

El relieve y su incidencia en el hallazgo de agua para abastecimiento humano en la Planicie Medanosa Sudoriental cordobesa

Blarasin Mónica*, Adriana Cabrera*, Fátima Bécher Quinodóz^o, Juan Felizzia* y Jesica Giuliano Albo^o

* Dpto. de Geología, FCEFQyN. Universidad Nacional de Río Cuarto.

^o Conicet. Dpto. Geología UNRC

Mail de contacto: mblarasin@exa.unrc.edu.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados obtenidos en una exploración hidrogeológica en el entorno de la localidad de Mattaldi, Córdoba (480 km²), poniendo énfasis en las relaciones entre las características geomorfológicas y la calidad y disponibilidad de agua subterránea adecuada para uso humano. Se realizaron tareas hidrogeológicas de rutina, encontrándose aguas dulces (0,63 g/L) hasta saladas (7,8 g/L). El agua más dulce, bicarbonatada y con los tenores de Flúor y Arsénico más bajos, está vinculada a médanos activos por lo que se asumen de recarga reciente de precipitaciones en tales geoformas (flujos locales). Las lentes de agua dulce fueron corroboradas mediante sondeos eléctricos verticales. Las aguas salobres y saladas, con incremento en el tenor de Cl⁻ y SO₄²⁻, se ubicaron en áreas deprimidas, como resultado de circulación de flujos regionales. Las reservas calculadas de agua dulce fueron suficientes para la dotación solicitada.

Palabras clave: acuífero libre -exploración - geomorfología – hidrogeoquímica

ABSTRACT

The aim of this paper is to show a hydrogeological study in the surrounding area of Mattaldi town, Córdoba province (480 km²), emphasizing the relationship between Geomorphology and groundwater quality and availability for human uses. A hydrogeological routine survey was made, including vertical electrical soundings. Fresh (0.63 g/L) to salty (7.8 g/L) groundwater was found. The fresh bicarbonate water with low Fluoride and Arsenic values was linked to dunes. It is assumed that fresh water is derived from recent rainfall recharge in such landforms (local groundwater flows). Freshwater lenses were corroborated by vertical electrical sounding. The brackish and salty groundwater, with high Cl⁻ and SO₄²⁻ values, was located in low areas, as a result of regional flow circulation. The calculated freshwater resources were enough, taking into account the water demanded for human uses.

Keywords: unconfined aquifer- exploration-geomorphology-hydrogeochemistry

Introducción

Dada la necesidad de contar con agua potable, la Cooperativa de Servicios de la localidad de Mattaldi (Córdoba) encargó a la Universidad Nacional de Río Cuarto una exploración hidrogeológica. Por tratarse de una zona ubicada en la parte distal oriental de la planicie arenosa del Sur cordobés, donde estudios previos regionales han demostrado la dificultad de encontrar agua con aptitud de uso humano (Estruch, 1997, Blarasin, 2003), se hizo necesario realizar un trabajo detallado que permitiera descubrir posibles áreas con aguas aptas. El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados obtenidos, poniendo énfasis en la importancia de las relaciones entre las características geomorfológicas y su incidencia en la calidad y disponibilidad de agua

subterránea adecuada para el uso solicitado. El área de estudio explorada fue de 480 km² (Fig. 1).

