



DISEÑO DE UN PROTOCOLO DE MONITOREO EN POZOS DE LA RED LOCAL, PARA UNA GESTIÓN SUSTENTABLE DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN COLOMBIA

Nicolás Cairasco Parra, María Alejandra Caicedo Londoño

**Universidad de La Salle
Bogotá, Colombia**

Resumen

En Colombia, la gestión del recurso hídrico subterráneo tiene ciertos problemas, tal como lo es el conjunto de falencias en torno al monitoreo éste. El objeto principal de este proyecto es diseñar y presentar una propuesta de un protocolo de monitoreo de pozos de extracción de agua, el cual fomente la explotación sustentable de este recurso. En este sentido, se ha trabajado en 3 fases: a) conocer los lineamientos institucionales para el monitoreo y recopilación de información relacionada en cuanto a hidrogeología colombiana, b) selección de variables y parámetros a tener en cuenta en un pozo de explotación para evaluar dicha actividad en la estructura, c) diseño del protocolo junto a su metodología, verificación de la propuesta con un caso práctico local y modelación de un pozo utilizando el software MODFLOW. Finalmente, utilizando los datos del pozo PZ 11-0052, ubicado en el sistema acuífero SAM 4.6, se evidenció la aplicabilidad de este protocolo, para así, con el respectivo análisis manifestar la existencia de posibles situaciones de aumento de explotación del recursos o variabilidad de la eficiencia de la estructura como tal, lo cual da pie a dar correctivos desde la ingeniería en dicha práctica.

Palabras clave: agua; monitoreo; pozo

Abstract

In Colombia, the management of the underground water resource has certain problems, such as the set of shortcomings surrounding the monitoring. The main objective of this project is to design and present a protocol proposal for the monitoring of water extraction wells, which will encourage the sustainable exploitation of this resource. In this sense, it

has worked in three phases: a) to know the institutional guidelines for the monitoring and compilation of related information regarding Colombian hydrogeology, b) selection of variables and parameters to be taken into account in a water exploitation well to evaluate this activity in the structure, c) protocol design along with its methodology, verification of the proposal with a local case study and modeling of a well using MODFLOW software. Finally, using the data from well PZ 11-0052, located in the SAM 4.6 aquifer system, the applicability of this protocol was evidenced, so that with the respective analysis manifest the existence of possible situations of increased exploitation of the resources or variability of the efficiency of the structure as such, which gives rise to give corrective engineering for the mentioned practice.

Keywords: *water; monitoring; water well*

1. Introducción

Considerando lo expuesto dentro de IDEAM (2015); la acción de monitorear constituye un acto de vigilancia en lo cual, respecto al agua subterránea, se convierte en una herramienta fundamental para la gestión del recurso hídrico a nivel nacional. A través del proceso de monitoreo, se puede evitar el detrimento de la reserva de agua subsuperficial ya que facilita la prevención y toma de correctivos ante situaciones de sobreexplotación y contaminación de estas fuentes, las cuales son fundamentales a la hora de abastecer a poblaciones en donde la única opción viable de sustento de agua potable es ésta.

Considerando el trabajo realizado por el semillero de investigación SIMIC de la Universidad de La Salle, sobre el monitoreo de fuentes de aguas subterráneas y la vulnerabilidad en la construcción y extracción de pozos, entre otros temas, en el departamento de la Guajira, Colombia (caracterizado por la poca disponibilidad de agua superficial y bajas precipitaciones), se evidenciaron falencias en torno a la gestión del recurso hídrico subterráneo destinado para abastecimiento, dentro de lo cual se identificó la carencia de algún protocolo para monitorear un pozo de explotación de agua subterránea.

El presente documento muestra los principios básicos requeridos para formular y proponer un protocolo de monitoreo en un pozo de extracción de agua siguiendo un marco de sustentabilidad dentro del contexto nacionales.

Para llegar a cumplir el fin principal de esta investigación, se inició con la apropiación de ciertos conceptos básicos de hidrogeología, la indagación de los protocolos existentes a nivel mundial para el monitoreo en pozos de agua subterránea, y con la clasificación de la información pública y privada disponible; de índole hidráulico-geológico, considerada como necesaria para el planteamiento del protocolo mencionado. Seguidamente, se diseñó el protocolo de monitoreo, en el cual se destacaron 5 etapas principales, para luego, con un caso práctico y la modelación en software con interfaz MODFLOW, verificar su aplicabilidad, analizar y concluir.

