

OBSERVACIÓN DE LOS APORTES DE AGUA A UN POZO MEDIANTE UN PERFILADOR DE FLUJO Y SU RELACIÓN CON LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO

Weinzettel, Pablo ^{1 2 3}, Sierra, Leonardo ^{1 4}, Dietrich, Sebastián ^{1 3}, Bea, Sergio ^{1 4}, Cacciabue, Lucia ^{1 5}, Collazos, Guillermo ^{1 2}

¹ Instituto de Hidrología de Llanuras, Av. República de Italia n° 780 – 7300 Azul – Bs. AS, Argentina

² Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) paw@faa.unicen.edu.ar.

³ Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires (UNCPBA).

⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

⁵ Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT).

Resumen

Este trabajo muestra la aplicación y resultados obtenidos al utilizar una sonda de perfilaje de pozo como es el micromolinetete (impeller flowmeter). La herramienta se ha utilizado en un pozo de estudio perforado en el acuífero Pampeano, en una zona aledaña a la ciudad de Tres Arroyos, Provincia de Buenos Aires. Con la sonda se obtuvo un registro continuo en descenso y ascenso permitiendo, una vez procesada la información, conocer las variaciones de flujo vertical en el pozo, que son interpretadas como entradas o salidas de agua del mismo. Por otra parte, la concentración de arsénico ha sido posible a partir del análisis de agua de testigos y del muestreo de agua realizado con sonda para cada metro de profundidad. Los resultados preliminares han permitido observar las capas más productivas del pozo y el aporte de cada una de ellas al caudal total. Esta información, junto con la concentración de arsénico en el agua de distintos niveles, permitiría obtener un pozo de explotación en donde en el diseño se puedan anular las entradas de agua con mayor concentración de arsénico y colocar los filtros en las zonas que muestran una reducción de este ion aún a costa de un menor caudal.

Palabras claves: sonda de flujo, acuífero Pampeano, arsénico.

Abstract

This paper shows results obtained by applying an impeller flowmeter borehole logging probe. The probe has been used in a borehole drilled in the Pampeano aquifer, near Tres Arroyos city, Buenos Aires province. After logging, a downhole and uphole continuous record was obtained which allowed knowing the variations of vertical flow in the well. Such variations may further interpreted as inflows or outflow from the well. On the other hand, information of arsenic content in groundwater was known by analyzing cored sample pore waters and bailer samples. Preliminary results showed the most productive layers and their contribution to total flow. This information, along with arsenic concentration in groundwater at different levels, may improve well design by allowing the override of high inflow with high arsenic contents. Moreover, filters may be located only in such zones with lower arsenic contents, even at the expense of reduce well yield.

Keywords: impeller flowmeter, Pampeano aquifer, arsenic.

INTRODUCCIÓN

El acuífero Pampeano presenta una serie de capas con distintas propiedades hidráulicas, las cuales pueden aportar al caudal total de un pozo agua con distintas concentraciones iónicas. Las perforaciones que se realizan en zonas con presencia de arsénico no tienen en cuenta, en general y por una cuestión práctica, cuales zonas del pozo exploratorio pueden presentar mayor concentración de un determinado ion y cuánto aporta cada capa al caudal total del pozo. Por esto el diseño de los mismos apunta a un mayor caudal y a una calidad aceptable del agua.

El objetivo de este trabajo es relacionar las zonas productivas con la calidad del agua mediante la utilización de una sonda de micromolinete (*Impeller Flowmeter*) en pozos perforados en un acuífero multicapa como es el Pampeano. Esto permite realizar un diseño anulando las zonas con las mayores entradas de agua si estas contienen arsénico y/o otros iones como el flúor. Dichos elementos no se encuentran distribuidos en todo el acuífero sino en determinadas zonas que deben ser determinadas por muestreos a distintas profundidades. Con el flowmeter se puede conocer cuáles son los porcentajes de agua aportada al pozo por cada nivel acuífero, y relacionar esos sectores con el contenido de arsénico. Esto permite estimar el aporte de cada sector acuífero al caudal total del pozo, aportando valiosa información para el diseño final de la perforación.

Complementariamente se muestra su aplicación en un acuífero sedimentario, ya que esta herramienta se aplica mayormente en acuíferos fisurados para conocer las fracturas que aportan agua al pozo.

