

# ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE UN ACUITARDO EN UNA PERFORACIÓN EXPERIMENTAL EN EL SISTEMA ACUÍFERO PAMPEANO – PUELICHE, BUENOS AIRES

Maximiliano Fabiano<sup>\*, \*\*</sup>, Leonardo Sánchez Caro<sup>\*, \*\*\*</sup>, Daiana Dell’Arciprete<sup>\*, \*\*\*</sup>,  
Leandro Rodrigues Capítulo<sup>\*, \*\*\*</sup>, Silvina Carretero<sup>\*, \*\*\*</sup> y Eduardo Kruse<sup>\*, \*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena (CEIDE), Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 64 N°3, La Plata, Argentina. E-mail: mfabiano@fcnym.unlp.edu.ar

<sup>\*\*</sup> Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), Argentina

<sup>\*\*\*</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

## RESUMEN

La estimación de parámetros hidráulicos de un acuitardo resulta de gran interés para el conocimiento hidrodinámico integral de un sistema acuífero multicapa, como el Sistema Acuífero Pampeano – Puelche (SAPP), en el noreste de la provincia de Buenos Aires. El objetivo de este trabajo es estimar la transmisividad vertical ( $T'$ ) del nivel acuitardo presente en el SAPP mediante un ensayo realizado sobre este nivel. Se analiza la relación entre los niveles del acuitardo y del acuífero Puelche con las precipitaciones. Se realizó una perforación experimental al acuitardo (Aq), en el Partido de La Plata, de la cual se obtuvieron datos de niveles diarios a partir de la inyección de agua. Se registró la variación de nivel en una perforación al acuífero Puelche (Pu1) ubicada a 10 metros y se relacionaron las variaciones de nivel en ambas perforaciones con el registro de precipitaciones diarias. Se observó que en la Aq el nivel es siempre descendente, posiblemente vinculado a la presión hidrostática generada en el pozo por la inyección de agua, mientras que en la Pu1 el nivel es afectado por las precipitaciones, evidenciando el pasaje de agua del acuífero superior al inferior a través del acuitardo. A partir de las mediciones en Aq se estimó la  $T'$  en  $3,6 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$ , valor que asemeja a resultados obtenidos por otros autores mediante ensayos de bombeo en la región.

**Palabras Claves:** transmisividad vertical, permeabilidad vertical, acuífero Puelche, acuífero Pampeano.

## ABSTRACT

Estimating the hydraulic parameters of an aquitard is highly useful for developing a comprehensive hydrodynamic understanding of a multilayer aquifer system, like the Pampeano-Puelche Aquifer System (PPAS), located in the northeastern of the Buenos Aires province. The aim of this work is to estimate the vertical transmissivity ( $T'$ ) of the aquitard level present in the PPAS, by means of a hydraulic test carried out directly on this level. The relationship between precipitation and the hydraulic heads of the aquitard and the Puelche aquifer is assessed. An experimental well to the aquitard (Aq) was drilled in the county of La Plata, from which daily hydraulic head data were obtained after the injection of water. Head variation was also recorded in a well to the Puelche aquifer (Pu1), at a distance of 10 meters from Aq. These data were analyzed in relation to daily precipitation. In Aq, hydraulic heads were always decreasing, possibly due to hydrostatic pressure caused by the initial water injection. Conversely, Pu1 showed head is affected by precipitations, evincing the flow of water from the upper to the lower aquifer, through the aquitard.  $T'$  for Aq was estimated in  $3,6 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$ ; this value is similar to those obtained for this region by other authors through pumping tests.

**Keywords:** vertical transmissivity, vertical permeability, Puelche aquifer, Pampeano aquifer.

## INTRODUCCIÓN

La determinación de las propiedades hidráulicas de las unidades de un sistema acuífero ha sido motivo de estudio de numerosos autores, y las metodologías desarrolladas para tal fin son muy variadas.