2. Marco Conceptual

2.1 El ciclo hidrológico

De acuerdo a Jiménez (1994), *“el agua en la naturaleza se presenta bajo diversas formas o estados. Sin embargo, hay una secuencia natural del paso de una forma a otra que obedece a leyes físicas precisas. Todos esos cambios que afectan el agua en la naturaleza constituyen el ciclo hidrológico”*. Así, *“las principales variables naturales de los procesos del ciclo hidrológico son: precipitación, infiltración, escorrentía, evaporación y transpiración”* (IDEAM, 2015). El agua subterránea tiene su origen en la lluvia, parte de la cual se infiltra directamente a través del suelo, o desde ríos y lagos, por grietas y poros de las unidades roca sedimento, hasta alcanzar un nivel impermeable que no la deja descender más

2.2 Agua subterránea

De acuerdo a IDEAM (2015) *“en el subsuelo se encuentran formaciones geológicas consistentes en unidades roca-sedimento porosas (arenas, gravas, etc.), o fracturadas (caliza, areniscas, lavas, etc.) las cuales pueden contener agua en sus intersticios. Esta agua se denomina agua subterránea y los terrenos que la contienen y la pueden ceder se denominan acuíferos”*.

En este sentido, se podría manifestar que el agua subterránea es ese recurso hídrico que se encuentra bajo la superficie del terreno.

Respecto a *“Hidrogeología”*, Custodio y Llamas (2001) la define como: *“La hidrología subterránea es aquella parte de la hidrología que corresponde al almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas”*.

Adicionalmente, existe una variedad de conceptos dentro del contexto hidrogeológico respecto a cualquier actividad que se centre en pozos de extracción de agua subterránea. La Tabla 1 muestra un resumen que abarca diferentes términos que habrán de tratarse dentro de la investigación que se presenta en este documento:

Tabla 1: Conceptos básicos de hidrogeología

Concepto	Definición
Acuífero	Se denomina acuífero a aquel estrato o formación geológica que, permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla.
Pozo	Agujero o perforación que se excava o perfora en la tierra para extraer agua. Generalmente, es de gran profundidad y diámetro pequeño.
Aljibe	Excavación manual de gran diámetro, que alcanza la tabla de agua o nivel freático y se profundiza por debajo de esta para acumular agua subterránea que está disponible para ser bombeada.
Nivel piezométrico (carga hidráulica)	Es la suma de la altura geométrica y la carga hidrostática de un líquido, expresada en unidades de altura; es la altura que alcanza el agua en un pozo, aljibe o piezómetro conectado a un punto de un acuífero.

Fuente: (IDEAM, 2015)

2.3 Sistema de acuíferos

(IDEAM, 2015) manifiesta que éste: *“Corresponde a un dominio espacial, limitado en superficie y en profundidad, en el que existen uno o varios acuíferos con porosidad primaria o secundaria, relacionados o no entre sí, pero que constituye una unidad práctica para la investigación o explotación”*. De acuerdo al comportamiento hidráulico, los acuíferos pueden ser libres, confinados, semi-confinados y colgados (se incluyen también costero), que se definen así:

- **Acuíferos libres:** *“Corresponden al esquema más simple: Una zona impermeable sirve de base a una zona permeable saturada de agua, más arriba, existe una franja permeable sin saturar. Al perforar pozos, el agua en ellos se sitúa al ras de la zona saturada, marcando el nivel freático, que en este caso es también el nivel piezométrico. Desde un punto de vista hidráulico se dice que la presión es exactamente la atmosférica. De una forma simplificada, se asimilan estos acuíferos a embalses subterráneos”* (IDEAM, 2015).
- **Acuíferos confinados:** *“La roca permeable queda encajada por encima y por debajo en terrenos impermeables, todo el espesor del acuífero está saturado de agua y la presión de agua en los poros o fisuras es mayor que la atmosférica. Cuando se perfora un pozo en ellos, es decir, cuando el acuífero se pone en contacto con la atmósfera, el agua sube por la perforación o pozo, quedando el nivel del agua por encima del punto en el que el pozo alcanza el acuífero. El nivel al que queda el agua en un sondeo en tales acuíferos se denomina nivel piezométrico del acuífero en ese punto.”* (IDEAM, 2015).
- **Acuíferos semi-confinados:** *“En sentido estricto, no existen materiales absolutamente impermeables. En este caso de acuíferos, una de las rocas encajantes no es totalmente impermeable y permite cierta transmisión de agua a través de ella”*. (IDEAM, 2015)

En Colombia, se identifican 44 sistemas acuíferos, los cuales están constituidos por acuíferos libres, confinados o semiconfinados.

