

Hidrogeología de Argentina

M. Auge⁽¹⁾, C. Wetten⁽²⁾, G. Baudino⁽³⁾, G. Bonorino⁽⁸⁾, R. Gianni⁽²⁾, N. González⁽⁴⁾, M. Grizini⁽⁵⁾,
M. Hernández⁽⁴⁾, J. Rodríguez⁽²⁾, A. Sisul⁽⁶⁾, A. Tineo⁽⁷⁾ y C. Torres⁽²⁾

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Ciudad Universitaria, Pabellón 2 (1428) Buenos Aires (Argentina)
E-mail: auge@gl.fcen.uba.ar

(2) INA-CRAS. I. De La Roza - E 125, 3°. San Juan (Argentina)
E-mail: cwetten@infovia.com.ar

(3) Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Av. Bolivia 5150 (4400) Salta (Argentina)
E-mail: baudino@unsa.edu.ar

(4) Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. 61 y 122 (1900) La Plata (Argentina)
E-mail: mario_h@sinectis.com.ar

(5) Universidad Nacional de la Patagonia SJB, km 4 (9000) Comodoro Rivadavia (Argentina)
E-mail: geoambiental@unpata.edu.ar

(6) Departamento Provincial de Aguas. San Martín 249 (8500) Viedma (Argentina)
E-mail: asisul@dpa.rionegro.gov.ar

(7) Universidad Nacional de Tucumán. Miguel Lillo 205 (4000) Tucumán (Argentina)
E-mail: atineo@tucbbs.com.ar

(8) Departamento de Geología. Universidad Nacional del Sur. San Juan 670 (8000) Bahía Blanca (Argentina)
E-mail: bonorino@uns.edu.ar

RESUMEN

Se mencionan las características hidrogeológicas de la República Argentina, en su ámbito continental que ocupa 2.800.000 km² y otro que contiene a la Antártida Argentina, Islas Malvinas, Georgias, Sandwich, Orcadas y Shetland del Sur, en 1.000.000 de km² adicionales. Para la caracterización se subdividió al territorio en 18 regiones hidrogeológicas, sobre la base de la incidencia que ejercen en el agua subterránea los componentes geológico, climático, geomórfico y biótico. Además, se citan los usos actuales del agua y los previstos en el futuro, como así también los conflictos derivados de su empleo. Finalmente se sintetiza el ordenamiento institucional y legal, referidos a los recursos hídricos.

Palabras clave: agua subterránea, Argentina, regiones hidrogeológicas

Hydrogeology of Argentina

ABSTRACT

The hydrogeologic behavior of the Argentine Republic is mentioned, in its continental scope that occupies 2.800.000 km² and another that contains the Argentine Antarctic and the islands of Malvinas, Georgias, Sandwich, Orcadas and South Shetland (1.000.000 additional km²). For such characterization, the territory was subdivided into 18 hydrogeologic regions, on the base of the incidence on groundwater, as well as the geologic, climatic, geomorphic, and biotic components. The current and foreseen uses of water are mentioned and also the conflicts derived of such uses. Finally the institutional and legal arrangement referred to water resources is synthesized.

Key words: Argentina, groundwater, hydrogeologic regions

Introducción

Se entiende por "región hidrogeológica a toda comarca 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 morfológico, 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" (Auge, 2002).

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. Bajo condiciones de porosidad intergranular el medio es continuo, la capacidad de almacenamiento, la superficie de contacto y la salinidad aumentan, mientras que la velocidad de flujo disminuye, en relación a medios rocosos fisurados.

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.

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-santiagoueña, 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, Sur de Santa Fe y Córdoba).

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.

Tomando en consideración los factores mencionados, se distinguieron 18 regiones hidrogeológicas en la República Argentina: 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-santiagoueña 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 (figura 1).

Región 1. Puna

Constituye la terminación austral del Altiplano Peruano-Boliviano. Se emplaza en el extremo NO argentino, ocupando alrededor de 82.000 km² 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.

La Puna está compuesta por un conjunto de cuencas endorreicas, separadas por cordones montañosos de rumbo Norte-Sur y por cadenas volcánicas terciarias transversales.

La tectónica andina culminó con el vulcanismo del Terciario y Cuaternario que caracteriza el paisaje. Los salares o lagunas saladas, están cerca de 3.600 m s.n.m. y los cordones montañosos occidental y oriental superan los 6.000 m.

El clima es árido de montaña, con escurrimiento superficial esporádico, predominando la vegetación de pastizales duros y arbustos achaparrados.

La población no supera 30.000 habitantes, con tendencia a la concentración urbana y una fuerte identidad cultural andina.

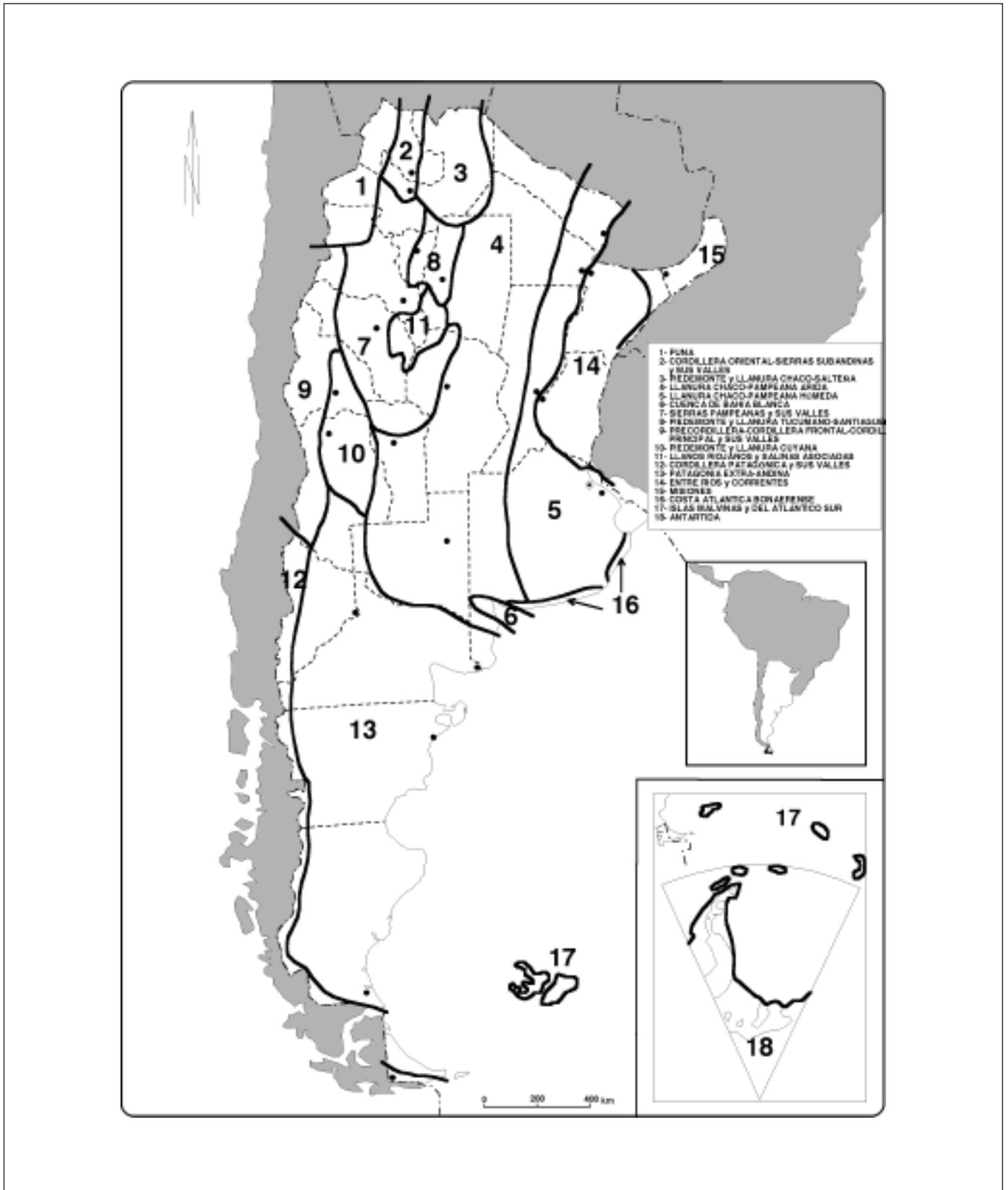


Fig. 1. Regiones hidrogeológicas de Argentina
 Fig. 1. Hydrogeologic regions of Argentina

La economía registra una importante actividad agropecuaria campesina (cría de llamas y ovejas, y cultivos de papa, maíz y hortalizas). Estos últimos se practican sin la aplicación de productos agroquímicos.

La minería se concentra en pocas industrias y el turismo se proyecta como una fuente de ingresos apreciable.

Las principales unidades hidrogeológicas se hallan en abanicos aluviales cuaternarios, dentro de acuíferos libres o semiconfinados (figura 2).

