



Estimación del coeficiente de almacenamiento del acuífero Pampeano a partir de datos de un gravímetro superconductor

J. Pendiuk^{1,2}, L. Guarracino^{1,2,3}, Andreas Güntner⁴, E. Antokoletz¹, C. Tocho^{1,5}

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP. jonatanpendiuk@gmail.com

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

³ Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.

⁴ Helmholtz Centre Potsdam, GFZ German Research Centre for Geosciences.

⁵ Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. de Buenos Aires.

Resumen

El rendimiento específico o porosidad drenable se define como la cantidad media de agua por unidad de volumen de suelo que se drena por unidad de descenso del nivel freático en un perfil que se extiende desde el nivel freático hasta la superficie. Desde un punto de vista hidrogeológico este parámetro resulta de importancia en problemas tales como la estimación de la recarga y el diseño de planes eficientes para la explotación sustentable de aguas subterráneas. El valor de este parámetro se suele estimar mediante ensayos de bombeo y su valor resulta siempre menor al de la porosidad de la formación. En el presente trabajo se propone una técnica para la determinación del rendimiento específico que correlaciona mediciones de gravedad in situ del gravímetro superconductor GWR R038 con variaciones del nivel freático muestreadas en el predio del Observatorio Argentino Alemán de Geodesia (AGGO). Para emplear esta técnica es necesario contar con datos observados durante un periodo de tiempo sin precipitaciones para garantizar un descenso continuo del nivel freático por flujo regional. Bajo estas hipótesis y asumiendo que el problema es unidimensional se obtiene una relación lineal entre las variaciones de gravedad y los niveles freáticos que depende del rendimiento específico. Para la aplicación práctica de esta técnica se seleccionó un período de tiempo de 19 días (9 al 28 de mayo del 2016) donde se observó un perfil de humedad estable y un descenso continuo de los niveles. Los datos gravimétricos fueron corregidos por efectos de marea, carga oceánica, presión atmosférica y movimiento del polo. El valor del rendimiento específico determinado para el acuífero Pampeano es aproximadamente 0.18. Este valor se encuentra dentro del rango de valores admisibles para la textura de este acuífero. La técnica empleada es sumamente novedosa en nuestra región ya que el gravímetro superconductor de AGGO es el único instrumental de su tipo funcionando en América Latina.

Palabras clave: gravímetro superconductor, rendimiento específico, acuífero Pampeano, aguas subterráneas.

Introducción

El rendimiento específico de un acuífero es un parámetro de gran importancia en numerosos problemas hidrogeológicos como la estimación de la recarga y el diseño de



planes eficientes de explotación de aguas subterráneas. Este parámetro se define como la cantidad media de agua por unidad de volumen de suelo que se drena por unidad de descenso del nivel freático en un perfil que se extiende desde el nivel freático hasta la superficie (Bear, 1988).

Durante el descenso del nivel freático en un acuífero libre, el agua de la zona no saturada es desplazada por la fuerza de gravedad (agua gravitacional) y sustituida por aire que ingresa desde la superficie. En este proceso una fracción de agua permanece en los intersticios entre los granos debido a la acción conjunta de las fuerzas moleculares y la tensión superficial. Como consecuencia de este fenómeno, el valor del rendimiento específico resulta menor que la porosidad del medio.

Existen distintos métodos de campo y de laboratorio para la determinación de este parámetro hidráulico, tales como el ensayo de bombeo, experimentos de drenaje y balances de agua (Neuman, 1987). Recientemente se han propuesto métodos que determinan el rendimiento específico a partir de la correlación de las variaciones de los niveles freáticos con mediciones temporales de gravedad (Pool y Eychaner, 1995; Guarracino y Tocho, 2013). En el presente trabajo se propone una metodología de cálculo que se basa en el análisis de las mediciones del gravímetro superconductor instalado en el Observatorio Argentino-Alemán de Geodesia AGGO (Parque Pereyra Iraola, Berazategui) y de las variaciones del nivel freático medidas durante un período sin precipitaciones. Las variaciones de gravedad permiten estimar la masa de agua desplazada por el descenso de los niveles freáticos y a partir de ellas estimar el rendimiento específico del acuífero Pampeano empleando una fórmula teórica sencilla.

