

Modelo Físico de Acuífero: su implementación para un curso de aguas subterráneas

*Serrano-Guzmán, María Fernanda**; *Pérez Ruiz, Diego Darío***;
*Guzmán Arias, Diego Alejandro**; *Forero Sarmiento, Juan Carlos**

Resumen

El objetivo principal fue desarrollar un modelo físico que posibilitara la implementación del Modelo Pedagógico Integrado (MPI) dentro del curso de Hidrología Subterránea en el currículo de Ingeniería Civil. Para lograrlo, mediante el trabajo conjunto docente-discente, se realizó el diseño y la construcción de un modelo físico bidimensional de un acuífero elaborado con materiales existentes en el ámbito universitario. Los resultados de la experiencia permitieron que los discentes que interactuaron con el modelo físico de acuífero afianzaran competencias instrumentales, interpersonales y sistémicas relacionadas con la distribución del agua en el ambiente subterráneo. Asimismo, la estructura y dimensiones del modelo físico permitieron al docente el desarrollo de ejercicios prácticos focalizados en la interacción entre el recurso hídrico superficial y el subterráneo.

Palabras clave: hidráulica, acuífero, modelo físico

Este artículo resume la experiencia pedagógica que permitió incorporar el modelo pedagógico integrado en el curso de Aguas Subterráneas a nivel del pregrado en Ingeniería Civil; la construcción del prototipo fue parte de los compromisos contractuales de una investigación cofinanciada por Ecopetrol, el Instituto Colombiano del Petróleo y la Dirección General de Investigaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Artículo recibido el 21/05/2013 y admitido el 23/12/2013.

Autores: *Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga (Bucaramanga, Colombia); **Departamento de Ingeniería Civil e Industrial, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana (Cali, Colombia). Contacto: mariaf.serrano@upb.edu.co

Aquifer Physical Model: its implementation in a groundwater course

Abstract

The main goal of this project was to develop a physical model aimed to facilitate the implementation of an Integrated Pedagogical Approach (IPA) in the Groundwater course at the Civil Engineering Department. A collaborative effort was made between professors and students during the design and construction of an aquifer two-dimensional physical model using resources available in college context. The results of building as an educational tool and the interaction with the physical model made easier for the students the understanding of theory and its relationship with the groundwater distribution and transport phenomena. Moreover, the design and dimensioning of the physical model allowed the professor to develop learning tasks focused on the surface water-groundwater interaction.

Keywords: hydraulics, aquifer, physical model

Modelo Físico de Aquífero: sua implementação para um curso de águas subterrâneas

Resumo

O objetivo principal foi desenvolver um modelo físico que possibilitasse a implementação do Modelo Pedagógico Integrado (MPI) no curso de Hidrologia Subterrânea no currículo de Engenharia Civil. Para conseguir isso, através do trabalho conjunto docente-discente, foi realizado o projeto e a construção de um modelo físico bidimensional de um aquífero elaborado a partir de materiais existentes na universidade. Os resultados da experiência permitiram aos discentes que interagiram com o modelo físico de aquífero consolidarem competências instrumentais, interpessoais e sistêmicas relacionadas com a distribuição da água no ambiente subterrâneo. Além disso, a estrutura e as dimensões do modelo físico permitiram aos docentes desenvolverem exercícios práticos focados na interação entre os recursos hídricos superficiais e os subterrâneos.

Palavras chave: hidráulica, aquífero, modelo físico

I. Introducción

La dinámica de la economía de los países, la amplia oferta de programas académicos y el interés de responder a las necesidades del mercado han suscitado la actualización de los currículos de los programas académicos existentes en buena parte de Instituciones de Educación Superior, por cuanto deben responder a estas necesidades para mantenerse activas. Tanto los docentes como los discentes, en la actualidad, se enfrentan a un mundo cambiante, lo cual genera una fuerte responsabilidad en el docente para el desarrollo de diferentes prácticas que permitan que el estudiante, además de utilizar lo aprendido, se familiarice con nuevos contenidos partiendo de su propia experiencia y se enfrente y resuelva nuevos problemas en su futura práctica (Salicetti y Romero, 2010).

