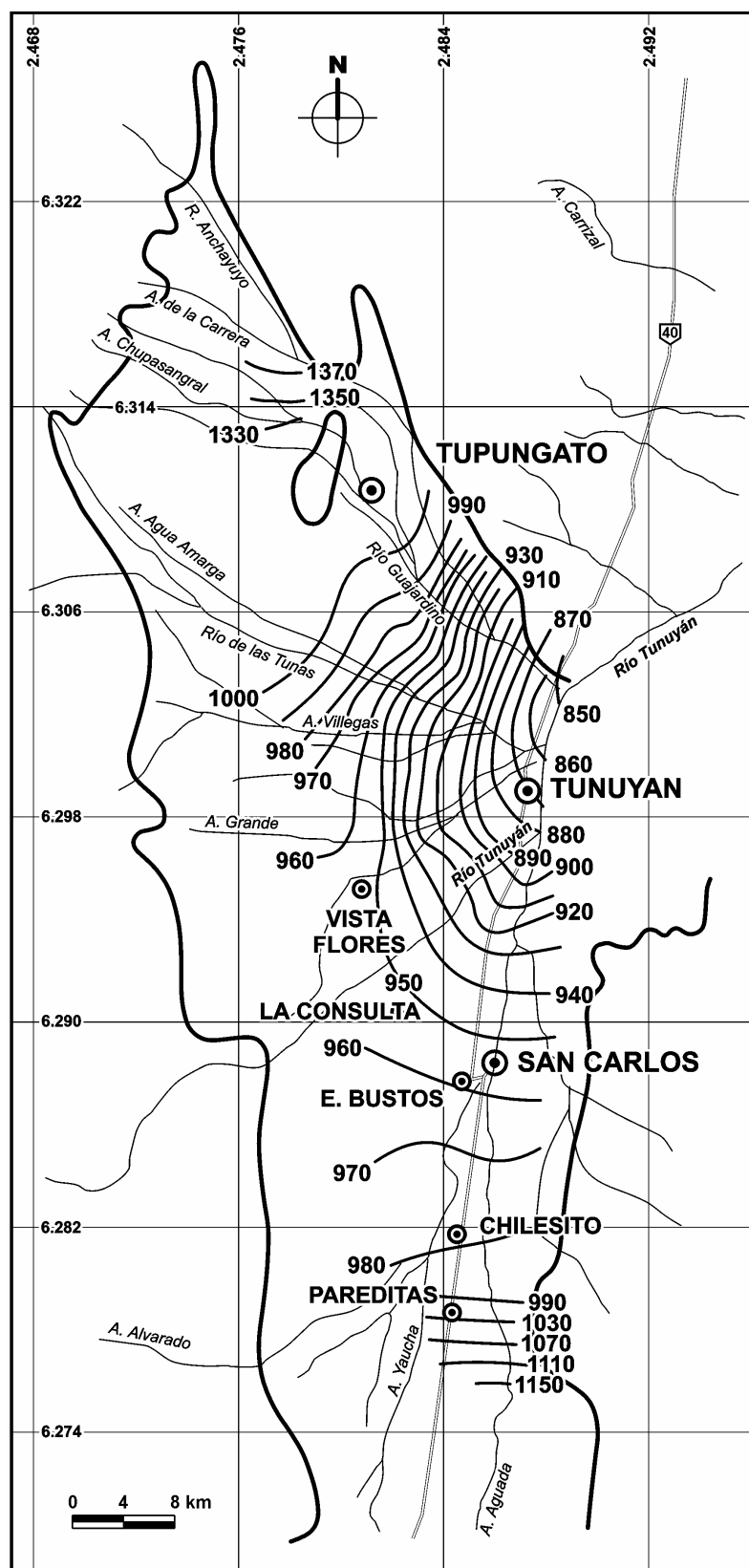
PROFUNDIDAD AGUA SUBTERRÁNEA – ZONA CENTRO



