



## Estimación de propiedades hidráulicas de un acuífero costero mediante la correlación de datos piezométricos

J. E. Cuello<sup>1,3</sup> y L. Guarracino<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP. [julianecuello@fcaglp.unlp.edu.ar](mailto:julianecuello@fcaglp.unlp.edu.ar)

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

### Resumen

*En este trabajo se presenta un técnica hidrogeofísica que permite estimar los parámetros hidráulicos de un acuífero costero mediante la correlación de series de datos piezométricos medidos en dos pozos situados a diferentes distancias de la línea de costa. Esta técnica constituye una variante del método clásico de marea inducida, donde las propiedades del acuífero se estiman a partir de la correlación entre datos de marea en el río (o eventualmente en el mar) y datos piezométricos medidos en un pozo. La principal ventaja de la metodología propuesta consiste en independizarse de los datos mareográficos que no siempre son factibles de obtener. Por otra parte, la técnica permite prescindir de la medición de la distancia entre el pozo y la costa, que también resulta difícil de estimar con precisión. Para ilustrar la aplicación de esta metodología se realiza una estimación de la difusividad hidráulica para los Sedimentos Postpampeanos en una locación ubicada cerca del Río de La Plata, en el Partido de Avellaneda. Se consideró una serie de datos de 14 días donde se registró un fenómeno de sudestada. Los datos fueron tomados en el marco de un proyecto que se desarrolla para la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR) y la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC). Utilizando la difusividad hidráulica estimada con esta técnica, y el almacenamiento específico calculado a partir de parámetros elásticos, se determinó un valor para la conductividad hidráulica para el Postpampeano que se encuentra dentro del rango de valores estimados mediante ensayos de bombeo.*

**Palabras clave:** Acuífero costero, Marea inducida, Postpampeano, Simulación numérica.

### Introducción

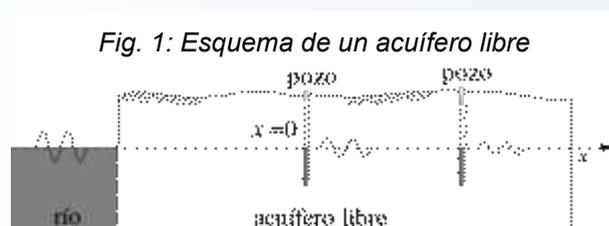
El método de marea inducida consiste en la determinación de parámetros hidráulicos de un acuífero costero a partir de correlacionar variaciones de altura hidráulica con datos de marea medidos en el río (o en el mar). Las bases teóricas de este método se remontan a la década de 1950 con los trabajos de Jacob (1950) y Ferris (1951). La amplitud y desfase de la marea inducida dependen de los parámetros hidráulicos del acuífero. Esta técnica resulta una propuesta alternativa a los tradicionales ensayos de bombeo, que no siempre son factibles de realizar en zonas contaminadas o afectadas por la intrusión salina. En el presente trabajo se

presenta una variante al método de marea inducida para la caracterización hidráulica de acuíferos. Esta variante consiste en correlacionar series de datos piezométricos medidos en 2 pozos a distintas distancias de la línea de costa, sin la necesidad de contar con datos de altura de marea. Esta es la principal ventaja de la metodología propuesta debido a que puede permite estudiar zonas donde no se cuenta con registros mareográficos. Por otra parte, la técnica permite prescindir de la medición de la distancia entre el pozo y la costa, que resulta difícil de estimar con precisión. Para modelar este proceso se resuelve la ecuación general de flujo de agua 1D, utilizando como condiciones de borde la señal observada en el pozo más cercano a la costa, y una condición de flujo nulo en un punto lo suficientemente alejado como para evitar efectos de borde. De esta manera se estiman los parámetros hidráulicos que mejor ajustan a la señal en el segundo pozo situado a una mayor distancia de la costa.