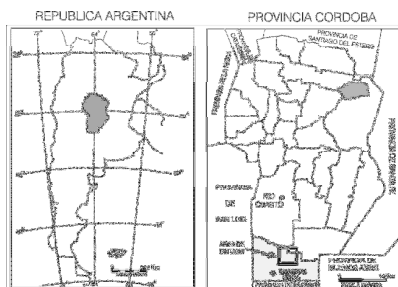


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Materiales y métodos

Se trabajó sobre la base de la escala 1:50.000 de las hojas planialtimétricas del Instituto Geográfico Nacional (IGN), de fotografías aéreas e imágenes satelitarias. Se realizó el levantamiento geológico-geomorfológico de campo según metodologías convencionales y se recolectaron y trataron datos climáticos. Se realizaron sondeos eléctricos verticales (SEV) como apoyo al censo hidrogeológico, efectuándose un total de 8 SEV, con profundidad de investigación hasta 50 m, ubicados en sitios elegidos con criterio hidrogeológico resultante de la exploración geológica de superficie. El instrumental utilizado para la obtención de resistividades fue un multímetro-amperímetro-voltímetro y el dispositivo de campo Schlumberger. Los resultados fueron tratados con el programa de computación IPI 2 Win. Se exploró el acuífero libre, concretándose un censo de pozos adecuado a la escala de estudio, en aquellas perforaciones ubicadas en los campos que rodean a la localidad, las cuales tienen una profundidad de captación variable, aunque la mayoría involucran la parte superior del acuífero libre (primeros 15-20 metros). El censo incluyó la perforación que usa la Cooperativa para extraer y tratar el agua que distribuía al momento del estudio. Se extrajeron 30 muestras de perforaciones y la correspondiente al agua tratada en la planta de ósmosis de la localidad. Se midieron in situ pH, CE (conductividad eléctrica) y temperatura (T). El análisis físico-

químico consistió en la determinación de CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , As , F^- , NO_3^- y NO_2^- según el APHA, 1998. Los resultados fueron tratados según metodologías estadísticas y gráficas convencionales.

Características climáticas y geológico – geomorfológicas

La serie de precipitaciones de Mattaldi (1911-2010), permitió calcular un promedio anual de 711,0 mm, con una distribución estacional que concentra el 81 % en primavera-verano. Es importante destacar la alternancia de 3 grandes ciclos a lo largo de la serie en relación a la precipitación media anual (húmedo-seco-húmedo), además de una tendencia lineal de carácter levemente ascendente. Realizado el balance hídrico seriado edáfico, se observa que los excesos hídricos acompañan en forma general estos ciclos (Fig. 2). Es decir se perciben más excesos a principios del siglo, luego decaen por varios años y vuelven a subir, primero gradualmente desde la década del '70 y más notoriamente a fines de los '90, época caracterizada por grandes inundaciones y ascensos de niveles freáticos. Se destaca que a pesar de que la tendencia de los excesos hídricos es ascendente, desde 2005 se observa un decrecimiento en la disponibilidad de agua, lo que produjo el descenso de nivel freático y el desecamiento o reducción de pantanos y lagunas.

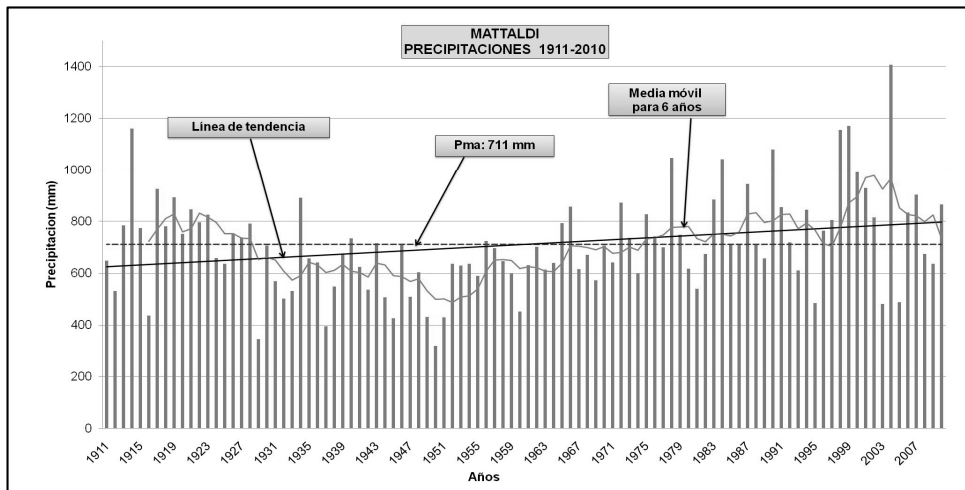


Figura 2. Precipitaciones anuales - Serie Mattaldi (1911-2010).

