

# MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DE ACUÍFEROS EN COLOMBIA

## CONCEPTUAL HYDROGEOLOGICAL MODEL OF AQUIFER IN COLOMBIA

Recibido: Octubre 20 de 2014

Aprobado: Febrero 21 de 2015

**E. R. Monroy Vargas\***

**\*Ph. D. Edgar Ricardo Monroy Vargas. Profesor Titular**, Programa de Ingeniería civil, Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria Agraria de Colombia , e-mail: monroy.edgar@uniagraria.edu.co

**Abstract: (Arial 10)** This paper deals with the modeling and simulation the most common transient processes that happen in the electric motors. The mathematical models of the motors used in the simulation are shown. The develop programs .....

**Resumen:** Las aguas subterráneas se han venido utilizando como alternativa a las aguas superficiales. Normalmente, el volumen de agua almacenado en los acuíferos es grande, comparado con el flujo de recarga, esto implica que el tiempo de residencia de las aguas subterráneas de los acuíferos sea superior al de las aguas superficiales en su reservorio (ríos y lagos). El objetivo de este trabajo, es vincular estudios geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, geotécnicos, sociales, económicos y culturales, apoyados con SIG, permitiendo así, un diagnóstico acertado del estado actual de los acuíferos en Colombia (caso de estudio Duitama), y formulación de técnicas necesarias para su adecuado manejo, conservación y prevención de su contaminación. El alcance de este estudio implica, el desarrollo de un modelo hidrológico conceptual, evaluación de volúmenes de extracción anual, evaluación de reservas y de recarga del acuífero, determinación del rendimiento del acuífero en explotación, priorización del uso de las aguas subterráneas y elaboración de un plan de gestión de manejo ambiental, que permitan la implementación de medidas de protección de las aguas subterráneas.

**Keywords:** Biodigestor, design, biomass, biogas, biofertilizer

**Palabras clave:** Acuífero, gestión de recursos hídricos, modelo hidrogeológico, balance hídrico.

## 1. INTRODUCCIÓN

En hidrología, los modelos numéricos son una herramienta básica con la que se puede estudiar el ciclo hidrológico y las relaciones hidrológicas con los problemas científicos y prácticos. Desde mediados de 1960, numerosos modelos hidrológicos se han establecido desarrollándolos a partir de los principios simples y conceptos de modelos distribuidos y basados en la física Cely (2013).

En la actualidad el Municipio de Duitama no conoce la extensión del acuífero que se encuentra hoy por hoy bajo explotación, las zonas de recarga, volúmenes de agua, volúmenes de extracción, volúmenes de recarga, fuentes superficiales que apoyan su recarga y posibles fuentes y puntos de vulnerabilidad a la contaminación; con base en esto, este estudio pretende diagnosticar el estado actual del acuífero que permita a su vez, proyectar las estrategias necesarias para su manejo y conservación futura. Hacen parte del alcance de este estudio, el planteamiento de un modelo hidrológico conceptual, evaluación de volúmenes de extracción anual; evaluación de reservas y de recarga del acuífero, hallando estas variables desconocidas se puede establecer el modelo hidrogeológico.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Localización del área de estudio

**Figura 1.-** Localización del Municipio de Duitama en Boyacá

### 2.2. Hidrología del área de estudio

Una de las principales dificultades en la realización del estudio hidrológico es la falta de información a la hora de realizar balan-ces hídricos y curvas de duración de caudales, que permitan realizar una proyección del comportamiento del recurso hídrico a lo largo de los años (Cruz et al 2014)

El estudio hidrológico general, parte desde la identificación de los componentes geomorfológicos de la cuenca, la caracterización de variables físicas (e.g., precipitación, temperatura, escorrentía superficial) y la construcción del modelo de balance hídrico, partiendo de la información de las precipitaciones totales mensuales, de la evapotranspiración mensual estimada y la escorrentía media mensual, se construyó el balance de agua en el suelo a lo largo del periodo de estudio. Dos de los métodos de balance, fueron empleados en el presente estudio para los propósitos que anteriormente se describieron, estos son: el método directo y el modelo de Thomas.