La Universidad Pontificia Bolivariana y su sistema nacional de Universidades, inmersos en la normativa del Ministerio de Educación en Colombia, han establecido los lineamientos para la implementación del Modelo Pedagógico Integrado (MPI) e el interior de la institución (Serrano *et al.*, 2013). Mediante el MPI se espera que la docencia, al igual que en los enfoques del Espacio Europeo de Educación Superior, se focalice en el alumno, lo que requiere propiciar los escenarios de aprendizaje y las condiciones adecuadas para que los futuros profesionales desarrollen las competencias y encuentren las herramientas adecuadas para ello (Salicetti y Romero, 2010). En esencia, el MPI propende al desarrollo de estrategias pedagógicas fundamentadas en la investigación, con las cuales el discente se enfrenta a problemas de su entorno mediante investigación práctica, investigación-acción o con la investigación aplicada o empírica, estando esta última soportada en los conocimientos adquiridos (Vargas, 2009). Por lo tanto, con el MPI se favorece una pedagogía participativa apoyada en el trabajo cooperativo y colaborativo y en la enseñanza centrada en el estudiante (Serrano-Guzmán *et al.*, 2011).

Este artículo presenta la estrategia pedagógica implementada en el curso de Hidrología Subterránea ofrecido en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga (Colombia), en donde se elaboró un acuífero a escala bidimensional.

Con este modelo físico es posible la comprensión de fenómenos tales como la movilidad del agua y la interacción agua superficial-agua subterránea.

Para abordar la temática, se presenta la descripción de los criterios de diseño considerados, la importancia de los preconceptos para construir el conocimiento y las representaciones internas y externas asociadas al proceso de aprendizaje. Posteriormente, se describe el procedimiento constructivo del modelo físico del acuífero con el fin de que sirva de guía para otros desarrollos en el interior del aula.

II. Información estructural, comportamental y funcional para la construcción de un modelo físico

En general, todos los seres humanos son diseñadores porque tienen la capacidad de hacer cosas (modelos físicos) partiendo de diferentes materiales utilizados en condiciones complejas y en ocasiones inciertas. Por lo tanto, un diseño de un modelo físico puede llegar a ser bueno en cuanto considere diferentes perspectivas, permita la generación de alternativas de uso y el planteamiento de un funcionamiento en condiciones extremas, de manera que se facilite un progreso educativo (Eastman, 2001), el cual normalmente parte de la observación. Hacer un modelo físico, por lo tanto, es tener la capacidad de transformar las cosas en un estado deseado, partiendo de la creatividad del individuo, logrando que, cada vez que se utilice, se enfrente a nuevas situaciones que le permitan reflexionar sobre los diferentes comportamientos que se den en el modelo físico construido, permitiendo hacer de éste, un elemento dinámico (Zimring, 2001).

De acuerdo a lo anteriormente descrito, para elaborar un modelo físico se debe considerar la información estructural, comportamental y funcional: ECF (Eastman, 2001). Con referencia a la estructura, se toman en cuenta los materiales, la forma y la geometría, para permitir la materialización del diseño; lo comportamental corresponde a los parámetros de medición que pueden ser obtenidos con el modelo físico diseñado y construido, en tanto que lo funcional refiere a las respuestas que el modelo físico da a los objetivos para los cuales fue construido.

En esencia, quien diseña construye mentalmente los modelos considerando su punto de vista y teniendo en cuenta también la información ECF, los diferentes actores que podrán utilizar este diseño, las perspectivas fenomenológicas que pueden representarse y la interrelación de éstas con el espacio, así como también la inclusión de simulaciones mentales previas al diseño (Brereton *et al.* 1996; Cross y Cross, 1996; Dors, 1997; Eastman, 2001). En consecuencia, el diseño de modelos físicos está relacionado con la labor de ingeniería, donde se hace una representación espacial de uno de los campos de estudio, siendo una preocupación constante la forma como el educando aprende (Serrano *et al.*, 2013). Es en esta forma como los diseños pueden adquirir diferentes usos y ser utilizados para la representación de razonamientos también en condiciones diferentes (Eastman, 2001).