Teniendo en cuenta las formas del relieve y dinámica del escurrimiento del agua superficial, la zona fue dividida en 5 unidades hidromorfológicas (Fig. 3). La zona se ubica en plena llanura Pampeana y los sedimentos aflorantes son de origen eólico arenosos muy finos-limosos que, a diferentes profundidades, aparecen diferencialmente cementados con carbonato de calcio (calcretos o "tosca"). Se trata de una planicie de dunas longitudinales de edad cuaternaria, de relieve muy suavemente ondulado, con gradiente topográfico general del orden de 0,10 % y gradientes locales asociados a las lomas medianosas del orden de 0,3 a 0,7 %. Si bien las expresiones topográficas son suavemente marcadas, la presencia de lomas y bajos, tienen una incidencia notoria en la dinámica y calidad del agua subterránea, aspecto que se explicará más adelante. Algunos de los bajos corresponden a paleoderrames del río Quinto aunque desde el punto de vista hidrogeológico no revisten gran interés dado que han removilizado, en general, materiales finos de baja permeabilidad. Al Noroeste del área el relieve es más ondulado dada la presencia de numerosos médanos, muchos de ellos activos, es decir resultantes de la removilización de los sedimentos por parte de los vientos actuales dominantes (NE). Los médanos removilizados están compuestos fundamentalmente por arenas muy finas en porcentajes mayores a 60, según análisis granulométricos realizados para la oportunidad (Blarasin et al., 2012).

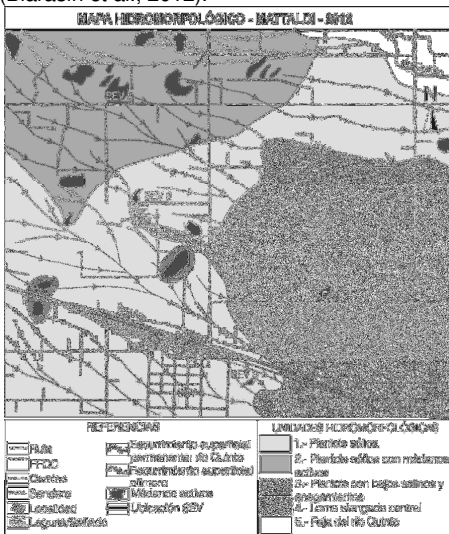


Figura 3. Mapa hidromorfológico

Características hidrogeológicas

En función de los SEV y perforaciones censadas el espesor acuífero explorado es del orden de 50 m. Dada la ausencia general en la zona de perforaciones profundas que capten de acuíferos confinados, no se contemplaron en esta etapa como fuentes potenciales de abastecimiento ya que para ello se requeriría de mayores costos para la exploración y explotación. Sin embargo, durante la exploración se detectó en cercanías de Mattaldi una perforación de 400 m de profundidad que fue muestreada y arrojó un contenido salino del orden de 14 g/L, lo que indica el aumento en sales a medida que aumenta la profundidad. Este aspecto fue corroborado en otros sitios en todo el Sureste de Córdoba (Blarasin et al., 2005).

La exploración permitió definir que los primeros 50 m de acuífero están compuestos por sedimentos arenosos muy finos-limosos con diverso grado de cementación carbonática, apareciendo capas de "tosca" a diferentes profundidades, algunas de ellas muy típicas se localizan habitualmente a 6 m y a 20 m de profundidad (aproximadamente 0,15-0,30 m de espesor). En función de las características granulométricas, datos tomados de la bibliografía, ensayos hidráulicos para este tipo de sedimentos realizados en otros sitios de la región (Blarasin, 2003) y el ensayo de recuperación realizado en la perforación (M20) que abastece a la localidad (en donde se calculó una $K = 3$ m/d), se estimaron rangos de parámetros hidráulicos del acuífero freático (K , S y T), de utilidad para efectuar cálculos y poder definir la modalidad de explotación del recurso. Los valores más representativos para el acuífero son: Conductividad Hidráulica (K) del orden de 0,5-3 m/día, Transmisividad (T) del orden de 40-250 m^2 /día y Coeficiente de Almacenamiento (S) o porosidad efectiva del orden de 5-7 % (Blarasin et al., 2012).

Como se observa en el mapa de equipotenciales (Fig. 4) el agua subterránea circula en dirección NO-SE, con muy bajos gradientes hidráulicos en el orden de 0,1 %. Las velocidades de escurrimiento del agua son del orden de 0,03 m/día. La profundidad del nivel freático es variable en la zona relevada (Fig. 5), en general se encuentra entre 2 y 6 metros. Como se indicara en el balance hídrico, dado que los últimos 2-3 años fueron más secos y con pocos excesos hídricos, hay pocos sectores con el nivel freático aflorante.