### 2.3. Modelo hidrogeológico

Para desarrollar el modelo hidrogeológico conceptual se hizo una caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas presentes en el área, se estableció su distribución lateral y en profundidad, se identificó su interrelación con los principales cuerpos de agua superficial y se evaluó la información hidrológica e hidrogeológica disponible (Sankarasubramanian y Vogel (2002); Vogel y Kroll (2002)).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

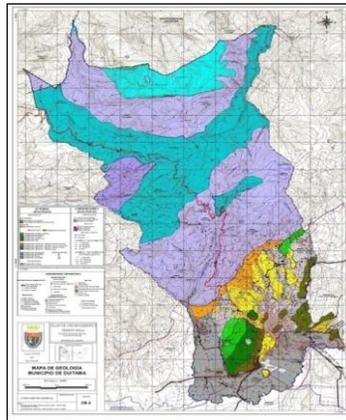


Figura 2. Mapa geológico de la región

### 3.1 Geología estructural

### 3.2. Método directo de balance hídrico

Los resultados que se presentan, dan a conocer una fuerte disparidad climática entre los sectores, infiriéndose que la parte baja de las cuencas de estudio se ve afectada por mayores temperaturas que traen como efecto, mayor evapotranspiración, superando los niveles observados en la parte alta de las subcuencas, en más de 100 mm, una ilustración de la cuenca en estudio se puede observar en la figura 3.



**Figura 3.** Cuencas del área de estudio

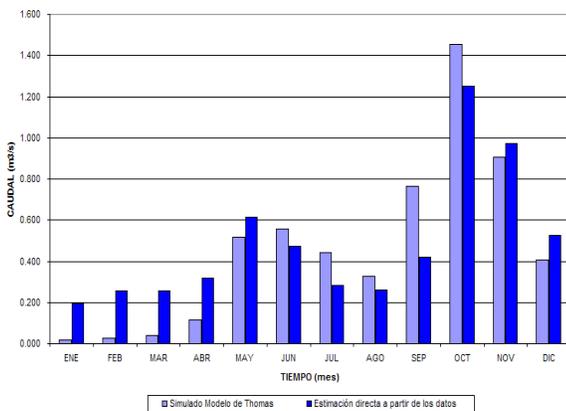
### 3.3. Método de balance de Thomas

El modelo “abcd” es un modelo de cuenca no lineal el cual acepta la precipitación y la evapotranspiración potencial como entradas de modelo, produciendo la magnitud del flujo en la corriente hídrica de estudio. Internamente el modelo también representa la humedad almacenada en el suelo, el almacenamiento subterráneo, la escorrentía superficial, las descargas de flujo procedente de acuíferos a las corrientes y la evapotranspiración actual. (Thomas et. al (1983); Thomas(1982))

Ver figura 4.

### 3.5. Principales acuíferos

Los principales acuíferos presentes en el área de estudios están representados por las siguientes formaciones; formación Cucho (Cc), formación Montebel (Jim), formación La Rusia (Jru), formación Tibasosa (Kit), formación Une (Kv2), formación Conejo (Kscn), formación Plaeners (Kg2), formación Labor y Tierna (Kg1), formación Guaduas (Ktg), Depósitos aluviales (Qa), Depósito fluvio lacustre (Qpl).



**Figura 4** Comparación de resultados entre los valores simulados por el método directo y por modelo de Thomas (cuenca río Chiticuy).

### 3.6. Acuitardos

Las formaciones que almacenan agua pero no permiten flujo de ella en cantidades significativas, identificadas en la cuenca como acuitardos, son las siguientes: formación Conejo (Kscn), Formación Plaeners (Kg2), Formación Guaduas (Ktg).

### 3.7. Infiltración y recarga

Con el fin de caracterizar la infiltración y recarga del acuífero actualmente bajo explotación, se aprovechó la información, relacionada con los siguientes aspectos: Características geológicas y balance hídrico.

### 3.8. Características geológicas

Las zonas de recarga coinciden con las zonas de afloramiento de los acuíferos identificadas y delimitadas. La recarga de este acuífero se debe producir lateralmente a partir del río Chiticuy o de otros cauces superficiales que se hallan en continuidad hidráulica con las gravas y arenas del acuífero principal (Qpl).

### **3.9. Balance hídrico**

La infiltración y recarga para la cuenca del río Chiticuy, en la cual se halla casi en la totalidad de los pozos profundos que poseen concesión, es del orden de 33,84 m<sup>3</sup> / año.

### **3.10. Cuantificación de la recarga actual**

El cálculo de la infiltración efectiva obtenido del balance hídrico, permite calcular que el volumen anual de recarga hacia el principal acuífero captado en la actualidad, por los pozos que extraen agua de los depósitos cuaternarios fluvio lacustres (Qpl), en la cuenca del río Chiticuy, es del orden de 33,8 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> anuales.

### **3.11. Espesor y profundidad del acuífero**

El espesor del acuífero principal varía ampliamente pero se considera que tiene un promedio de 100 m. De este espesor promedio que está integrado por un sello superior impermeable (de arcillas), de 20 m de espesor, gravas y arenas con intercalaciones arcillosas; se puede promediar un espesor neto del acuífero (gravas y arenas), del orden de 50 m.

