



**EL AGUA SUBTERRÁNEA:
“RECURSO SIN FRONTERAS”**

HIDROGEOLOGÍA REGIONAL

VOLUMEN I

EDITORES

**Rodolfo GARCÍA, Eduardo CASTRO
Miguel AUGÉ, Carlos FALCÓN
Mónica BLARASÍN**



Universidad Nacional de Salta



UNLPam

Universidad Nacional de La Pampa



El Agua Subterránea: Recurso sin Fronteras: Hidrogeología Regional. Volumen I.
Rodolfo Fernando García [et al.]. Primera Edición. 2018.

Editorial de la Universidad Nacional de Salta. Salta. República Argentina. Avenida
Bolivia 5150, Salta Capital (4400).

CD-ROM, DOCX

ISBN 978-987-633-538-6

1. Agua Subterránea. 2. Hidrogeología. 3. Geología. I. García, Rodolfo Fernando
CDD 551.48

Diseño de tapa y diagramación de interior: María Dihel / Nexo di Nápoli

ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO ESPECÍFICO DE LOS SEDIMENTOS PAMPEANO A PARTIR DE UN ENSAYO DE BOMBEO

Jonatan Pendiuk^{1,2}, Luis Guarracino^{1,2,3}, Leandro Rodríguez Capítulo^{1,3}, Eduardo Kruse^{1,3}

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). jonatanpendiuk@gmail.com

²Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Paseo del Bosque s/n (1900) La Plata, Argentina.

³Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, 64 n° 3 (1900) La Plata, Argentina.

Resumen

El rendimiento específico (S_y) se define como la cantidad de agua por unidad de volumen de suelo que se drena por unidad de descenso del nivel freático. Desde un punto de vista hidrogeológico este parámetro resulta de importancia en problemas tales como la estimación de la recarga y el análisis de la marea inducida, entre otros. El valor de este parámetro suele estimarse mediante ensayos de bombeo. La respuesta de un acuífero libre durante un ensayo de bombeo es compleja debido al drenaje diferido y a las variaciones temporales que sufre el nivel freático durante el ensayo. Cuando un acuífero libre se bombea a caudal constante, la curva de descensos presenta tres etapas bien diferenciadas. Es por ello que las estimaciones de S_y solo pueden realizarse a partir de ensayos de bombeos de larga duración y mediante fórmulas más complejas que las empleadas para acuíferos confinados. El objetivo de este trabajo es la estimación de S_y y de otros parámetros hidráulicos del acuífero Pampeano a partir de un ensayo de aproximadamente 55 horas realizado en el predio del Observatorio Argentino Alemán de Geodesia (AGGO), Berazategui. Para la interpretación de los descensos medidos se utilizó el programa WTAQ desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos que arrojó valores de este parámetro en el rango de 0.085 y 0.095. Estos valores son concordantes con estimaciones realizadas mediante otras técnicas. La estimación precisa de este parámetro resulta de importancia para el cálculo de las variaciones de las reservas del acuífero Pampeano en general y para la corrección de los valores de gravedad observados en AGGO en particular.

Palabras claves: Ensayo de bombeo, rendimiento específico, acuífero Pampeano, WTAQ, Berazategui.

Abstract

Specific yield (S_y) can be defined as the volume of water that an aquifer releases from or takes into storage per unit aquifer area per unit change in water table depth. From a hydrological point of view, these parameter is important to estimate the recharge and the analysis of the induced tide, among others. Its value is usually estimated by pumping tests. The aquifer responses throughout a pumping test is complex due to the delayed drainage and the temporal water table changes during the test. When an unconfined aquifer is pumped at constant rate, the time-drawdown curves show three distinct phases. That are the reasons why estimations of S_y can be only done by long-term pumping test and by means of mathematical models more complex than those used for confined aquifers analysis. The aim of this work is the estimation of S_y and other hydraulic properties of the Pampeano aquifer from a pumping test which lasted 55 hours. It was performed in the site of Argentinean-German Geodetic Observatory (AGGO), Berazategui. Time-drawdown data was then interpreted using the program WTAQ that was developed by the United States Geological Survey. It gave values of the specific yield between the range of 0.085 and 0.095. These values are concordant with estimations made with another techniques. The accurate estimations of this parameter is important to estimate storage changes of the Pampeano aquifer and correct gravity data recorder in AGGO by a superconducting gravimeter.