Generalmente, en un sistema hidrogeológico multicapa, el foco de atención está puesto en las unidades acuíferas, por representar a la fuente más importante de abastecimiento de agua. Sin embargo, para reconocer globalmente el funcionamiento del sistema es indispensable conocer los parámetros hidráulicos de las demás unidades, especialmente de los acuitardos.

Un acuitardo es una unidad hidrogeológica, de espesor definido ( $b'$ ), que actúa como un medio poco permeable, pero que es capaz de transmitir agua lentamente. Un acuífero semiconfinado está limitado al menos por un acuitardo, por lo que resulta de gran interés conocer los parámetros hidráulicos como la conductividad hidráulica vertical ( $k'$ ) expresada en unidad de longitud por unidad de tiempo (m/día) o la transmisividad vertical o coeficiente de goteo ( $T'$  o  $k'/b'$ ), expresado como 1 sobre la unidad de tiempo (1/día) (Custodio, 1983).

Los acuitardos consisten de materiales generalmente arcillosos, principalmente generados en ambientes glaciares (till glaciares) o lacustres (van de Kamp, 2001). Dentro de un sistema acuífero, tienen la capacidad de recargar de manera limitada a los acuíferos que se encuentran por debajo y de proteger a los mismos de los contaminantes que descienden desde la superficie.

La medición in situ de la  $k'$  de las formaciones arcillosas incluye distintos métodos. Los slug test (Hvorslev 1951; Butler et al., 1994) son una herramienta básica en el estudio de la conductividad hidráulica vertical en acuitardos, debido a que son simples de realizar y a pesar del volumen relativamente pequeño que se ve afectado por los slug test, generalmente reflejan un valor aproximado de la permeabilidad de los acuitardos (van der Kamp, 2001). Los ensayos de bombeo en un pozo al acuífero semiconfinado con pozos de observación en el mismo acuífero son uno de los métodos más desarrollados a nivel mundial (Hantush y Jacob, 1955; Hantush, 1960). Por otro lado, se destacan los ensayos de bombeo en un pozo al acuífero semiconfinado con pozos de observación en el acuitardo en cuestión (Wolff, 1970a; Neuman y Witherspoon, 1972; Neuman y Gardner, 1989; Rodrigues, 1983; Keller et al., 1986, Cheng y Chen, 2007) en los que se miden los cambios de nivel en el acuitardo inducidos por el bombeo en el acuífero semiconfinado.

El objetivo de este trabajo es estimar el valor de transmisividad vertical ( $T'$ ) del acuitardo en un sector del partido de La Plata, mediante la realización de una prueba de infiltración vertical por diferencia de niveles hidráulicos durante un tiempo prolongado en una perforación experimental al nivel semiconfinante del Sistema Acuífero Pampeano – Puelche (SAPP). Además, se analiza la relación entre los niveles hidráulicos del nivel acuitardo y del acuífero Puelche con las precipitaciones.