Para ilustrar la aplicación de esta metodología se realiza una estimación de la difusividad hidráulica para los Sedimentos Postpameanos en una locación próxima a la costa del Río de La Plata. Posteriormente, se calcula una conductividad hidráulica a partir de esta estimación y del cálculo del almacenamiento específico.

### Materiales y métodos

Para establecer la relación río-acuífero en el área de estudio se adoptará un modelo conceptual como el que se ilustra en la Fig. 1. La señal de marea se propaga tierra adentro y puede ser detectada en pozos cercanos a la costa.



Si la variación de altura del nivel de agua es mucho menor que el espesor total de los sedimentos, el flujo inducido en el acuífero puede aproximarse mediante las siguientes ecuaciones (Bear, 1988):

$$\frac{\partial q(x,t)}{\partial x} + S_s \frac{\partial h(x,t)}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

$$q(x,t) + K \frac{\partial h(x,t)}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

donde  $q$  es el flujo de agua ( $LT^{-1}$ ),  $h$  la altura piezométrica (L) en relación al nivel medio del río,  $S_s$  el almacenamiento específico ( $L^{-1}$ ),  $K$  la conductividad hidráulica ( $LT^{-1}$ ),  $x$  la distancia al primer pozo (L) y  $t$  el tiempo (T).

Para resolver las ecuaciones (1) y (2) en forma simultánea en el dominio espacial considerado ( $0 \leq x \leq L$ ) y durante el intervalo de tiempo  $T$  ( $0 \leq t \leq T$ ) es necesario imponer condiciones de borde y condiciones iniciales. La condición de borde izquierdo vendrá dada por la señal del primer pozo:

$$h(0,t) = f(t) \quad (3)$$

En el extremo derecho del acuífero la condición impuesta será:

$$q(L,t) = 0, \quad (4)$$

la cual establece que el flujo es nulo en  $x=L$  y para todo tiempo  $t$ . Para completar el planteo matemático del problema se establece como condición inicial que para todo  $x$  la altura piezométrica coincide inicialmente con el nivel medio del río (ver Fig. 1):

$$h(x,0) = 0, \quad (5)$$

El problema (1)-(5) fue resuelto numéricamente mediante un procedimiento híbrido mixto de elementos finitos. El código computacional fue implementado en lenguaje Fortran. La metodología propuesta para la estimación de los parámetros hidráulicos se basa en la comparación de los datos simulados y medidos en el segundo pozo.

Para realizar el ajuste de los parámetros hidráulicos se minimiza la siguiente función de costo:

$$f(D_h) = \text{Máx}[h(d, t_1) - 8C(t_1), h(d, t_2) - 8C(t_2), \dots, h(d, t_n) - 8C(t_n)] \quad (6)$$

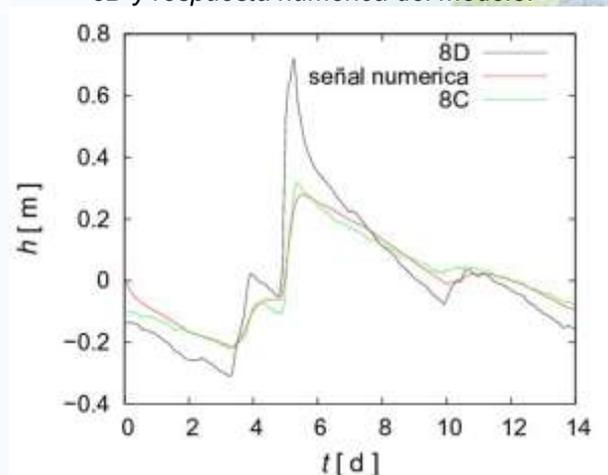
dónde  $D_h=K/S_s$  es la difusividad hidráulica ( $LT^{-2}$ ),  $n$  es el número de datos y  $d$  la distancia entre los pozos. Es decir, se minimiza la máxima diferencia punto a punto entre los datos correspondientes al segundo pozo y la respuesta numérica, que es sensible a la difusividad hidráulica.