METODOLOGÍA

El equipo utilizado es un perfilador marca Robertson Geologging, el cual consta de una central denominada Micrologger, donde recibe y graba digitalmente en una PC portátil los datos provenientes de la sonda que se utilice. El equipo trabaja con un guinche de 500 m de cable cuadripolar y para su transporte y utilización se lo monta sobre una camioneta. Cuenta con distintas sondas como ser la de resistividad normal corta, media y larga, potencial espontáneo, gamma natural y resistividad puntual; sonda de conductividad eléctrica y temperatura la cual incluye gamma natural; sonda de espectroscopia gamma natural (NGS), y la sonda utilizada para este trabajo denominada comúnmente flowmeter o medidor de flujo.

En rigor, además de la sonda de flujo mencionada existen en el mercado otras como son la de pulso de calor (*Heat Pulse Flowmeter*) y la sonda electromagnética de flujo (*Electromagnetic Flowmeter*). Con la primera se pueden realizar mediciones de flujo en posiciones estacionarias y calcular la velocidad del flujo y la dirección, tiene mayor resolución que el Flowmeter. La sonda electromagnética se puede utilizar en forma estacionaria o en movimiento y tiene una resolución media entre las de los otros tipos mencionados.

El *Impeller Flowmeter* calcula la velocidad de flujo del agua en el pozo de acuerdo a las revoluciones de un molinete de alta sensibilidad. El equipo registra el número de revoluciones por segundo y luego se calcula la velocidad del flujo. Las mediciones pueden realizarse en forma estacionaria o en movimiento. Otra metodología para su utilización es realizar la medición mientras se bombea en el mismo pozo o en un pozo cercano midiendo el flujo en el pozo de estudio con el flowmeter.

Zona de estudio

Para la aplicación de la sonda se utilizó una perforación de estudio de 70 m de profundidad ubicada en una zona cercana a la ciudad de Tres Arroyos (Figura 1). La zona responde a una investigación que se está desarrollando luego de trabajos previos realizados para la provisión de agua a la ciudad de Tres Arroyos (Weinzettel et al., 2005). La

perforación se realizó a percusión con la obtención de testigos continuos de los sedimentos pampeanos. Durante la misma se extrajeron muestras de agua en cada metro de avance mediante un muestreador tipo *bailer*. Este dispositivo consta de una válvula que hace que el agua pase por él hasta llegar a la posición de muestreo, allí al subirlo se cierra la misma y obtiene agua de la posición de interés.

La litología del pozo es un perfil típico del Pampeano, con alternancia de limos, limos arenosos y carbonatos. Se presentan niveles de tosca, a veces muy dura, que se repiten a lo largo del perfil, es escasa la presencia de arcilla. El nivel freático se encuentra a 2.96 m bajo el nivel del terreno.

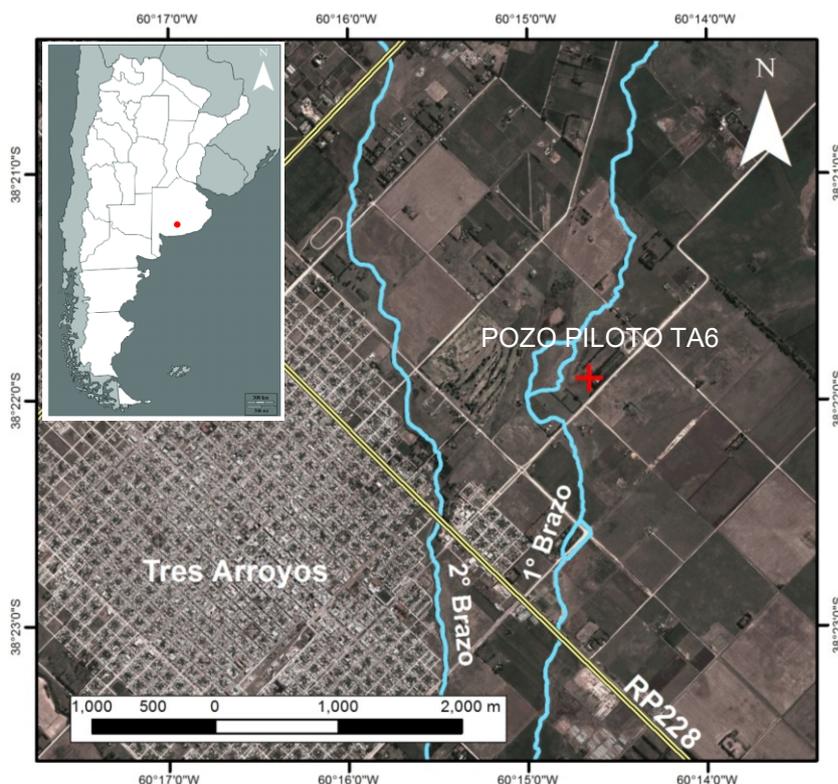


Figura 1. Ubicación del pozo piloto Tres Arroyos 6.