Por tal razón, para el caso específico de un acuífero, cumplieron un papel importante las experiencias de los estudiantes con relación a los sistemas de extracción de agua y a los problemas de contaminación del recurso superficial, así como también a la ausencia de este recurso en las fincas de algunos de ellos, llegando al extremo de verse afectada la economía familiar por la ausencia del agua. El aporte de los discen-tes con relación a la información ECF mediante la integración de los conceptos teóricos y el uso de la memoria permitió interrelacionar el contexto, externo e interno, para construir –en laboratorio– un modelo físico versátil con el que es posible visualizar algunas de las problemáticas asociadas con los recursos hídricos, en especial los subterráneos.

III. Aplicación del MPI en aguas subterráneas

Para la aplicación del MPI en el currículo de la asignatura *Aguas Subterráneas* fue necesario incluir tanto estrategias pedagógicas como trabajo de campo.

Las estrategias pedagógicas consistieron en exposiciones magistrales del docente orientadas fundamentalmente a introducir los conceptos básicos acerca de la naturaleza y funcionamiento de una de las mayores reservas de agua dulce del Planeta, seminarios organizados por los estudiantes, revisión de artículos científicos, redacción de artículos

científicos, actividades de evaluación personalizadas, a manera de pruebas cortas.

El trabajo de campo se llevó a cabo en áreas de explotación de pozos para abastecimiento de agua a la comunidad. Se focalizó en investigar acerca de la ocurrencia de las aguas subterráneas, las características constructivas de los pozos de abastecimiento y la identificación de zonas en donde es necesario y viable el suministro de agua por bombeo.

El ejercicio colaborativo del modelo físico de acuífero, es decir, la construcción de un modelo físico bidimensional, implicó:

- Aplicar los conceptos teóricos asociados con los tipos de acuíferos (confinados y no confinados) y con el funcionamiento hidrodinámico de los mismos (nivel freático, mecanismos de recarga, descarga, explotación, pruebas de pozo, cono de depresión).

- Identificar el material apropiado para la construcción del modelo físico y las dimensiones adecuadas para el movimiento en dos dimensiones.

- Construir sistemas para la visualización de la interacción del recurso hídrico superficial y subterráneo.

Con respecto al método anterior de enseñanza, en este MPI se motiva al estudiante para la indagación, ya que se lo está incentivando a la integración del pensamiento teórico-práctico, a la observación para el desarrollo de la destreza de análisis cualitativo de eventos, al desarrollo de la iniciativa para el estudio del efecto de la explotación inadecuada en el sistema hídrico, y a la incorporación de experiencias previas en el laboratorio para seleccionar el material más adecuado para la construcción de un modelo físico de acuífero.

III.1. Justificación del modelo físico de acuífero para la enseñanza-aprendizaje en la asignatura Aguas Subterráneas

La contaminación de suelos y aguas subterráneas, producto del derrame de compuestos, puede afectar grandes zonas dependiendo de las condiciones de movilidad establecidas por las características y propiedades del contaminante y de los materiales constitutivos del subsuelo, la proximidad del nivel freático a la superficie y la interconectividad del acuífero o acuíferos afectados, pudiendo producir un deterioro de la

calidad del ambiente y poniendo en riesgo la salud humana. En el caso de derrames de material contaminante sobre sedimentos saturados, se incrementa el riesgo de contaminación ya que su movilidad y las características propias del medio hacen difícil la localización, caracterización y posterior remediación (Serrano *et al.*, 2009; Moran *et al.*, 2007; Sneddon *et al.*, 2002; Sneddon *et al.*, 2000; Brusseau *et al.*, 2003; Jalbert y Dane, 2001).

La complejidad en demostrar la influencia de la contaminación en el ambiente subterráneo por diferentes agentes ha motivado la construcción de modelos físicos en los que es posible el estudio del movimiento de flujo en el subsuelo y la simulación de la movilidad de estos compuestos en la zona saturada (Abriola y Pinder, 1985; Baehr y Corapcioglu, 1987; White y Oostrom, 2000; Kechavarzi *et al.*, 2005). Con el modelo físico bidimensional propuesto se posibilita la simulación y visualización del flujo y el transporte de un contaminante, haciendo uso de trazadores colorimétricos que no afectan las condiciones del escurrimiento.