2.4 Principales parámetros hidrogeológicos de carácter hidráulico

IDEAM (2015) especifica las siguientes definiciones para estos parámetros:

- a) **Porosidad:** La propiedad de una roca que la hace poder contener agua se define técnicamente como porosidad, o porcentaje de intersticios existente en los sólidos continuos en relación con el volumen total de la unidad roca-sedimento. La porosidad puede ser primaria (originada durante la sedimentación) o secundaria (causada por fracturación o meteorización de una roca o un sedimento con posterioridad a su formación).
- b) **Permeabilidad o conductividad hidráulica:** Para ser verdaderamente acuífera, la roca, además de contener agua, necesita poder cederla, cualidad que se denomina permeabilidad o conductividad hidráulica. Hay arcillas, que pueden absorber cantidades notables de agua, pero bajo condiciones naturales no la

ceden, sino que la retienen en su masa. La permeabilidad, en un sentido amplio, mide tanto la posibilidad de poder extraer, drenar o bombear agua como la posibilidad de introducir, infiltrar en un acuífero.

- c) **Transmisividad:** Es el producto de la permeabilidad del acuífero por su espesor saturado. La transmisividad se define también como el caudal de agua que proporciona una sección de ancho unidad de frente acuífero, sometido a un gradiente del 100%. La transmisividad es un parámetro que en el campo se mide más fácilmente que la permeabilidad, por ello, se utiliza en los cálculos de explotación de pozos con mayor frecuencia que esta.
- d) **Coefficiente de almacenamiento:** El conjunto de cualidades que condicionan el volumen de agua producida se cuantifica mediante lo que se denomina coeficiente de almacenamiento, que es la cantidad de agua cedida por un prisma de acuífero de un metro cuadrado de sección y altura la del acuífero, cuando el nivel piezométrico baja un metro. El producto de la superficie de un acuífero por su espesor saturado de agua y por su coeficiente de almacenamiento es, una medida del volumen de agua utilizable.

2.5 Redes de monitoreo de agua subterránea

Cabe manifestar que IDEAM (2015) menciona los distintos tipos de redes de monitoreo de aguas subterráneas que existen, los cuales se clasifican en:

- **Redes Internacionales**
- **Redes Nacionales**
- **Redes regionales**
- **Redes locales:** *“las redes locales se establecen con el fin de analizar y solucionar problemas concretos, especialmente en zonas donde se producen alteraciones específicas del régimen de las aguas subterráneas. Se sitúan en el entorno de pozos de extracción”.* En el ámbito local, la competencia institucional está a cargo de las CAR departamentales, de las unidades ambientales de grandes centros urbanos, usuarios y sectores.

3. Metodología

A continuación, se exponen la línea de trabajo que fue estipulada para el desarrollo de la investigación en concordancia con los objetivos de estudio planteados:

3.1 Fase de recopilación y apropiación de información internacional

Recopilación, apropiación y análisis de información relacionada con el monitoreo de pozos de extracción de agua subterránea en Colombia y en el mundo. Además de esto se observaron resultados de otras investigaciones, tesis y trabajos realizados con anterioridad con el objetivo de dimensionar qué propuestas se han realizado en torno

a posibles protocolos de monitoreo del estado de pozos de extracción de agua en el país. Se consideraron ejemplos de casos relacionados con protocolos de monitoreo en países como Argentina, Chile, España, entre otros.

Adicionalmente, se tuvo en cuenta el marco general propuesto por entidades nacionales tales como el IDEAM, el INGEOMINAS; y las Corporaciones Autónomas Regionales de cada departamento, con el fin de cumplir con los requerimientos legales dentro del trabajo a realizar.