De los testigos obtenidos hasta los 40 m de profundidad se extrajo mediante compresión mecánica el agua poral, la cual fue analizada mediante ICP-MS en el laboratorio Acme Labs de Canadá. También se analizó el agua tomada del muestreador metro a metro.

Mediante el muestreo pudo obtenerse una primera aproximación de la distribución de arsénico en el acuífero. La perforación fue entubada totalmente con caño plástico de cinco pulgadas y se encuentra ranurado en toda su longitud, esto es importante para lograr un buen desplazamiento de la sonda y que se puedan hacer mediciones en toda la perforación.

Para la medición se realizó la preparación de la sonda con dos centralizadores los cuales son elegidos de acuerdo a la camisa del pozo a perfilar. La sonda es bajada y subida a una determinada velocidad. Esta operación se repite unas cuatro a cinco veces variando ligeramente la velocidad de bajada o subida del cable.

Lo que se obtuvo es un perfil de velocidad de cable y revoluciones de la hélice para cada una de las velocidades de bajada o subida. A partir de cada perfil se obtuvieron en cada profundidad un par de puntos correspondientes a la velocidad del cable y la velocidad de la hélice, los cuales son graficados y ajustados mediante una regresión lineal. Esta operación fue calculada para cada centímetro de profundidad del pozo que es la unidad de registro de la sonda. La representación es importante ya que, si ambas rectas pasan por el origen, significa que no se produce flujo alguno. Si las rectas cortan al eje de abscisas en la

parte negativa, el flujo es ascendente, mientras que si las rectas cortan el eje de abscisas en la zona positiva, el flujo es descendente (Figura 2).

Finalmente, a partir de estas rectas de velocidades de descenso y ascenso para cada profundidad, se obtienen dos curvas una de ascenso y otra de descenso, promediándose ambas para obtener como resultado final la curva de velocidad del pozo. Una mejor comprensión se obtendrá cuando se vean los resultados de la aplicación de esta metodología. Esta curva es la que permite hacer una interpretación visual del ascenso o descenso de agua en el pozo. También pueden definirse las entradas en las zonas donde se produce un aumento de la velocidad y las salidas del mismo cuando la velocidad se reduce. Cálculos más avanzados pueden realizarse con metodologías propuestas por distintos autores (Molz et al., 1989, Paillet et al., 1996 y Paillet, 2000) a partir de las cuales se estiman porcentajes de entrada y parámetros hidráulicos del acuífero. La mayoría de las herramientas geofísicas miden propiedades que están indirectamente relacionadas con las propiedades del acuífero, los perfilajes de flujo en cambio aportan información directamente relacionada con las propiedades hidráulicas de la formación (Paillet, 2004, Molz et al., 1994).