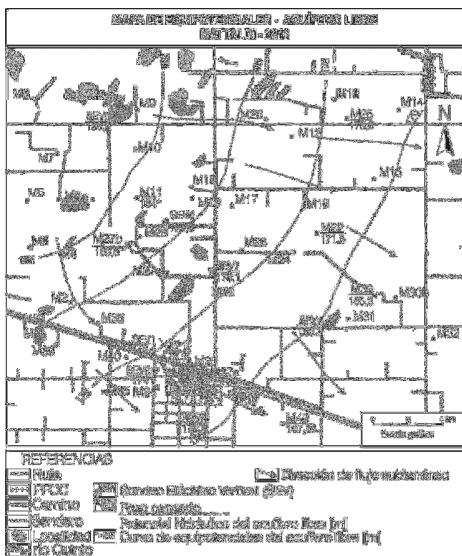


Figura 4. Mapa de equipotenciales del acuífero libre

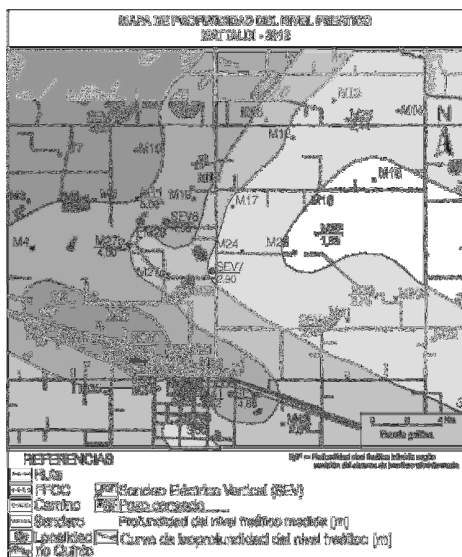


Figura 5. Mapa de profundidad del nivel freático.

Relevamiento geofísico

Se realizaron 8 sondeos eléctricos verticales (SEV) con profundidad de investigación hasta 50 m. En esta ocasión permitieron establecer fundamentalmente los límites de posibles lentes

de agua más dulce del acuífero freático, que pudieran ser de interés para la explotación (Fig. 6). Se diferenciaron distintas electrocapas resistivas, lo que permitió definir en primer lugar, el límite entre la zona no saturada y zona saturada, posicionando el nivel freático en los distintos sitios a profundidades comprendidas entre 2,86 y 6,00 m, coincidiendo con los medidos en perforaciones aledañas. Por otro lado, la información brindada por los SEV permitió definir la extensión y profundidad hasta la cual se extienden las lentes de agua más dulce del acuífero, asociadas a la recarga directa del agua de lluvia en la zona. Estas lentes y su composición química fueron finalmente corroboradas con el muestreo de agua y su correspondiente análisis químico. La lente, cuya disposición se muestra en forma esquemática en la Figura 7, adquiere diferente espesor y extensión en distintos sitios. Teniendo en cuenta ese espesor de agua más dulce los SEV de mayor interés resultaron: SEV 1 (espesor 34 m), SEV 2 (espesor 10 m), SEV 5 (espesor 29 m), SEV 6 (espesor 19 m) y SEV 7 (37 m).

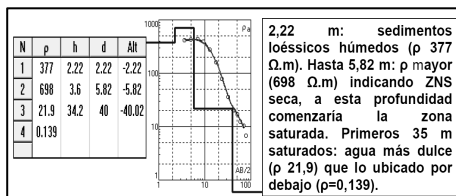


Figura 6. SEV. Resistividades y espesores reales.

Aspectos hidrogeoquímicos: Calidad del agua subterránea

Para la elaboración de mapas e interpretaciones se utilizaron los datos resultantes del análisis de laboratorio. Dado que las muestras corresponden a perforaciones que, como se indicara, captan de los primeros 15-20 m del acuífero, los mapas que se adjuntan son de utilidad para interpretaciones hasta esa profundidad.

El agua subterránea del área explorada resultó del tipo geoquímico bicarbonatada sódica en un 69% de los casos, mientras que las restantes resultaron de tipo mixto (bicarbonatadas-sulfatadas, bicarbonatadas-cloruradas, etc.).