Los acuíferos en medios rocosos de edad precámbrica y paleozoica inferior son fundamentales para la actividad agropecuaria y minera. El agua, en general, es potable y apta para riego, aunque existen notables anomalías regionales en el contenido de arsénico y de boro, ambos de origen natural, con contenidos que pueden superar ampliamente los límites tolerables para dichos usos. Hay contaminación puntual por la minería, en especial por plomo y también bacteriológica por líquidos cloacales. Las lagunas poseen alto contenido de cloruro de sodio, o bien se trata de salares con espesas cubiertas de sal gema. La fuerte demanda de agua en los centros urbanos agudizará la problemática actual. También el sector minero emplea agua subterránea. No se considera recomendable efectuar una explotación intensiva del acuífero libre circundante a humedales, por la posible afección a su dinámica natural.

Región 2.

Cordillera Oriental-Sierras Subandinas y sus valles

Se ubica en el NO del país, cubriendo unos 40.000 km². La Cordillera Oriental y las Sierras Subandinas son cordones montañosos de rumbo Norte-Sur separados por profundos valles y con lineamientos transversales, de rumbo NO-SE que originaron profundas quebradas, como el tramo final de la de Humahuaca. La Cordillera Oriental, que supera 6.000 m s.n.m., está constituida principalmente por metamorfitas precámbricas y sedimentitas paleozoicas intensamente fracturadas. Las areniscas y calizas mesozoicas, con una expresión areal significativa, soportan a las secuencias terciarias, de escasa consolidación y con agua de elevado contenido salino. En las Sierras Subandinas se destacan las sedimentitas paleozoicas superiores, las mesozoicas y principalmente los potentes depósitos de piedemonte terciarios. El estilo estructural dominante es el de plegamiento suave.

La población se encuentra concentrada en los valles intermontanos, relacionada con la agricultura intensiva (caña de azúcar, tabaco, cítricos y hortalizas).

Las precipitaciones registran una marcada disminución en verano, lo que junto con el incremento de la evapotranspiración, deriva en un notorio déficit en el balance hídrico. Por ello, los reservorios de agua subterránea poseen una importancia estratégica (figura 3).

Los valles y quebradas situados al oeste poseen precipitaciones similares a la Puna (300 mm/a), mientras que las laderas orientales de las Sierras Subandinas y de la Cordillera Oriental reciben hasta 2.000 mm/a. Los picos más altos poseen nieves permanentes, mientras que los valles cercanos a la Llanura Chaco-salteña poseen vegetación tropical.

Los acuíferos cubren la mayor parte del abastecimiento de agua potable y permiten salvar la época de mayor requerimiento de riego. Los principales acuíferos, que integran abanicos aluviales, poseen elevada porosidad y permeabilidad en el sector apical (con transmisividades de hasta 1.200 m²/d), zonas de surgencia en su parte distal y una importante recarga indirecta.

Aunque en general el agua es apta para todos los usos, en la ciudad de Salta se han registrado casos de contaminación por nitratos de efluentes urbanos y por boro de la industria minera.

Región 3. Piedemonte y Llanura Chaco-salteña

Se emplaza en el extremo Norte de la Argentina, en una superficie de unos 95.000 km². La cobertura de sedimentos cuaternarios es continua, pero de escaso espesor (hasta 140 m en el piedemonte), y se adelgaza hacia el Este hasta reducirse a unos pocos metros. Por debajo se encuentran los estratos terciarios de la Formación Chaco, que poseen una potencia de hasta 3.000 m. Los efectos de la tectónica por debajo de la llanura delimitan cuencas hidrogeológicas profundas. El clima es predominantemente continental con precipitaciones estacionales concentradas en el verano de 450 mm/a al Este, a 600 mm/a al Oeste. La Llanura Chaco-salteña está surcada de noroeste a sureste por grandes ríos, así como por cursos menores que pierden sus caudales por evaporación e infiltración y que han generado extensos abanicos aluviales, asociados a los principales reservorios de agua subterránea. El Sistema Acuífero Toba (figura 4), extendido desde el piedemonte subandino hacia la Llanura Chaqueña, es un sistema multicapa con acuíferos libres en sedimentos modernos y semiconfinados a confinados en estratos de edad terciaria. La recarga principal es alóctona, del Oeste. Existe gran heterogeneidad en la calidad físico-química y en la productividad. Las principales

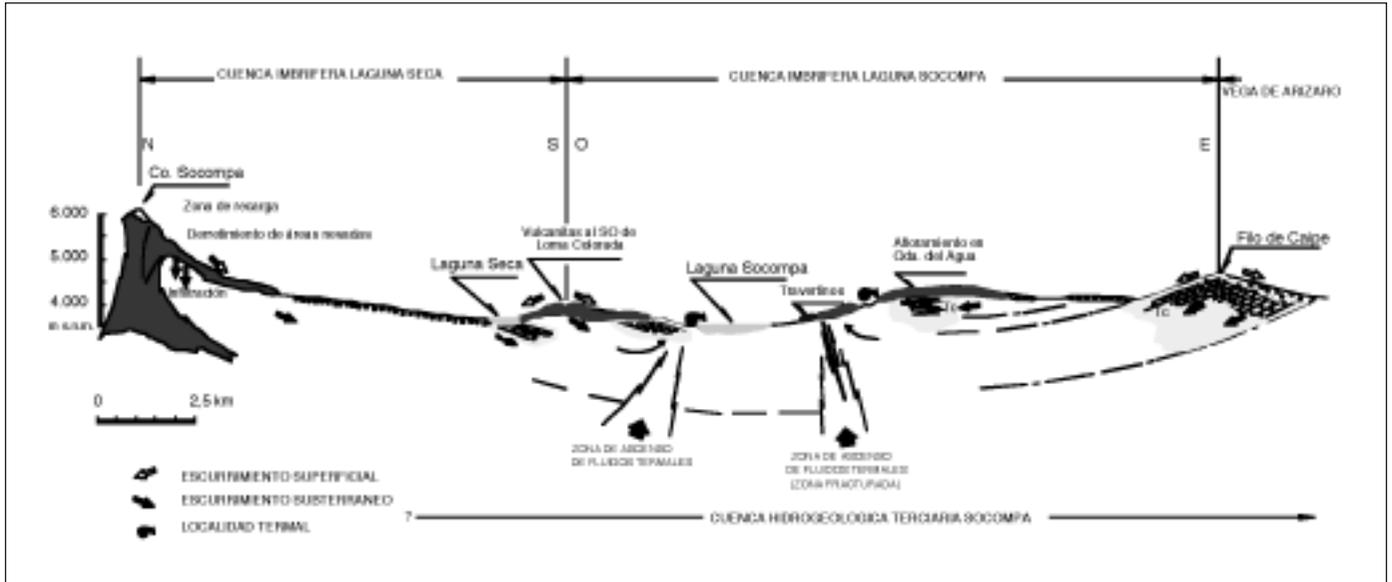


Fig. 2. Perfil hidrogeológico del área Socompa
 Fig. 2. Hydrogeologic section of the Socompa area

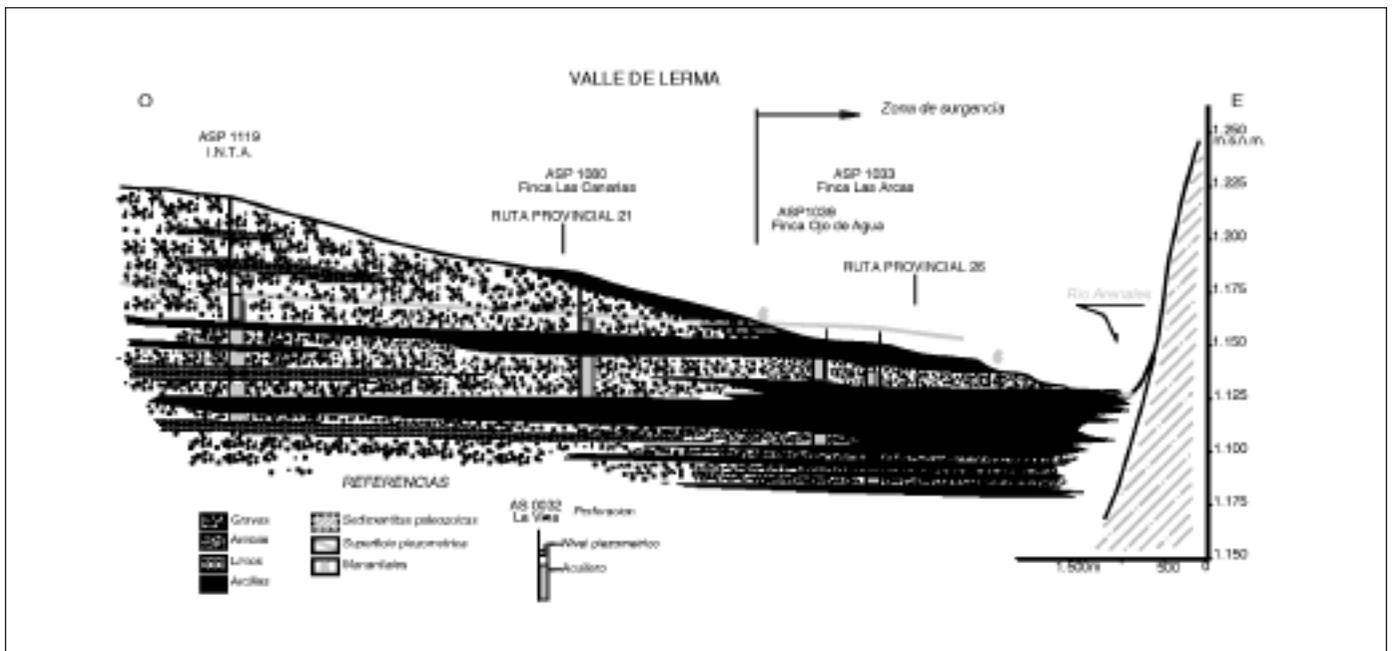


Fig. 3. Perfil hidrogeológico del Valle de Lerma
 Fig. 3. Hydrogeologic section of the Lerma Valley