Igual profundidad del agua subterránea de la zona centro

Figura 28

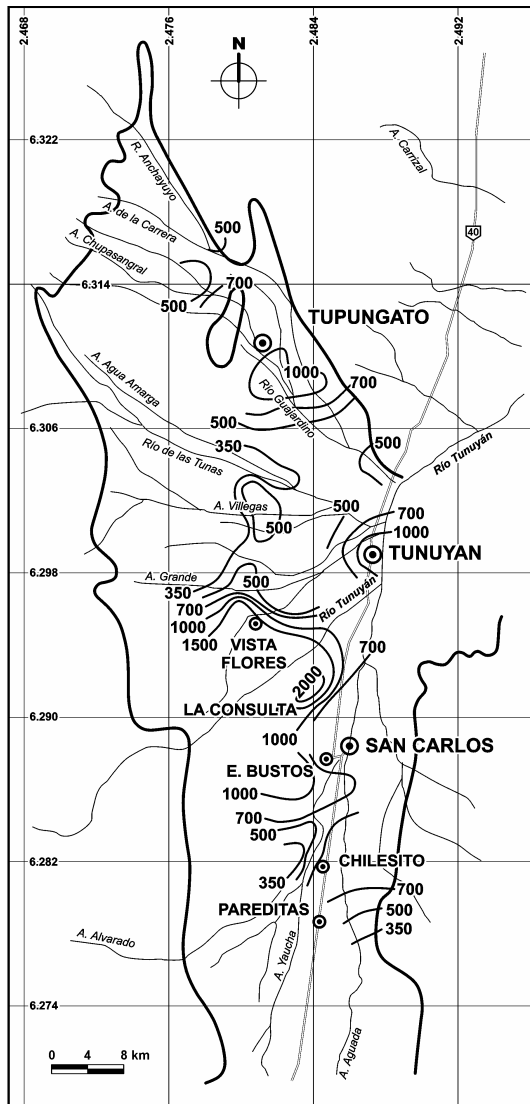
ISOPIEZAS – ZONA CENTRO



Curvas isopiezas de la zona centro.

Figura 29

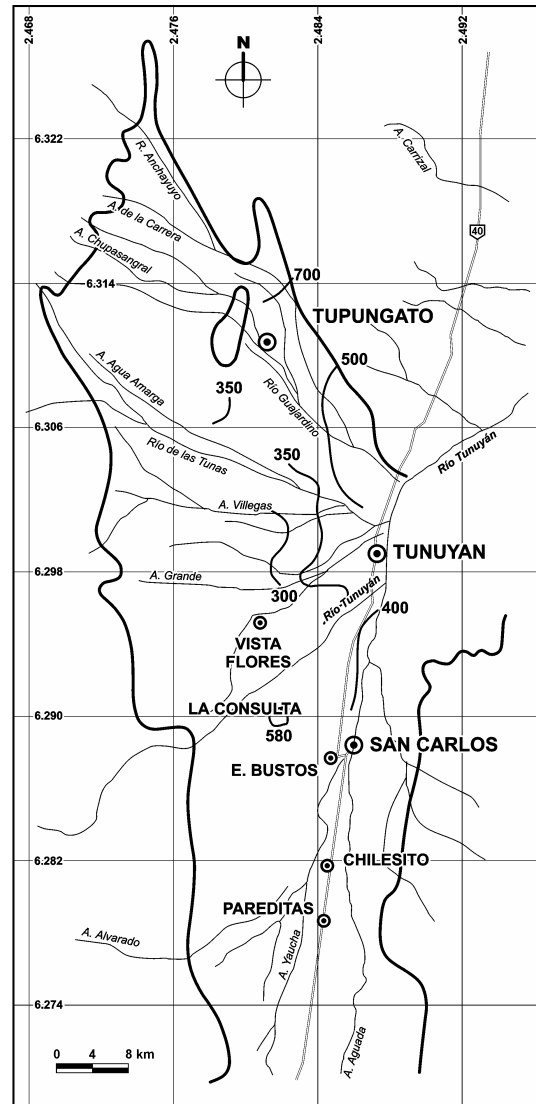
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ACUÍFERO SUPERIOR ZONA CENTRO



Curvas de isoconductividad eléctrica del acuífero superior (< 80m) de la zona centro.

Figura 30

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ACUÍFERO INFERIOR ZONA CENTRO



Curvas de isoconductividad eléctrica del acuífero inferior (> 80m) de la zona centro.