Materiales y métodos

Para calcular el rendimiento específico supondremos que el descenso del nivel freático se produce por el flujo regional durante un período sin precipitaciones. Además, la topografía en el predio de AGGO es significativamente plana permitiendo aproximar al acuífero Pampeano con una placa infinita de Bouguer cuya atracción gravitatoria tiene la siguiente expresión:

$$\Delta g = 2\pi G \Delta \rho \Delta h, \quad (1)$$

donde Δg es la variación de la gravedad; G es la constante universal de gravitación ($6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}^2 \text{ Kg}$); $\Delta \rho$ es el contraste de densidad; Δh es el descenso del nivel freático. El error de aproximar un acuífero libre como un cuerpo tabular infinito es menor del 5% si se lo compara con un disco horizontal cuyo diámetro es 40 veces mayor que su profundidad (Pool and Eychaner, 1995).

La densidad de un medio poroso incompresible saturado con agua ρ_{sat} tiene la siguiente expresión:

$$\rho_{sat} = (1 - \varphi) \rho_m + \varphi \rho_w, \quad (2)$$

donde ρ_m y ρ_w son las densidades de la matriz sólida y del agua, respectivamente; y φ es la porosidad del medio.

Cuando los niveles de agua decrecen, el suelo drena el agua y una fracción del medio poroso es ocupada por aire. En este caso la densidad del suelo no saturado ρ_{unsat} puede ser estimado de la siguiente manera:

$$\rho_{unsat} = (1 - \varphi)\rho_m + (\varphi - S_y)\rho_w + S_y\rho_a, \quad (3)$$

siendo S_y el rendimiento específico y ρ_a la densidad del aire.

El contraste de densidad de la columna de suelo debido al proceso de drenaje puede estimarse a partir de las ecuaciones (2) y (3):

$$\Delta\rho = \rho_{sat} - \rho_{unsat} = S_y(\rho_w - \rho_a). \quad (4)$$

Reemplazando (4) en (1) se obtiene una expresión que relaciona las variaciones temporales de la gravedad con las fluctuaciones de los niveles freáticos:

$$\Delta g = 2\pi G S_y (\rho_w - \rho_a) \Delta h. \quad (5)$$

El rendimiento específico puede ser calculado a partir de (5) como:

$$S_y = \frac{\Delta g}{\Delta h} \beta^{-1}, \quad (6)$$

siendo $\beta = 2\pi G (\rho_w - \rho_a)$. Si se asume $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ y $\rho_a = 1.2 \text{ kg/m}^3$, β toma el valor 418.36 s^{-2} .

Resultados y discusión

Para poder estimar el rendimiento específico del acuífero Pampeano es necesario contar con datos adquiridos durante un período de tiempo donde las condiciones hidrológicas y climáticas puedan ser consideradas estacionarias. Esto permite asegurar que la única fuente hidrológica sobre la señal del gravímetro son las variaciones de los niveles freáticos producidas por flujo regional. Para asegurar estas condiciones se analizaron los datos de lluvia de la estación meteorológica y los datos de los sensores de humedad de suelo instalados a distintas profundidades en AGGO. Al analizar estos datos se logró identificar un período de tiempo de 19 días