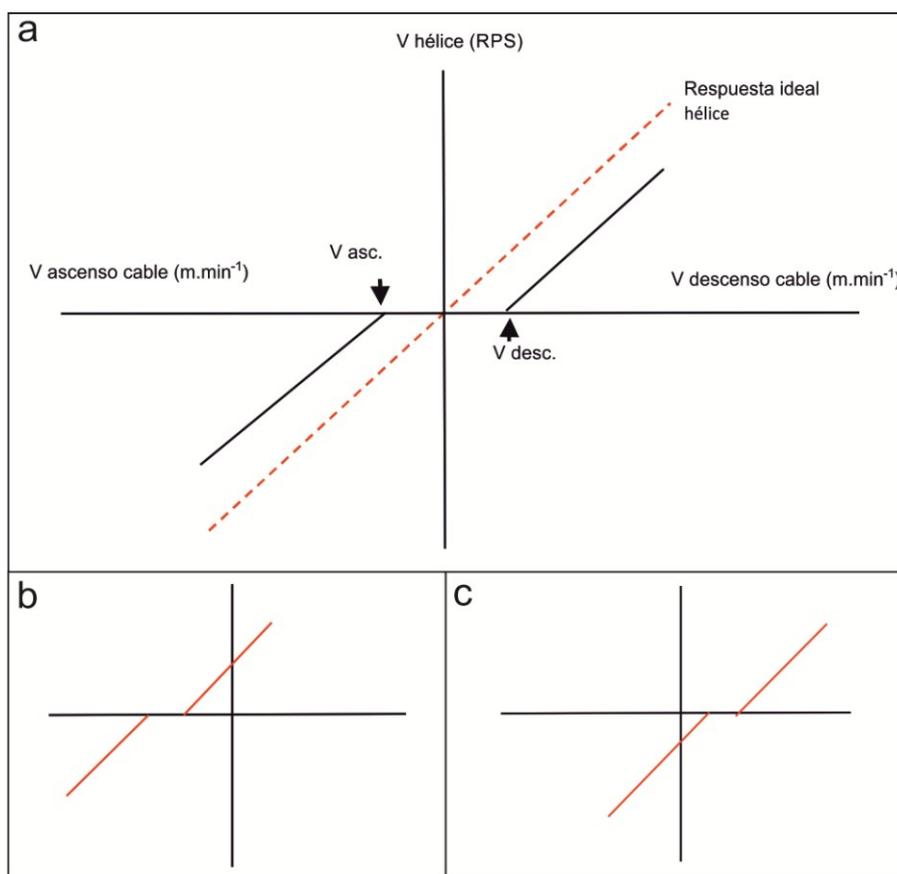


Figura 2. Respuesta del flowmeter en un fluido (modificado de Robertson Geologging). a: sin flujo con rozamiento (punto medio = 0), b: flujo ascendente, c: flujo descendente

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Medición con flowmeter

La bajada y subida de la sonda flowmeter se realizó a las siguientes velocidades del cable: 4, 6, 8, 10 y 12 m.min⁻¹. En cada bajada y subida se obtuvo un registro como el mostrado en la Figura 3, donde se puede ver el gráfico de velocidad durante la bajada y subida del cable para 10 m.min⁻¹. Junto a cada curva de velocidad del cable se ha graficado el registro de revoluciones de la hélice del flowmeter. Obsérvese que la curva de la velocidad de ascenso es menos marcada que la de velocidad de descenso, esto se debe a

cierto efecto de los centralizadores al rozar con la pared de la camisa del pozo. Según Aracil Avila (2000) es más recomendable en sentido descendente, debido a que la sensibilidad a las variaciones de flujo es mayor por el propio esquema de distribución de velocidades de flujo y de la hélice de la sonda.