REGIONES HIDROGEOLÓGICAS

PROVINCIA DE SANTA FE

INTRODUCCIÓN

La totalidad de la Provincia de Santa Fe está contenida en la Llanura Chacopampeana que ocupa 1.000.000 de los 2.800.000 km² del territorio continental argentino y, como toda llanura, se caracteriza por su baja pendiente topográfica (10-3 a 10-5; m/km a cm/km) .

Esta condición dificulta notoriamente el escurrimiento superficial y por ende favorece los anegamientos en períodos lluviosos y su persistencia durante lapsos prolongados después de los mismos.

La red hidrográfica de Santa Fe es muy escasa, destacándose netamente por su caudal y calidad el Río Paraná, que la limita por el E. Este río constituye la única fuente segura de aprovisionamiento de agua superficial y es ampliamente utilizado por las ciudades que se emplazan en su ribera, luego del necesario proceso de potabilización (Reconquista, Santa Fe, Coronda, Fray Luis Beltrán, Rosario, Villa Constitución). Otros ríos de trascendencia significativamente menor son el Salado y el Carcarañá (fig. 31).

La concentración de la red hidrográfica, los escasos caudales y la mala calidad de las aguas superficiales, en algunos casos por elevada salinidad y en otros por contaminación, hacen que la mayoría de las zonas urbanas y rurales de la provincia deban abastecerse con agua subterránea.

Otra característica que distingue a la Llanura Chacopampeana y a Santa Fe en particular, son los excedentes y déficit hídricos. Tomando en consideración valores medios de lluvia y evapotranspiración real, surge que en el sector occidental de la provincia predominan los déficit hídricos en el balance, mientras que en el oriental lo hacen los excesos (fig. 32). Esta condición climático-biológica ejerce un control significativo en el comportamiento hidráulico y químico del agua subterránea.

En la zona árida, la superficie freática se emplaza a mayor profundidad (más de 10 a 15 m) que en la húmeda (menos de 10 a 5 m); los ríos son influentes (generan infiltración) y el agua subterránea posee un contenido salino notoriamente mayor. En la zona húmeda los ríos, arroyos, bañados y lagunas, actúan como sitios de descarga del agua subterránea (efluentes), por lo que la salinidad aumenta hacia dichos cuerpos.

Se realiza a continuación la descripción de los ambientes hidrogeológicos propuestos, por Bojanich et al (1989 - fig. 33), a partir de la similitud en las características hidroquímicas e hidrodinámicas subterráneas.

1. ISLAS

El área está delimitada por la margen derecha del Río Paraná e izquierdas de los ríos Miní, San Jerónimo, San Javier y Coronda, desde el paralelo 28 hasta el Río Carcarañá por el Sur.

Las islas están formadas por la acumulación aluvial del Río Paraná, constituida por depósitos predominantemente arenosos, con intercalaciones limosas y arcillosas. El conjunto posee elevada permeabilidad, lo que favorece la infiltración a partir de los ríos mencionados y de la lluvia, que registra medias anuales entre 950 y 1.050 mm.

Dominan los acuíferos libres y semiconfinados de baja salinidad hasta unos 30 m de profundidad. Por debajo se disponen aguas muy salinas, lo que hace

necesario efectuar una explotación controlada a fin de prevenir el ascenso del agua salada de fondo.

El aprovechamiento del agua subterránea es escaso debido a la preferencia de los isleños por la superficial y a la presencia de materia orgánica, hierro y manganeso, característicos del ambiente reductor, por descomposición de la vegetación asociada, en el que se desarrollan algunas capas productivas.

2. ALBARDÓN

Se desarrolla sobre la margen izquierda del Río San Javier, entre Romang y Santa Fe, en un ancho variable de 1 a 4 km.

El acuífero, que se explota para riego intensivo de huertas, es de carácter libre con una potencia de 10 a 20 m y está formado por arenas finas de origen aluvial, depositadas durante las crecidas del río.

