

Contribución al conocimiento hidrogeológico del sector de La Brianza (Córdoba, Argentina)

M. Lema¹, J. M. Andreu², M. Blarasin¹ y A. Cabrera¹

¹ Dpto. de Geología, Universidad Nac. de Río Cuarto, Ruta Nac. 36, km 601, Río Cuarto, Cba. Argentina. mblarasin@exa.uncrc.edu.ar

² Dpto. Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, Universidad de Alicante, Apdo. Correos, 99, 03080 Alicante, Andreu.Rodes@ua.es

ABSTRACT

This article aims to describe the main hydrogeologic aspects of La Brianza area, making a contribution to the knowledge of the natural resources in this agricultural region from the central Argentine plain. Two aquifer systems are found in this territory. The phreatic aquifer comprises mainly fine eolic quaternary sediments, it presents relatively low yields (flows) and highly variable ionic contents. The presence of Fluorine and Arsenic is common. The different confined deep aquifers identified, with higher yields, include coarser clasts, mainly coarse sand and gravel, limited by thick silts layers. The total dissolved solids are low, always under 1000 mg per litre. An analysis of the aptitude of use of these waters indicates important restrictions due to their chemical characteristics.

Key words: Large plain, unconfined aquifer, hydrochemistry, water quality, Pampa Argentina.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua es uno de los pilares fundamentales para el desarrollo socioeconómico de una región. Sin embargo, su utilización y empleo está asociada a una calidad que no siempre es la más adecuada para los usos que se le pretende dar. Este es el caso de numerosos lugares entre los que se encuentran algunos sectores de la región pampeana argentina. A pesar de que a priori esta región dispone de recursos hídricos subterráneos, la mineralización de sus aguas así como la elevada concentración de ciertos elementos como arsénico o flúor, entre otros, puede llegar a hacerlas no aptas para usos como el abastecimiento humano, el aprovechamiento ganadero o incluso el regadío.

La zona de la Brianza es uno de estos sectores de la región pampeana ubicada en la parte centro-meridional de la provincia de Córdoba, aproximadamente a 40 km al SE de Río Cuarto. La captación de las aguas subterráneas en esta zona tiene lugar tanto del acuífero superficial como de tramos acuíferos confinados profundos. A pesar de esta disponibilidad, no todas las aguas captadas ofrecen buenas calidades por lo que muchas veces las posibilidades de uso quedan restringidas.

El principal objetivo del presente trabajo se centra en realizar una caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica de este sector, contribuyendo al conocimiento de este tipo de acuíferos de gran llanura. Por otro lado, se pretende que este estudio sirva en futuras planificaciones del uso del agua en esta región.

Para realizar el presente estudio se seleccionó una superficie aproximada de 430 km² correspondiente con la hoja topográfica del IGM La Brianza n° 3363-25-2. Su acceso es posible tomando el camino de La Gilda que parte del km 604 de la Ruta Nacional n° 8 (Fig. 1).

EL MEDIO FÍSICO

Desde el punto de vista geológico el área de estudio se ubica en la provincia geológica denominada Llanura Chacopampeana. Esta provincia abarca una importante extensión del territorio argentino, con un relieve de lomas muy suaves que alternan con zonas planas de pendientes muy reducidas. A grandes rasgos, esta región ha actuado durante la mayor parte de su historia geológica como una zona deprimida dividida en subcuencas, cuyo basamento está constituido por rocas metamórficas e ígneas precámbricas y paleozoicas. El relleno de esta gran cuenca está integrado por un amplio registro sedimentario de diversas edades y ambientes deposicionales (Russo *et al.*, 1979). En la parte basal se disponen materiales marinos siliciclásticos con intercalaciones continentales de edad paleozoica. El tramo intermedio está constituido por una secuencia mesozoica y terciaria donde alternan materiales de ambientes marinos y continentales, así como importantes espesores de rocas basálticas jurásicas. La parte superior se compone de una secuencia mayoritariamente detrítica en la que alternan sedimentos eólicos, fluviales y lacustres del final del Terciario y Cuaternario.