limitantes son los sulfatos y el arsénico, éste último especialmente en el abanico del Río Juramento. Algunas explotaciones intensivas han generado descensos importantes en los niveles piezométricos. Existe riesgo de salinización debido a deficiencias en las perforaciones. No se controla la explotación del estratégico Sistema Acuífero Toba.

Región 4. Llanura Chaco-pampeana árida

Ocupa el centro-norte del país y forma parte de la gran Llanura Chaco-pampeana, con unos 700.000 km², del millón correspondiente al territorio argentino. Comparte las características generales de la Región 5, de la cual se diferencia por el predominio

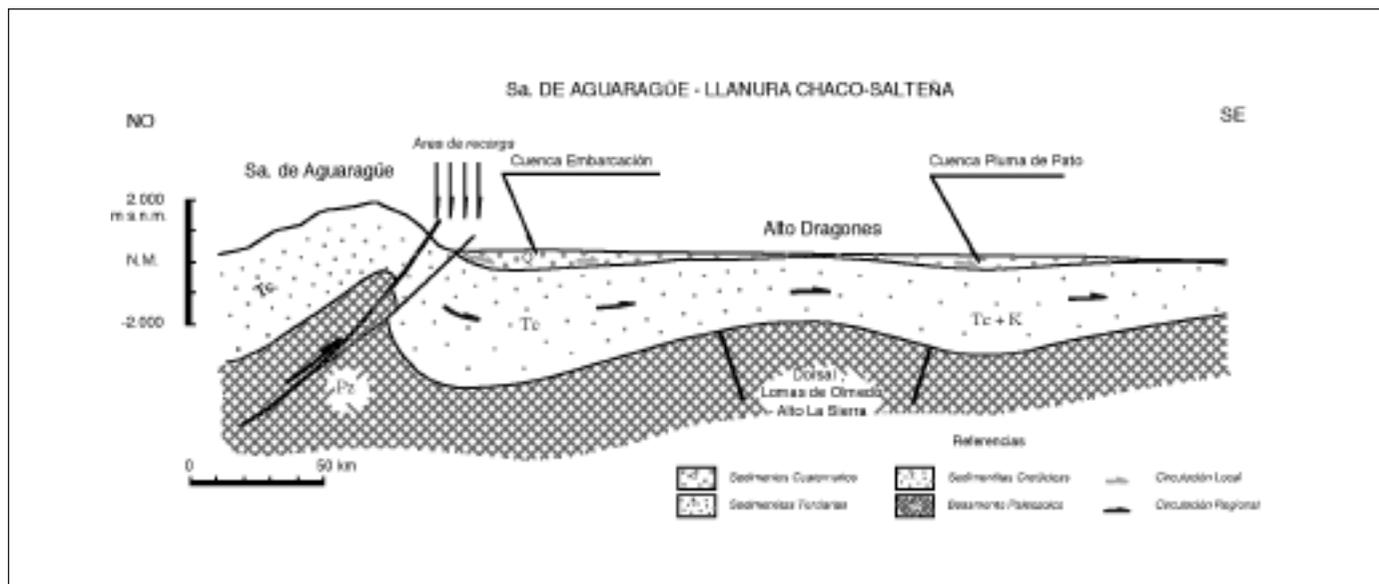


Fig. 4. Perfil hidrogeológico Sierra de Aguaragüe-Llanura Chaco-salteña
 Fig. 4. Hydrogeologic section of Aguaragüe Hill-Chaco-salteña Plain

de déficit hídrico, con un relieve llano (pendientes medias del 0,01%) bordes de cuenca difusos, cursos y depresiones perdedores (influentes) y predominio de la transferencia vertical de agua sobre la horizontal.

El sistema está conformado prevalentemente por medios porosos, con reducidas manifestaciones de materiales fisurados en el borde occidental. La recarga es autóctona, con influencia alóctona en el Oeste; y la descarga, predominantemente consuntiva. La base del subsistema activo es, en casi todo el ámbito, el miembro superior arcilloso de extensión regional (Formación Paraná-Mioceno), que se comporta como acuícludo, sobre el que se desarrollan espesores variables de limos loessoides y limos arenosos acuíferos, denominados genéricamente Sedimentos Pampeanos. Otros sedimentos más modernos reúnen mejores condiciones acuíferas y utilitarias, como los campos de médanos, depósitos aluviales restringidos a la vecindad de los cauces actuales o paleocauces, localizables en el sector septentrional, además de los lacustres generalmente pelíticos. Las formaciones pre-miocenas reconocidas por exploración petrolífera contienen aguas con alta salinidad.

En el aspecto socioeconómico, domina la actividad primaria (agrícola-ganadera), con importantes radicaciones industriales puntuales (Córdoba, San Luis, Villa Mercedes, Río Cuarto) y progresivo desarrollo de agroindustrias. La agricultura bajo riego está en expansión. El 75% de la población (mayorita-

riamente urbana) cuenta con provisión de agua por red y el 43% con sistema de evacuación cloacal. La periferia de las ciudades más importantes posee una marginalidad superior y creciente respecto a las radiaciones rurales. En lo referente a la disponibilidad de agua subterránea, la oferta natural es muy inferior a la región 5 y de radicación relativamente puntual. Predomina la proveniente de las formaciones medanosas y sectores favorables en los Sedimentos Pampeanos. Los acuíferos freáticos, semilibres, o semiconfinados, contenidos en el Pampeano, suelen tener salinidades elevadas (4 a 15 g/L), contrastando con los contenidos en aluviones o cuerpos medanosos, que generalmente presentan valores menores a 2 g/L. Es habitual la presencia de As (hasta 3 mg/L en Monte Quemado) y F (5 mg/L en Pampa de los Guanacos), de origen natural, muy por encima de los límites de tolerancia para bebida y NO₃⁻ (hasta 200 mg/L) en centros urbanos.

Los usos mayoritarios son el agroganadero y doméstico, con incidencia local de la industria e incremento en la aplicación al regadío. Los aspectos cuantitativos y de calidad del agua conforman una fuerte limitante para el desarrollo, en una comarca donde los recursos superficiales son muy escasos.

Región 5. Llanura Chaco-pampeana húmeda

Con una extensión de 320.000 km² en el NE, se caracteriza por sus netas condiciones de llanura, bordes de

cuencas difusos, predominio de la transferencia hídrica vertical, red hidrográfica restringida, debido a la exigua pendiente topográfica, cursos y cuerpos lacustres ganadores (efluentes). A diferencia de la región anterior, ocurren aquí excesos hídricos entre 0 y 250 mm/año de localización otoño-invernal. Los acuíferos se desarrollan en medio poroso, excepto limitadas unidades en medio fisurado (ambientes serranos). La recarga del sistema es autóctona directa, e indirecta en dos unidades semiconfinadas relacionadas lateralmente (Puelche e Ituzaingó), y se localiza preferencialmente en los ámbitos interfluviales (Hernández y González, 1990). La descarga regional se produce en los ríos Paraná y de la Plata, y en el Océano Atlántico (Auge y Hernández, 1984). El sector activo del sistema hidrogeológico está radicado en terrenos del Plioceno superior-Pleistoceno, sobre una base acicluda de extensión regional (arcillas marinas de la Formación Paraná), que lo separan del pasivo o profundo contenedor de aguas salobres a salinas en toda la secuencia acuífera (Sala *et al.*, 1984).