Keywords: Pumping test, specific yield, Pampeano aquifer, WTAQ, Berazategui.

INTRODUCCIÓN

Cuando un acuífero libre es bombeado, la curva de descenso suele presentar tres etapas bien diferenciadas (Fetter, 2001). En la primera etapa los descensos son rápidos y originados por la respuesta elástica del acuífero. La duración de esta etapa es de unos pocos minutos. Luego, en la segunda etapa se observa que la superficie freática desciende a una tasa más lenta debido al drenaje diferido de la zona no saturada, en especial, del agua almacenada en la zona capilar. Este fenómeno diferido puede durar horas o días. En esta fase se observa una componente vertical del flujo de agua. Por último, en la tercera etapa la tasa de evolución de los descensos vuelve a aumentar al finalizar el drenaje diferido. Para la primera y tercer etapa el flujo se puede considerar netamente horizontal.

La formación Pampeano constituye un acuífero libre formado por sedimentos loésicos del Pleistoceno medio-tardío de origen eólico-fluvial. Los sedimentos loésicos en Argentina tienen una gran extensión areal, cubriendo más de 600.000km² de superficie (Rocca y colaboradores, 2016), sus características generales se detallan en el trabajo de Teruggi (1957). Desde el punto de vista hidrogeológico, su importancia radica en su función como vía de recarga y descarga del acuífero Puelche. Además, el acuífero Pampeano se comporta como un recurso subterráneo de baja a media productividad y su explotación se debe, en mayor medida, al uso agrícola-ganadero. En la región sureste de la provincia de Buenos Aires (región de Tandilia) constituye la única fuente de suministro de agua. A pesar de su importancia desde un punto de vista hidrológico, pocos estudios se han realizado para entender su funcionamiento y obtener estimaciones de sus parámetros hidrogeológicos (Mascioli y colaboradores, 2005).

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos a partir de un ensayo de bombeo de larga duración realizado en el acuífero Pampeano en el predio del Observatorio Argentino Alemán de Geodesia AGGO situado en la zona del parque Pereyra Iraola, Berazategui. En nuestro país, la realización de ensayos de bombeo en acuíferos libres para estimar el almacenamiento específico son poco frecuentes ya que requieren tareas de mayor complejidad tanto en el campo como en los métodos de estimación de los parámetros. El test hidráulico en AGGO comenzó el día 15 de mayo del 2017 a las 13 horas y finalizó el día 17 de mayo a las 21 horas (aproximadamente 55 horas). Para la interpretación y análisis de los datos observados se utilizó el programa WTAQ (Barlow y Moench, 1999) desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS. Este programa calcula la curva de descensos teórica producida por un bombeo a caudal constante utilizando diferentes modelos semi-analíticos que describen el flujo de agua en la zona saturada hacia un pozo de bombeo. De esta manera permite estimar los parámetros hidráulicos de un acuífero comparando la curva de descenso observada con la teórica. Este programa puede ser utilizado para la estimación de los parámetros hidráulicos de un acuífero libre o confinado.

El objetivo principal del ensayo fue la estimación del rendimiento específico del acuífero Pampeano para ser utilizado con fines hidrogeofísicos. Este parámetro resulta de importancia para corregir datos de gravedad de alta precisión por las redistribuciones de masa producidas por las variaciones del nivel freático.

ÁREA DE ESTUDIO

El Observatorio Argentino Alemán de Geodesia (AGGO) depende del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y la Agencia Federal de Cartografía y Geodesia de Alemania (BKG). Es un observatorio fundamental geodésico que cuenta con sensores hidro-meteorológicos tales como transductores de presión, sensores de humedad del suelo y una estación meteorológica. En el observatorio AGGO se instaló un gravímetro superconductor (GS) que mide variaciones del campo gravimétrico de la Tierra de forma continua desde diciembre del 2015. Este instrumento es un gravímetro relativo de alta precisión con capacidad de medir variaciones de gravedad producidas por el movimiento de agua en el suelo. Esta característica motiva su implementación para analizar procesos hidrológicos a escala local convirtiéndolo en una herramienta útil para monitorear

las variaciones del almacenamiento de agua en el subsuelo (Creutzfeldt y colaboradores, 2010). Dentro de las posibles aplicaciones se destaca la estimación del rendimiento específico de un acuífero libre (Wilson y colaboradores, 2013). Por lo tanto, resulta esencial monitorear las distintas variables hidro-meteorológica para poder interpretar la señal del GS con fines hidrológicos.