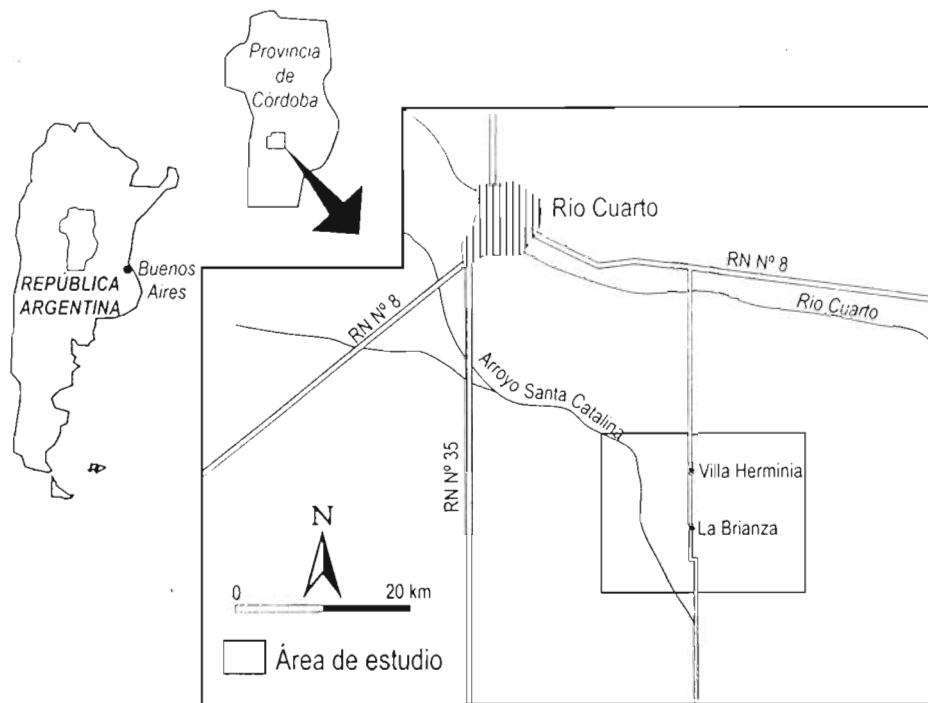


FIGURA 1: Localización geográfica del área de estudio.

A partir de los datos de las litologías atravesadas por diferentes sondeos en el sector de La Brianza se ha podido establecer, de muro a techo, que entre los 300 y 120 m de profundidad existe una alternancia de limos y arenas muy finas con niveles de arenas medias y gruesas. Los niveles de mayor granulometría adquieren potencias entre 6 y 10 m y muestran escasa continuidad lateral. Se estima que este tramo podría corresponder a la Fm Tigre Muerto de edad Mioceno, (Blarasin *et al.*, 2000; Blarasin y Cabrera, 2001). La serie continúa con limos y arenas finas, habiéndose detectado en algunas perforaciones la presencia de niveles entoscados (calizas epigénicas impuras) entre 120 y 80 m de profundidad, cuya continuidad no se ha podido establecer. Estas litologías se asignan al conjunto de unidades definidas para el Cuaternario inferior y medio (Cantú, 1992; Villalba, *et al.*, 2002). Por encima de este paquete y hasta la superficie predominan los limos y arenas muy finas, con eventuales intercalaciones de granulometrías superiores e inferiores. En la parte más alta se han identificado diversos niveles edáficos que reflejan alternancias climáticas en la última etapa del registro sedimentario. Este tramo superior parece corresponderse con algunas de las unidades definidas asignadas al Holoceno por Cantú (1992).

Geomorfológicamente el área corresponde a las asociaciones denominadas: Alto Estructural y Bloque Hundido (Degiovanni, 2001), ambas limitadas por una importante falla regional de orientación NNO-SSE (Falla del Tigre Muerto). La parte oriental del área de estudio corresponde al Alto Estructural que forma parte de un bloque elevado de carácter regional. Está conformado por una amplia loma de relieve suavemente ondulado y cima plana, con la vertiente