Socioeconómicamente, se trata de la comarca más poblada (18.840.000 habitantes) y de mayor densidad demográfica de Argentina, con predominio urbano. La cobertura de agua por red alcanza el 67% de la población y la cloacal el 44%. Encierra el acuífero más explotado del país (Puelche) y otro equivalente (Ituzaingó) yacentes en el tercio medio de la región. La dotación de origen subterráneo es aproximadamente del 50%, pese a ser ribereña del río más caudaloso del país (Paraná-de la Plata). Las reservas exceden los 940 km³ para ambos acuíferos (Puelche y Pampeano), el 48% de las cuales son de baja salinidad (Auge *et al.*, 2002). Predominan aguas de buena calidad (TSD < 1,5 g/L), excepto en el tercio superior y parte del medio, experimentando un desmejoramiento en el sentido del flujo. Existe un alto impacto en la calidad del agua subterránea en derredor de las periferias urbano-industriales principales (Buenos Aires, Rosario), de origen fundamentalmente biogénico e industrial (bacterias, nitratos, metales pesados, hidrocarburos, plaguicidas, alcoholes). Los usos dominantes son el doméstico e industrial, con creciente participación de la agricultura a partir de los años 90; el ganadero está subordinado y el minero y recreativo son poco significativos.

Los principales problemas actuales son la contaminación antrópica creciente, presencia de As y F de origen natural en el Acuífero Pampeano, recuperación de niveles por disminución de la explotación y sustitución de la subterránea por agua potabilizada del Río de la Plata en el Conurbano de Buenos Aires; también intrusión de aguas salinas continentales (González, 2005).

Región 6. Cuenca de Bahía Blanca

También conocida como Sistema Hidrotermal Profundo (SHP) (Bonorino, 1988), ya que el espacio terrestre en el que evoluciona, pertenece al ambiente continental de la entidad geológica denominada Cuenca Cretácica de Colorado (Zambrano, 1974).

El SHP tiene una extensión continental comprobada de 3.000 km². Se trata de un complejo acuífero arenoso (formaciones Ombucta y Colorado-Cretácico superior Terciario inferior), de poco más de 380 m de espesor total, dividido por una cuña de sedimentos marinos e intercalado en una serie sedimentaria normal, que constituye la cobertura de un basamento fracturado en bloques que forman fosas y pilares tectónicos (Bonorino, 1988).

El descubrimiento de este acuífero tuvo lugar en 1912, cuando la ex Dirección General de Minas y Geología perforó el pozo Argerich 1, el primero de los más de 75 ejecutados hasta hoy. Las propiedades más relevantes del SHP son: la profundidad de yacencia, situada entre los 500 y 1.300 m; el caudal de surgencia, variable entre 50 y 100 m³/h; la presión en boca de pozo, de hasta 20 atmósferas; la calidad de sus aguas, en su mayoría aptas para todo uso; y su termalismo, con temperaturas desde 50 hasta 74 °C.

La recarga (40,5 hm³/a) proviene de la infiltración de los excedentes de la lluvia en el área pedemontana occidental de las Sierras Australes y la circulación se realizaría por vías preferenciales (paleocauces). El termalismo se explicaría por un modelo de atenuación cortical, asociado a la formación de la Cuenca de Colorado, como consecuencia del rift que originó la apertura del Océano Atlántico.

Los caudales iniciales de surgencia medidos en algunas obras de captación alcanzaron valores muy elevados, como el de la perforación Chasicó, con 600 m³/h, o el de Lanera Patagonia, con 350 m³/h. Sin embargo, esta productividad ha decaído notablemente en el tiempo para equilibrarse en un caudal medio de 50 m³/h.

La calidad del agua, en términos de salinidad total, va desde 420 mg/L (agua de una edad ¹⁴C de 2.000 años B.P.), del tipo bicarbonatada sódica, a más de 1,7 g/L (18.300 años B.P.), del tipo clorurada sódica. El agua proveniente del nivel acuífero más profundo (Formación Colorado-Cretácico superior) puede alcanzar concentraciones de fluoruros superiores al límite de potabilidad.

Hasta el final de la década de 1960, la ciudad de Bahía Blanca se abastecía principalmente con el agua proveniente de más de 25 perforaciones del SHP, hoy reemplazadas casi totalmente por el Embalse Paso de

las Piedras. Actualmente, los usos más significativos son: agua embotellada, industrias de alimentos, frigorífico de carnes, balneoterapia y calefacción.

Región 7. Sierras Pampeanas y sus valles

Ocupa alrededor de 230.000 km² en el sector centro-norte. Las características hidrogeológicas de esta región se pueden asociar a las bien estudiadas en la Provincia de La Rioja, que se describe como ejemplo. La tectónica cenozoica generó depresiones intermontanas entre bloques ascendidos del Basamento Precámbrico-Paleozoico inferior, orientados Norte-Sur que, rellenas por sedimentos terciarios y cuaternarios, constituyen cuencas de agua subterránea de diversa magnitud (Vinchina-Villa Unión-Talampaya-Guandacol-Bermejo, Antinaco-Los Colorados, Pipanaco, Oriental de La Rioja, Valle Fértil-Mascasín, Chancaní-Ulapés, etc).

La recarga proviene del sistema de ríos y arroyos que en total alcanza un módulo de 13 m³/s. El Río Vinchina-Bermejo, es el de mayor módulo (1,3 m³/s) y posee agua inapropiada (clase V) para cultivos sensibles y regular (clase IV) para los tolerantes, por su elevado contenido en boro. El agua subterránea asociada es poco explotada y de variable calidad según la proximidad al río. Los principales acuíferos (libres-semiconfinados-confinados) se ubican en terrenos del Cuaternario (figura 5-Valle de Antinaco), con espesores que alcanzan más de 500 m. Las fallas originan resaltos hidráulicos y la profundidad del agua subterránea cerca de los macizos montañosos, en algunos

casos, supera 250 m. Existen más de 1.600 perforaciones, en cuencas como las de Antinaco-Los Colorados, Oriental de La Rioja, Sector Riojano de la de Pipanaco, etc. Los pozos extraen caudales entre 100 y 150 y hasta 300 m³/h, con rendimientos específicos que varían entre 2 y 80 m³/hm. La explotación intensiva en el Cono Aluvial de La Rioja causa descensos de los niveles estáticos entre 2 y 10 m/año, con un volumen bombeado de 69 hm³ en 2004. Allí la calidad es buena a regular para la mayoría de los cultivos. En el Valle de Antinaco-Los Colorados el agua es buena, y buena a regular para uso agrícola. La zona de Aimogasta-Bañado de Los Pantanos posee agua buena para riego (Aimogasta) y por mayor salinidad y elevado tenor de boro, inapropiada para cultivos sensibles; o regular a mala, para tolerantes al boro (Bañado de Los Pantanos).

Región 8. Piedemonte y Llanura Tucumano-santiagoña

Se emplaza en el centro Norte del país, cubriendo unos 52.000 km². En el borde occidental afloran rocas del basamento metamórfico pertenecientes al sistema de Sierras Pampeanas (Aconquija) en el sector Sur y a la Cordillera Oriental-Sierras Subandinas (San Javier-La Ramada y El Campo) en el sector Norte. El límite Sur está determinado por las Sierras de Ancasti (Sierras Pampeanas) y en el cierre Sudeste afloran rocas del basamento de las Sierras de Guasayán. Adosadas a las metamorfitas afloran capas de edad cretácica y terciaria (Mioceno) de baja

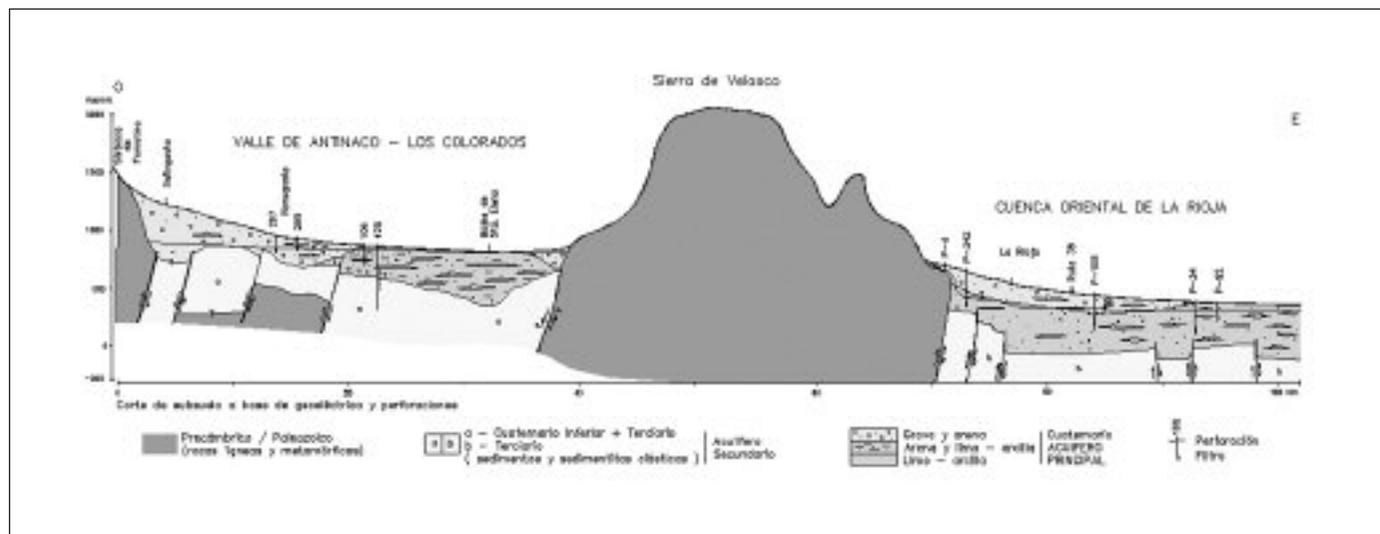


Fig. 5. Perfil hidrogeológico Valle de Antinaco-Los Colorados-Cuenca Oriental de La Rioja
Fig. 5. Hydrogeologic section Antinaco-Los Colorados Valley-La Rioja Eastern Basin

permeabilidad, con intercalaciones de bancos de calizas y yesos, que constituyen el basamento hidrogeológico de las cuencas.