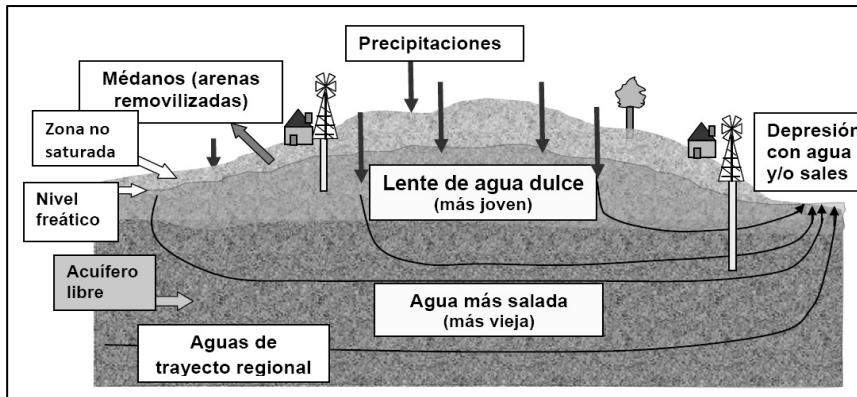


Figura 7. Esquema de recarga de agua de lluvias en zonas de médanos o lomas.

Se explican a continuación algunos aspectos de la calidad vinculados sólo a algunas de las sustancias o propiedades químicas que se consideraron más relevantes dados los problemas que ocasionan en la aptitud del agua para consumo humano.

La salinidad del agua subterránea del acuífero freático es variable en el espacio (Fig. 8), aspecto que, al comparar con las unidades hidromorfológicas, se asume como condicionado fundamentalmente por el relieve. Los sectores con agua más dulce, por debajo de 2.000 mg/L de salinidad, son aquellos vinculados al campo de médanos activos del NO de la zona explorada (Unidad hidromorfológica 2) y el sector de la loma elongada central que pasa por la localidad de Mattaldi (Unidad 4, Fig. 3). Los sectores con más bajo contenido salino, menor a 1.000 mg/L, son los de las perforaciones M7 y M9 (sector de médanos activos) y M37, M39 y M40 (loma central de Mattaldi). Por otro lado, y tal como se interpretara a partir de los SEV, es importante destacar que los valores de salinidad también cambian con la profundidad. Así, se encontró, por ejemplo, que las muestras 37a y 37b, (distantes entre ellas algunas decenas de metros) captan a 8 m de profundidad y poseen salinidad muy baja, del orden 500 mg/L. Esto se debe a que se ubican en una loma topográfica, cuyo efecto es el mismo que el del médano, es decir, sector preferencial de recarga de aguas de lluvia. Sin embargo, a escasa distancia del punto 37a, una perforación (37 c) que extrae de los 13 m de profundidad en el mismo predio presenta una salinidad 5 veces más alta (2.500 mg/L). Esto corrobora el patrón de cambios de salinidad con la profundidad.

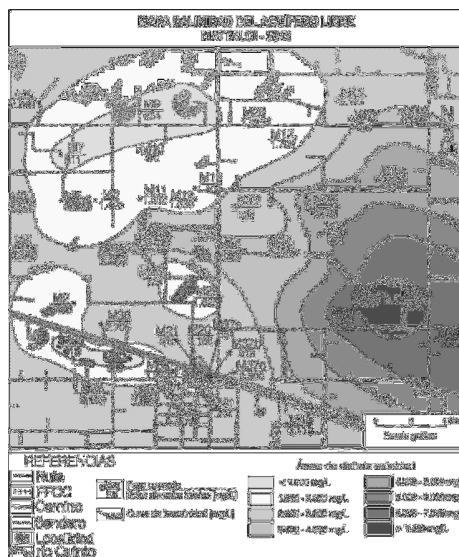


Figura 8. Mapa de líneas de isosalinidad del acuífero libre.

La distribución espacial del Flúor en el agua subterránea de la zona explorada se ha definido teniendo en cuenta el límite de 1,3 mg/L que se usa en las normas de la Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba (SRH). Este valor está también reglamentado por el Código Alimentario Argentino (CAA) y, sumado a aspectos toxicológicos, queda definido también para esta región por valores de temperatura media ambiente, entre 14,7 y 17,6 °C. En el mapa de la Figura 9 se observa que la zona

relevada está muy afectada por la presencia de este elemento, ya que el 90% de las muestras presentan valores superiores al límite admisible.