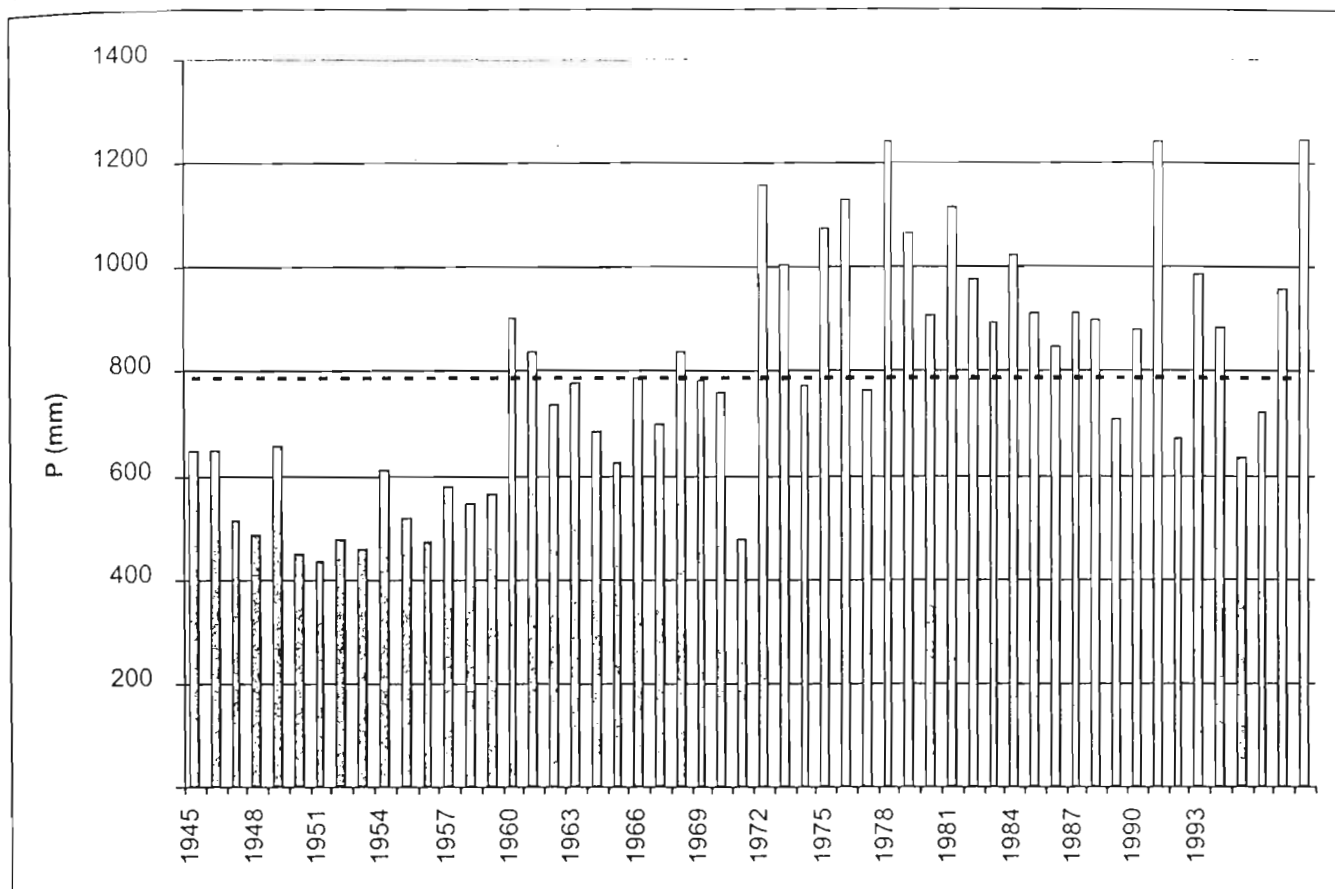
oriental tendida y la occidental más pronunciada. Las pendientes en las laderas varían entre 0,5% y 1,3%. Actúan aquí procesos leves a moderados de deformación y erosión hídrica. La parte occidental se encuentra dentro del denominado Bloque Hundido, de relieve prácticamente plano (pendiente media de 0,02%). En ella se encuentra la estrecha faja fluvial del Arroyo Santa Catalina, que se superpone a una antigua, de mayor extensión. En el resto de esta asociación son característicos los procesos de halomorfismo e hidromorfismo, relacionados con la presencia del nivel freático muy cercano a la superficie. La red de drenaje, constituida por un único colector con flujo permanente, el Arroyo Santa Catalina, y por líneas de escurrimiento efímero, está fuertemente controlada por el patrón estructural.

ENCUADRE CLIMÁTICO

La caracterización del régimen climático se ha realizado a partir de los datos de precipitación registrados en el establecimiento Don Gervasio, ubicado en las cercanías de La Brianza, y de la serie térmica perteneciente a la estación meteorológica de la Universidad Nacional de Río Cuarto, situada aproximadamente a 40 km del área de estudio.

La precipitación media anual para el período 1945-1998 se sitúa en 790 mm/año, presentando un coeficiente de variación (CV) de 28. A lo largo de la serie de registro se puede identificar dos intervalos de tiempo con características ligeramente diferentes (Fig. 2a). Por un lado el período comprendido entre el inicio del registro hasta 1971, el cual presenta menores valores de precipitación, de forma que son escasos los años en que supera la media de la serie. Es durante este intervalo cuando