El sistema hidrogeológico del área de estudio está compuesto por los acuíferos Pampeano (libre), Puelche (semiconfinado) y la formación Paraná. Los sedimentos Pampeano y la unidad hidrogeológica Puelche están separadas por una capa de arcillas, de aproximadamente 5m de espesor, que actúa como un acuitardo.

En el observatorio AGGO se realizaron 2 perforaciones (pozos gw1 y gw2) hasta una profundidad de 32 m, alcanzando el techo de la capa de arcillas que subyace a los sedimentos Pampeano. El radio de cada pozo es de 5cm y la distancia entre ellos es de 3.15m. En cada pozo se instaló un transductor de presión de la marca OTT PLS que monitorea las variaciones del nivel freático en tiempo real. Durante la realización de las perforaciones, se realizó un ensayo de penetración estándar (SPT) con una cuchara modificada de Terzagui para obtener un muestreo continuo del suelo. Estas muestras se analizaron en laboratorio para clasificarlas según su textura. Las muestras analizadas tienen un alto contenido de partículas de grano fino, tales como limo y arcilla (Hernández, 2016; Pendiuk y colaboradores, 2016). Como consecuencia del análisis granulométrico, se espera que el radio de influencia del cono de depresión producido por el bombeo sea pequeño debido a los valores bajos de permeabilidad y almacenamiento característicos de estos tipos de suelos. Por lo tanto, para asegurar que los descensos puedan ser medidos durante el test, se decidió que los pozos se encuentren a una distancia de 3.15m.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del ensayo de bombeo se utilizó una bomba Grundfos (Motor y cuerpo) de 1,5 HP de potencia perteneciente a la Cátedra de Hidrología de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (FCNyM, UNLP). La bomba se instaló en el pozo gw1 (pozo de bombeo) a una profundidad de 26m, ya que la posición inicial de la superficie freática se encontraba a los 13.8 m. El agua bombeada se drenó al terreno a una distancia de 130 m del pozo de bombeo en la dirección de mayor pendiente con el fin de evitar interferencias con los datos registrados durante el ensayo.

Las mediciones del descenso del nivel de freático en el pozo monitor (gw2) y en el de bombeo (gw1) se realizaron de forma manual y continua. Con este fin se utilizó una sonda de nivel de agua, 2 transductores de presión o mini-divers de la marca Schlumberger, un baro diver y 2 divers OTT PLS previamente instalados en los pozos (ver Fig.1). La resolución temporal de los mini-divers fue de 1 segundo, mientras que la frecuencia de muestreo para los divers OTT PLS fue de 15 minutos. En el pozo de bombeo el diver OTT PLS se instaló a una profundidad de 24m, mientras que el mini-diver a 20m. Por otro lado, en el pozo monitor el diver OTT PLS se instaló a los 18m y el mini-diver a 16m de profundidad. Las profundidades de los sensores se eligieron para asegurar que durante todo el ensayo siempre exista una columna de agua por encima de los transductores de presión. Para verificar la exactitud de las mediciones de los transductores de presión se realizaron mediciones puntuales con una sonda manual de nivel.



Figura 1. Bomba, sonda de nivel de agua y pozo de bombeo gw1.

Las mediciones de caudal (Q) o aforos es una tarea importante para la correcta aplicación del método, ya que se lo asume constante. Si esta condición no se cumple, los datos obtenidos no serían confiables y conducirían a una interpretación errónea de los resultados del ensayo. Las mediciones de Q se realizaron en forma manual utilizando un recipiente plástico de 65 litros. Con este fin se cronometró el tiempo necesario para llenarlo con el agua bombeada y luego se estimó el caudal en m^3/h . Con el fin de reducir el error de medición se realizaron 3 estimaciones del Q que fueron promediadas. Los aforos se realizaron con un intervalo de tiempo de 3 horas aproximadamente. En la Fig. 2 se ilustran los valores medidos tomando como referencia ($t=0$) el tiempo de inicio del ensayo.