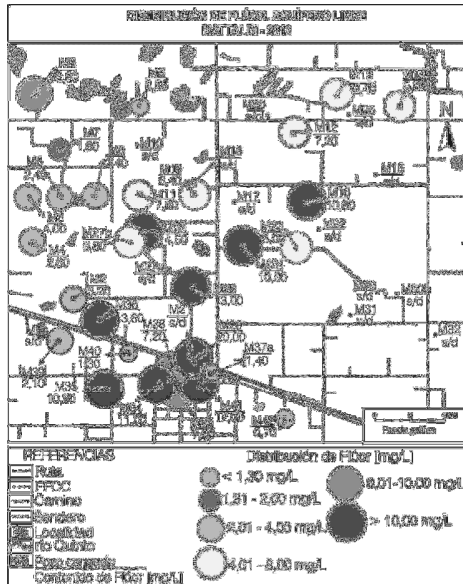


Figura 9. Distribución de flúor en el acuífero libre.

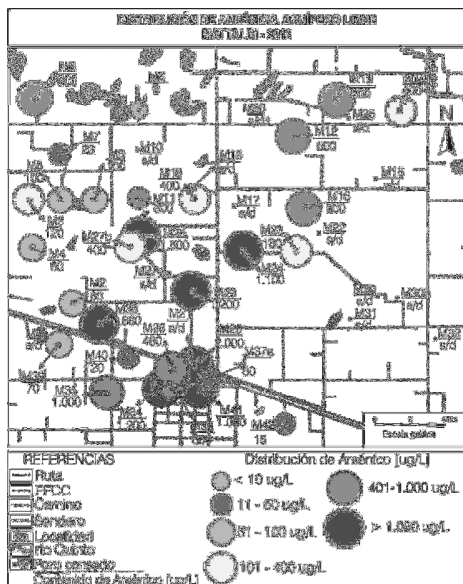


Figura 10. Distribución de Arsénico en el acuífero libre.

Los valores más altos de F⁻ encontrados (> a 10 mg/L) se ubican en la localidad de Mattaldi y en el sector Noroeste de la misma. Los valores más bajos (< a 4 mg/L) están vinculados al campo de médanos activos o a la loma central de Mattaldi al Este y al Oeste de la localidad, aunque como puede observarse, sólo 3 muestras tienen Flúor por debajo del límite admisible (M9, M40, M42).

En el caso del Arsénico, en la provincia de Córdoba el límite admisible en agua, como valor aceptable de concentración del componente sin efecto perjudicial para la salud, es de 50 µg/L (ó 0,05 mg/L). El CAA lo ha fijado en 10 µg/L aunque se ha extendido recientemente a 5 años el plazo para alcanzar ese valor tan pequeño en algunas provincias (SPRI-SAGPA, 2012). Como se observa en el mapa (Fig. 10), un 83 % de las muestras presenta valores mayores a 50 µg/L. Los únicos sectores con valores menores son algunos en el campo de médanos y otros en la loma central de Mattaldi, es decir vinculado a recarga de agua más reciente. Puede destacarse que en general hay una notoria correlación entre Flúor y Arsénico (Fig. 11), relación ya observada en otros sectores de la provincia en ambientes eólicos (Smedley et al., 2000, Blarasin et al., 2005).

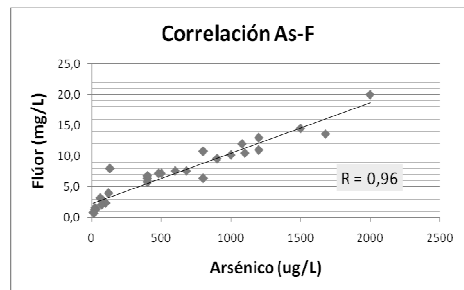


Figura 11. Correlación entre F⁻ y Arsénico.

En relación a los nitratos, para el momento del relevamiento, el 53% de las muestras presentó contenidos superiores a 45 mg/L (Fig. 12), que es el límite admitido para consumo humano por CAA y SRH. El patrón de distribución fue sumamente variable teniendo en cuenta que en general este compuesto está vinculado al uso de fertilizantes y ganadería.

La muestra de agua de la perforación en uso en la localidad (M20) resultó inapta por salinidad, sulfatos, As y F⁻, mientras que el agua tratada en la planta excedía los valores de As.