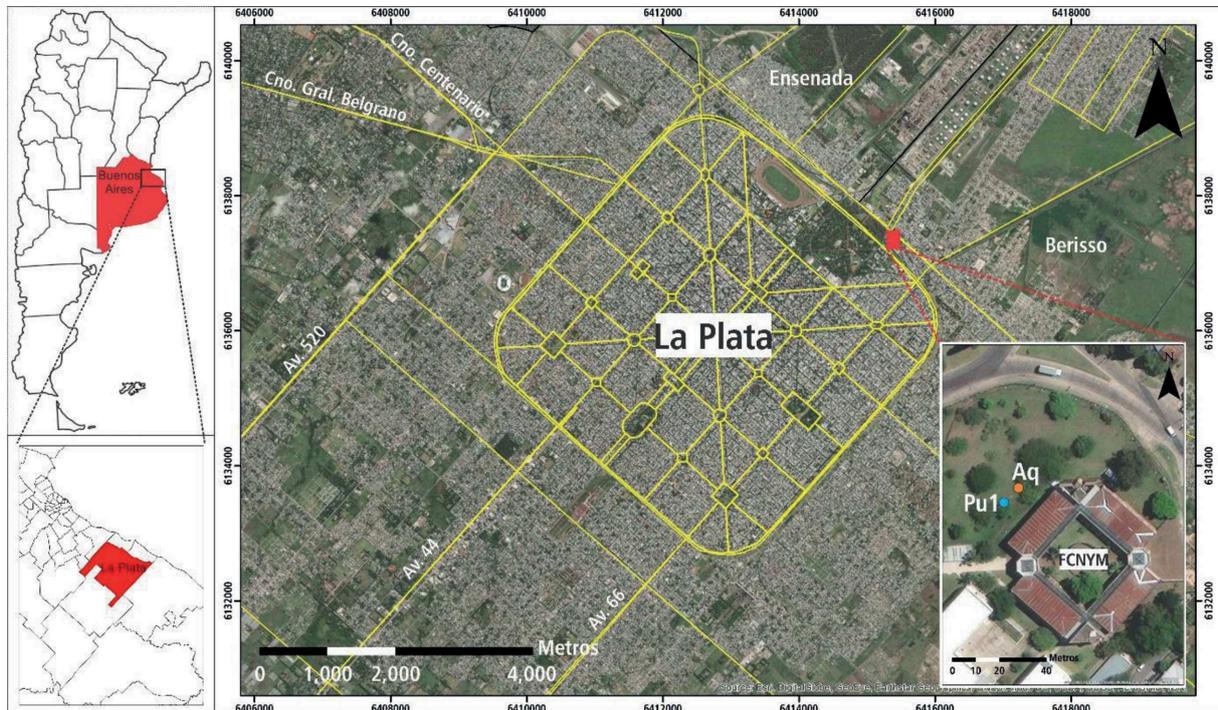
## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se emplaza en la localidad de La Plata, dentro del partido homónimo, más precisamente dentro del predio de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata (FCNYM) (Figura 1).

En el noreste de la provincia de Buenos Aires el principal sistema hidrogeológico multicapa de la región se halla circunscripto al SAPP. En este sistema, además de las unidades acuíferas principales (acuíferos Pampeano y Puelche), se halla un nivel de sedimentos limo-arcillosos, de carácter acuitardo, que conecta al acuífero Puelche con el Pampeano, otorgándole continuidad hidráulica al sistema (Auge, 2005).

Las propiedades hidráulicas del acuitardo han sido determinadas a nivel regional en dos puntos de la región. Auge (1997) determinó, mediante ensayos de bombeo con pozos de observación, la transmisividad vertical

del acuitardo (T) en un sector del partido de La Plata, arrojando un valor de  $5 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$ . Por otra parte, Fili et al. (1999), en el sector sur de la provincia de Santa Fe, estimaron valores de T' entre  $6 \times 10^{-4}$  a  $1 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$ .



**Figura 1.** Área de estudio

## METODOLOGÍA

### ■ Ejecución de perforación al acuitardo

Con el fin de lograr el objetivo planteado se llevó a cabo una perforación experimental (Aq), la cual fue hincada en el estrato limo arcilloso que compone el acuitardo, sin utilizar sección filtrante, sino que el agua ingresa al caño ciego por el fondo del mismo (Figura 2.A).