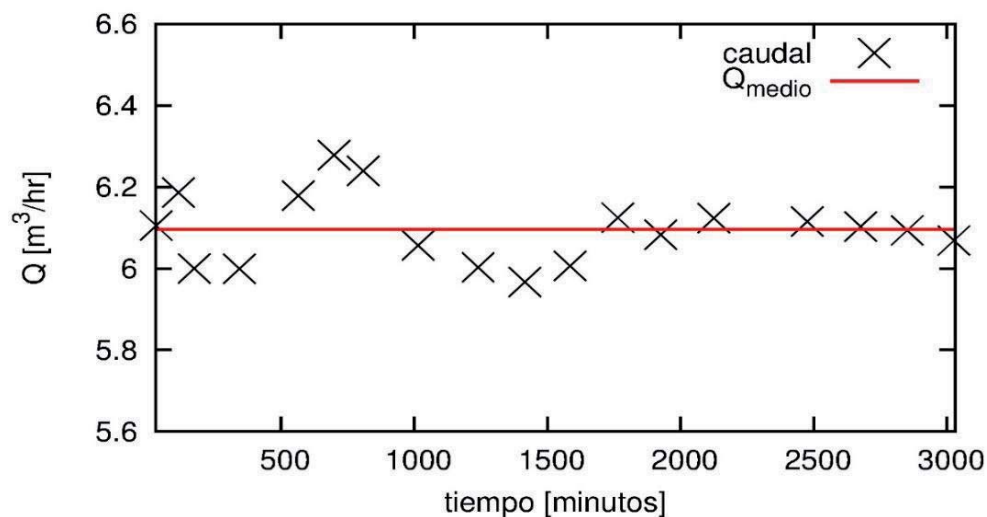


Figura 2. Mediciones de caudal.

En la Tabla 1 se listan los valores de caudales inicial (Q_{inicial}), máximo ($Q_{\text{máximo}}$), mínimo ($Q_{\text{mínimo}}$) y medio (Q_{medio}) medidos durante el ensayo. A partir del análisis de estos valores se observa que las fluctuaciones del Q durante todo el ensayo de bombeo son menores al 10% del caudal inicial. Por lo tanto, puede asumirse que para todo el experimento Q fue aproximadamente constante y su valor medio ($6.1 \text{ m}^3/\text{h}$) será utilizado para realizar la interpretación de los datos observados.

Tabla 1. Valores de Q medidos.

Caudal observado (Q)	Medición [m³/h]
Q_{inicial}	6.2
$Q_{\text{mínimo}}$	5.96
$Q_{\text{máximo}}$	6.3
Q_{medio}	6.1

Durante las primeras dos horas, los descensos de los niveles fueron medidos con un intervalo de muestreo de 1 segundo por los mini-divers. Por otro lado, los divers OTT PLS registraron las variaciones del nivel freático con una resolución temporal de 15 minutos durante todo el test hidráulico.

Los registros de los descensos observados (s) con los distintos transductores de presión se uniformizaron en una única serie de datos, de modo tal que se encuentren en la misma escala temporal y la misma cota inicial. En la Fig. 3 se muestra la serie temporal correspondiente a los descensos medidos tomando como referencia la posición inicial del nivel freático ($s=0\text{m}$) y utilizando una escala logarítmica para el tiempo (eje horizontal). En la figura se pueden identificar las tres etapas características de un ensayo de bombeo en un acuífero libre, en particular la etapa intermedia donde el drenaje diferido proveniente de la zona no saturada aplanan la curva de los descensos. Por otra parte, se observan claramente la finalización del ensayo de bombeo ($t=3345\text{min}$) y la rápida recuperación de los niveles en ambos pozos. Estos datos constituyen la base para la estimación de los parámetros hidráulicos del acuífero Pampeano que deben realizarse en forma numérica empleando un programa computacional.