3.2 Variables y parámetros hidrogeológicos, y propuesta de protocolo

Habiendo consolidado la información de interés, se seleccionaron las variables y parámetros de índole hidráulico-geológico (permeabilidad, porosidad, coeficiente de almacenamiento, transmisividad, caudal, nivel estático o piezométrico) en un pozo de extracción de agua respecto al acuífero intervenido, que habrían de tenerse en cuenta a la hora de evaluar su estado según el caso.

Seguido a esto, se propuso un protocolo que permitiría la verificación del estado del pozo, de lo cual se pudieran identificar problemática alguna y para así proponer soluciones y correctivos.

3.3 Verificación del protocolo y modelación en software

Siguiendo el paso a paso de la propuesta y utilizando el software basado en MODFLOW (USGS, 2017), se buscó verificar el protocolo de monitoreo con el caso práctico de estudio seleccionado. Se consolidaron los resultados obtenidos y se analizaron. Dada la situación específica se buscó establecer ciertas relaciones dentro de las variables de ingreso que permitirían manifestar posibles soluciones a dificultades encontradas y sugerencias de estudios requeridos para garantizar el monitorizar apropiado.

4. Aspectos generales dentro del diseño del protocolo

Teniendo en cuenta las estipulaciones dentro de “Principios básicos para el conocimiento y monitoreo de las aguas subterráneas en Colombia” (IDEAM, 2015), se han considerado ciertos aspectos fundamentales dentro del diseño del protocolo de monitoreo que se trabaja en esta investigación, los cuales son:

4.1 Objetivo del protocolo

Monitorear la actividad de extracción del agua subterránea utilizada para el almacenamiento. De esta manera, se espera que a través de un control (*análisis*) de mediciones de los niveles al interior del pozo, se puedan evitar situaciones de escases del recurso subterránea por sobreexplotación.

4.2 Estrategia

Dado el enfoque de índole hidráulico que tiene esta investigación, se ha determinado trabajar con aquellos sistemas acuíferos con mayor estudio a nivel hidrogeológico. De acuerdo a IDEAM (2014), dentro del Estudio Nacional del Agua – 2014, *“existen 16 Sistemas Acuíferos con un nivel de información y conocimiento suficiente para la gestión del agua subterránea”*.

En este orden de ideas, es necesario tener en mente que dentro de los sistemas acuíferos existen tanto acuíferos libres como confinados y semiconfinados, los cuales tienen diferencias a la hora de ser monitoreados dado su comportamiento hidráulico.

4.3 Diseño, redes y métodos de monitoreo.

Con el marco expuesto por IDEAM (2014), el monitoreo de agua subterránea a realizar se clasifica de tipo operacional puesto que tiene como fin específico *“los campos de pozos [...] para abastecimiento público de agua”*. Como se mencionó con anterioridad, esta actividad de control se realizará entorno a mediciones del nivel de agua de tal manera que se pueda caracterizar la cantidad de agua subterránea que se está extrayendo a través del pozo; buscando que esta actividad no conlleve a una sobreexplotación y satisfaga con la demanda de la población que se beneficia de ésta.

Por otra parte, cabe manifestar que, si bien el protocolo de monitoreo estaría diseñado para cualquier pozo de extracción de agua subterránea con finalidad de abastecimiento, su mayor provecho estará dado para aquellos pozos ubicados dentro de los 16 sistemas acuíferos identificados en el ENA 2014, dada la disponibilidad de información con la que se cuenta a nivel hidrogeológico en los acuíferos que se localizan allí. La frecuencia con que debería ejecutarse el protocolo; siendo que se medirán niveles dentro del pozo de extracción, debería ser semanal.

5. Desarrollo y avances

En aras del diseño del protocolo que se propone aquí, se han considerado ciertas etapas y procedimientos indispensables para el monitoreo en un pozo de extracción, las cuales son:

5.1 Localización del pozo

Cualquier pozo de extracción de agua subterránea tiene que ser localizado dentro del sistema acuífero que está interviniendo, para lo cual, las Corporaciones Regionales Autónomas de cada departamento y el Ministerio de Medio Ambiente (*incluyendo las Secretarías de Ambiente para ciudades principales*) tienen una base de datos dentro de las cuales se encuentran inventariados los pozos con una referencia única

5.2 Identificación del tipo de acuífero explotado

En Colombia, y de acuerdo a la información disponible, no se dimensiona un porcentaje consolidado de la cantidad de acuíferos libres, confinados y semiconfinados que se presentan a nivel nacional, tan solo se especifican dentro de cada uno de los sistemas acuíferos que han sido estudiados. Así, el aprovechamiento de los perfiles estratigráficos-geológicos resulta fundamental a la hora de identificar el tipo de reserva (respecto a su carácter hidráulico) de agua subterránea que está siendo explotada a través del pozo que se pretende monitorear. Los mapas geológicos son gestionados por la institución del Servicio Geológico Colombiano en conjunto con el INGEOMINAS.