Como en el caso anterior el agua somera es de baja salinidad (700 a 900 mg/l) y flota en otra salada más profunda, sin que exista separación geológica entre ambas. Por ello, debe controlarse la depresión producida durante el bombeo, para evitar la contaminación por ascenso del agua salada. También es frecuente la existencia de hierro y manganeso que al oxidarse precipitan obturando los filtros de las perforaciones y otorgándole al agua tonalidades amarillentas o negruzcas, según sea el que domine.

La superficie freática se emplaza a poca profundidad, normalmente a menos de 4 m.

3. SALADILLOS

Se emplaza inmediatamente al O del anterior y se corresponde con el antiguo valle aluvial del Río Paraná.

La elevada salinidad del agua subterránea hace que los pobladores rurales empleen la de lluvia, que almacenan en cisternas o aljibes.

En algunas elevaciones se presentan delgadas lentes de agua dulce, producto de la infiltración de la lluvia, pero su escasa magnitud hace que la explotación deba realizarse con pozos de gran diámetro y con filtros radiales, a fin de atenuar el descenso del nivel freático y evitar el rápido ascenso del agua salada subyacente.

La lluvia media anual varía entre 950 y 1.000 mm y con frecuencia produce grandes anegamientos en las áreas deprimidas, debido a la escasísima pendiente topográfica y a la baja capacidad de absorción del suelo, por su escasa permeabilidad y por la cercanía de la superficie freática.

4. TRANSICIÓN AL PUELICHE

Se ubica en el sector NE de la provincia y limita por el E con las Islas, al S con los Saladillos y al O con la Cuña Boscosa (fig. 33).

Los sedimentos superficiales son limos-arenosos del Pampeano, con buena capacidad de infiltración en las partes elevadas y limos-arcillosos con poca capacidad de infiltración en las zonas bajas (cañadas, bañados). Por ello el agua de mejor calidad subyace a las formas elevadas. También se produce un aumento general de la salinidad de N a S y de E a O.

La lluvia media anual oscila en 1.000 mm.

5. ACUÍFERO PUELCHÉ

Ocupa una faja de 30 a 60 km de ancho, de orientación meridiana en el sector central de la provincia, desde Vera en el N hasta la de Buenos Aires, en la que ingresa por el S (fig. 33).

Es el ámbito más propicio para el aprovechamiento de agua subterránea que posee la Provincia de Santa Fe, tanto por la calidad como por la productividad que posee el Acuífero Puelche, integrado por arenas sueltas, finas y medianas que, hacia la base (Formación Paraná), suelen presentar un grano más grueso e incluso gravilla. Una capa limo-arcillosa lo separa del Acuífero Pampeano sobrepuesto y le otorga al Puelche, carácter de semiconfinado.

Las profundidades de las perforaciones aumentan hacia el S, desde unos 40 m en Vera a 80 m en Villa Constitución, pues por debajo suele presentarse una delgada capa de arenas arcillosas con gravilla, que señala la transición a la Fm Paraná, portadora de agua con concentraciones salinas muy elevadas. Esta disposición, con aumento de la salinidad en profundidad y sin separación geológica entre los acuíferos Puelche y Paraná, limita el caudal extraíble del primero debido a que el ascenso del agua salada subyacente, está directamente vinculado al descenso piezométrico del Puelche.

La salinidad del Puelche crece de unos 350 mg/l en el N a 1,2 g/l en el S; este incremento se produce también de E a O en magnitudes similares.

En la región considerada también se aprovecha el Acuífero Pampeano, que presenta aguas aptas pero más duras y es menos productivo que el Puelche.

Al Puelche se lo emplea para el abastecimiento de ciudades importantes como Villa Constitución, San Lorenzo, Gálvez, Esperanza, San Justo y de la industria que se emplaza en la línea San Nicolás-Santa Fe. Rafaela, que es una de las ciudades más importantes del centro-O santafesino, también se abastece del Acuífero Puelche mediante un acueducto de 100 km, cuya cabecera está en Esperanza.

En los últimos 10 años, se produjo un notable incremento de la extracción de agua subterránea para riego complementario de cereales (trigo, maíz, soja, girasol), mediante equipos con aspersores. Las perforaciones suelen carecer de entubamientos y aislaciones y por lo tanto captan ambos acuíferos, produciendo la mezcla del agua del Pampeano con la del Puelche. Los pozos mal terminados son vías de contaminación directa para el agua subterránea y en este caso particular, constituyen un serio riesgo potencial los agroquímicos que, como pesticidas y fertilizantes, son ampliamente utilizados para aumentar la productividad.