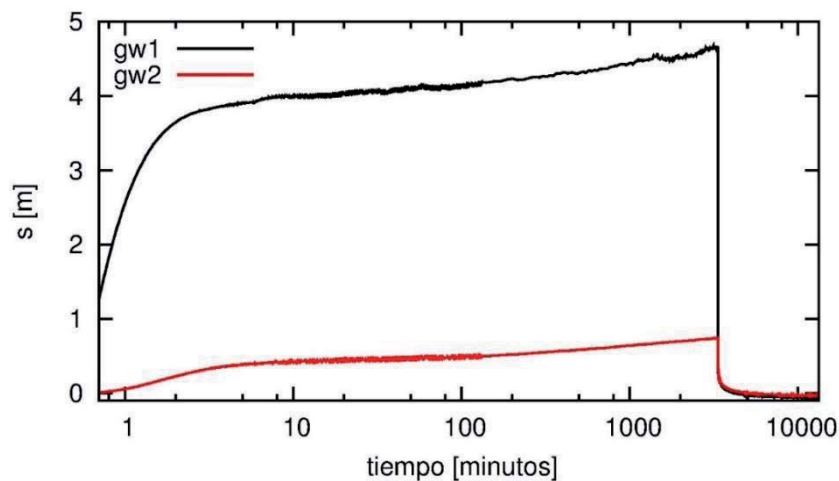


Fig. 3: series temporales de los descensos medidos durante todo el experimento.

Para el análisis e interpretación de los descensos medidos se utilizó el programa de acceso libre WTAQ (Barlow y Moench, 1999) desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Este programa calcula la curva de descensos teóricas producidas por un ensayo de bombeo a caudal constante para un acuífero libre o confinado, permitiendo estimar los parámetros hidráulicos de la formación geológica de interés. Las curvas de descensos teóricas pueden ser calculadas en función del tiempo y de la distancia entre el punto de observación y el pozo de bombeo. Este programa provee diferentes modelos semi-analíticos para calcular los descensos teóricos. Estos modelos simulan el flujo de agua hacia un pozo de bombeo considerando que el acuífero es homogéneo y anisótropo. Además, simula los efectos producidos en los descensos por aspectos

constructivos de los pozos. Estos efectos son, el almacenamiento en los pozos en función de sus diámetros, el efecto piel producido por material de baja permeabilidad en la interfaz entre las rejillas del pozo y el acuífero, y el efecto producido por los pozos que no penetran todo el espesor del acuífero (no son captaciones completas). Para el caso de estudio de un acuífero libre, WTAQ permite modelar el efecto del flujo de la zona no saturada considerándolo como un drenaje instantáneo o diferido. Por lo tanto, este programa ofrece múltiples herramientas para la estimación de parámetros hidráulicos mediante un ensayo de bombeo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la planificación del test hidráulico y la adquisición de los datos se siguió el procedimiento detallado por Krauseman y Ridder (1994). Por otro lado, y como se ha mencionado anteriormente, para la interpretación de los datos registrados se utilizó el programa WTAQ. Los modelos utilizados fueron el de Neuman (1972), Moench (1997) y el de Mathias y Butler (2006). Los tres modelos simulan el flujo de agua hacia un pozo asumiendo que el acuífero libre es homogéneo, de extensión lateral infinita, con una superficie freática horizontal y de espesor uniforme. El modelo de Neuman considera despreciable el efecto del flujo de la zona no saturada (ZNS) en los descensos producidos por el bombeo. Los modelos restantes consideran que el drenaje de la ZNS se produce gradualmente simulando su efecto a partir de distintos enfoques. El modelo de Moench introduce hasta 5 constantes empíricas de drenaje para describir este efecto en los descensos, mientras que el modelo de Mathias y Butler resuelve las ecuaciones que describen el flujo de la ZNS de forma numérica utilizando el modelo constitutivo de Gardner (1958). Los tres modelos utilizados permiten estimar el rendimiento específico (S_y), el almacenamiento específico (S_s) y las conductividades hidráulicas saturadas horizontal (K_r) y vertical (K_v) del acuífero de interés. Para las estimaciones de los parámetros hidráulicos se compararon las curvas de descensos teóricos calculadas por los tres modelos previamente introducidos, con la curva de descensos observados. Los ajustes de los datos observados en el pozo monitor (gw1) se realizaron por prueba y error. Los ajustes logrados se muestran en la Fig. 4, mientras que los valores estimados de los distintos parámetros hidráulicos se listan en la Tabla 2.

