

Análisis del transporte de solutos en medios porosos utilizando procesamiento de imágenes de un modelo físico 2D (sand box)

Analysis of the transport of solutes through a porous medium using image-processing of a 2D physical model (sand box)

(Recepción 29/12/2016; Aceptación 10/03/2017)

Bayuelo Sierra, A.J.¹; Lora Ariza, B.J.²; Lora Castro, B.J.³; Castro Alcalá, E.⁴; Donado Garzón, L.D.⁵

¹Universidad Nacional de Colombia, Av NQS # 45 -03 LEH (408-207) Bogotá

²Universidad Nacional de Colombia, Av NQS # 45 -03 LEH (408-207) Bogotá

³Universidad del Atlántico, Km 7 vía al Puerto Colombia. Bloque C of 601 Barranquilla

⁴Universidad Nacional de Colombia, Av NQS # 45 -03 LEH (408-207) Bogotá

⁵Universidad Nacional de Colombia, Av NQS # 45 -03 Lab Hidráulica (409-310) Bogotá

Teléfono: +57 3016415677

Email: ajbayuelos@unal.edu.co

Resumen. *Conservar la calidad y cantidad del agua subterránea es una de las principales metas de la hidrogeología. Para ello resulta útil conocer el comportamiento de los contaminantes entendidos como solutos a través de los medios porosos. Existen varias metodologías para analizar el comportamiento hidrodinámico de estos, ejemplo de ello son los modelos físicos bidimensionales conocidos como Sand Boxes. En el presente artículo se presenta una propuesta para realizar el procesamiento de imágenes, entendido como el mejoramiento digital de las mismas, obtenidas durante el proceso de transporte de solutos utilizando sand boxes, para minimizar el ruido ocasionado por el brillo, la forma del lente de la cámara, el movimiento en el modelo, entre otros.*

Palabras clave. *Sand Box, Transporte de solutos, mejoramiento de imágenes.*

Abstract. *Preserving the quality and quantity of groundwater is one of the main goals of the hydrogeology. To this end, it is useful to gain a greater understanding on the behavior of contaminants, viewed as solutes through the porous media. There are several methods for studying the hydro-dynamic behavior of the solutes, for instance the two-dimensional physical models known as Sand Boxes. This paper provides a proposal to enhance images, meaning the digital process of improvement, obtained during the sand boxes tracer test which describes transport processes, in order to reduce the noise produced by the brightness effects, the kind of the camera lens, the movements in the model, etc.*

Keywords. *Sand Box, Transport of solutes, image enhancement.*

1. Introducción

El agua subterránea representa, aproximadamente el 98% del agua dulce no congelada del planeta, y su uso ha ido en aumento en las últimas décadas, principalmente por la contaminación en las fuentes hídricas superficiales, su presencia generalizada, su buena calidad, y por los avances en cuanto al conocimiento de los procesos hidrogeológicos (UNESCO 2016). Por ello, se requiere aumentar el conocimiento de los procesos hidrogeológicos y de transporte de contaminantes en medios porosos, fracturados y cársticos para garantizar la calidad de este recurso (Villholth & Giordano, 2007).

Determinar la concentración espacio temporal de un contaminante, es el principal reto de la modelación física y numérica de los procesos de transporte (Sanchez Triana, 1995). Los sand boxes (caja de arena) son modelos físicos bidimensionales ampliamente utilizados en la hidrogeología para el estudio de los procesos de transporte de contaminantes. Estas cajas son fabricadas por lo general en acrílico para permitir la visualización del flujo de contaminantes a través de un medio poroso (Illman et al, 2010).

El análisis de las concentraciones puede realizarse mediante la adquisición de imágenes, relacionando la intensidad de los píxeles con la concentración del contaminante. Sin embargo, este enfoque representa retos adicionales: En la adquisición, debido al ángulo de incidencia de la luz, el color de los granos, la forma de los lentes de la cámara, los desplazamientos del sistema (Castro Alcalá et al, 2012); En el procesamiento: El establecimiento de la relación espacio temporal, la apropiada segmentación del trazador, la determinación de los niveles de concentración, etc. Todo lo anterior introduce ruido en las imágenes a trabajar. En este artículo se presenta una metodología para abordar los problemas anteriormente señalados, disminuyendo el ruido y maximizando la fidelidad de la información adquirida con el fenómeno estudiado.