a



b

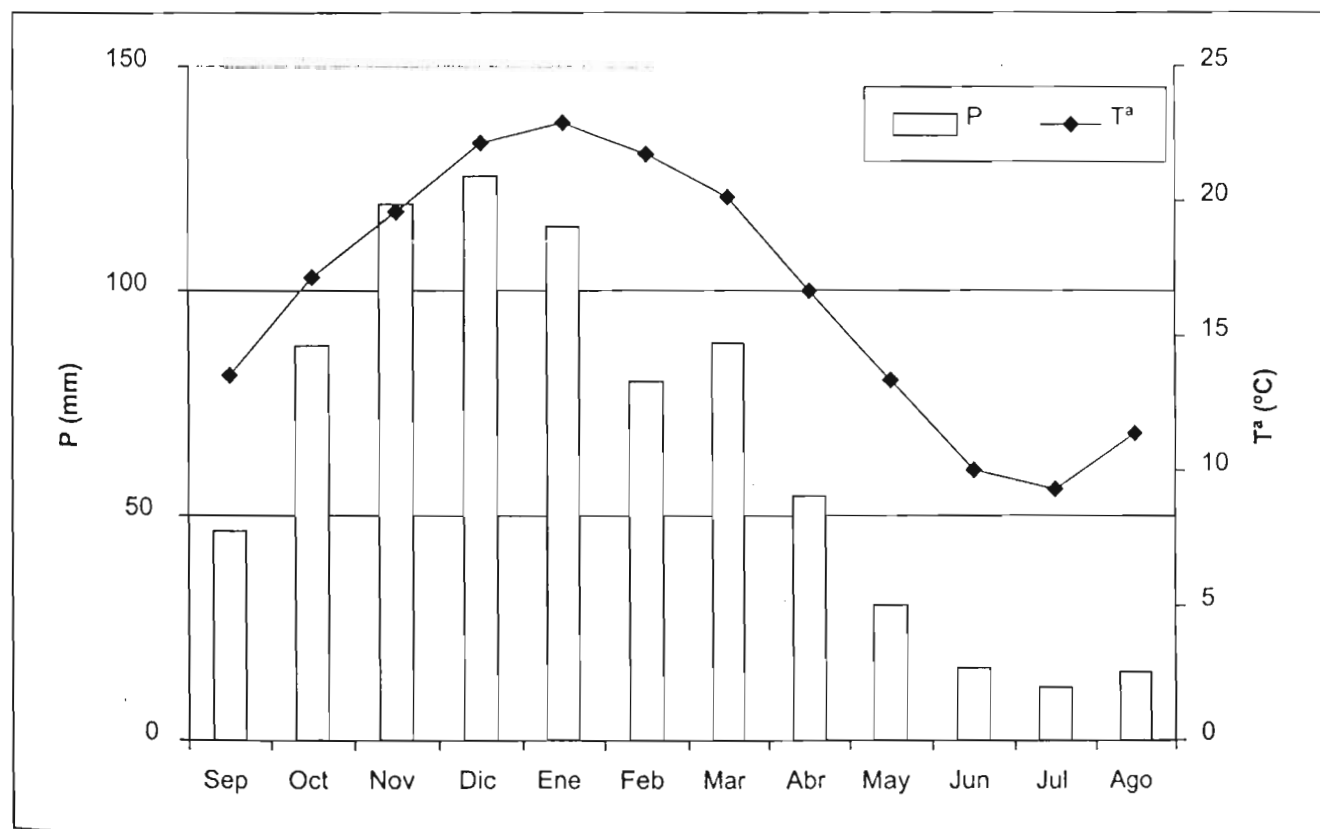


FIGURA 2. (a) Distribución de la precipitación en la estación Don Gervasio durante el periodo 1945-1998. (b) Distribución anual de la temperatura y de la precipitación.