5.3 Obtención de parámetros hidráulicos-geológicos

Para caracterizar y modelar el flujo del agua subterránea dentro del pozo o aljibe, se necesitan los parámetros hidráulicos en donde se está llevando a cabo la explotación. La conductividad hidráulica (*coeficiente de permeabilidad*), la porosidad de la matriz sólida, el coeficiente de almacenamiento (*sea el caso*), el nivel estático, y el caudal extraído, son requerimientos de entrada para un monitoreo. La información de base está disponible en estamentos como la Secretaria de Ambiente, el Ministerio de Medio Ambiente, o la CAR.

5.3.1 Acuíferos libres

Si el acuífero a monitorear es de tipo libre, el valor del *espesor saturado* y la *porosidad eficaz* son parámetros de modelación importantes. En estos, la variación de la reserva se ve reflejado en el cambio de la superficie freática al interior del pozo construido para dicha explotación; que corresponde al mismo nivel estático informado.

5.3.2 Acuíferos confinados y semiconfinados

Para los acuíferos confinados y semiconfinados, es muy importante el espesor del acuífero, es decir, la longitud vertical de la formación geológica que constituye dicha reserva de agua subterránea. Así también, el nivel piezométrico (*nivel estático cuando no hay explotación*), es útil para caracterizar el flujo dentro de la obra de extracción.

El cambio en el nivel piezométrico permitiría en este tipo de reservas de aguas subterráneas determinar la variación del almacenaje disponible de agua subterránea, aunque podría estar relacionado a una descompresión de la matriz sólida del acuífero.

5.4 Modelación computacional

Habiendo caracterizado el acuífero explotado, y teniendo la información disponible, se puede utilizar software computacional basado en MODFLOW, para evaluar el abatimiento presente cercano al pozo; a través del tiempo que extrae caudal, y la variación del nivel estático en el perímetro cercano.

5.5 *Análisis de niveles*

Considerando la existencia de un registro de variaciones de nivel estático al interior del pozo, y contrastando con los resultados obtenidos desde el software para un periodo determinado (*con periodicidad semanal – preferiblemente diaria*), se puede evidenciar un aumento del caudal explotado al interior del pozo o un cambio en la eficiencia de la estructura presente. A partir de ello, se pueden seguir procedimientos correctivos para fomentar la extracción razonable y eficiente del agua subterránea de tal manera que se pueda seguir abasteciendo de forma adecuada a la población.

6. Caso de estudio – ejemplificación

En Colombia, los sistemas acuíferos de: SAC1.6 Ciénaga-Fundación, SAM3.1 Valle del Cauca, y SAM 4.6 Sabana de Bogotá, constituyen los principales sistemas explotados para actividades económicas para el desarrollo regional y nacional. De esta manera, se ha considerado un caso de estudio en el último de estos.

Ejemplo: PZ 11-0052

Localización: este pozo está ubicado en el Colegio Gimnasio Los Andes. Dentro de la información de la Secretaria Distrital de Ambiente, está ubicado en las coordenadas 1.021.303N / 1.003.587E, de acuerdo a Origen Central en el sistema de referencia WGS84 UTM Zona 18N.

Identificación del acuífero explotado: A partir de la información de (Secretaria Distrital de Ambiente, 2013) en cuanto hidrogeología, el pozo se encuentra en el Acuífero Cuaternario Formación Sabana –(Qsa2)- “*arcillas orgánicas, turbas, arcillas arenosas*”. Por otra parte, con la información de Isopiezas, profundidad del pozo y cota del terreno en donde se ubica el pozo, se pudo evidenciar que el nivel piezométrico se encuentra por encima de la capa superior del acuífero, siendo éste de un carácter confinado.