La precipitación media anual disminuye de E a O de 950 a 900 mm.

6. ACUÍFERO PAMPEANO

En el ámbito donde este acuífero tiene agua apta, se ubican poblaciones importantes del Sur de la provincia (Casilda, Cañada de Gómez, Melincué), que la emplean para su abastecimiento; también se la utiliza para la industria, la ganadería y en los últimos tiempos, para riego complementario en forma restringida.

El acuífero está formado por limos arenosos y arcillosos castaños (Loess Pampeano) con intercalaciones calcáreas y actúa como libre en la sección superior y como semiconfinado en la inferior, por debajo de unos 50 m de profundidad. El agua es de baja salinidad y los caudales son adecuados para la mayoría de los usos, salvo para riego por aspersión, práctica para la que resultan algo escasos.

Las profundidades más apropiadas para la captación varían entre 35 y 80 m y las concentraciones salinas entre 0,7 y 2,5 g/l, observándose un aumento hacia el O y en profundidad.

La lluvia media anual oscila en 900 mm.

7. CUÑA BOScosa

Se emplaza en el sector centro-N de la provincia, entre los ambientes de Transición al Puelche al E y los Bajos Submeridionales al O.

En las zonas elevadas predominan limos de permeabilidad media y en los bajos arcillas de muy baja permeabilidad.

El agua subterránea apta forma lentes de escaso volumen, que flotan en el agua salada subyacente.

Existen frecuentes variaciones de salinidad en cortas distancias según se ubique la captación dentro o fuera de la lente de agua dulce, entre valores tan diferentes como 0,5 y 50 g/l.

La zona más favorable se ubica al E, hacia el límite con la de Transición al Puelche.

El uso más frecuente es para consumo doméstico rural y para el ganado, mediante pozos cavados de gran diámetro. En los sitios carentes de lentes de agua dulce los pobladores se abastecen con agua de lluvia, que promedia de 750 a 900 mm/a y que almacenan en aljibes o cisternas.

8. MÉDANOS FIJOS

Se ubica en el extremo Sur de la provincia, limitando con las de Buenos Aires y Córdoba. El agua subterránea apta está contenida en sedimentos arenosos pertenecientes a la unidad Médano Invasor (Tapia, 1937) o Formación Junín (De Salvo et al, 1969), correspondientes al Postpampeano y en algunos casos, en la sección superior del Loess Pampeano (Pleistoceno).

La elevada permeabilidad de los médanos favorece la infiltración de la lluvia y la formación de lentes de agua dulce, con salinidades entre 0,5 y 1 g/l, en los sectores más elevados del relieve. Estas lentes son aprovechadas para el abastecimiento de ciudades como Rufino y más pequeñas como Tarragona, de la que se provee la primera mediante un acueducto. La profundidad de las perforaciones de captación rara vez supera 35 m.

El frágil equilibrio hidrológico que caracteriza a las lentes de agua dulce, rodeadas y subyacidas por aguas salobres y saladas, hace necesario programar una explotación equilibrada con la recarga, para evitar la salinización de las mismas. La cuantificación de la recarga es una tarea complicada, pues los balances hídricos edáficos deben complementarse con registros piezométricos periódicos realizados en pozos para monitoreo.

La precipitación media varía entre 750 y 900 mm/a.

9. OCCIDENTAL

Ocupa la faja occidental de la provincia, extendiéndose entre el extremo N y casi el extremo S de la misma (fig. 33).

En este ámbito se emplazan importantes centros urbanos (Rafaela, Ceres, Tostado) e industriales, cuyo crecimiento está limitado por la escasa disponibilidad de agua, dado que la subterránea apta se limita a la capa freática y la superficial, se restringe a cursos temporarios y posee elevada salinidad o está contaminada con vertidos urbanos, industriales o agropecuarios.