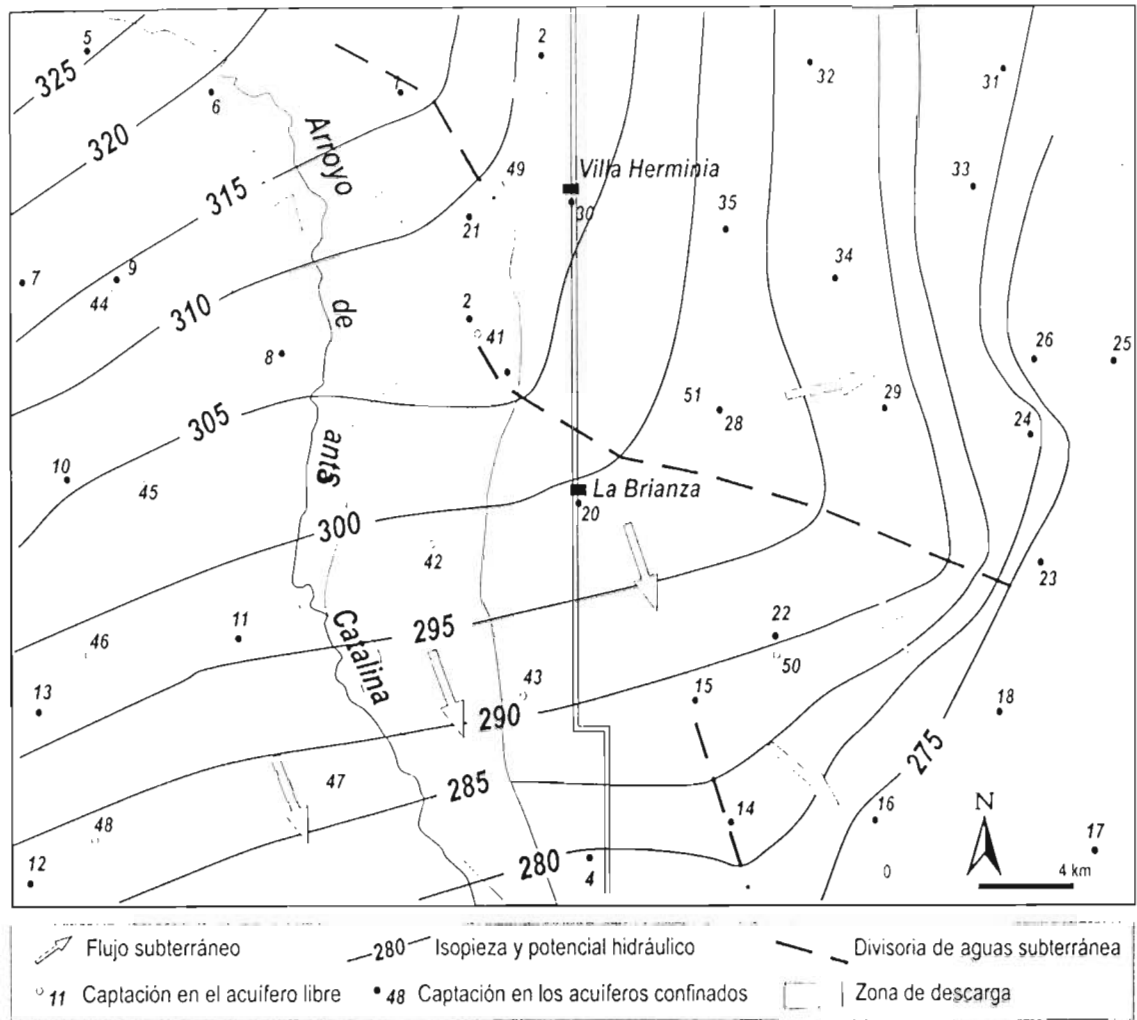


FIGURA 3. Mapa piezométrico para el acuífero libre (otoño, 1999).

tuvo lugar el año más seco (1951) con valores de 438 mm. Por otro lado, el periodo 1972-1998 se muestra más lluvioso, superándose los valores de 1000 mm en varios años. El año más húmedo fue 1998 con 1247 mm. Este comportamiento de incremento de la pluviometría responde a una tendencia regional constatado en diversas estaciones (Venencio y García, 2002). Respecto a la distribución de las precipitaciones a lo largo del año, la figura 2b muestra cómo el periodo entre noviembre y enero es el más húmedo, produciéndose un 45% de la lluvia anual. El máximo absoluto se encuentra en el mes de diciembre con un valor medio de 126 mm. Por último, el más seco corresponde al periodo invernal situándose el mínimo en el mes de julio con un valor de 12 mm.

La temperatura media anual es de 16,5°C. Entre diciembre y marzo se registran las mayores temperaturas, siendo enero el que presenta valores medios más altos con 22,9°C. Es común en estos meses alcanzar valores superiores a 35°C. Por otro lado, los meses entre junio y agosto son los más fríos, obteniéndose la media más baja en julio con 9,3°C. Durante esos meses suelen registrarse comúnmente valores inferiores a 0°C.

Según la clasificación de Thornthwaite, la zona de estudio se encuentra bajo la influencia de un clima subhúmedo, mesotérmico, con pequeña o ninguna falta de agua en invierno.

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

Desde el punto de vista hidrogeológico el área de estudio se encuadra en la Región Hidrogeológica Llanura Chaco Pampeana (INCyTH, 1991), la cual está formada por un sistema de acuífero multicapa de características hidráulicas muy variables.

En el área de La Brianza, a partir de la información obtenida de los sondeos, se han diferenciado dos grandes conjuntos con características acuíferas diferentes. Un conjunto superior, constituido mayoritariamente por limos y arenas muy finas, que se comporta como acuífero libre, y un conjunto basal, en la que alternan las capas de gravas, arenas gruesas y medias con sedimentos finos, cuyo comportamiento hidrogeológico es más complejo en el que se alternan niveles confinados y semiconfinados.