III.2. Procedimiento constructivo del modelo físico

El desarrollo del modelo físico de acuífero implicó el desarrollo de las siguientes etapas:

III.2.1. Diseño del tanque

El requerimiento de un modelo físico bidimensional obedeció al interés de hacer del mismo una herramienta de aprendizaje que fuera transportable al aula. Por ello, se contempló un vehículo de acción manual sobre el cual se montó el modelo físico, que garantizara el flujo en dos dimensiones. Las paredes del acuífero se construyeron en vidrio con el fin de asegurar la visibilidad del movimiento del agua.

III.2.2. Selección del material poroso, llenado del tanque, construcción e instalación de pozos

El acuífero es una unidad geológica capaz de almacenar y transmitir agua subterránea que se puede extraer y utilizar. Los materiales no consolidados que típicamente conforman un acuífero son gravas y arenas (Todd y Mays, 2005). El modelo físico construido está compuesto por

dos capas acuíferas: una libre y una confinada, separadas por una capa impermeable de bentonita. El basamento hidrogeológico se conformó con un lecho rocoso.

Para rellenar el armazón, los estudiantes procedieron a lavar y tamizar arenas con una gradación de tamiz del #4 al #200 (4,75mm a 0,075mm, respectivamente). A una altura de 5cm del fondo se instalaron los primeros 2 pozos (uno de observación y otro de explotación). A cada uno de ellos se le hicieron perforaciones para permitir el ingreso del agua (**Figura 1**) que fueron recubiertos por una malla simulando el tramo filtrante (**Figura 2**).



FIGURA 1. Apertura de orificios en los pozos

La capa confinante (a los fines prácticos, impermeable) que constituye el límite superior del acuífero confinado, se hizo desarrollando una pasta de arcilla preparada con el material pasante del tamiz # 40 (0,425mm). Por encima de esta capa se ubicó el acuífero libre, en el que se instalaron 2 pozos, localizados a 5cm de la capa confinante (**Figura 3**). Una vez finalizado el llenado del tanque, se procedió a la construcción de un lago artificial.



FIGURA 2. Instalación de malla (organza)

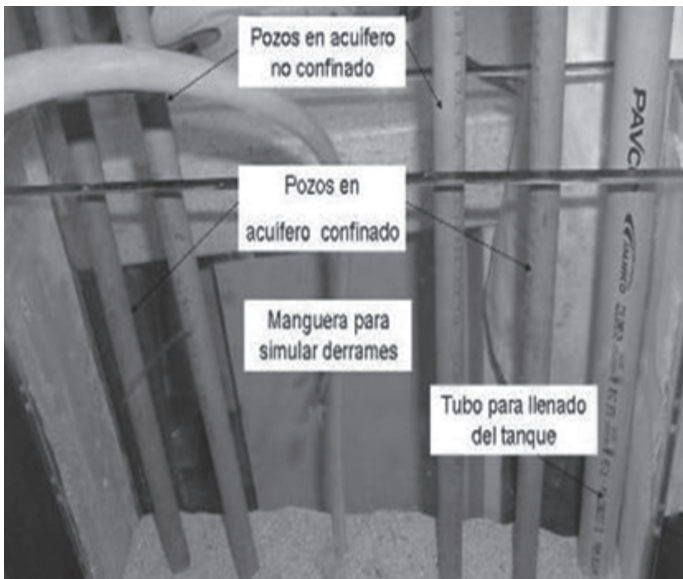


FIGURA 3. Instalación de pozos de inspección y de bombeo

Sobre las márgenes y el fondo del lago se colocó una malla plástica y sobre ella un retazo de tela (organza); posteriormente, una pasta de arcilla y en las márgenes material rocoso (**Figura 4**).



FIGURA 4. Material rocoso en las márgenes y tela organza en la base del lago

III.2.3. Sistemas de control de flujo

En las paredes laterales del modelo físico se dejaron orificios para la instalación de los sistemas de drenaje que permitieran simular su vaciado (**Figura 5**). Para ello, se seleccionó un sistema de macrogoteo disponible en farmacias y que es utilizado para controlar el flujo de soluciones salinas en los hospitales y clínicas.