El agua freática dulce, contenida en los Sedimentos Pampeanos, es subyacida a poca profundidad (10-15 m) por otra altamente salinizada, que limita la explotación de la primera por el riesgo de salinización ascendente.

Se han perforado numerosos pozos de más de 100 m con fines exploratorios, que invariablemente han detectado un aumento de la salinidad en profundidad (Tostado 70 g/l a 50 m).

La construcción de represas con fondos permeables para mejorar la recarga, ha brindado buenos resultados y por ello se las ha empleado para reforzar el abastecimiento de localidades como Tostado, Cañada Rosquín, San Jorge y Pozo Borrado. En otras más pobladas como Rafaela, se optó por trasladar el agua potable mediante un acueducto de 100 km, cuya cabecera está en Esperanza y las captaciones en el Acuífero Puelche.

La escasa disponibilidad de agua potable en este ambiente y en otros como: Cuña Boscosa, Saladillos, Bajos Submeridionales y Río Salado, ha obligado a tratar la subterránea para desalarla y para eliminar algunas sustancias tóxicas como el Flúor y el Arsénico. Para ello, últimamente se han empleado plantas de tratamiento por ósmosis inversa, que han dado buenos resultados en localidades de menos de 10.000 habitantes. Los mayores inconvenientes de estas plantas son el costo del tratamiento y la producción de aguas de rechazo, con salinidades mayores que la del mar, cuya disposición final resulta complicada si se pretende preservar la aptitud ambiental.

10. RÍO SALADO

Se ubica en el centro de la provincia, en coincidencia con la cuenca inferior del Río Salado, que ingresa por el O desde Santiago del Estero (fig. 33).

La disponibilidad de agua subterránea apta es muy escasa, restringiéndose a lentes en el acuífero libre, cuyo aprovechamiento debe complementarse con recarga artificial mediante represas de fondo permeable, a fin de controlar la estabilidad de la interfase agua dulce-salada.

La lluvia media varía entre 800 y 900 mm anuales.

11. BAJOS SUBMERIDIONALES

Se emplazan en el N de la provincia por donde ingresan desde la del Chaco. Es un ámbito deprimido, con muy escasa pendiente topográfica y soporta anegamientos periódicos que limitan el aprovechamiento de la tierra.

La población es muy reducida y las características y comportamiento del agua subterránea son similares a los mencionados para los ambientes Occidental y Río Salado, con el agravante de que en éste, la superficie fréatica y la interfase agua dulce-salada se ubican a menor profundidad y por ello limitan la capacidad de recarga natural y artificial.

CONSIDERACIONES FINALES

La disponibilidad de agua apta de la Provincia de Santa Fe se restringe al sector oriental, especialmente a la ribera del Paraná y a los ambientes hidrogeológicos: Islas, Albardón, Acuífero Puelche y Acuífero Pampeano. En el resto predominan los acuíferos salobres o salinos de baja productividad, sobre las lentes de agua dulce, cuya explotación debe realizarse con suma precaución para no alterar el equilibrio de la interfase agua dulce-salada y preservar la aptitud de las mismas. Estas lentes se ubican a poca profundidad y poseen escaso espesor y extensión areal, por lo que el volumen de agua que almacenan no es significativo y con frecuencia presentan tenores elevados de Flúor y Arsénico que las hacen inapropiadas para consumo humano.

La exploración de acuíferos profundos no dio resultados positivos, pues no se descubrió agua apta por debajo de unos 50 m de profundidad.

La construcción de represas con fondos permeables ha dado buenos resultados, pues favorecen la infiltración de agua dulce y la estabilidad de la interfase con la salada.

En los últimos tiempos se han empleado con éxito plantas de tratamiento por ósmosis inversa, cuyas mayores desventajas son el costo de producción del agua potable y la disposición de las aguas de rechazo, altamente salinizadas.

BIBLIOGRAFÍA

BOAJANICH, E. y A. H. RISIGA 1989. Aguas subterráneas de la Provincia de Santa Fe. En Estudios de Geografía de la Provincia de Santa Fe. GAEA. Ser. Esp. # 9: 71-101. Buenos Aires.

De SALVO O. J. H. CECI y A. DILLON 1969. Características geológicas de los depósitos eólicos del Pleistoceno superior de Junín, Provincia de Buenos Aires. IV Jornadas Geol. Arg. Actas: 269-278. Buenos Aires.

