



## I CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA AMBIENTAL EN SISTEMAS ACUÁTICOS, CChIASA

### ESTUDIO EXPERIMENTAL Y NUMÉRICO DE LA FORMACIÓN DE UN LENTE DE AGUA DULCE EN UNA ISLA BIDIMENSIONAL (2D)

**JOSÉ ZOLEZZI LÓPEZ<sup>1</sup>**  
**PAULO HERRERA RICCI<sup>2</sup>**

#### RESUMEN EXTENDIDO

La intrusión salina en acuíferos que se ubican bajo islas, se ha convertido en la principal causa de degradación de la calidad del agua que abastece asentamientos cercanos a costas. Este fenómeno se debe a la instalación de pozos en las cercanías del mar y se vuelve más grave en sistemas en que se desconoce su dinámica. Motivado por lo anterior, nuestro trabajo consistió en la implementación de modelos experimentales y numéricos que simularon la formación de un lente de agua dulce en una isla bidimensional. En particular, nos interesaba estudiar la forma y profundidad de la interfaz que separa el agua dulce y el agua de mar considerando situaciones de régimen cuasi-permanente, y la influencia de la recarga superficial y la conductividad hidráulica sobre ellos. Además, buscábamos verificar la validez de las soluciones analíticas existentes para modelar este problema y la relevancia de otros parámetros sobre la dinámica de la formación de acuíferos costeros.

Para cumplir esto, diseñamos y construimos un montaje experimental que simula un acuífero homogéneo y las condiciones de nivel de mar en la costa y recarga uniforme sobre la superficie de la isla. Realizamos seis experimentos de laboratorio, considerando tres tasas de recarga superficiales y dos medios permeables de distintas conductividades hidráulicas que se detallan en la Tabla 1. Para observar la interfaz entre el agua dulce y salada, se utilizó un colorante para teñir el agua dulce proveniente de la recarga del sistema, lo que permitió estudiar la evolución temporal de la interfaz mediante fotografías de cada experiencia como la que se muestra en la Figura 1. A través de un análisis de las imágenes, se logró identificar la interfaz y la profundidad máxima de ésta para distintos tiempos.

---

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Civil Universidad de Chile, jose.zolezzi@gmail.com

<sup>2</sup> Ingeniería y Desarrollo de Proyectos Paulo Herrera E.I.R.L., paulo.herrera.eirl@gmail.com

Experiencia	Abreviación	Conductividad Hidráulica [m/s]	Recarga Superficial [m/d]
1	$K_1R_1$	8,16E-03	1,85
2	$K_1R_2$	8,16E-03	1,38
3	$K_1R_3$	8,16E-03	0,92
4	$K_2R_1$	3,53E-03	1,85
5	$K_2R_2$	3,53E-03	1,38
6	$K_2R_3$	3,53E-03	0,92

Tabla 1: Experiencias de laboratorio realizadas según conductividad hidráulica y recarga superficial utilizada.



Figura 1: Forma de la interfaz de densidad en régimen permanente para la experiencia 3. La interfaz corresponde a la frontera entre las zonas con distinto color.

Comparamos los resultados experimentales con simulaciones de un modelo numérico construido con el paquete computacional COMSOL que implementa el problema de flujo saturado de dos fases miscibles en un medio permeable, como el montado experimentalmente. Los parámetros relevantes se asignaron de acuerdo a las propiedades del suelo y las condiciones de borde e inicial según lo observado en el montaje. Los resultados del modelo fueron comparados cualitativa y cuantitativamente con lo encontrado mediante el análisis de imágenes de los experimentos y las soluciones analíticas propuestas para modelar situaciones similares (Fetter, 1972; Vacher, 1988).

A su vez, respecto a la evolución impermanente del lente de agua dulce, se compararon los resultados de cada experiencia con la solución analítica de Stuyfzand & Bruggeman (1994), arrojando un error cuadrático medio normalizado (NRMSE) promedio de 5% entre todos los casos, siendo el mínimo de 2% para la experiencia 5 y el máximo de 9% para la experiencia 3. Este resultado apunta a que el montaje fue capaz de recrear de buena manera el proceso transiente, sobretodo en los primeros minutos, donde ocurre la mayor profundización del lente.