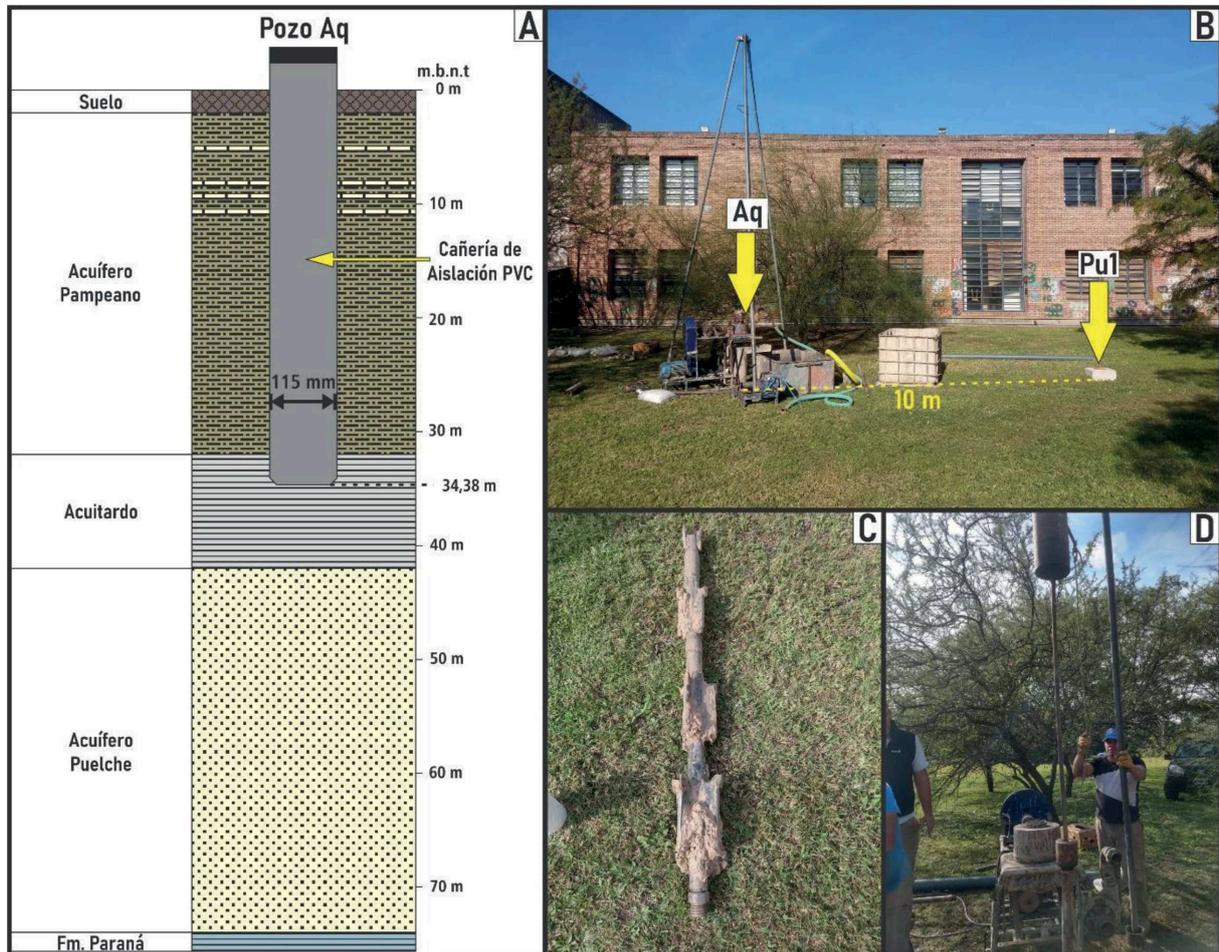
La perforación se realizó dentro del predio de la FCNYM. Adicionalmente, se contó con otra perforación al acuífero Puelche (Pu1), sobre la cual se llevaron a cabo mediciones de nivel en forma horaria.

A partir de la información litológica de las perforaciones y en función del mapa de espesores del nivel acuitardo generado por Fabiano et al. (2022) para el partido de La Plata, se estableció que, en este sector, el nivel acuitardo presenta un espesor de 10 m y se encuentra ubicado entre los 32 y los 42 m bajo el nivel del terreno (m.b.n.t) (Figura 2.A).