TAPIA A. 1937. Datos geológicos de la Provincia de Buenos Aires. Aguas Minerales. Com. Nac. Climat. y Aguas Min. T II: 23-90. Buenos Aires.

Figura 31

UBICACIÓN

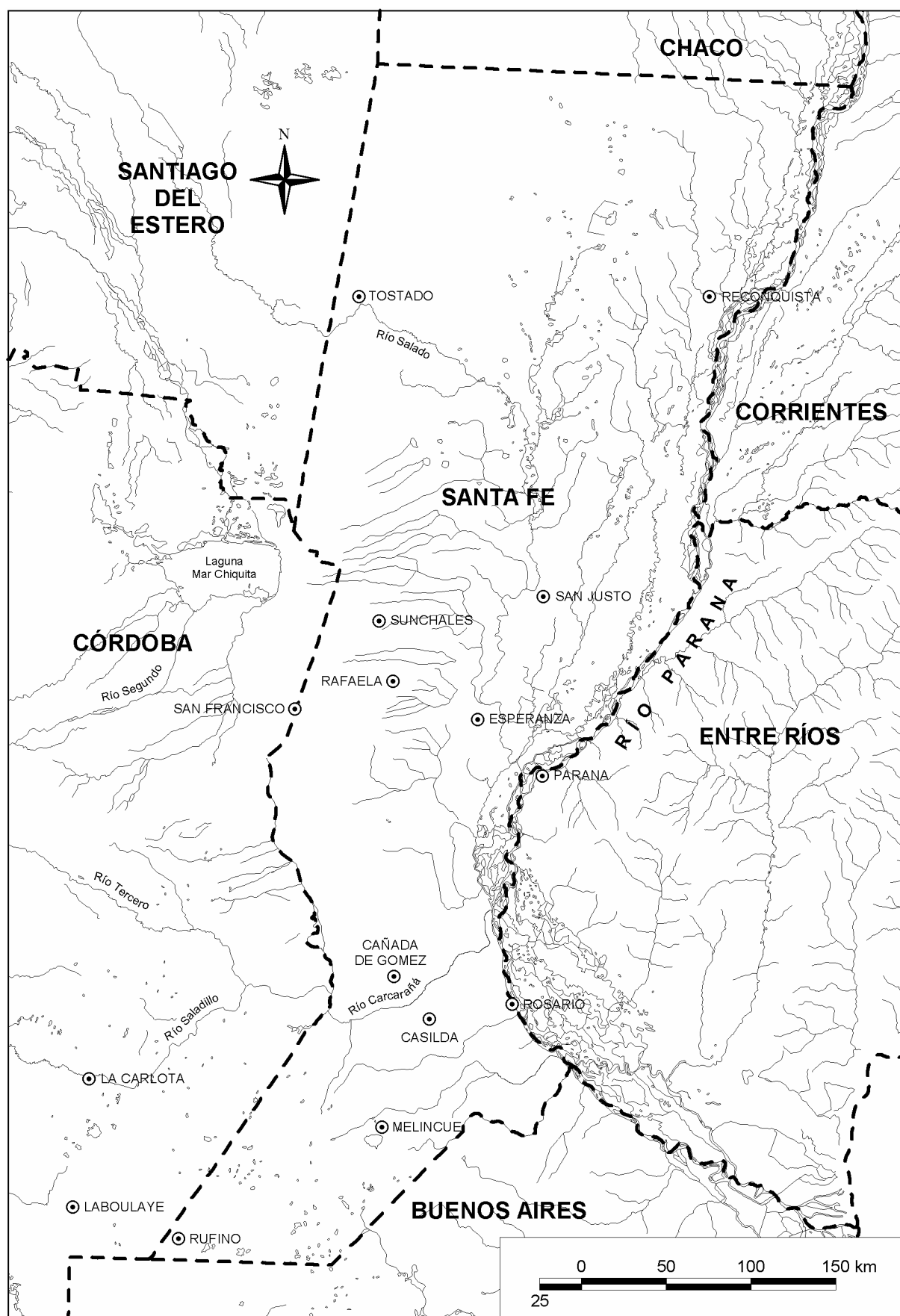
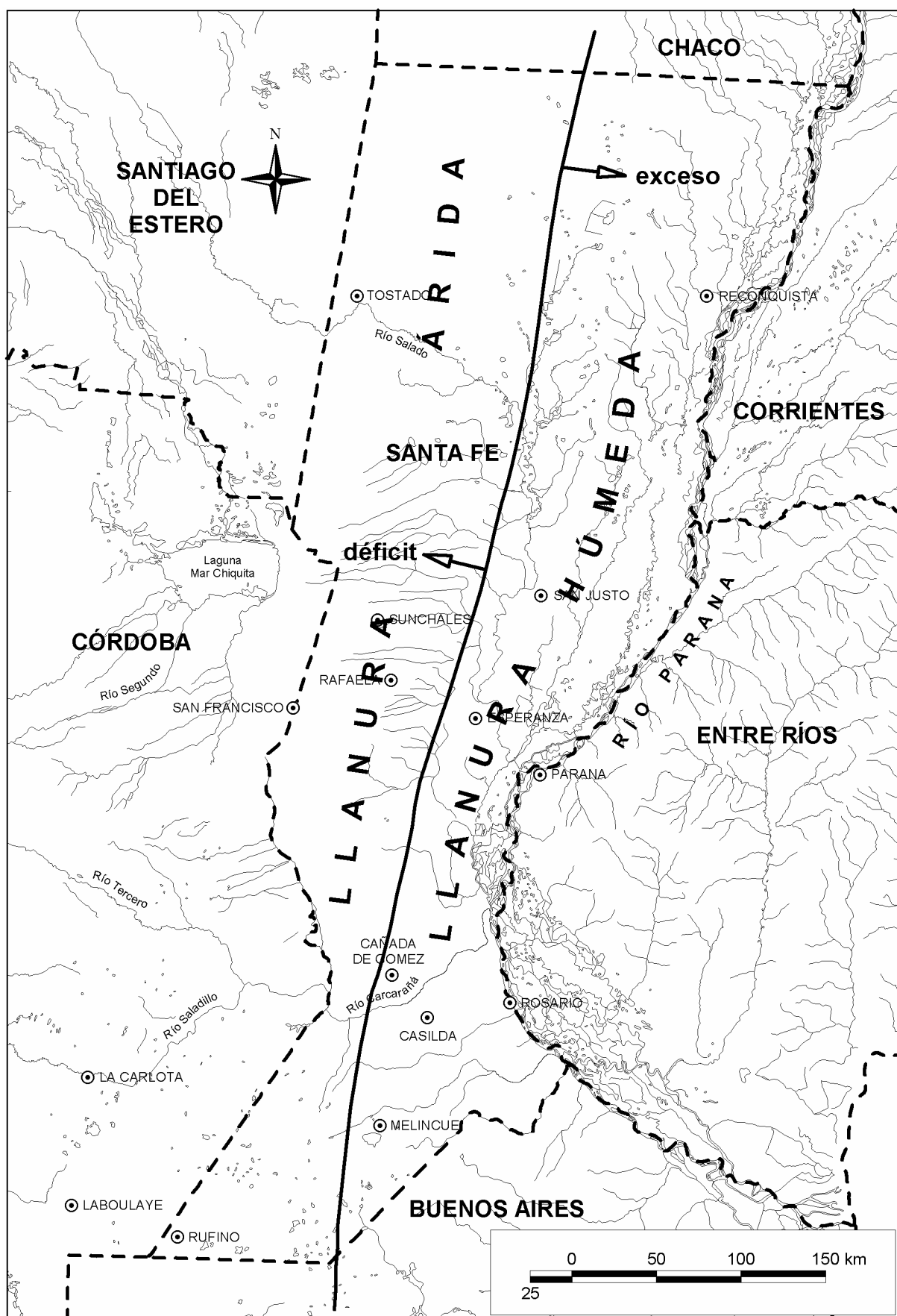


Figura 32

ABIENTES GEOCLIMÁTICOS



AMBIENTES HIDROGEOLÓGICOS