III.2.3. Simulación de un derrame

El equipo docente-discente consideró de relevancia que el modelo físico permitiera visualizar la interacción agua superficial-agua subterránea. Para ello, la construcción de un lago fue de gran importancia ya que, al verter sobre este último un trazador-contaminante (colorante), y con la apertura de las unidades de macro-goteo, se pudo observar la movilidad del potencial contaminante y su ingreso en el ambiente subterráneo. Para la simulación del escurrimiento en el acuífero, se introdujo una

manguera en la capa no confinada, cuyo extremo se protegió con un filtro de tela con el fin único de evitar el desplazamiento de los materiales no consolidados al interior de la manguera.

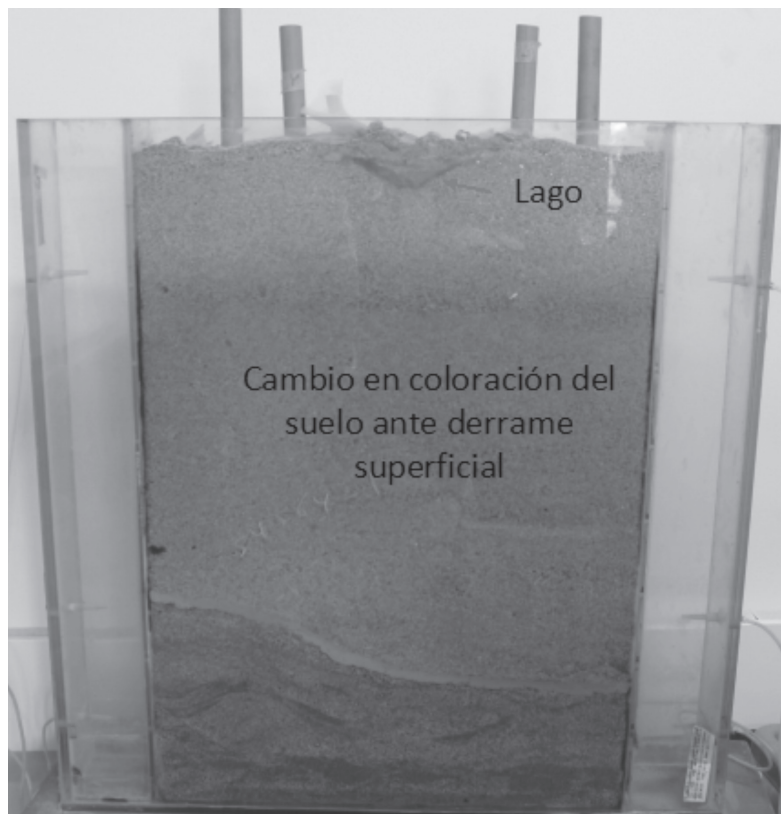


FIGURA 5. Modelo de Acuífero y sistema de drenaje

IV. Hallazgos relevantes

Con este modelo físico se observan los conceptos básicos de hidrología subterránea. Asimismo, durante la interacción con el modelo físico, el estudiante realiza la captura de datos de manera organizada y elabora informes que finalmente quedan disponibles para la comunidad aca-

démica en general, y para que los futuros usuarios del modelo físico aprendan de experiencias previas y mejoren las prácticas actuales.

El equipo de trabajo que elaboró el acuífero considera que el uso de este modelo físico permite el desarrollo de competencias instrumentales, interpersonales y sistémicas (Salicetti y Romero, 2010) por las siguientes razones:

- Competencias instrumentales: El educando adquiere capacidad cognitiva para diferenciar el comportamiento de acuíferos confinados y no confinados, identificar la interrelación entre aguas superficiales y subterráneas mediante la simulación de un derrame superficial y aplicar las técnicas de medición de la eficiencia de pozos y sobre el uso de equipos para extracción de agua de pozo. Adicionalmente, cada estudiante debe preparar un reporte que se socializa oralmente y se documenta en un escrito, permitiendo con ello el desarrollo de las habilidades comunicacionales en forma oral y escrita.

- Competencias interpersonales: Para el desarrollo de las distintas prácticas es necesario que el estudiante trabaje en equipo con sus compañeros para controlar los tiempos. Por ejemplo, durante la prueba de pozo, mientras uno de los estudiantes extrae el caudal de un pozo de bombeo, otro debe realizar las mediciones de niveles de agua en un pozo de observación.