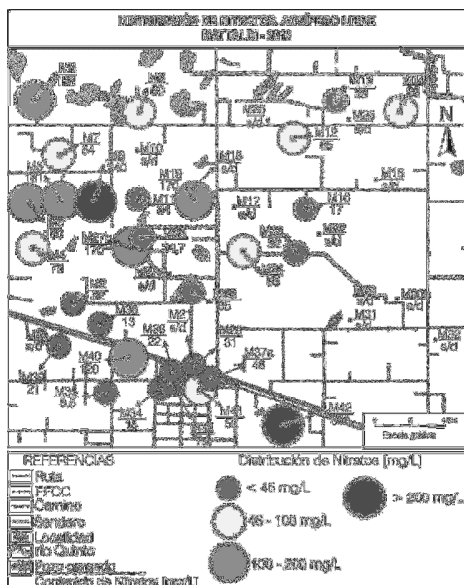


Figura 12. Nitratos en acuífero libre.

Cálculo de reservas de agua dulce

Con toda la información obtenida se realizó una estimación del volumen de agua dulce disponible en la lente de la parte superior del acuífero en la unidad "Planicie con médanos activos". Para esto se tuvo en cuenta el área encerrada por la curva de isosalinidad de 1.000 mg/L. Por otra debió contemplarse que el requerimiento fue de 50 L/d (30 m³/d) de agua potable y 400 L/d (250 m³/d) de agua no potable para usos generales, por conexión. A partir de datos de recarga anual del acuífero libre en la región del orden de 10 % de las precipitaciones (Blarasin, 2003, Cabrera, 2009) se consideraron reservas reguladoras (aquellas que se reponen anualmente) y totales de la lente de agua dulce, teniendo en cuenta los valores de porosidad efectiva del acuífero y el área y espesor ocupada por el agua dulce, según los resultados mostrados previamente (Tabla 1). Como se observa en el cálculo de reservas, si la ciudad sacara la totalidad de agua requerida, potable (consumo) y general (lavado, etc.), usaría el 3,41 % de la reserva total de la lente y el 12,1 % de lo que se repone anualmente por lluvias.

Tabla 1. Cálculo de Reservas en lente de agua dulce.

| LENTE MEDANOS AL NORTE DE MATTALI: reserva reguladora 1,9 hm ³ /año Reserva total de la lente 6,75 hm ³ | | | | | | |
|--|---------------------|---|--------------------------------|--|----------------------------|-----------------------------------|
| año | cantidad habitantes | dotación solicitada (litro/habitante/día) | Volumen total requerido diario | volumen total requerido anual hm ³ /año | % de la reserva reguladora | % de la reserva total de la lente |
| | | | m ³ /d | | | |
| 2011 | 1929 | potable | 10 | 20 | 0,007 | 0,1 |
| | | uso general | 250 | 483 | 0,174 | 2,58 |
| | | total | 260 | 503 | 0,184 | 2,73 |
| 2021 | 2171 | potable | 10 | 22 | 0,008 | 0,12 |
| | | uso general | 250 | 543 | 0,198 | 2,93 |
| | | total | 260 | 565 | 0,210 | 3,11 |
| 2031 | 2443 | potable | 10 | 25 | 0,009 | 0,13 |
| | | uso general | 250 | 611 | 0,220 | 3,26 |
| | | total | 260 | 636 | 0,230 | 3,41 |

Conclusiones y recomendaciones

El problema más importante para dotar de agua a la población quedó restringido a la calidad de agua. Así, la zona presenta amplios sectores de aguas saladas a lo que se suma un proceso de salinización a medida que se profundiza en el acuífero, lo que complica el hallazgo de aguas dulces. Por otro lado, aún en algunos sectores muy localizados con aguas dulces, casi todas las muestras arrojaron moderados contenidos de Arsénico, Flúor y/o nitratos.

La mejor calidad de agua quedó restringida al sector NO ubicado aproximadamente a 12 km de la localidad, en la Unidad Geomorfológica 2, en la planicie eólica con médanos activos. A partir de las información de perforaciones y SEV, se interpretó que el agua dulce en la parte superior del acuífero formaba una lente resultante de la recarga reciente de agua a partir de precipitaciones, debido a la morfología y mayor permeabilidad de las formaciones medanosas. Un proceso similar, con menor desarrollo areal, se interpreta que ocurre en la loma central (Unidad 4) que atraviesa la localidad.