En la zona pedemontana existen afloramientos aislados de niveles limo-arcillosos con intercalaciones de arena mediana a fina, del Terciario superior (Plioceno), con importante desarrollo en el subsuelo, donde se encuentra el sistema acuífero inferior.

Los importantes abanicos aluviales, con sedimentos de elevada permeabilidad, facilitan la recarga y circulación del agua hacia la llanura adyacente. En el sector central de esta última, se ha identificado

un alto estructural, con dirección NNO-SSE, que separa dos cuencas hidrogeológicas (Cortes AA' y BB'-figura 6).

La Cuenca Hidrogeológica de Burruyacú (corte AA'- fig. 6), se extiende en el sector nororiental de la Provincia de Tucumán desde las sierras de La Ramada y El campo (900 m snm), hasta sobrepasar el límite con la Provincia de Santiago del Estero, en una superficie de 3.000 km². Las precipitaciones varían de 900 mm/a en la zona montañosa, hasta 500 mm/a en Santiago de Estero. En la zona pedemontana y en la llanura ondulada, se desarrollan

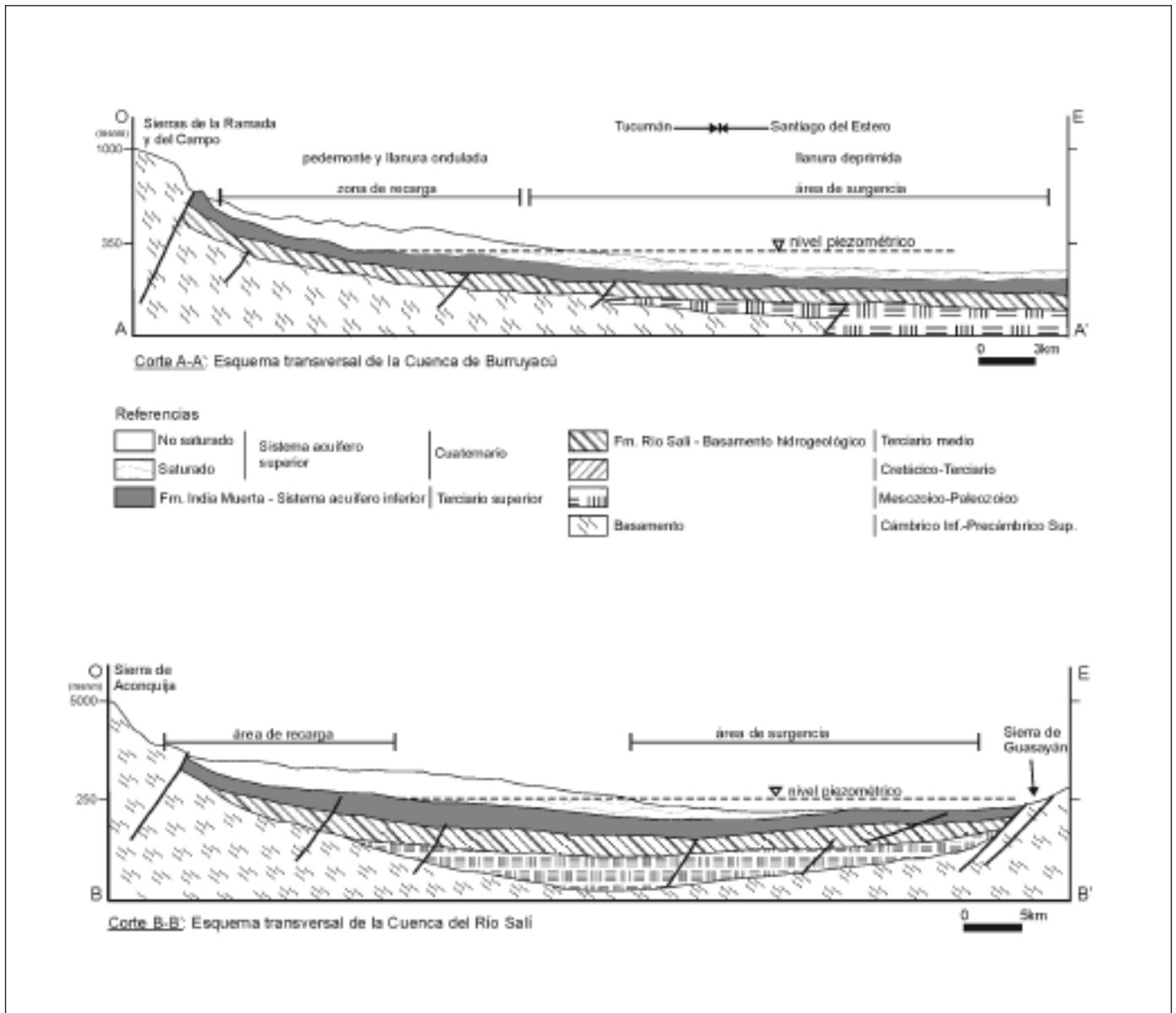


Fig. 6. Arriba: perfil hidrogeológico de la Cuenca de Burruyacú; abajo: perfil hidrogeológico de la Cuenca del Río Salí
 Fig. 6. Top: hydrogeologic section of the Burruyacú Basin; bottom: hydrogeologic section of the Río Salí Basin

abanicos aluviales, algunos con una superficie de más de 300 km². Sus niveles permeables conforman el sistema acuífero superior del Cuaternario, de comportamiento libre y confinado. En la llanura adyacente, el Cuaternario es de poco espesor. Los acuíferos, a profundidades entre 200 y 400 m, se integran con arenas cuarzosas medianas del Plioceno, con presión de surgencia natural, anomalías termales (43 °C) y calidad variable. No existen cauces superficiales permanentes. El abastecimiento de agua potable, riego y ganadería, se basa en la subterránea.

La Cuenca del Río Salí (corte BB'), es una de las artesianas más importantes del país; se extiende en el sector Sudeste de la Provincia de Tucumán con una superficie de 7.000 km² y sus bordes son las sierras del Aconquija por el Oeste, de Ancasti al Sur, de Guasayán al Este y el "Espolón de Tacanas" al Norte. Las precipitaciones varían de 2.000 mm/a en la cuenca alta, a 600 hacia el E, formando una densa red de drenaje con ríos permanentes que descienden de las altas cumbres (5.000 m s.n.m.), hasta el Embalse Termas de Río Hondo (250 m). De los importantes abanicos aluviales que, con espesores de más de 150 m llegan a la llanura, se destaca el del Río Salí de 2.400 km², que contiene a los principales acuíferos artesianos con caudales de 200 m³/h/pozo. En la llanura se explotan horizontes más profundos, del sis-

tema acuífero inferior del Plioceno, similares a los mencionados de Burreyacu, con presión de surgencia, anomalías termales (50 °C) y pequeñas diferencias en la calidad de sus aguas, entre 200 y 400 m de profundidad. Los pobladores, la industria, la agricultura y la ganadería, aprovechan sus buenos rendimientos específicos y calidad.

Región 9. Precordillera-Cordillera Frontal-Cordillera Principal y sus valles

Se ubica en el sector NNO de la Argentina, en una superficie de 129.000 km². Los principales valles al Oeste son: Iglesia-Calingasta-Barreal-Uspallata (figura 7) y al Este, en depresiones precordilleranas: Jáchal, Gualilán, Matagusanos y Ullum-Zonda, citados de Norte a Sur. Son cuencas elongadas Norte-Sur, rellenas por conos aluviales coalescentes y recargadas por ríos y arroyos de deshielo como Los Patos (49,7 m³/s).

La población no supera 20.000 habitantes, concentrados en localidades distribuidas a lo largo de ríos y zonas de descarga de agua subterránea. La actividad económica principal es la agrícola (forestal, frutales, pasturas, aromáticas), la ganadería caprina y el turismo.