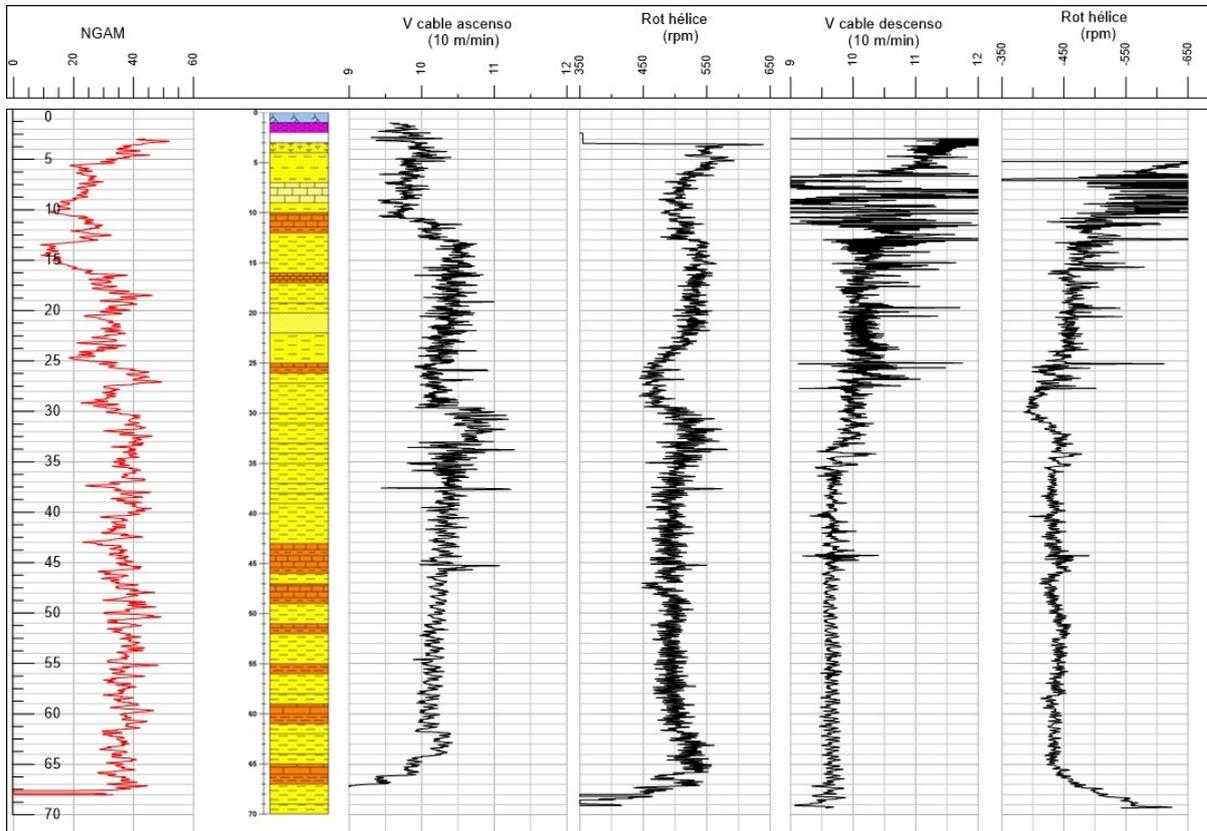


Figura 3. Registro para una velocidad de ascenso y descenso del cable de $10 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ con las respectivas revoluciones de la hélice del flowmeter.

Como ya se comentó en la metodología, para cada 1 cm de medición, se obtuvo un gráfico con rectas de regresión tanto para los datos de subida como para los de bajada. En la Figura 4, se han graficado los puntos obtenidos a partir de gráficos como el de la Figura 3, para la profundidad de 30 m, obteniendo sendas rectas de regresión con su correspondiente coeficiente de correlación.

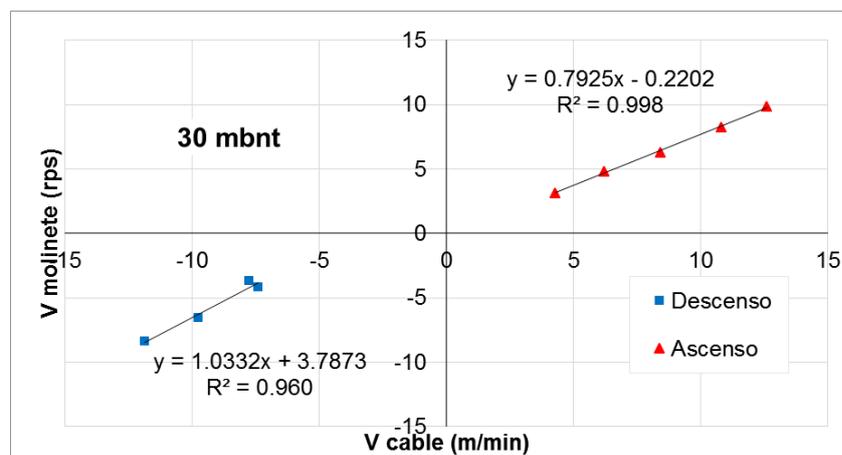


Figura 4. Rectas de regresión para descenso y ascenso del cable en $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ y velocidad de la hélice en rps para la profundidad de 30 m bajo nivel del terreno (mbnt).