## Resultados

La metodología propuesta fue aplicada en una locación ubicada cerca del Río de La Plata, partido de Avellaneda, en el marco de un proyecto que se desarrolla para ACUMAR y CIC. Esta locación cuenta con 2 pozos de monitoreo separados 37m, el más cercano a la costa se denominada 8D y el más alejado, 8C. En estos pozos se midió la variación de altura piezométrica en el acuífero libre del Postpampeano ocasionada por una marea meteorológica (sudestada). Las señales utilizadas tienen una longitud temporal de 14 días, comenzando el 31 de marzo de 2016, y un intervalo de muestreo de 1 hora.

Mediante un método de búsqueda exhaustiva se determinó que el valor de difusividad hidráulica que mejor ajusta a los datos es  $D_h=K/S_s=2803,7 \text{ m}^2/\text{d}$ .

Fig 2: Señales correspondientes a los pozos 8C y 8D y respuesta numérica del modelo.





En la Fig. 2 se muestran las señales correspondientes a la variación de altura piezométrica de los pozos 8D y 8C, y la respuesta numérica del modelo para el valor de difusividad hidráulica óptimo. Puede observarse que el ajuste resulta muy bueno ya que el modelo propuesto permite representar satisfactoriamente los datos observados en el pozo 8C. La mayor diferencia entre la señal numérica y 8C es de 0,06 m y se ubica a los 5 días de medición.

Para estimar el valor de conductividad hidráulica se debe contar con una estimación del almacenamiento específico. A partir del rango de variación de la compresibilidad del terreno para arcillas intermedias a duras obtenido por Domenico y Mifflin (1965) podemos calcular un valor medio de  $S_s=5,35 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ . El valor de conductividad hidráulica resultante es  $K=0,15 \text{ m/d}$ . Este valor se encuentra dentro del rango de 0,08 m/d a 0,38 m/d obtenido por Auge (2004) mediante ensayos de bombeo para la formación Postpampeano.

### Conclusiones

En este trabajo se ha presentado una metodología para estimar parámetros hidráulicos en acuíferos costeros que consiste en correlacionar señales de marea inducida en dos pozos ubicados a distintas distancias de la línea de costa. La ventaja principal de esta variante del método de marea inducida consiste en independizarse de los datos de un mareógrafo cercano, permitiendo aplicarla en zonas que no cuenten con esta información básica. Por otra parte, la técnica permite prescindir de la medición de la distancia entre el pozo y la costa, que también resulta difícil de estimar con precisión. El método propuesto se basa en la resolución de la ecuación de flujo mediante un método mixto de elementos finitos para simular la interacción entre las señales observadas.

Para ilustrar la aplicación de esta metodología se realizó una estimación de la difusividad hidráulica para los Sedimentos Postpampeanos en una locación ubicada cerca del Río de La Plata en el partido de Avellaneda. La serie de datos analizada tiene una extensión de 14 días e incluye un fenómeno de sudestada. Utilizando los valores de difusividad hidráulica estimada y de almacenamiento específico calculado a partir de parámetros elásticos, se obtuvo un valor para la conductividad hidráulica que se encuentra dentro del rango de valores determinados mediante ensayos de bombeo.

### Referencias

Auge, M., 2004. Hidrogeología Ambiental II, Buenos Aires.

<http://www.gi.fcen.uba.ar/investigacion/grupos/hidrogeologia/auge/HidroGeo2.pdf>

Bear J., 1988. *Dynamics of fluids in porous media*. Dover, New York, 1<sup>st</sup> edition.



---

Domenico, P. A., y Mifflin, M. D., 1965. Water from low permeability sediments and subsidence. *Water Resources research*, 1(4): 563-576.

Ferris, J.G., 1951. Cyclic fluctuations of water level as a basis for determining aquifer transmissibility. *Int. Assoc. Sci. Hydrol. Pub*, 33: 148-155.

Jacob, C.E., 1950. Flow of groundwater. In: *Rouse H de Engineering*. Wiley, New York.