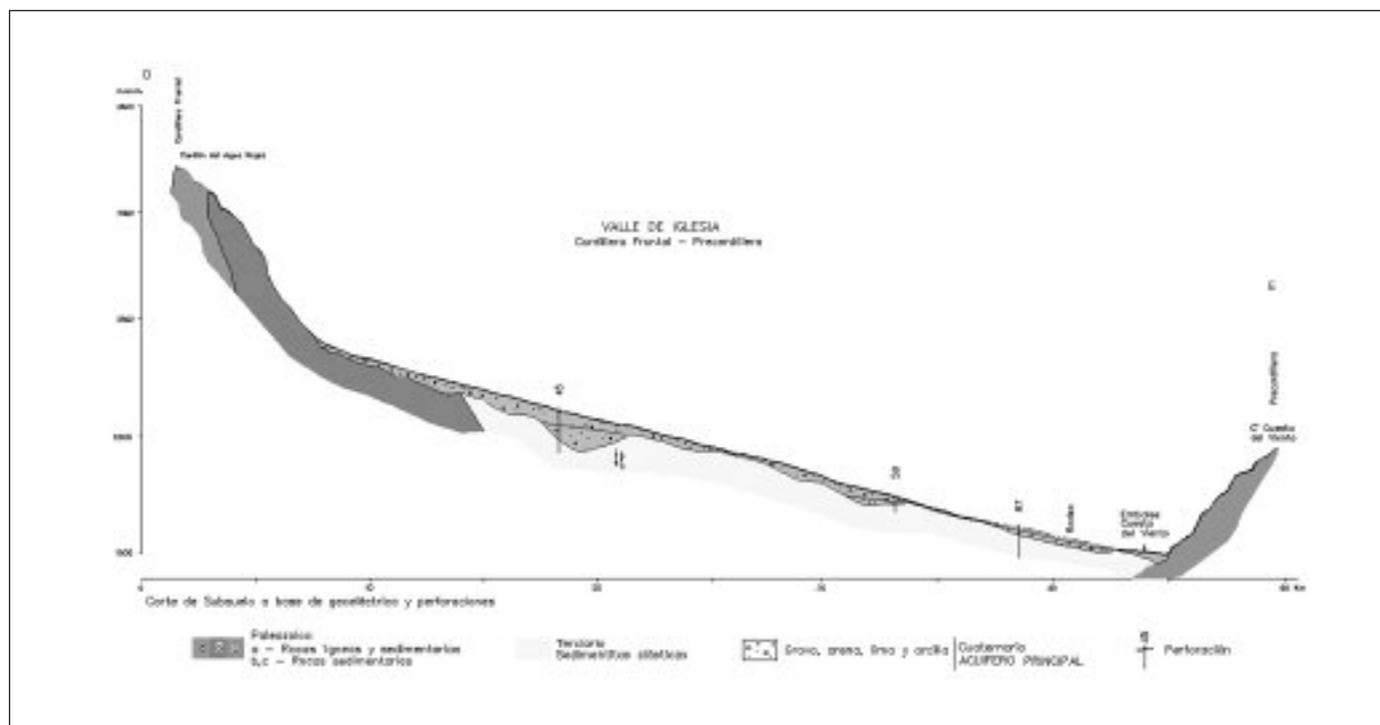


Fig. 7. Perfil hidrogeológico del Valle de Iglesia
Fig. 7. Hydrogeologic section of the Iglesia Valley

Los sedimentos que rellenan estos valles poseen espesores entre 40 y 270 m. Los acuíferos son libres y los pozos arrojan caudales del orden de 100 m³/h, con rendimientos específicos de hasta 55 m³/hm. El agua es de buena calidad y apta para cualquier tipo de cultivos. Existen aguas termales (Pismanta), en acuíferos del Terciario. En Cordillera, importantes emprendimientos mineros auríferos extraen agua de rocas (5 a 6 m³/h/pozo) y aluviones de baja permeabilidad (50 m³/h/pozo). Del resto de las cuencas sólo dos son importantes (Jáchal y Ullum-Zonda).

El Valle aluvial de Jáchal (21.000 habitantes y 6.250 ha cultivadas) es surcado y recargado por el río homónimo de 8,9 m³/s de módulo. Posee acuíferos confinados que rinden 12 m³/hm. La zona proximal, con un espesor sedimentario de 500 a 600 m, aloja al acuífero libre, con un rendimiento específico de 95 m³/hm. El Río Jáchal ingresa con una salinidad de 1.580 µS/cm y 3,5 mg/L de boro. La cuenca de Ullum-Zonda (8.528 habitantes en 125 km² y 5.300 ha de vid) tiene espesores superiores a 500 m y un acuífero libre con caudales de hasta 500 m³/h/pozo y depresiones inferiores al metro. La salinidad varía entre 500 y 900 µS/cm. La calidad para riego es buena cerca del Río San Juan, regular hacia los bordes de la cuenca, e inapropiada para plantas sensibles al boro en el Sureste.

Región 10. Piedemonte y Llanura Cuyana

Ocupa el sector NNO del país, cubriendo unos 86.000 km². Los relieves montañosos de rumbo general Norte-Sur, constituidos por rocas de diferentes edades (Paleozoico al presente) y litologías, definen cuencas rellenas por sedimentos de distinto origen, con variada granometría y espesor. Son alimentadas por cursos fluviales de régimen nivo-glaciario y constituyen importantes cuencas de agua subterránea explotadas intensamente para riego y en menor medida para uso industrial, ganadería y consumo humano. Se destacan, entre otras, las cuencas del Valle de Tulum (figura 8), del Río Tunuyán, de los ríos Mendoza y Tunuyán inferior (figura 9) y de los ríos Diamante y Atuel. Los ríos más importantes y principal fuente de recarga subterránea son: el San Juan (66 m³/s), el Mendoza (47 m³/s), el Tunuyán (29 m³/s), el Diamante (35 m³/s) y el Atuel (34 m³/s). La mayor explotación está en los oasis donde se concentra la población y la actividad agrícola (vid, principalmente) e industrial, con superficies cultivadas del orden de 150.000 y 66.000 ha en los valles de los ríos Mendoza-Tunuyán inferior y Tulum respectivamente.

Los principales acuíferos se alojan en terrenos sedimentarios del Terciario superior y del Cuaternario; estos últimos consisten en abanicos aluviales

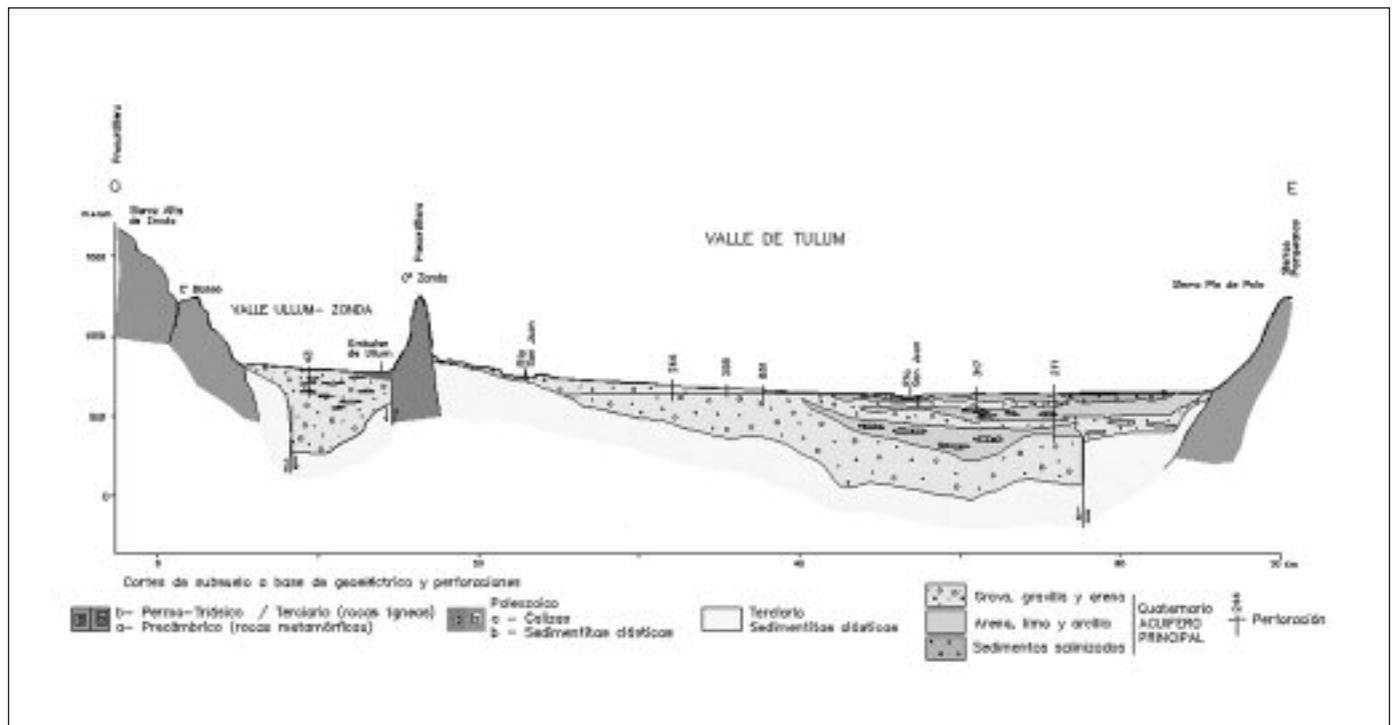


Fig. 8. Perfil hidrogeológico del Valle de Tulum
 Fig. 8. Hydrogeologic section of the Tulum Valley