- Competencias sistémicas: Las diferentes prácticas desarrolladas permitieron visualizar la interconexión existente en los ambientes superficiales y subterráneos. Cabe destacar el asombro de los participantes cuando comprobaron que un derrame de contaminante ocurrido en el lago artificial se desplazaba hacia las capas del subsuelo tiñendo la matriz porosa.

Paralelamente, el modelo físico de acuífero a escala bidimensional ofrece al docente una herramienta pedagógica que facilita la labor de enseñanza y un mejor efecto en el aprendizaje de los educandos, por cuanto posibilita:

- Que se trabajen diferentes situaciones problema. El modelo físico construido permite desarrollar ensayos con los cuales es posible: a) comprobar las ecuaciones que rigen el movimiento del agua en acuíferos

confinados o no confinados, b) practicar sobre los parámetros para determinación de la eficiencia de un pozo instalado en acuífero confinado o en acuífero no confinado, c) observar la formación de un cono de depresión al realizar la extracción del fluido en un acuífero confinado o en uno no confinado, d) visualizar la interacción entre el agua superficial y el agua subterránea, e) corroborar la filtración y percolación de un potencial contaminante diluido en el agua subterránea.

- Que el educando identifique los equipos y el personal requeridos para realizar las distintas prácticas.

- Que el estudiante compruebe conceptos teóricos mediante los ejercicios prácticos.

- Que se afiancen competencias y el desarrollo de habilidades de trabajo en equipo.

La producción de este modelo físico es congruente con los principios misionales de la Universidad por cuanto brinda los medios para apoyar la comprensión de fenómenos como el transporte de fluidos en el subsuelo y la interconexión del sistema superficial y el subterráneo, brindando el apoyo y ayuda necesarios en el proceso de enseñanza (Naranjo, 2010).

Se tiene el convencimiento de que, con este modelo físico, el alumno también reconoce que su participación en la toma de decisiones puede influir en el resultado final del equipo de trabajo. Por ende, se le exige una motivación extrínseca en virtud de la cual adquiere habilidades instrumentales, tal como el manejo de equipos, a la vez que se lo estimula a fortalecer su motivación interna y su interés intrínseco en las actividades académicas relacionadas con el laboratorio de hidrología subterránea.

V. Conclusiones

La construcción de un modelo físico requiere el análisis de la estructura, el reconocimiento de las variables que pueden ser medidas y la verificación de la funcionalidad del mismo para resolver problemas acordes con la disciplina asociada a este modelo físico. El modelo físico de acuífero diseñado y construido provee una herramienta pedagógica útil para la

enseñanza-aprendizaje de procesos que representan el funcionamiento de las aguas subterráneas, estudios de caso y prácticas variadas que pueden apoyarse en trabajo colaborativo. Si bien estos modelos son grandes simplificaciones de una realidad muy compleja, permiten entender conceptos básicos y procesos elementales que, de otra manera, serían muy difíciles de comprender.

Agradecimientos

A la Dirección General de Investigaciones y a Ecopetrol-ICP por el apoyo financiero para la realización del modelo de acuífero. A los estudiantes del semillero de investigación en Ingeniería Civil, principalmente a Guillermo Galvis Hormiga, Leonardo Almeyda, Camilo Mantilla, William Quintana, Lizbeth Hernández, Nazly Galindo, Diego Duarte e Iván Prieto.