2. Procedimiento experimental

La fase de experimentación fue realizada en un modelo físico bidimensional conocido como sand box, el cual consiste en una caja fabricada en acrílico transparente 70 cm x 45cm x 4 cm (largo x alto x ancho) y espesor de paredes de 0.8 cm llenada con arena, en la cual es posible representar los procesos



de flujo y transporte de solutos mediante un ensayo de trazador (Botero-Acosta & Donado, 2015).

El sand box cuenta con 30 pozos transversales (4 mm de diámetro) que sirven para inyectar el contaminante (soluta) a transportar, tomar muestras y medir las concentraciones, así como dos tubos de PVC ranurados en sendos extremos del modelo los cuales permiten simular una condición de flujo regional con un gradiente hidráulico bajo, tal y como se aprecia en la Fig. 1. Este modelo, representa un acuífero heterogéneo llenado con arena #30 (gruesa 0,6 mm, elevada permeabilidad: 225 m/día) y con un lente central de arena #60 (fina 0.3 mm, de baja permeabilidad: 16 m/día).

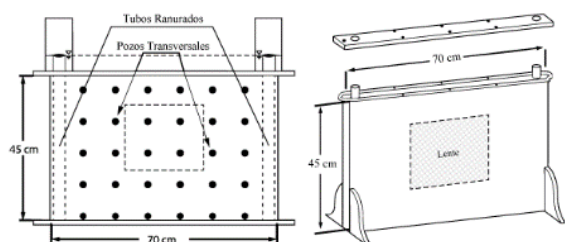


Figura 1. Esquema del Sand box empleado.

2.1. Ensayo de Trazadores

Para este ensayo, agua potable se introdujo mediante una bomba peristáltica por un extremo del sand box con un caudal de 300 ml/min. Un gradiente hidráulico constante de 0.1 (7 cm en vertical por cada 70 cm en horizontal) es creado entre el reservorio de abastecimiento y la salida del modelo logrando condiciones de flujo constante. Luego de esto, se inyectó una solución salina con Eosina Amarillenta tipo Y (trazador conservativo) con una concentración de 1.023 mg/L durante el experimento. Finalmente se extrajeron muestras del fluido cada 60 segundos para medir su concentración y obtener las curvas de llegada (BTC por sus siglas en inglés Breakthrough curves).

2.2. Adquisición de imágenes

El sand box fue ubicado en una cabina relativamente oscura, iluminada únicamente con luz halógena. Usando una cámara digital Sony HandyCam HDRXC625B en modo HD y una lente angular (lente G, distancia focal 35 mm, diámetro del filtro 46 mm) se obtuvo imágenes del ensayo de trazadores. La resolución de esta cámara es de 4912 x 3264 píxeles (16 Megapíxeles) en el espacio de color RGB. De cada imagen se segmenta un rectángulo de 3500 x 2300 píxeles (8 Megapíxeles) donde ocurre el fenómeno de transporte. Las imágenes fueron tomadas cada 60 segundos, es decir, al mismo tiempo que fueron extraídas las muestras del fluido para así realizar la correlación entre color de píxel y concentración. Cabe resaltar que la cámara se ubicó a 2.5 m del modelo físico estudiado.

2.3. Procesamiento de imágenes

El espacio de color RGB representa todos los posibles colores que pueden ser formados por la terna de canales rojo, verde y azul, la mayoría de los dispositivos de visualización (display systems) usan este espacio (Nishad & Manicka, 2013). Por su parte, el espacio de color HSV separa el valor de Brillo [V] del resto de la información de color (cromaticidad), esto es, del matiz [H] y de la Saturación [S]. (Sural et al, 2002).

La variación heterogénea del brillo en la imagen dificulta la segmentación del trazador y los diferentes tipos de fondo, por lo tanto es considerada como ruido. Para homogeneizar el brillo se hizo una transformación del espacio de color a HSV, donde el canal del brillo está separado, mediante las relaciones propuestas por Wen et al. (2013). En este espacio de color se determinó y asignó la cantidad de brillo a todos los píxeles de la imagen en 110 (cantidad adimensional en una escala de 0 a 255). Finalmente se regresó al espacio de color RGB. Los resultados de este procedimiento se pueden apreciar en la Fig. 2.

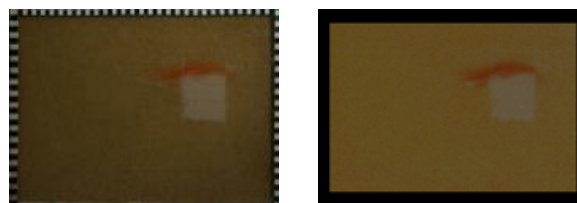


Figura 2. Homogeneización de valor del brillo.