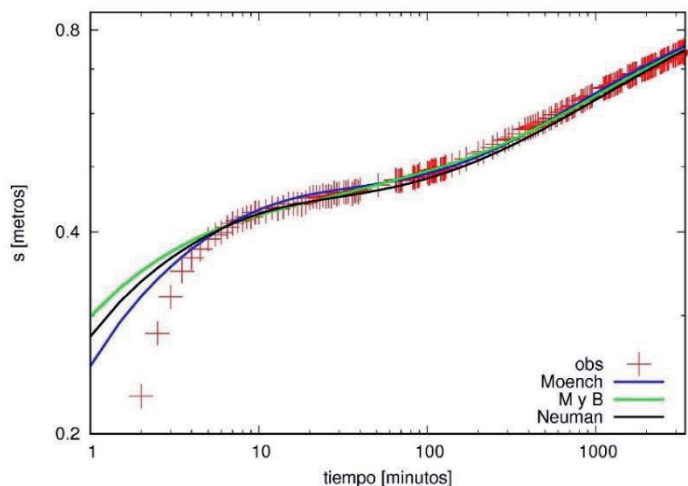


Fig. 4: comparación entre los descensos observados y estimados.

Tabla 2. Parámetros hidráulicos estimados a partir del ensayo de bombeo.

Método	K_r [m/día]	K_v [m/día]	S_s [1/m]	S_y	RMS
Neuman	6.9	0.6	3×10^{-5}	0.02	1.2×10^{-3}
Moench	6.3	3	7×10^{-5}	0.093	8.4×10^{-4}
M y B	6.9	1.2	2.5×10^{-5}	0.085	1.3×10^{-3}

Los valores estimados de S_y para los modelos de Moench y Mathias y Butler (M y B) son similares, mientras que el estimado por el modelo de Neuman es menor a los anteriores. Esta discrepancia se debe a que los primeros dos modelos tienen en cuenta el efecto del drenaje diferido de la ZNS. Por otro lado, el modelo de Neuman considera que el drenaje de la ZNS es instantáneo. Este resultado se describe en el trabajo de Nwankwor y colaboradores (1984), donde se observa que el modelo de Neuman subestima el valor del S_y al despreciar el efecto del flujo proveniente de la ZNS. A pesar de haberse realizado un ensayo de bombeo de larga duración, tal como recomiendan Nwankwor y colaboradores, el rendimiento específico estimado con el modelo de Neuman continúa siendo menor en comparación con las estimaciones realizadas con los otros modelos. Este resultado destaca la importancia de considerar el drenaje diferido de la ZNS durante el bombeo de agua en un acuífero libre. Por lo tanto, es importante tener en cuenta su efecto al momento de analizar e interpretar los datos obtenidos durante un test hidráulico de estas características.

El análisis de los descensos medidos durante el ensayo de bombeo también permitió estimar la conductividad hidráulica saturada del acuífero Pampeano en sus componentes horizontal y vertical. Con respecto a las estimaciones de K_r , se obtuvieron valores similares para los tres modelos utilizados, mientras que los valores estimados para K_v son diferentes entre sí (ver Tabla 2). Estas discrepancias se deben a las distintas estrategias empleadas en cada modelo para simular el flujo de la ZNS inducido por el bombeo de agua en un acuífero libre.

CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó un ensayo de bombeo de larga duración en el acuífero Pampeano en el predio del observatorio AGGO, con el fin de estimar el almacenamiento específico junto con otros parámetros hidráulicos. La realización de ensayos de bombeo de larga duración en nuestra región es poco frecuente y los antecedentes en la literatura nacional son virtualmente inexistentes. En este sentido, el presente trabajo puede considerarse como uno de los primeros antecedentes en la realización e interpretación de un ensayo de bombeo de estas características para estimar el rendimiento específico. A partir de los resultados del ensayo y mediante la aplicación de dos modelos semi-analíticos distintos se logró estimar un rango de valores para este parámetro comprendido entre 0.085 y 0.095. Los valores estimados son similares a los obtenidos en trabajos previos para la misma formación acuífera con técnicas distintas (Auge, 2005; Varni y colaboradores 2010; Guarracino y colaboradores 2011; Quiroz-Londoño y colaboradores 2012; Guarracino y Tocho 2013). Por otra parte, este trabajo confirma la importancia de considerar el drenaje diferido de la zona no saturada en la interpretación de los resultados de un ensayo de bombeo. El valor de este parámetro será utilizado con fines hidrogeofísicos para corregir e interpretar variaciones de gravedad local producidas por fluctuaciones del nivel freático.