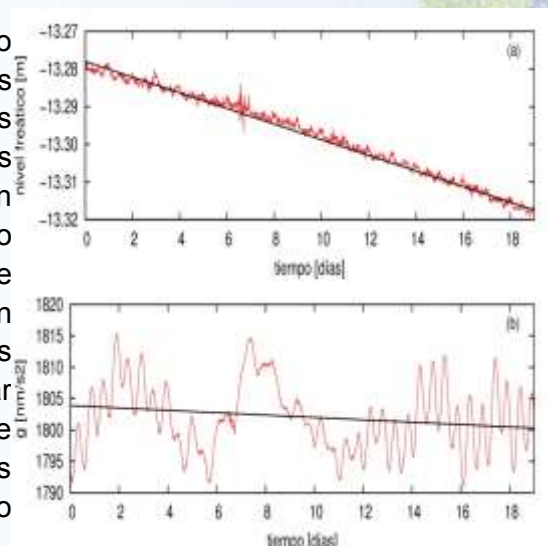


Figura 1: Datos de las variaciones del nivel freático (a) y residuos gravimétricos (b) junto con sus respectivos ajustes lineales.



comprendido entre el 9 y 28 de mayo de 2016 que cumple con las condiciones requeridas por el método.

Como puede observarse en la Fig. 1-a el descenso de los niveles freáticos es un evento lineal. Resulta razonable asumir que el efecto gravimétrico producido por este descenso continuo de los niveles también lo sea. Los datos gravimétricos correspondientes al período del análisis fueron corregidos por efectos de marea, carga oceánica, presión atmosférica y movimiento del polo. Luego, los datos fueron ajustados por una función lineal que representa la contribución a la gravedad debida al efecto de origen hidrológico (ver Fig. 1-b).

A partir de las pendientes obtenidas para ambos ajustes se tiene:

$$\frac{\Delta g}{\Delta h} = 73.921s^{-2}. \quad (7)$$

Reemplazando este valor en (6) se obtiene un valor del almacenamiento específico S_y de 0.18. Este valor es menor que la porosidad del acuífero Pampeano, la cual fue estimada entre 0.35 y 0.39 (Mascioli, et al., 2005).

El valor obtenido con la metodología propuesta es el doble del valor estimado en la localidad de Azul para la misma formación utilizando dos técnicas de cálculo diferentes (Varni et. al., 2010; Guarracino et. al., 2011). Por otro lado, Quiroz-Londoño y colaboradores (2012) estimaron valores de S_y en el rango de 0.09 y 0.13 en la Llanura Interserrana Bonaerense (sudeste de la provincia de Buenos Aires). Estos antecedentes podrían indicar una posible sobrestimación de S_y con la metodología propuesta o indicar una situación particular del acuífero Pampeano en la zona de estudio.

Conclusiones

En el presente trabajo se ha presentado una técnica geofísica para estimar el rendimiento específico mediante mediciones relativas de gravedad in situ utilizando un gravímetro superconductor. Con este fin se derivó una fórmula teórica sencilla que se basa en las mediciones de gravedad y los niveles freáticos de un acuífero libre durante un período sin precipitaciones. La aplicación de esta técnica al acuífero Pampeano en el predio del observatorio AGGO ha permitido estimar un valor del rendimiento específico de 0.18. El resultado obtenido se encuentra en el rango de valores esperables para este parámetro hidráulico. El presente trabajo representa el primer antecedente que estima el rendimiento específico del acuífero Pampeano en la zona de estudio. Por último, resta estimar este parámetro hidráulico utilizando otras técnicas hidrológicas en la zona de interés.

Referencias

- Bear, J., 1988. Dynamics of fluid in porous media. Dover Publications, Inc., New York.
- Guarracino, L., C. N. Tocho y M. Varni, 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, 327-330. Salamanca, España.

Guarracino, L. y C. N. Tocho, 2013. Determinación del coeficiente de almacenamiento o porosidad drenable mediante mediciones de gravedad in situ. Agua subterránea recurso estratégico, Tomo II, 251-254.

Mascioli, S., M. Benavente, D. Martinez, 2005. Estimation of transport hydraulic parameters in loessic sediment, Argentina: Application of column test. Hydrogeology Journal, 13, 849-857.

Neuman, S. P., 1987. On methods of determining specific yield. Ground Water, 25, 679-684.

Pool, D. R. and J.H. Eychaner, 1995. Measurements of Aquifer-Storage Change and Specific Yield Using Gravity Surveys. Ground water, 33(3), 425-432.

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.

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.