Con el fin de correlacionar la información puntual de color de cada canal con las mediciones reales de concentración del contaminante, se realizaron ensayos de trazadores, así, diferentes curvas de llegada (BTC) fueron obtenidas. Se encontraron diferencias significativas entre las señales de cada uno de los canales de color. Las señales de los canales verde y azul resultaron estar mucho mejor correlacionadas con la concentración que las del rojo, el cual presenta la mayor cantidad de ruido de los tres canales (ver Fig. 3). Basados en esto y considerando la naturaleza amarillenta del trazador, se seleccionó el verde como el canal de trabajo.

2.4. Relación entre la cantidad de color y concentración del soluto

Con el fin de corroborar que la cantidad de color permite describir el comportamiento de la concentración de un soluto (contaminante), se midió tanto la conductividad eléctrica (función de la concentración de solutos en el agua), como la cantidad de color verde en el mismo punto (Fig. 4). La relación entre la cantidad de color verde y la concentración de soluto fue obtenida utilizando la relación 1:

$$I(x) = \frac{I_{max}(x) * C(x)}{C_{max}(x)} \quad (1)$$

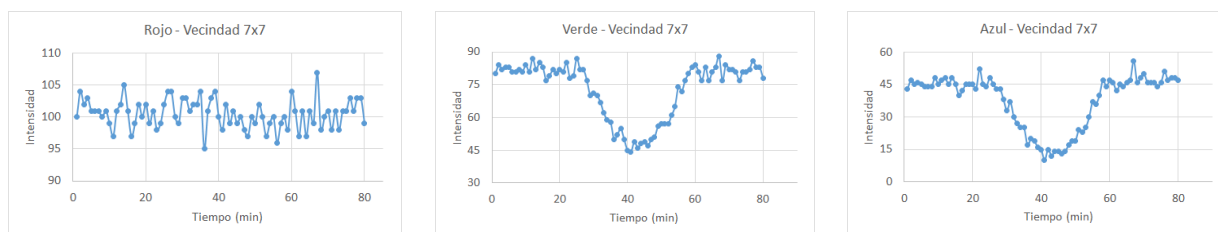


Figura 3. Señales puntuales de los canales de color (RGB) en función del tiempo, a las imágenes se le aplicó un filtro mediana con vecindad de 7x7.

donde $I(x)$ es la intensidad del color verde en la ubicación x , e $I_{max}(x)$ es el valor más elevado de intensidad de color en el mismo punto.

La concentración de la solución salina con Eosina es representada por $C(x)$, mientras que $C_{max}(x)$ es el valor más elevado de concentración en el punto x .

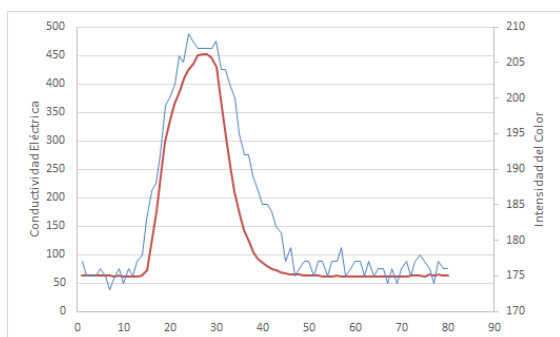


Figura 4. Correlación entre intensidad de color y conductividad eléctrica.

2.5. Eliminación del ruido producido por la diferencia de colores en los granos

El medio poroso utilizado está caracterizado por dos tipos de arenas de diferentes granulometrías previamente tamizadas y lavadas con agua desionizada para evitar alteraciones en las mediciones de la concentración mediante la técnica de conductimetría. Durante el proceso de llenado (packing), se intentó que los granos de las arenas empleadas tuviesen el mismo color, sin embargo esto no fue posible dada la naturaleza heterogénea de la cantera de donde fue extraído el material. A pesar de que la mayoría de los granos son de color amarillento, existen otros más oscuros que introducen ruido. Por ello, se generaron nuevas imágenes, a partir de las originales, en las cuales se aplicó un filtro mediana con una vecindad de 31 x 31 píxeles. Como resultado de dicho filtro, cada píxel fue reemplazado con el promedio de color, por canal, de la vecindad. Esta vecindad fue determinada luego de probar con varios tamaños y concluir que ésta optimiza la reducción del ruido, con la menor pérdida de información posible, variables que son contrarias en el procesamiento de imágenes.