La perforación se ejecutó mediante un sistema de perforación de rotación con circulación directa, en un diámetro de 6 pulgadas (aproximadamente 150 mm) y alcanzando una profundidad de 33,85 m bajo boca de pozo (m.b.b.p). (Figura 2. B y C)

Durante el avance de la perforación se efectuó un muestreo sedimentológico seriado a cada metro de avance, realizando una descripción del material de cutting a escala mesoscópica por el método táctil – visual, con el objeto de establecer un perfil litológico del subsuelo. De esta manera, se definió la profundidad adecuada para la instalación de la cañería de aislación dentro del nivel acuitardo.

Posteriormente se procedió a realizar las maniobras de entubamiento del pozo. Se utilizaron caños de PVC reforzado de 115 mm de diámetro, con juntas selladas. Se descendió hasta la profundidad final y luego se procedió al hincado de la cañería mediante golpes con una masa de 44,5 kg, lanzada desde una altura de 1,05 m hasta lograr una penetración de 0,53 m dentro del estrato limo arcilloso (Figura 2.D).



**Figura 2.** Perfil hidrogeológico y diagrama de entubamiento (A), sistema de perforación (B), mecha de perforación (C) e hincado de la cañería de aislación (D).

Al finalizar la perforación, se realizó la limpieza del pozo mediante una bomba de diámetro reducido y potencia de 0,5 HP, extrayendo la totalidad del fluido de inyección alojado en el mismo. Con la finalidad de garantizar la limpieza completa de la perforación se inyectó agua hasta verificar la total transparencia del líquido sobrenadante en boca de pozo.

#### ■ Medición de los niveles hidráulicos en las perforaciones

Con el propósito de realizar un ensayo que considere la infiltración del nivel acuitardo, se procedió a llenar el pozo con agua limpia, y registrar el descenso del nivel hidráulico, el cual se dejó inicialmente a la misma altura que el nivel del terreno, considerándose este último como valor cero.

Para la toma de datos del nivel hidráulico en la perforación al acuitardo (Aq) se utilizó un registrador continuo "diver" (HOBO – U2oL-02) colocado a los 5,20 m.b.n.t, verificándose que tuviera una columna de agua no menor a los 2 m, de acuerdo a lo especificado por el fabricante.

Adicionalmente con la finalidad de evaluar la relación entre ambos niveles, se instaló un diver en la perforación al acuífero Puelche (Pu1) ubicada a 10 m de distancia del anterior. El mismo fue colocado a 16,18 m.b.n.t., considerando que el nivel hidráulico inicial del acuífero Puelche en dicho pozo era de 6,78 m.b.n.t.

El período de medición de nivel para la perforación Aq se realizó entre el 28 de julio de 2021 y el 3 de marzo de 2022 (218 días) y para la perforación Pu1 se realizó entre el 11 de diciembre y el 3 de marzo de 2022 (82 días), con intervalos de 24 horas en ambos casos.

Asimismo, se analizaron datos hidrometeorológicos a partir de una estación DAVIS Vantage PRO II ubicada en la parte superior del edificio del Instituto de Limnología Dr. Raúl A. Ringuelet (ILPLA) a 200 m de la perforación de estudio.

#### ■ Cálculo de la transmisividad vertical del acuitardo

A partir de las mediciones de nivel realizadas en la perforación Aq se estimó la permeabilidad vertical ( $k'$ ) diaria:

$$k' = \frac{\Delta h}{t} \quad (1)$$

donde  $\Delta h$  es la diferencia de nivel entre el tiempo final  $t_f$  y el tiempo inicial  $t_i$ , expresado en m, y  $t$  es el tiempo transcurrido entre  $t_i$  y  $t_f$ , expresado en días.