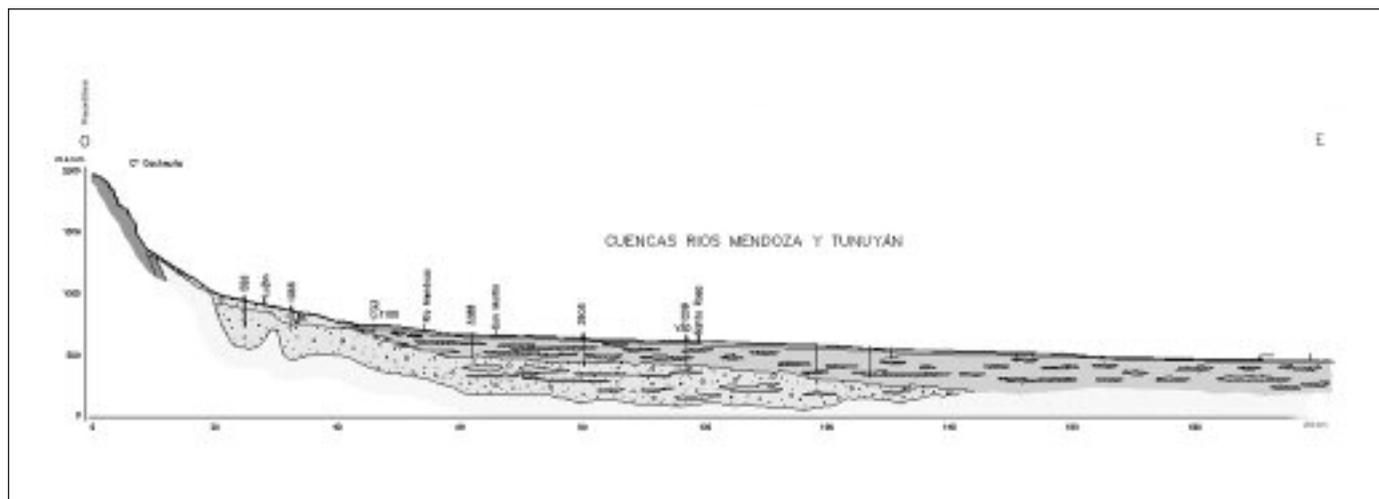


Fig. 9. Perfil hidrogeológico de las cuencas de los ríos Mendoza y Tunuyán
 Fig. 9. Hydrogeologic section of the Mendoza and Tunuyán river basins

que hacia la parte distal pasan a la llanura aluvial que se extiende hasta el Río Desaguadero. Estas cuencas de agua subterránea poseen espesores variables entre unas decenas y unos 600 m, albergando acuíferos libres, semiconfinados y confinados. Existen 6.000 perforaciones en el Valle de Tulum; 16.000 en la cuenca de los ríos Mendoza y Tunuyán y 2.000 en la de los ríos Diamante y Atuel, con profundidades de explotación de hasta 450 m. Los caudales son de 100 a 200 m³/h y algunos hasta 550 m³/h, con rendimientos específicos medios de 30 m³/hm. La extracción es de 360 y 120 hm³/a en las cuencas de los ríos Mendoza-Tunuyán inferior y Diamante-Atuel respectivamente. El agua es en general buena para el riego de cualquier clase de cultivo. Se dispone de redes de monitoreo hidrodinámico e hidroquímico, que han detectado algunos casos de sobreexplotación, salinización y anomalías de nitratos de origen cloacal.

Región 11. Llanos Riojanos y salinas asociadas

Se emplaza en el sector central de la Argentina, en una superficie de 39.000 km². 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 el 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. Hay pozos con elevados tenores de flúor y arsénico. 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.

La demanda agrícola provincial (40.000 ha de olivo y vid) implica intensificar las investigaciones hidrogeológicas.

Fitogeográficamente, se combinan las provincias del monte y la chaqueña. En la primera domina la estepa arbustiva o el matorral espinoso, con abundancia de jarilla, alpataco, atamisque y uña de gato, y en la chaqueña, el quebracho de la sierra, el tala, el incienso y el piquillín.

Región 12. Cordillera Patagónica y sus valles

Está ubicada en el sector SO del país, abarcando una superficie de alrededor de 64.000 km². Esta unidad orográfica, conocida como Cordillera Principal Austral, es la prolongación hacia el S de la Cordillera Principal Septentrional y ambas constituyen la Cor-

dillera de los Andes, que actúa como divisoria de aguas y límite jurisdiccional con Chile. La Cordillera Patagónica se extiende al Sur del límite entre las Provincias de Mendoza y Neuquén y está formada por grandes batolitos de composición granítica, especialmente de tipo granodiorítico, vulcanitas básicas y sedimentitas mesozoicas. Son muy característicos los efectos morfológicos de la acción glacial pleistocena, que originó importantes valles.

La particularidad más representativa del comportamiento pluvionival son los grandes excesos en el balance hídrico, responsables de una cuantiosa red de drenaje con arroyos y ríos caudalosos, y profundos lagos (Aluminé, Quillen, Lácar, Huechulafquen, Nahuel Huapí, Puelo, Futalaufquen, La Plata, Fontana, Argentino), originados por el endicamiento que producen las acumulaciones morrénicas. En muchos de estos lagos se originan los grandes ríos que atraviesan la Patagonia Extra-andina para desembocar en el Océano Atlántico (Colorado, Negro, Chubut, Deseado, Chico, Santa Cruz y Gallegos).

Se presentan importantes reservorios de agua subterránea, generalmente de muy baja salinidad, asociados a las acumulaciones fluviales y especialmente a las glacifluviales. Dentro de estas últimas las más interesantes son las morrenas y los eskers por sus elevadas porosidades y permeabilidades, aunque las heterogeneidades características de estos sedimentos condicionan la productividad de las captaciones. Por esta razón y dada la gran disponibilidad de recursos hídricos superficiales, el aprovechamiento de los subterráneos es 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 abastecimiento de agua potable a las localidades más importantes se logra utilizando los recursos hídricos superficiales, mediante captaciones desde los grandes lagos y tomas o derivaciones desde los ríos y arroyos más caudalosos. Algunos lagos presentan elevados índices de contaminación por el vertido de efluentes urbanos (Nahuel Huapí, Lácar). Otra de las particularidades de esta región es la posibilidad de obtener, en medios fisurados profundos, agua subterránea con características termales de bajo grado y escasa mineralización.

Región 13. Patagonia Extra-andina

Se emplaza en el sector Sur del país, en una superficie de 735.000 km². Se desarrolla desde las últimas estribaciones de la Cordillera de los Andes hasta la costa del Océano Atlántico, conformando una amplia

extensión caracterizada por un relieve mesetiforme escalonado, que disminuye en altitud de Oeste a Este. Estas geoformas, sólo se ven interrumpidas por cordones o elevaciones centrales correspondientes a rocas porfíricas jurásicas o sedimentitas continentales cretácicas. Además es surcada por ríos que nacen en la cordillera (Colorado, Negro, Chubut, Deseado, Chico, Santa Cruz, Gallegos) y desembocan en el mar, caracterizados por el desarrollo de una amplia planicie aluvial, producto de grandes avenidas de agua en épocas postglaciales. En el subálveo de los mismos se presentan niveles permeables que forman acuíferos libres, productores de importantes caudales de agua de buena calidad.

La evapotranspiración potencial anual supera los 600 mm, con precipitaciones promedio de 200 mm/a, a excepción de los sectores Norte y el extremo Sur, donde llegan a 500 mm/a.

Los niveles terrazados se hallan cubiertos por una gruesa capa de rodados con cemento calcáreo-caolinitico que, distribuidos de manera más o menos uniforme, son el resultado de las sucesivas glaciaciones procedentes del sector cordillerano. En algunos sectores el coronamiento de las mesetas está dado por coladas basálticas que permiten la infiltración y almacenamiento de aguas subterráneas de buena calidad. Estos niveles terrazados contienen al acuífero freático y su circulación en el medio granular, está conectado con las unidades terciarias infrayacentes (formaciones Río Negro, Patagonia y Santa Cruz), constituyendo sistemas acuíferos multiunitarios, con presencia de un flujo local de corto recorrido en el manto de gravas y un flujo regional en los niveles arenosos de las formaciones terciarias, con mayor tiempo de tránsito y aumento de la salinidad. Muestras de aguas colectadas a 250 m de profundidad, en niveles de la Formación Patagonia, en la zona de Pampa del Castillo, al Oeste de Comodoro Rivadavia, y analizadas mediante ¹⁴C, brindaron edades de 12.200-12.800 años ap (Griznik y Sonntag, 1994).