Obtención de parámetros hidráulicos-geológicos: Teniendo en cuenta la información de (Secretaria Distrital de Ambiente, 2013), y las Isopiezas, el valor de cada una de las propiedades es de: abatimiento; 13.9m, coeficiente específico; 0.204L/s/m, transmisividad; 19m³/d, permeabilidad; 0.792m/d, espesor del acuífero (b); 24m. El nivel estático está ubicado en la cota 2526m. s. n. m (nivel promedio).

El pozo por su parte tiene una profundidad de 86m, y está localizado en la cota 2559m.s.n.m. De éste se extraen alrededor de 2.8L/s.

Modelación computacional:

Considerando las características hidrogeológicas, y ciertos aspectos del pozo, se procede a modelar utilizando la interfaz Visual MODFLOW. En la Figura 1, se evidencia el modelo resultante dentro del Software.

Análisis de mediciones:

En la curva de variación de nivel estático para el pozo (Figura 2), se pueden identificar variaciones a lo largo del tiempo. En aquellas fechas en donde se evidencia una reducción de la profundidad se podría manifestar la existencia de una recarga dentro del acuífero, (también la posible reducción del caudal explotado). Por otra parte, en aquellos casos en donde la profundidad crece se podría evidenciar un aumento de la extracción de recurso y una reducción de la reserva.

Ahora, considerando los niveles que se obtuvieran de la modelación en software y contrastándolos con registros de mediciones instrumentales in-situ, dada una diferencia entre ambos datos, se podría estudiar una eficiencia de la estructura como tal en la explotación del recurso, que podría dar cuenta de una progresiva reducción en cuán eficiente es el pozo.

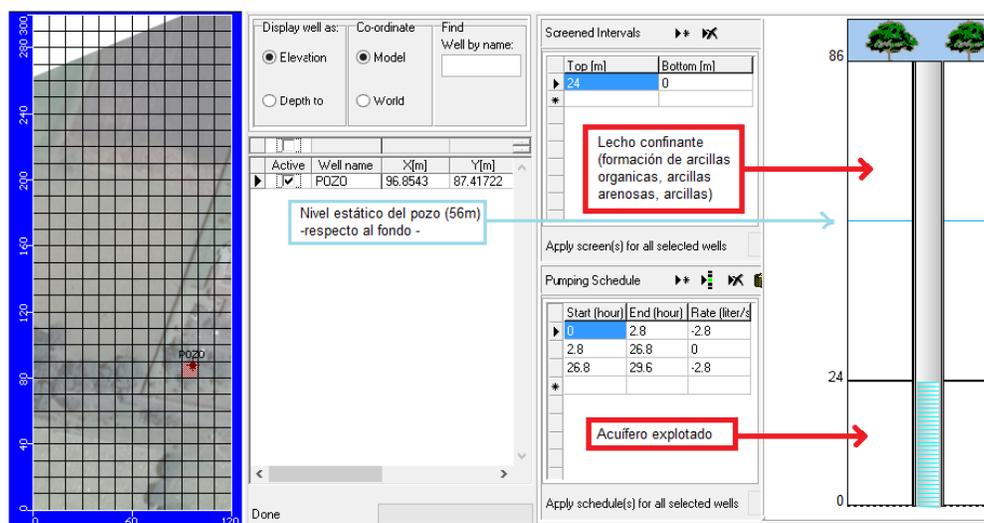


Figura 1: Modelación del pozo PZ 11-0052

2a. Localización del pozo
Fuente: Visual MODFLOW
(Modificado)

Figura 1b. Parámetros del pozo
Fuente: Propia - Visual MODFLOW
(Modificado)