En virtud de la estimación de  $k'$ , y conociendo el espesor del acuitardo, se estima el valor de la transmisividad vertical ( $T'$ ), dada por la ecuación:

$$T' = \frac{k'}{b'} \quad (2)$$

donde  $b'$  es el espesor del acuitardo, expresado en m. De este modo, la  $T'$  se expresa en  $1/d$  o  $d^{-1}$ .

## RESULTADOS

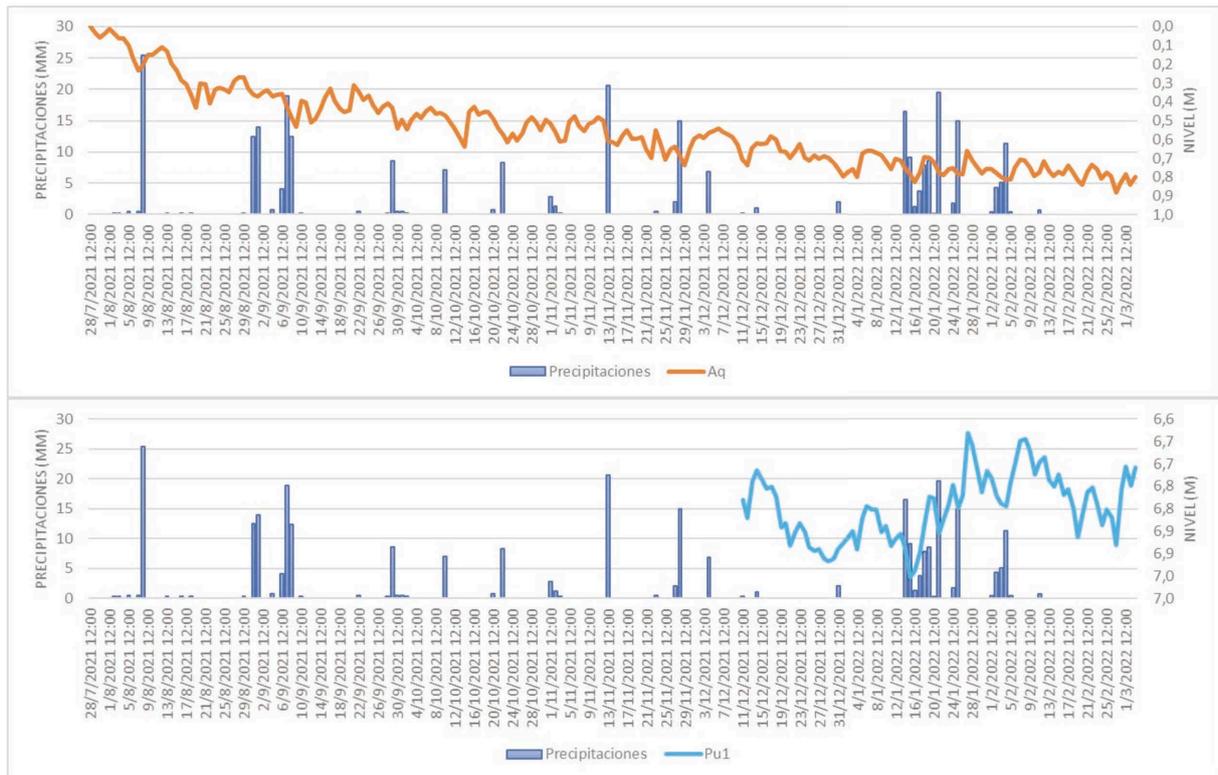
#### ■ Análisis de los niveles hidráulicos en las perforaciones

En función de los datos obtenidos mediante la medición de los niveles hidráulicos y de los datos de lluvias diarios se observan dos tendencias distintas para cada una de las perforaciones.