El acuífero libre en este sector presenta características hidráulicas deficientes, típicas de depósitos de loess, en donde predominan captaciones de molinos y pozos incompletos que atestiguan bajos caudales de extracción. Es por ello que pueda ser considerado como un acuífero pobre o incluso acuitardo, cuyos valores característicos de K (Conductividad Hidráulica) y S (Almacenamiento) son del orden de 0,5-1 m/día y 0,05-0,1, respectivamente. Todo apunta que el nivel impermeable basal está constituido por los niveles cementados y arcillosos de mayor desarrollo ubicados entre 80 y 120 m de profundidad.

Según se observa en el mapa piezométrico (Fig. 3), la morfología de la superficie freática es radial, de suave a moderadamente ondulada con algunos sectores planos. El sentido regional del flujo del agua subterránea es desde el NW hacia el SE. No obstante se han identificado algunas líneas divisorias subterráneas parciales que configuran la divergencia del mismo. El gradiente hidráulico general de la zona es del orden de $2 \cdot 10^{-3}$, determinándose los máximos valores ($1,6 \cdot 10^{-2}$) en la parte oriental del Alto estructural. La relación hidráulica acuífero-Arroyo Santa Catalina a partir de las isopiezas puede catalogarse como mixta en el tramo septentrional del arroyo al existir influencia subterránea por su margen occidental, mientras que la oriental actúa como efluente. Sin embargo, esta relación varía hacia la parte meridional apreciándose una coincidencia del sentido de flujo subterráneo y superficial. Por último, conviene destacar la existencia de una franja de varios km de ancho en donde el nivel freático se encuentra a menos de 3 m de profundidad, donde es común que la capa freática corte la topografía. De esta forma se originan encharcamientos que actúan como puntos de descarga del acuífero (Fig 3.). Tanto la dinámica del agua como la profundidad del nivel freático están fuertemente influenciadas por el control morfoestructural condicionado por la Falla del Tigre Muerto que separa los dos megabloques del área.

El tramo inferior corresponde al conjunto litológico detrítico por debajo del impermeable de muro del acuífero libre (aproximadamente 100 m de profundidad). Está formado por niveles de arenas y gravas lateralmente discontinuos dentro de un tramo limoso. Ello presenta una configuración hidrogeológica compleja en la que se alternan distintos acuíferos confinados o semiconfinados con diferente carga hidráulica. En el presente trabajo, no ha sido posible establecer la relación hidráulica existente entre los distintos tramos acuíferos captados, si bien debido a la diferencia de piezometrías y alturas de surgencia (algunas de ellas hasta de 20 m), es posible establecer la existencia de al menos varios acuíferos independientes.

En general, este conjunto hidrogeológico presenta mejores características hidráulicas que el acuífero libre, ya que los caudales de extracción comprendidos entre 2 y 10 L/s superan ampliamente a los del acuífero libre. Los mayores caudales suelen aportarlos los sondeos que alcanzan los niveles más profundos.

CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS

La caracterización geoquímica de las aguas del área de estudio se ha establecido a partir del muestreo realizado durante los meses de mayo a agosto de 1999. En total se muestrearon 25 captaciones (18 en el acuífero libre y 7 en acuíferos confinados). En campo se realizaron las medidas de temperatura, pH y conductividad eléctrica, mientras que en el laboratorio se determinaron calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, nitratos, nitritos, arsénico y flúor.

Los resultados obtenidos permiten constatar que las aguas del acuífero libre presentan valores de conductividad comprendidos entre 950 y 5860 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Tabla 1). Tal y como caracteriza a las aguas provenientes de acuíferos constituidos por loess, el ion dominante es el sodio con valores entre 144 y 756 mg/L y existe una gran variación respecto a las proporciones de los diferentes iones. La representación de las muestras en el diagrama de Piper permite diferenciar un grupo de aguas bicarbonatadas sódicas y un grupo de aguas también sódicas pero mixtas respecto a los aniones, las cuales, a su vez, corresponden a las más mineralizadas (Fig. 4). Los valores de nitratos son inferiores a 10 mg/L, y no se han detectado nitritos. Por último, hay que destacar que los valores de arsénico y flúor son elevados (con máximos de 300 $\mu\text{g}/\text{L}$ y 5 mg/L, respectivamente), lo cual se relaciona con la composición de los sedimentos que conforman el acuífero, con importante aporte de material volcánico en el loess (Smedley, *et al.*, 2002, Blarasin *et al.*, 2003). Cabe mencionar que el loess está compuesto en su mayor porcentaje por minerales livianos tales como feldespato potásico, cuarzo, vidrio volcánico (hasta 24% de

Tabla 1. Sumario de las características hidrogeoquímicas del área de estudio. Med: media; DT: desviación típica; Máx: máximo; Mín: mínimo. C.E. conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$; TDS: total de sales disueltas en mg/L; resto de iones en mg/L.