3. Resultados

Luego de aplicar la técnica de reducción del ruido, descrita anteriormente, se presenta la secuencia del procesamiento donde se evidencia la mejora sustancial de las imágenes para realizar el análisis del transporte de solutos utilizando modelación física (ver Fig. 5).

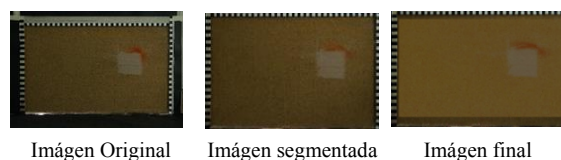


Figura 5. Secuencia de procesamiento de imágenes.

Se observó que reducir las imágenes empleando vecindades superiores a 40 x 40 píxeles, disminuye significativamente el ruido producido por heterogeneidades en las características físicas de los granos del medio, sin embargo esto conlleva a una pérdida de información. Se determinó que una vecindad de 31 x 31 píxeles permite reducir significativamente el ruido y brinda información relevante para el análisis del transporte de solutos a través de un medio poroso, por cuanto las BTC encontradas utilizando el método de conductimetría tienen una alta correlación con las obtenidas al analizar el color de los píxeles en cada imagen.

4. Conclusiones

El método propuesto es apropiado para mejorar las imágenes y lograr resultados que permitan analizar adecuadamente las propiedades de transporte de solutos. Esta técnica resulta valiosa cuando se desea estudiar procesos de transporte mediante modelación física y las imágenes a trabajar presentan ruidos producidos por factores externos. Además este método es adecuado cuando el modelo físico es llenado utilizando arena heterogénea en color. Para el mejoramiento de las imágenes, el método nos muestra que los tamaños de vecindad óptimos, en imágenes de 8 Megapíxeles, son aquellos mayores de 11x11 píxeles y menores de 51x51 píxeles, sugiriendo uno de 31x31 píxeles (en imágenes de menor resolución estos valores pueden generar pérdida de información). El canal rojo en el espacio

de color RGB genera mucho ruido, por lo tanto no se recomienda utilizarlo como un indicador de concentración de soluto a través de los medios porosos en la modelación física al utilizar el trazador Eosina Amarillenta tipo Y.

Referencias

- Botero-Acosta, A., Donado, L. (2015). “Simulación a escala de laboratorio de barreras hidráulicas contra la intrusión salina en acíferos costeros confinados considerando los efectos de la estratificación del medio.” Maestría thesis. Universidad Nacional de Colombia. Bogota.
- Castro Alcalá, E., Fernandez Garcia, D., Carrera, J., Bolster, D. (2012). “Visualization of Mixing Processes in a Heterogeneous Sand Box Aquifer.” *Environmental science and technology*, 46, pp. 3228-3235. DOI:10.1021/es201779p
- Illman, W., Zhu, J., Craig, A., Yin, D. (2010). “Comparison of aquifer characterization approaches through steady state groundwater model validation: A controlled laboratory sandbox study.” *Water Resources Research*, 46. doi:10.1029/2009WR007745
- Nishad, P. M., Manicka, R. (2013). “various colour spaces and colour space conversion algorithms.” *Journal of Global Research in Computer Science*, 4, pp. 44-49.
- Oliviera, I. B., Demond, A. H., Salehzadeh, A. (1996). “Packing of sand for the production of homogeneous porous media.” *Soil science Society*, 60 pp. 49-53.
- Sanchez Triana, E. (1995). “Licencias ambientales: Evaluación del impacto ambiental: instrumento de planificación.” Tercer mundo editores. Bogotá, Colombia.
- Sural, S., Qian, G., Pramanik, S. (2002). “segmentation and histogram generation using the hsv color space for image retrieval.” *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 589-592.
- UNESCO. (s.f.). “El agua subterránea en un medio ambiente cambiante.” (UNESCO) Recuperado el 2016, de Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe: <http://www.unesco.org/new/es/office-in-montevideo/ciencias-naturales/water-international-hydrological-programme/aguas-subterraneas/>
- Villholth, K. G., Giordano, M. (2007). “The agricultural groundwater revolution: Opportunities and threats to development.” CAB international. Sunil Mawatha, Pelawatte, Sri Lanka
- Wen, L., Xu, C., Tao, L., & Zheng, T. (2013). “Implementation of RGB to HSV Color Space Conversion with Xilinx”. A. Ghanbari, Ed. *Advanced Materials Research*, pp. 527-534. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.816-817.527