El comportamiento hidrogeológico revela la presencia de acuíferos alojados en depósitos correspondientes al manto de gravas tanto en los niveles terrazados como en los rellenos de cañadones, los cuales se constituyen en receptores del aporte pluvionival. Una parte de estos caudales se descarga en pequeños manantiales y mallines hacia los cañadones y zonas más bajas, y otra parte filtra verticalmente, recargando a los acuíferos más profundos. La mayor parte del agua subterránea utilizada, corresponde a niveles de las formaciones Patagonia y Santa Cruz con espesores que pueden superar los 500 m, aunque presentan bajas transmisividades, del orden de 17 m²/d.

Región 14. Entre Ríos y Corrientes

Se ubica en el NE del país, abarcando unos 153.000 km². 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 m de profundidad, está compuesto por sedimentos sueltos predominantemente arenosos, cenozoicos, de origen aluvial (Formación Ituzaingó), con porosidad y permeabilidad primarias, apoyados sobre arcilitas marinas del Terciario medio o rocas basálticas, mientras que en la mayor parte de Misiones, afloran 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 significativo en los niveles piezométricos como consecuencia de la disminución de la reserva.

En los últimos 10 años, tanto en la vecindad de la margen del Río Uruguay, en la Provincia de Entre Ríos (Federación, Concordia, Colón y Concepción del Uruguay), como en otras localidades alejadas de dicho río (Chajarí, Villa Elisa, María Grande y La Paz), se han ejecutado perforaciones del orden de 1.000 m de profundidad para captar el Acuífero Guaraní, contenido en las Areniscas de Misiones equivalente a la Formación Tacuarembó (Triásico-Jurásico), que subyacen a los Basaltos de Serra Geral (Cretácico), con el objeto de aprovechar el agua para balneoterapia. Aunque el agua del Guaraní surge con temperaturas entre 35 y 45 °C, no es un acuífero termal, porque dichas temperaturas son concordantes con el gradiente geotérmico.

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.

Habitan en esta región alrededor de 1.800.000 personas, ubicándose las ciudades más importantes en las márgenes de los ríos Paraná y Uruguay, que son de los más caudalosos del país y se abastecen de sus aguas, pero para ello deben ser potabilizadas. El resto de la población tanto urbana como rural, aprovecha el agua subterránea, fundamentalmente del Acuífero Ituzaingó, contenido en arenas fluviales pliocenas, por su excelente calidad química. También se lo emplea para el riego del arroz, por su alto rendimiento, con un promedio de 200 m³/h/pozo y una capacidad de riego de 40 ha/pozo (Auge y Santi, 2003).

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, la soja y el maíz.

Región 15. Misiones

Se ubica en el extremo NE de Argentina, en una superficie de alrededor de 50.000 km². 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 la 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. La mayor parte de las 800.000 personas que viven en esta región se abastecen con agua superficial.

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

El Acuífero Guaraní (AG), es muy explotado en

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

En Argentina, el AG es muy poco conocido, dado que sólo se lo aprovecha incipientemente en Entre Ríos para balneoterapia y en San Ignacio para la provisión de agua potable. Recientemente se perforó un pozo profundo en Oberá, que alcanzó el AG a 1.200 m.

Se estima en 1.200.000 km² la extensión de este gigante, que ocupa parte de los territorios de Brasil, Argentina, Paraguay y Uruguay y en 40.000 km³ el volumen de agua dulce almacenada, por lo que constituye uno de los reservorios subterráneos más grandes del mundo (Auge, 2001).

Región 16. Costa Atlántica Bonaerense

Se emplaza en el litoral Atlántico de la Provincia de Buenos Aires, ocupando unos 3.000 km². 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, a lo largo de unos 600 km. Las dunas alcanzan alturas máximas del orden de 25 m s.n.m. 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 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 ó 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 Fe²⁺ (hasta 10 mg/L), 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. Este manejo es particularmente difícil de implementar durante el verano, cuando por el turismo la población crece alrededor de 1,5 millones, mientras que en el resto del año oscila en los 200.000 habitantes.

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 intermedanasas 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, que en general han tenido buena adaptación al medio.

Región 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, que ocupan unos 15.000 km², 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 Cuaternario más conspicuo está representado por "ríos de piedra" (Borrello, 1972) que ocupan las vaguadas de los valles de fondo chato que caracteri-

zan a las islas. Están formados por cantos y bloques provenientes de las areniscas del 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.

Ruiz Huidobro y Socic (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 es del orden de 150 mm/a, lo que indica condiciones favorables para la recarga.

Región 18. Antártida

Junto con el Ártico contiene la reserva de agua dulce más importante del planeta (alrededor del 2% del total de la hidrosfera). A la Antártida también se la conoce como continente helado y se la puede dividir en 3 partes bien diferenciadas, tanto geológica como fisiográficamente (Camino, 1972).

- Antártida oriental, comprende al sector ubicado al Sur 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 intruidas 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 970.000 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 morrénicas 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 descienden 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.

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).

Marco legal e institucional

La República Argentina es un país federal integrado por 24 provincias y está regido por una Constitución Nacional, dictada originalmente en 1853, mientras que la vigente, data de 1994. Las provincias, además, tienen sus propias constituciones, de acuerdo con los principios, declaraciones y garantías de la Constitución Nacional, que establece respecto a los recursos naturales que: "Corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio". Por lo tanto, las provincias son propietarias de sus recursos naturales y por ende de los hídricos. A nivel nacional, tiene ingerencia la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, que entre otros, posee como objetivo: Las provincias por su parte, tienen Ministerios, Secretarías, o Direcciones, con ingerencia directa sobre el agua y legislaciones, normas, regulaciones, o códigos, que tratan específicamente, sobre la exploración, la explotación, el manejo, la utilización y la protección de la misma.

Estado del conocimiento

Pese a que un 70% del territorio argentino presenta condiciones climáticas áridas y semiáridas, y a que el agua superficial se concentra sólo en dos regiones (Mesopotamia-Río de la Plata y Cordillera Patagónica), el conocimiento que se tiene sobre la subterránea es bastante escaso y son pocos los planes hidrogeológicos regionales de evaluación. Esta situación debiera revertirse en el corto plazo, a fin de cubrir la creciente demanda de agua potable, dado que alrededor del 50% de la población total del país se abastece con agua subterránea y algo similar sucede con el riego y con la industria. Además, las investigaciones hidrogeológicas resultan imprescindibles para encarar el mejoramiento del deterioro sufrido como producto de la contaminación, salinización y agotamiento de las reservas subterráneas.

Referencias

- Auge, M. y Hernández, M. 1984. Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense. Su implicancia en el ciclo hidrológico de las Llanuras dilatadas. *Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras*, Buenos Aires-París, 2, 1019-1041.
- Auge, M. 2001. Acuífero Guaraní. Parte Primera. *Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 57, 53-59.
- Auge, M. 2001. Acuífero Guaraní. Parte Segunda. *Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 58, 56-58.
- Auge, M. 2002. *Regiones Hidrogeológicas. República Argentina y Provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe*. E-book: 1-138. www.gl.fcen.uba.ar/Hidrogeologia/auge/libros.htm Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- Auge, M., Hernández, M. y Hernández, L. 2002. Actualización del conocimiento del Acuífero semiconfinado Puelche en la Provincia de Buenos Aires-Argentina. *XXXII International Hydrogeology Congress*, Mar del Plata, Argentina, 624-633.
- Auge, M. y Santi, M. 2003. Riego con agua subterránea en la región arrocerá de Entre Ríos-Argentina. *Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 71, 64-71.
- Bonorino, A. 1988. *Geohidrología del sistema hidrotermal profundo de la región de Bahía Blanca*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur, Inéd., 1: 268. Bahía Blanca, Argentina.
- Borrello, A. 1972. Islas Malvinas. En: *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba, Argentina, 755-770.
- Cabrera, A. 1958. Fitogeografía. En: *La Argentina Suma de Geografía, III*. GAEA, Buenos Aires, 101-206.
- Caminos, R. 1972. Antártida Argentina. En: *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba, Argentina, 771-796.
- González, N. 2005. Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. *XVI Congreso Geológico Argentino. Relatorio*, La Plata, Argentina, 359-374.
- Griznik, M. y Sonntag, C. 1994. Sobre algunas edades de las aguas subterráneas del Sistema Acuífero Multiunitario del Sureste de Chubut, Argentina. *Revista Naturalia Patagónica. Serie Ciencias de la Tierra*, 2, 91-92.
- Hernández, M. y González, N. 1990. Aquifer characteristics of the late pleistocene-holocene in Buenos Aires Province, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 7: 247-260. Balkema Publishers. Rotterdam.
- Ruiz Huidobro, O. y Sosis, M. 1980. Aguas subterráneas. En: *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba, Argentina, 1641-1691.
- Sala, J., González N. y Kruse, E. 1983. Generalización hidrogeológica de la Provincia de Buenos Aires. *Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras*, Buenos Aires-París, 2, 973-1009.
- Zambrano, J. 1974. Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la Provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 29 (4), 443-469.

Recibido: octubre 2005.

Aceptado: diciembre 2005.