Se encontró también, que la relación adimensional entre la profundidad y los parámetros relevantes en estudio, indica que existe cercanía entre el mejor ajuste obtenido de los resultados experimentales y las curvas esperadas para las soluciones analíticas estudiadas, como se muestra en la Figura 2.



En base a lo anterior, se concluye que las soluciones analíticas representan razonablemente la forma y evolución de la interfaz en el tiempo obtenidas con el montaje experimental, validándose para razones de aspecto entre la profundidad máxima del lente en el centro y el ancho de la isla inferiores a 1:5, ratificando resultados previos obtenidos por otras investigaciones (Dose et al., 2014) con montajes similares.

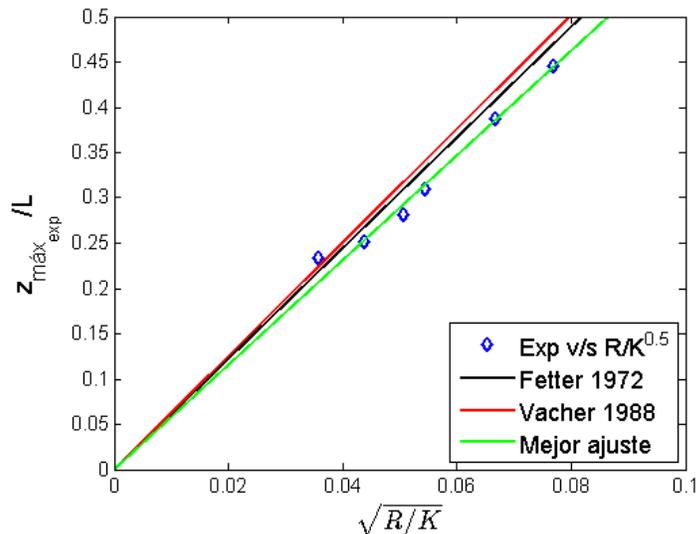


Figura 2: Relación adimensional entre el cociente y la profundidad del lente de agua dulce final ( $z_{máx}$ ) y el ancho de la isla ( $L$ ) versus el cociente entre  $R$  y  $K$ .

Además, se concluyó que la conductividad hidráulica es el parámetro que condiciona prioritariamente el alcance del lente de agua dulce, ya que afecta la magnitud de los flujos dentro del medio permeable, permitiendo mayor profundización si el proceso es más lento, mientras la tasa de recarga sólo tiene una influencia menor en el inicio de la formación del lente de agua dulce que confirma el acuífero superficial.

Los resultados indican que las soluciones analíticas de Fetter (1972) y Vacher (1988) son apropiadas para representar la forma y profundidad de la interfaz de densidad en régimen cuasi-permanente, salvo por la zona de salida de agua dulce desde el acuífero hacia el mar, que no es considerada en la teoría de interfaz abrupta, base de ambos autores en su planteamiento. En ese sentido, aplicar estas soluciones entrega una primera aproximación de las características de la interfaz y la forma y tamaño del acuífero o lente de agua dulce en una sección bidimensional de una isla real.

## Referencias

Dose, E. J., Stoeckl, L., Houben, G. J., Vacher, H., Vassolo, S., Dietrich, J. & Himmelsbach, T. (2014). Experiments and modeling of freshwater lenses in layered aquifers: steady state interface geometry. *Journal of Hidrology* 509, 621 – 630.

Fetter, C. (1972). Position of the saline water interface beneath oceanic islands. *Water Resources Research* 8(5), 1307-1315.



Stuyfzand, P. J. & Bruggeman, G. (1994). Analytical approximations for fresh water lenses in coastal dunes. In: Proc. 13th Salt Water Intrusion Meeting (SWIM), Cagliari, Italy.

Vacher, H. (1988). Dupuit-Ghyben-Herzberg analysis of strip-island lenses. Geological Society of America Bulletin 100(4), 580-591.