Luego de aplicar la metodología mencionada se obtuvo la curva de ascenso y de descenso unificada a partir de todas las velocidades. Para este cálculo se acotaron los puntos a tener en cuenta poniendo como condición que las rectas de correlación tengan un coeficiente $r^2 \geq 0.95$. En la Figura 5 se observa el resultado de la curva de descenso, de ascenso y el promedio de ambas como resultado final. En las mismas puede apreciarse que en todos los casos se produce ruido en el registro. La curva calculada para la velocidad de descenso es más uniforme que la curva obtenida para la velocidad de ascenso, ambos efectos son promediados en la tercera curva. Esta última se ha suavizado y sobre ella se ha dibujado una recta con la que se interpreta el resultado obtenido filtrando el ruido. De la observación de esta curva se desprende que el flujo permanece ascendente en el pozo en los valores positivos, con un posible flujo descendente en la parte superior. Por otra parte, se interpreta un flujo entrante al pozo a la profundidad de 36 a 30 m, sector en el que se incrementa la velocidad. Posteriormente, ésta desciende, lo que indicaría un pasaje del agua desde el pozo al acuífero. En la zona inferior del pozo también se observa una entrada y una salida de agua, y luego una zona de velocidad cero donde no se producen flujos.

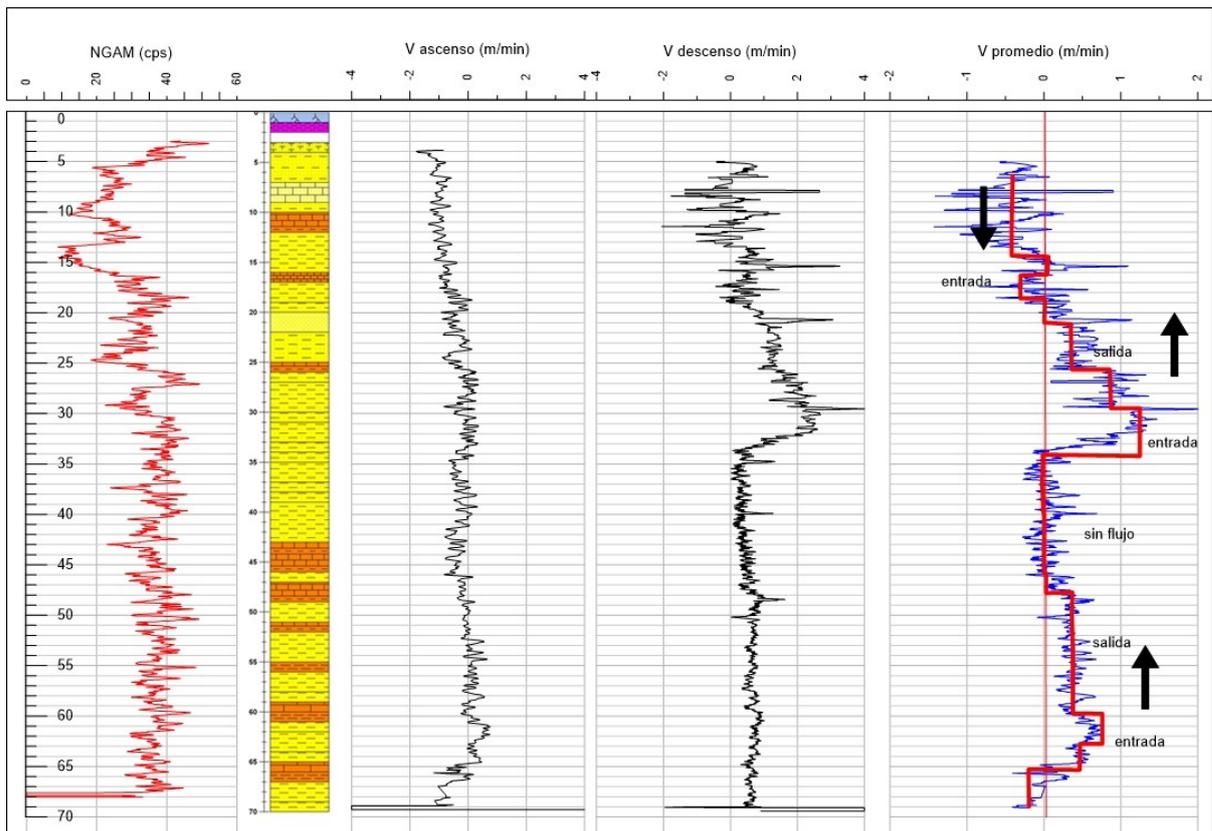


Figura 5. Curva final de ascenso, bajada y promedio como resultado del perfilaje con flowmeter. Sobre el resultado final se dibujó la velocidad de cada sector, la dirección del flujo y las zonas de entrada y salida de agua del pozo.