	Acuífero libre				Acuíferos confinados			
	Med	DT	Máx	Mín	Med	DT	Máx	Mín
pH	8,1	0,3	8,5	7,6	7,8	0,2	8	7,4
C.E.	2549	1635	5860	950	1888	930	3400	658
TDS	1784	1144	4102	665	1321	651	2380	461
HCO_3^-	553	132	880	275	284	121	450	156
SO_4^{2-}	320	300	896	32	337	193	575	110
Cl ⁻	186	204	663	14	109	103	305	0
Na ⁺	348	201	756	144	238	134	473	76
K ⁺	13,5	10,2	45	5,7	10,1	3,8	16,2	4,9
Ca ²⁺	24	30	106	3,2	44,8	27,9	84	12
Mg ²⁺	24	30	100	2,9	16,2	13,1	32,7	1,5
NO_3^-	7,7	1,6	10	4	7,9	1,2	9	6
As	0,13	0,1	0,3	0	0,04	0,06	0,15	0
F	2,46	1,3	5	0,95	0,61	0,38	1,4	0,38

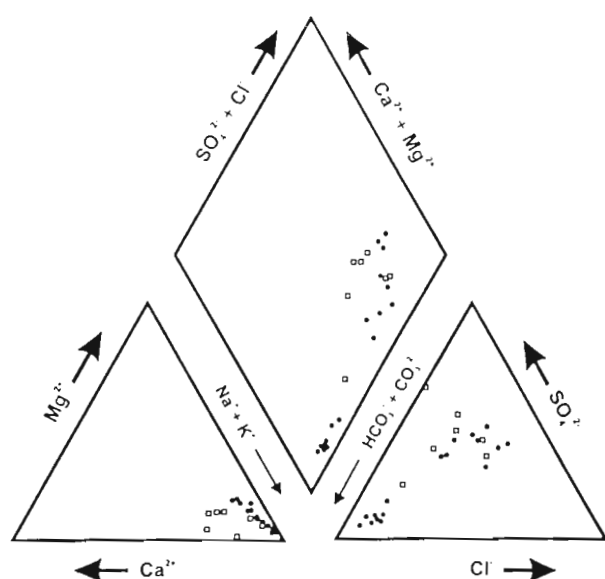


FIGURA 4. Representación de las muestras de agua en el diagrama de Piper. Acuífero libre (círculos rellenos); Acuíferos confinados (cuadrados huecos).

porcentaje en peso), plagioclasa y fragmentos líticos, y muy subordinadamente (<10%) por minerales pesados (piroxenos y anfíboles, turmalina, circón, apatito y opacos). El 78 % de las muestras sobrepasan el límite de arsénico de 50 µg/L de la legislación argentina, mientras que el 72 % supera el establecido para flúor de 1,3 mg/L para una temperatura ambiente promedio de 16°C.

En general, las aguas menos mineralizadas se asocian fundamentalmente al sector oriental, donde existe una zona no saturada superior a 10 m. Por el contrario, en el sector occidental, topográficamente más bajo y por tanto con la capa freática más cercana a la superficie, la mineralización aumenta rápidamente. Todo indica que el principal aumento de salinidad está relacionado a las más bajas velocidades de circulación del agua subterránea y al efecto de procesos de evapotranspiración como consecuencia de ascensos verticales de agua por capilaridad a través de los sedimentos finos.

En cuanto a las características químicas del agua proveniente de los acuíferos confinados se observa que en general se trata de aguas menos mineralizadas, con un valor máximo de 2429 mg/L en sales totales. Los valores de salinidad varían ampliamente en relación directa con la profundidad. También muestran una facies mixta respecto a los iones y sódica respecto de los cationes. Los contenidos de nitratos son semejantes a los del acuífero libre, mientras que los de flúor y arsénico son menores (Tabla 1). Las diferencias geoquímicas deben obedecer a condicionamientos litológicos e hidrodinámicos, si bien la escasa información que se dispone impide poder realizar un análisis más preciso.

Las aguas provenientes de los acuíferos existentes en el área de La Brianza se utilizan principalmente para uso doméstico y ganadero. No obstante, a causa a los altos va-

lores de sales disueltas, así como por la presencia de flúor y arsénico, las aguas provenientes del acuífero libre son en general no aptas para consumo humano. Si bien gran parte de las aguas son aptas para uso ganadero, este uso no sería adecuado en aquellos puntos con mayores concentraciones en arsénico. Los bajos contenidos de nitratos indican la escasa influencia hasta el momento de las actividades ganaderas sobre la calidad de las aguas subterráneas.

Aunque apenas se realizan riegos en los campos de la zona, se ha efectuado un análisis de aptitud química para las aguas pertenecientes al acuífero libre aplicando la normativa de Riverside. Las aguas más deficientes se sitúan en el sector occidental, y su empleo conllevaría riesgo de salinización y problemas de sodicidad en algunos suelos.