En la Figura 3.A, correspondiente a la perforación Aq, se advierte que el nivel hidráulico del acuitardo, a pesar de las fluctuaciones debido a la variación de presión atmosférica, tiende siempre al descenso, sin verse afectado por las precipitaciones observadas. El nivel hidráulico inicial, tomado como valor cero desde la superficie del terreno, presenta una tasa de descenso mayor en las primeras semanas de medición y a medida que transcurre el tiempo, decrece. El último nivel medido es de 0,79 m.b.n.t., estableciendo que el descenso producido entre el nivel inicial y el nivel final ( $\Delta h$ ), al cabo de 218 días, es de 0,79 m.

El análisis de las precipitaciones registradas durante este período, permite inferir que el movimiento del agua en la perforación Aq no se asocia a las precipitaciones, sino que responde a la presión hidrostática ejercida sobre los sedimentos limo arcillosos dentro del pozo, producida por la columna de agua. En este sentido, se verifica que la tasa de descenso al inicio del ensayo, podría estar vinculada a una mayor columna de agua y que, conforme la misma va disminuyendo, la tasa de descenso también disminuye.

En la Figura 3.B, correspondiente a la perforación Pu1, se observa que el nivel hidráulico del acuífero Puelche sí parece verse afectado por las precipitaciones. Desde el primer dato tomado el 11 de diciembre de 2021 hasta mediados del mes de enero del 2022 el nivel presenta una tendencia al descenso, en relación con las escasas precipitaciones durante diciembre, no obstante, a partir del 14 de enero de 2022 y hasta los primeros días de febrero se advierten abundantes precipitaciones y un consecuente ascenso del nivel hidráulico del acuífero Puelche.



**Figura 3.** Variaciones de nivel hidráulico vs precipitaciones, pozo Aq (A) y pozo Pu1 (B).

Una posible explicación podría asociarse al aumento de la presión en el sistema acuífero ante el ingreso de precipitaciones en el suelo. El agua infiltrada aumenta el volumen de agua en el acuífero superior, generando una presión mayor sobre las unidades inferiores. Este evento favorece el movimiento descendente de agua desde el acuífero Pampeano hacia el acuífero Puelche a través del nivel acuitardo.

#### ■ Estimación de la transmisividad vertical del acuitardo

En virtud de los datos obtenidos del descenso del nivel hidráulico en la perforación Aq se establece que, en 218 días se produjo una diferencia de nivel ( $\Delta h$ ) de 0,79 m. Según la Ecuación 1, se estima que la permeabilidad vertical diaria es de  $3,6 \times 10^{-3}$  m/d.

Considerando que, en el área de estudio, el nivel acuitardo presenta un espesor  $b'$  de 10 m, y en función de la Ecuación 2, se obtiene que la transmisividad vertical del nivel semiconfinante ( $T'$ ) es de  $3,6 \times 10^{-4}$  d<sup>-1</sup>.

## CONCLUSIONES

La ejecución de una perforación al nivel acuitado dentro del Sistema Acuífero Pampeano – Puelche resulta un avance para el estudio integral del sistema, dado que aporta datos interesantes respecto de los parámetros hidráulicos de la capa semiconfinante, así como del comportamiento hidráulico general del sistema.

A raíz de las mediciones realizadas en la perforación Aq, se verificó que el nivel hidráulico dentro del pozo no es afectado por las precipitaciones, sino que los descensos producidos responden a la presión hidrostática generada por la inyección de agua dentro del pozo. Esta situación debe ser considerada como un efecto puntual dentro de la perforación y no como un comportamiento hidráulico del sistema acuífero general.

Por otro lado, en función de las fluctuaciones de nivel registradas en la perforación Pu1 y en relación a las precipitaciones diarias, se evidencia que el nivel piezométrico del acuífero Puelche se ve afectado por las precipitaciones. Esto evidencia el pasaje de agua desde el acuífero Pampeano hacia el acuífero Puelche, a través del nivel acuitado.

De acuerdo con de las mediciones de nivel hidráulico en la perforación Aq y los cálculos realizados, se obtiene una  $T'$  del nivel semiconfinante que alcanza un valor de  $3,6 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$ . Este valor refleja la velocidad con la que el agua atraviesa el medio semipermeable.