Concentración de arsénico

Los resultados obtenidos se han relacionado con las concentraciones de arsénico en distintos sectores del acuífero. Para mejor definición del problema también se tuvo en cuenta la concentración del ion cloruro y la conductividad eléctrica tanto del agua poral como de las muestras obtenidas con el muestreador. El muestreo de agua poral pudo realizarse hasta 36 m profundidad, sector del pozo en que se pudieron recuperar testigos. Luego los análisis fueron completados con el agua del muestreador. Una tercera muestra se ha obtenido por bombeo con una bomba ubicada a una profundidad de 30 m y con un caudal de $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. En la Figura 6 se muestran los valores de cloruro, arsénico y la conductividad

eléctrica obtenidos con el muestreador y el agua poral. Puede observarse que la concentración de arsénico del agua poral es mucho más elevada que la obtenida con el bailer, esta diferencia debería ser confirmada con nuevos muestreos puntuales en distintos sectores del pozo. La concentración de arsénico del bombeo del pozo es de $0.163 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, este valor prácticamente coincide con la muestra obtenida para el agua poral a la profundidad de 30 m. El valor es uno de los más elevados de la columna estudiada, por lo que es posible que la mayor entrada de agua al pozo en este sector haga que la concentración final aumente. Para estimar la concentración aportada por cada sector deben conocerse el porcentaje de agua que ingresa de cada nivel acuífero. De acuerdo al muestreo de agua, el arsénico sufre una disminución en profundidad por lo que se debería aprovechar la zona por debajo de los 40 m. En este caso se debería anular la mayor entrada de agua de la parte superior especialmente la de 36 a 30 m con lo cual seguramente la concentración final de arsénico disminuirá en el bombeo. En este caso se contó con un buen detalle de la calidad del agua en distintos niveles lo cual no es común en un pozo exploratorio de los que se hacen en la zona. Como propuesta se entiende que podría ser muy interesante comenzar trabajando con esta herramienta y luego de observar las principales entradas de agua al pozo, realizar el muestreo de arsénico y otros iones en esos sectores. Los estudios deberían ser complementados con la utilización del flowmeter en bombeo.