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista hidrogeológico la región de La Brianza presenta dos conjuntos hidrogeológicos diferentes. Por un lado, un tramo superior con predominio de sedimentos finos y que se comporta como acuífero libre, y por otro, un tramo inferior caracterizado por la presencia de niveles gruesos que actúan como acuíferos confinados o semiconfinados de relaciones hidráulicas poco conocidas.

El acuífero libre se presenta como un acuífero pobre en donde los rendimientos de las captaciones son bajos. El control morfoestructural del área define dos sectores bien diferenciados tanto en la dinámica como en la calidad del agua subterránea. En el Bloque Hundido el sentido del flujo subterráneo es NNW-SSE, encontrándose las menores profundidades del nivel freático y las máximas salinidades (2-4 g/L) con dominio de aguas sódicas y mixtas en la facies aniónica (sulfatadas y/o cloruradas), aspectos asociados a la condición topográficamente deprimida. En el Alto Estructural se observan divergencias del flujo a partir de divisorias que coinciden con los altos topográficos más destacados, observándose los mayores espesores de zona no saturada y las más bajas salinidades con dominio de aguas bicarbonatadas sódicas, producto de una recarga preferencial del acuífero. La presencia en el agua de elementos como arsénico y flúor guarda estrecha relación con la mineralogía y características hidráulicas de los sedimentos loésicos que conforman el acuífero.

En la zona también existen diversas captaciones que explotan los acuíferos confinados profundos. Si bien la escasez de datos no permite realizar un modelo detallado de éstos, es claro que se trata de diferentes niveles, que presentan una variedad de rendimientos y características hidroquímicas. En general, las aguas de estos niveles son menos mineralizadas, aunque también su facies predominante es mixta respecto a los aniones y sódica respecto a los cationes.

Las aguas provenientes de ambos acuíferos se utilizan principalmente para uso doméstico y ganadero. Sólo las aguas de los acuíferos confinados más profundos son apropiadas para consumo humano.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha beneficiado de los fondos del grupo de investigación de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto (SECyT-UNRC) y AVCiT-GRUPOS 03/085 de la Generalitat Valenciana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blarasin, M., Cabrera, A. y Degiovanni, S. (2000): Hidrogeología Regional: El agua subterránea como recurso fundamental del Sur de la Provincia de Córdoba, Argentina. En: *I Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas*. Fortaleza, Brasil.
- Blarasin, M. y Cabrera, A. (2001): *Hidrogeología*. En: Hoja Geológica Río Cuarto. Escala 1:250.000 Servicio Geológico de Argentina.
- Blarasin M., Cabrera, A., Paris, M. y Matteoda, E. (2003): Aplicación del análisis factorial y cluster al tratamiento de datos hidrogeoquímicos en la hoja Río Cuarto, Cba. *I Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas Actuales de la Hidrología Subterránea*: 309-318.
- Cantú, M. P. (1992): *Holoceno de la provincia de Córdoba*. En: *Holoceno de la República Argentina*. T I (Ed. Martín Irondo). Simp. Inter. sobre Holoceno en América del Sur, Paraná, Argentina: 24 p.
- Degiovanni, S. (2001): *Geomorfología*. En: Hoja Geológica Río Cuarto. Escala 1:250.000 Servicio Geológico Minero de Argentina (SEGEMAR).
- INCYTH (1991). *Mapa Hidrogeológico de la República Argentina*. Escala 1:2.500.000. Instituto Nacional de Ciencia y Técnicas Hídricas. MOSP-INCYTH-UNESCO.
- Russo, A., Ferello, R. y Chebli, G. (1979): Llanura Chaco-pampeana. En: *II Simposio de Geología Regional Argentina*. Acad. Nac. Ciencias de Córdoba (Argentina). Vol. I: 139-183.
- Smedley, P. L., Nicolli, H. B., Macdonald, D. M. J., Barros, A. J. y Tulio, J. O. (2002): Hydrogeochemistry of arsenic and other inorganic constituents in groundwaters from La Pampa, Argentina. *Applied Geochemistry*, 17, 259-284.
- Venencio, M. V. y García N. O. (2002). Acuífero libre y variabilidad climática en el norte de la Llanura Pampeana. En: *Groundwater and Human Development* (Bocanegra, E., Martínez D. Massone, Eds.): 714-721.
- Villalba, G., Blarasin, M., Degiovanni, S., Villegas, M. y Cabrera, A. (2002): Características hidrológicas superficiales y subterráneas en el área de Vicuña Mackenna-Bañados del Tigre muerto, Córdoba, Argentina. En: *Groundwater and Human Development* (Bocanegra, E., Martínez D. Massone, eds.): 1542-1551.