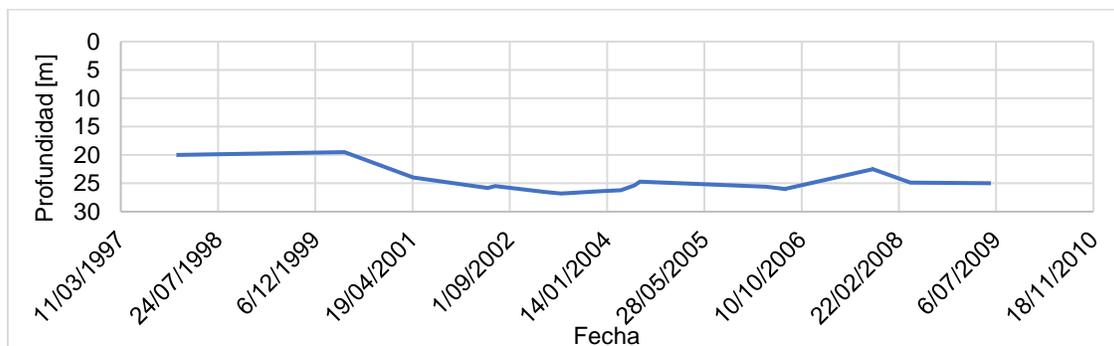


Figura 3: Registro de profundidad lámina de agua en el pozo PZ 11-0052
Fuente: (Secretaria Distrial de Ambiente, 2009) - Modificado

7. Conclusiones

- Se diseñó un protocolo de monitoreo en pozos de extracción de agua subterránea dentro del cual se especifican 5 etapas principales: localización del pozo; identificación del tipo de acuífero explotado según la hidráulica de éste; obtención de los parámetros hidráulicos-geológicos locales; modelación computacional en software basado en MODFLOW, y análisis de niveles. Dentro de éste, se ha especificado las diferencias cuando se habrá de monitorear un acuífero libre o confinado/semi-confinado.
- Se verificó procedimentalmente el protocolo propuesto a través del seguimiento paso a paso junto al caso de estudio del pozo PZ 11-0052, ubicado en la el Sistema Acuífero SAM 4.6 Sabana de Bogotá. Dentro de esto, se planteó que contrastando el registro de niveles al interior del pozo; provisto institucionalmente, y los resultados de niveles a través del tiempo utilizando el software indicado, se podrían identificar situaciones de considerable reducción del nivel estático de la lámina de agua evidenciando un aumento de la explotación del recurso. Así también, las diferencias presentes entre los registros constituirían información de base para referirse a porcentajes de eficiencia de la estructura del pozo como tal, lo cual daría pie a medidas correctivas para fomentar una extracción eficiente en busca de una sustentabilidad en esta práctica.
- El protocolo de monitoreo tienes ciertas limitaciones de aplicabilidad de acuerdo a la información disponible del pozo. En aquellos en donde no se tengan las variables hidrogeológicas, habrá de requerirse de estudios de zona considerando la responsabilidad institucional-gubernamental y la política vigente en torno a las aguas subterráneas.

8. Referencias

Libros

- Custodio, E. y Llamas, M. (2001). Hidrología subterránea. Ediciones Omega. Barcelona, España. 2 vol. 1-2350 (2ª Ed.)
- Jiménez, F. (1994). El ciclo hidrológico y el hombre: hacia un uso sostenible del agua. Turrialba, Costa Rica.

Fuentes electrónicas

- IDEAM (2014). Estudio Nacional del Agua – 2014. Consultado el 4 de enero de 2017 en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/O23080/ENA_2014.pdf

- IDEAM (2015). Principios básicos para el conocimiento y monitoreo de las aguas subterráneas en Colombia. Consultado el 23 de enero de 2017 en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/O23541/Principios.pdf>
- Secretaria Distrital de Ambiente (febrero, 2013). Mapa Hidrogeológico. Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital. Bogotá D.C, Colombia. Escala 1:50.000 – Consultado el 1 de marzo de 2017 en: <http://ambientebogota.gov.co/>
- Secretaria Distrital de Ambiente (2013). Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital. Bogotá D.C, Colombia. Consultado el 26 de abril de 2017 en: <http://oab2.ambientebogota.gov.co>
- Secretaria Distrital de Ambiente (19 de octubre de 2009). Resolución 7137 de 2009. Bogotá D.C Consultado el 7 de mayo de 2017 en: www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=40234

Sobre los autores

- **Nicolás Cairasco Parra**, Estudiante Ingeniería Civil, décimo semestre. Universidad de La Salle. ncairasco62@unisalle.edu.co
- **María Alejandra Caicedo Londoño**, Ingeniera Civil, Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Candidato PhD en Ingeniería del agua y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia, España. Profesor Investigador de la Universidad de La Salle, Bogotá D.C., Colombia, macaicedo@unisalle.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2017 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)