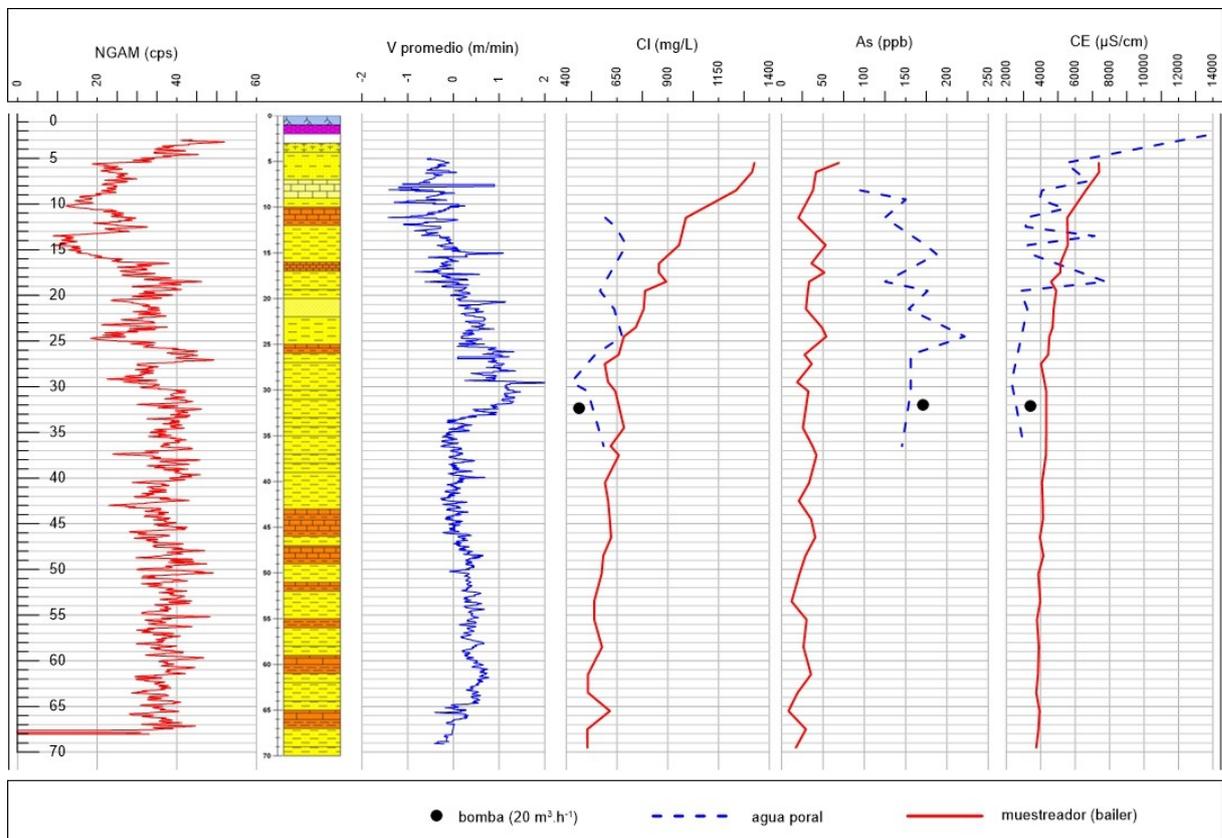


Figura 6. Comparación con el registro del flowmeter de las concentraciones de cloruro, arsénico y la conductividad eléctrica de las muestras obtenidas del muestreador (bailer) y del agua poral de testigos.

CONCLUSIONES

La herramienta utilizada, si bien no es una metodología nueva, ha demostrado tener un gran potencial para su aplicación en acuíferos multicapa como el Pampeano, ya que este presenta distintos niveles acuíferos con presencia de iones nocivos en distintas concentraciones.

La aplicación del flowmeter combinado con el muestreo detallado de los pozos de estudio representa un importante paso en la exploración de los acuíferos de la llanura pampeana afectada por iones como el arsénico o el flúor.

Combinada con otras herramientas geofísicas y de exploración clásicas puede ser de vital importancia para no descartar zonas que en principio se reconocen como acuíferos con agua de baja o mala calidad. El estudio de detalle si bien representa un costo adicional a la exploración puede ser muy efectivo sobre todo en zonas como las mencionadas resultando un balance positivo en la planificación y gestión del agua.

Esta sonda necesita de mayor aplicación y experiencia en este tipo de terreno para el estudio de las propiedades hidráulicas de los sedimentos acuíferos. No obstante muestra ser una técnica muy interesante para utilizar en los lugares donde es difícil conseguir un caudal aceptable con agua de buena calidad.

Agradecimientos

Se agradece el aporte de fondos a través del PID 075-2011 para financiar las actividades desarrolladas, por parte del Consejo Hídrico Federal (COHIFE) y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT).

REFERENCIAS

- Aracil Avila, E.**, 2000. Medición de flujos en sondeos de captación de agua. Jornadas técnicas sobre aguas subterráneas y abastecimiento urbano. Instituto Tecnológico Geominero de España, p. 103-113.
- Molz, F., Morin, R., Hess, A., Melville, J., y Guyen, O.**, 1989. The impeller meter for measuring aquifer permeability variations: evaluation and comparison with other tests. *Water Resources Research*, 25, 1677-1683.
- Molz, F., Bowman, G., Young, S., Waldrop, W.**, 1994. Borehole flowmeters—field application and data analysis. *Journal of Hydrology* 163, 347– 371.
- Paillet, F.**, 2000. A field technique for estimating aquifer parameters using flow log data. *Ground Water*, 38, 510-521.
- Paillet, F.**, 2004. Borehole flowmeter applications in irregular and large diameter boreholes. *Journal of Applied Geophysics*, 55, 39-59.
- Paillet, F., Crowder, R., y Hess, A.**, 1996. High-resolution flowmeter logging applications with the heat-pulse flowmeter. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 1(1), 1-11.
- Robertson Geologging**, 2015. Manual de usuario. 70 p.
- Weinzettel, P., Varni, M. y Usunoff, E.**, 2005. Caracterización hidrogeológica del área urbana y periurbana de la ciudad de Tres Arroyos, provincia de Buenos Aires. IV Congreso de Hidrogeología, Hidrología subterránea y aspectos ambientales, Río Cuarto, Córdoba, Tomo II, 171 – 180.