Referencias bibliográficas

- ABRIOLA, L.; PINDER, G. (2005). A multiphase approach to the modelling of porous media contamination by organic compounds: 2. Numerical simulation, en: *Water Resources Research*, 21: 19-26.
- BAEHR, L.; CORAPCIOGLU, M.Y. (1987). A compositional multiphase model for groundwater contamination by petroleum products 2: Numerical solutions, en: *Water Resource Research*, 23: 201-213.
- BRERETON, M.; CANNON, D.; MABOGUNJE, A.; LIEFER, L. (1996). Collaboration in design teams: How social interaction shapes a product, en: CROSS N.; CHRISTIANS, H.; DORST, K. (Eds.). *Analyzing Design Activity*. John Wiley & Sons, 1996. Chichester: 319-342.
- BRUSSEAU, M.L.; NELSON, N.T., CONSTANZA-ROBINSON, M.S. (2003). Partitioning Tracers Tests for Characterizing Immiscible-fluid Saturations and Interfacial Areas in the Vadose Zone, en: *Vadose Zone Journal*, 2: 138-147.
- CROSS, N. ; CROSS, A. (1996). Observations of teamwork and social processes in design. (291-318). En: CROSS, N.; CHRISTIANS, H.; DORST, K. (eds.). *Analyzing Design Activity*. Chichester: John Wiley & Sons.
- DORST, K. (1997). Describing Design: a comparison of paradigms, Ph.D. thesis, TU Delft.
- EASTMAN, C. (2001). New Directions in Design cognition: Studies of Representation and Recall. (pp.147-198). En: EASTMAN, C.; Mc CRACKEN, W.M.; NEWSTETTER, W. (eds.) *Design Knowing and Learning: Cognition in Design Education*.
- JALBERT, M.; DANE, J. H. (2001). Correcting Laboratory Retention Curves for Hydrostatic Fluid Distributions. En: *Soil Science Society of America Journal*, 65: 648-654.
- KECHAVARAZI C.; SOGA, K.; ILLANGASEKARE, T. (2005). Two dimensional laboratory simulation of LNAPL infiltration and redistribution in the vadose zone, en: *Journal of Contaminant Hydrology*, 76: 211-233.
- MORAN M. ; ZAGORSKI, J. S. ; SQUILLAGE, P.J. (2007). Chlorinated Solvents in Groundwater of the United States, en *Environmental Science and Technology*, 41(1): 74-81.
- NARANJO P., M. L. (2010). Factores que favorecen el desarrollo de una actitud positiva hacia las actividades académicas, en: *Revista Educación*, 34(1): 31-53.
- SALICETTI F., A. ; ROMERO C., C. (2010). La plataforma de apoyo a la docencia como opción metodológica para el aprendizaje de competencias, en: *Revista Educación*, 34(1): 83-100.

- SERRANO-GUZMÁN, M.F.; PEREZ RUIZ, D.D.; PUPPALA, A.; PADILLA, I. (2010). CWR: Alternativa para detección de NAPLs, en: *Puente Revista Científica*, 5(2): 25-35.
- SERRANO-GUZMÁN, M.F.; PEREZ-RUIZ, D.D.; GALVIS-HORMIGA, G. (2014). Acercamiento al Modelo Pedagógico Integrado para la enseñanza de hidrología subterránea, en: *Revista Educación*, 38(1): 59-67.
- SERRANO-GUZMÁN, M.F.; SOLARTE-VANEGAS, N.C.; PÉREZ-RUIZ, D.D.; PÉREZ-RUIZ, Á. (2011). La investigación como estrategia pedagógica del proceso de aprendizaje para ingeniería civil, en: *Revista Educación*, 35(2): 1:33.
- SNEDDON, K.W.; OLHOEFT, G.R.; POWERS, M.H. (2000). Determining and Mapping DNAPL Saturation Values from Noninvasive GPR Measurements, en: *Proceeding of SAGEEP*, Arlington: 21-25.
- SNEDDON, K.W.; POWERS, M.H.; JOHNSON, R. H.; POETER, E.P. (2002). *Modeling GPR Data to Interpret Porosity and DNAPL Saturations for Calibration of a 3-D Multiphase Flow Simulation*. Open File Report 2002-2451. Denver: United States Geological Survey.
- TODD, D.K.; Mays; L. . (2005). *Groundwater Hydrology*, 3ª Ed. Hoboken: Ed. Wiley.
- VARGAS CORDERO, Z.R. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica, en: *Revista Educación* 33(1): 155-165.
- WHITE, M.; OOSTROM, M. (2000). *STOMP Subsurface Transport Over multiple Phases Version 2Theory Guide*. Pacific Northwest, National Laboratory Report PNNL-12030.
- ZIMRING C.; LATCH CRAIG, D. (2001). Chapter 7. *Defining Design between Domains: An Argument for Design Research à la Carte*. Oxford: Elsevier Science.