Si bien el método empleado representa una alternativa experimental, el resultado de transmisividad vertical obtenido se asemeja al resultado obtenido por Auge (1997) a partir de ensayos de bombeo realizados en la zona de estudio.

El presente trabajo representa un resultado preliminar en relación al estudio particular del nivel acuitado dentro del Sistema Acuífero Pampeano – Puelche. La realización de la perforación al nivel semiconfinante será utilizada en futuros ensayos, principalmente en ensayos de bombeo como pozo de observación, a fin de utilizar nuevas técnicas en la determinación de parámetros hidráulicos del acuitado.

## REFERENCIAS

- Auge, M., 1997. Investigación hidrogeológica de La Plata y alrededores. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. 2T:1-171. Buenos Aires.
- Auge, M. P., 2005. Hidrogeología de La Plata, Provincia de Buenos Aires. En Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. pp. 293-311. La Plata: Quick Press.
- Butler Jr, J. J., 1996. Slug tests: Some practical considerations. Kansas Geological Survey Open-File Rept, 94-16.
- Cheng, C., & Chen, X., 2007. Evaluation of methods for determination of hydraulic properties in an aquifer–aquitard system hydrologically connected to a river. *Hydrogeology Journal*, 15(4), 669-678.
- Custodio, E., & Llamas, M. R., 1983. Hidrogeología subterránea. Omega. Barcelona.
- Fabiano, M.E., Carretero, S.C., Rodrigues Capitulo, L. y Kruse, E.E., 2022. Variabilidad en el espesor del acuitado como indicador de vulnerabilidad en el sistema hidrogeológico Pampeano – Puelche, noreste provincia de Buenos Aires. En XXI Congreso Geológico Argentino. Puerto Madryn. Pp. 324-334.
- Fili, M.F., Eduardo, L. y Dalla Costa, O.A., 1999. Modelo hidrogeológico conceptual de la relación entre los acuíferos Pampeano y Puelche en un sector del sur de la provincia de Santa Fe. República Argentina. En: Hidrología subterránea. II Congreso Argentino de Hidrogeología. IV Seminario Hispano Argentino Sobre Temas Actuales de la Hidrogeología Subterránea Serie Correlación Geológica N° 13. Instituto Superior de Correlación Geológica - CONICET, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina. 99-106.
- Hantush, M. S., 1960. Modification of the theory of leaky aquifers. *Journal of Geophysical Research*, 65(11), 3713-3725.
- Hantush, M. S., & Jacob, C. E., 1955. Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 36(1), 95-100.

- Hvorslev, M. J., 1951. Time lag and soil permeability in ground-water observations. Bull. 36. 50pp., U.S. Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.
- Keller, C. K., Kamp, G. V. D., & Cherry, J. A., 1986. Fracture permeability and groundwater flow in clayey till near Saskatoon, Saskatchewan. Canadian Geotechnical Journal, 23(2), 229-240.
- Neuman, S. P., & Witherspoon, P. A., 1972. Field determination of the hydraulic properties of leaky multiple aquifer systems. Water Resources Research, 8(5), 1284-1298.
- Neuman, S. P., & Gardner, D. A., 1989. Determination of aquitard/aquiclude hydraulic properties from arbitrary water-level fluctuations by deconvolution. Groundwater, 27(1), 66-76.
- Rodrigues, J. D., 1983. The Noordbergum effect and characterization of aquitards at the Rio Maior mining project. Groundwater, 21(2), 200-207.
- Van der Kamp, G. 2001. Methods for determining the in situ hydraulic conductivity of shallow aquitards—an overview. Hydrogeology Journal, 9(1), 5-16.
- Wolff, R. G., 1970a. Field and laboratory determination of the hydraulic diffusivity of a confining bed. Water Resources Research, 6(1), 194-203.