En ambos casos la lente de agua dulce por debajo de 1.000 mg/L es pequeña y la profundidad se estima no mayor a 25-30 m en el campo de médanos activos y no mayor a 10 m en la loma central dados los resultados de los sondeos eléctricos verticales y de los análisis químicos obtenidos de muestras de perforaciones poco profundas en ambos sitios. Dados estos resultados se sugirió a la cooperativa:

A- Perforación exploratoria en el camino ubicado en frente de la perforación M9 en el

campo de médanos activos, donde se encontró la mejor calidad de agua. Dada la posición topográfica del sector, el agua podría conducirse a la ciudad por gravedad. Si se concreta la explotación del recurso se debe contemplar la realización del acueducto. Si bien el acuífero presenta sedimentos de permeabilidades en general bajas, dado que dominan arenas muy finas-limosas no existen problemas para extraer un volumen de agua del orden de lo que desea obtener la Cooperativa. Como se observa en el cálculo de reservas, si la ciudad sacara la totalidad de agua requerida potable (consumo) y general (lavado, etc.) no superaría lo que anualmente se repone por lluvias.

La cantidad de perforaciones a realizar para extraer el agua solicitada deberá contemplar la profundidad de la lente de agua dulce. Se sugirió un diseño de perforación apropiado, pero la longitud (que no debería exceder los 15 m), diámetro, filtro, prefiltro, etc., quedaron sujetos a la exploración directa y definitiva en el sitio elegido. En el orden de 3 perforaciones pequeñas, distanciadas con criterio hidráulico, que extraigan aproximadamente 3.000 L/h resuelven el problema para cubrir el monto de agua potable requerida. Luego, para usos múltiples, pueden continuar usando las perforaciones actuales en lugar de usar el agua de la lente identificada en los médanos.

B.- Perforación exploratoria a orillas de la ruta (o en un camino vecinal), entre los SEV 1 y 2 y en inmediaciones de la perforación M40, dado que este sitio resultó una de las mejores calidades de agua de la loma central, se encuentra cercano a la localidad y se ubica aguas arriba, por lo que el agua puede conducirse por gravedad. Es probable que al menos una parte del agua deba continuar siendo tratada dado que los niveles de NO_3^- , As y F⁻ no siempre son lo suficientemente bajos para uso humano.

Agradecimientos

El trabajo fue subsidiado por Cooperativa de agua de Mattaldi, **FONCYT- MINCYT-PID 35/08** y **SECYT-UNRC**.

Referencias

APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 1998. 20th ed., Washington, DC

Blarasin, M. 2003. *Geohidrología Ambiental del Sur de Córdoba, con énfasis en la ciudad de Río Cuarto y su entorno rural*. Tesis Doctoral. UNRC. Inédita.

Blarasin, M., Degiovanni, S., Cabrera, A. y Villegas, M. 2005. *Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: una perspectiva geambiental*. ISBN 950-665-350-141-152. Ed. UNRC.

Blarasin, M., Cabrera, A., Bécher Quinodóz, F., Felizzia, J. y Giuliano Albo, J. 2012. *Exploración hidrogeológica en el entorno de la localidad de Mattaldi. Trabajo de extensión solicitado por la Cooperativa de Obras y Servicios Públicos de Mattaldi*.

Cabrera Adriana, 2009. *Evolución Hidrogeoquímica e Isotopos Ambientales del Sistema Acuífero asociado a los Ambientes Morfotectónicos de la Falla Regional Tigre Muerto*. Córdoba. Argentina. Tesis Doctoral. UNRC. 372 pág. Inédita

Smedley, P., MacDonald, D., Nicolli, H., Barros, A., Tulio, J. y Pearce, J. 2000. *Arsenic and other Quality problems in groundwater from Northern La Pampa Province*. Argentina. British Geological Survey.

SPRI-SAGPA, 2012. *Resolución Conjunta 34-2012 y 50-2012 de Secretaria de Políticas, Regulación e Institutos y Agricultura Ganadería y Pesca de Argentina*.

Estruch J., 1997. *Estudio Hidrogeológico-geofísico Area Mattaldi*. Dirección de Minería. 16 pág. Inédito