REFERENCIAS

- Auge M., P.**, 2005. Hidrogeología de La Plata, Provincia de Buenos Aires. XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, Argentina. Relatorio: pp. 293-312.
- Barlow, P.M. and Moench, A.F.**, 1999. WTAQ— A computer program for calculating drawdowns and estimating hydraulic properties for confined and water-table aquifers. U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report, 99-4225, 84p.
- Creutzfeldt, B., Guntner, A., Vorogushyn, S. and Merz, B.**, 2010. The benefits of gravimeter observations for modelling water storage changes at the field scale. *Hydrology and Earth Syst. Sci.*, vol. 14, pp. 1715–1730.
- Fetter, C.W.**, 2001. Applied hydrogeology, 4th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, pp. 164. NJ, USA.
- Gardner, W.R.**, 1958. Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equations with application to evaporation from a water table. *Soil Science*, vol. 85, pp. 228–232.
- Guarracino, L., Tocho, C. N. y Varni, M.**, 2011. Estimación del coeficiente de almacenamiento de un acuífero libre a partir de datos gravimétricos satelitales. *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo*, vol. X, pp. 327-330. Salamanca, España.

- Guarracino, L. y Tocho, C. N.**, 2013. Determinación del coeficiente de almacenamiento o porosidad drenable mediante mediciones de gravedad in situ. Agua subterránea recurso estratégico, Tomo II, 251-254.
- Hernández, L.**, 2016. Perforaciones al acuífero Pampeano, Parque Pereyra Iraola Partido de Berazategui, Provincia de Buenos Aires. Informe técnico.
- Kruseman, G.P. and N.A. de Ridder**, 1994. Analysis and Evaluation of Pumping Test Data, 2nd ed. Publication 47, Intern. Inst. for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 370p.
- Mascioli, S., Benavente, M. y Martínez, D.E.**, 2005. Estimation of transport hydraulic parameters in loessic sediment, Argentina: Application of column tests. Hydrogeology Journal, v.13, pp 849–857.
- Mathias, S.A. and Butler, A.P.**, 2006. Linearized Richards' equation approach to pumping test analysis in compressible aquifers. Water Resources Research, v. 46.
- Moench, A.F.**, 1997. Flow to a well of finite diameter in a homogeneous, anisotropic water table aquifer. Water Resources Research, v. 33, no. 6, pp. 1397–1407.
- Nwankwor, G.I., Cherry, J.A., and Gillam, R.W.**, 1984. A comparative study of specific yield determinations for a shallow sand aquifer. Ground Water v. 22, no 6, pp. 764-722.
- Pendiuk, J., Guarracino, L. y Monachesi, L.**, 2016. Caracterización hidráulica de suelos en el predio del Observatorio Argentino Alemán de Geodesia (AGGO) mediante parámetros texturales y granulométricos. Tesis de grado en Geofísica, FCAGLP, UNLP.
- Quiroz-Londoño, O. M., D. Martinez y H. Massone**, 2012. Estimación de recarga de acuíferos en ambientes de llanura con base en variaciones de nivel freático. Tecnología y Ciencias del Agua, Vol. III, 123-130.
- Rocca, R., Redolfi, E. R. y Terzariol, R. E.**, 2006. Características geotécnicas de los loess de Argentina. Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civi, vol. 6(2) 149.
- Varni, M., R. Comas, P. Weinzettel y S. Dietrich**, 2010. Análisis de 18 años de registros diarios del nivel freático en la zona central de la cuenca del arroyo Azul, Buenos Aires, Argentina. I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras, Tomo I, 209-215.
- Teruggi, M.E.**, 1957. The nature and origin of argentine loess. Journal of Sedimentary Petrology, vol. 27 no 3, pp. 322-332.
- Wilson, C.R., Scanlon, B., Sharp, J., Longuevergne, L. and Wu, H.**, 2012. Field test of superconducting gravimeter as a hydrologic sensor. Ground Water, vol. 50, no 3, pp. 442-449.