### **3.12. Reservas**

El cálculo de reservas de agua subterránea para el municipio de Duitama, se hizo teniendo en cuenta el espesor, el área y la porosidad efectiva del acuífero. Los valores obtenidos se resumen a continuación:

$$\text{Volumen de reservas del Cacho} = R_s = \text{área} \times \text{espesor} \times \text{porosidad efectiva}$$

No se tienen valores de porosidad efectiva medidas en campo, en la cuenca. Para el cálculo se toman valores mínimos, dados en la literatura para gravas y arenas (material no consolidado), del orden del 10%, el volumen de reservas del acuífero principal (Qpl) = 90 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

### **3.13. Descarga del acuífero**

La principal descarga del acuífero ocurre a través de los pozos profundos que actualmente extraen agua subterránea de la cuenca. La posible salida de agua subterránea a través de las formaciones en profundidad hacia zonas adyacentes, se considera despreciable debido a la estructura geológica de la cuenca, según la cual los acuíferos se profundizan en dirección occidental, por lo cual no tienen zona de afluencia; la descarga actual del acuífero es de 9,59 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> / año.

### **3.14. Rendimiento seguro de los acuíferos en explotación**

A partir de los análisis realizados con base en los balances hídricos (de explotación y de recarga) se puede inferir que el volumen de explotación anual es menor que la recarga, de acuerdo con los valores presentados, es del orden de 33,84 m<sup>3</sup> / año. Con base en estas cifras se calcula el “rendimiento seguro”, entendido como el volumen de agua que puede ser extraído del acuífero sin generar condiciones indeseables que lo puedan afectar como fuente sostenible de abastecimiento de agua, el rendimiento seguro para los niveles acuíferos actualmente bajo explotación correspondería entonces, para la cuenca del río Chiticuy, al volumen que se recarga anualmente 33,84 m<sup>3</sup> / año.

### **3.16. Recursos de agua subterránea del municipio de Duitama**

Los estudios realizados en los acuíferos de porosidad secundaria son muy escasos y por lo tanto, se hace necesario realizar una evaluación hidrogeológica detallada, que permita establecer las posibilidades de los acuíferos de porosidad secundaria, como fuente de agua potable para la ciudad de Duitama.

### **3.17. Cálculo del índice de escasez para agua subterránea (les)**

Para calcular el índice de escasez para el agua subterránea se aplicó la metodología establecida por el MAVDT, en la Resolución No. 872 del 12 de Mayo del 2006:

$$les = \frac{\text{Caudal captado}}{\text{Caudal explotable}} = 0.28$$

Este resultado expresado en porcentaje sería el 28 %; de acuerdo con la escala de valoración dada por el IDEAM (1988), para las diferentes categorías del índice de escasez, la presión sobre el recurso de aguas subterráneas es media. Ello indica que es urgente reordenar la demanda y la oferta para prevenir futuras crisis en el suministro de agua potable para la ciudad de Duitama. Ello se puede hacer con una gestión integral del recurso, aplicando estrategias de protección de la oferta o de expansión de la misma, aprovechando otros acuíferos que se hallen en el área.

### **3.18. Plan de monitoreo y seguimiento**

El monitoreo y seguimiento del acuífero debe iniciarse de inmediato y debe cumplir con los siguientes parámetros mínimos, niveles estáticos y dinámicos, mínimo una vez al mes, en todos y cada uno de los pozos existentes, caudales de explotación. Debe obtenerse un registro continuo de caudales en todos y cada uno de los pozos; muestreo para análisis físico químico, mínimo una vez al año; muestreo para análisis isotópico; deben tomarse muestras mensuales en todos y cada uno de los pozos y de agua lluvia de la cuenca del río Chiticuy y de cuencas aledañas (río Surba), durante un año; el muestreo debe hacerse con criterio técnico y científico y deben ordenarse análisis de Oxígeno 18 y de Hidrógeno -2.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Se espera un progresivo crecimiento de los niveles de almacenamiento de agua superficial, si persisten los efectos de variabilidad climática tipo ENSO en su fase húmeda.

El principal acuífero que se halla bajo explotación en la actualidad corresponde a los niveles de arenas y gravas de los depósitos fluvio lacustres (Qpl) aprovechados por la mayoría de los pozos profundos, que actualmente extraen agua subterránea en el municipio de Duitama. Existen otros acuíferos susceptibles de aprovechamiento, en varias de las formaciones que poseen porosidad secundaria, destacándose por su gran extensión y zona de recarga el acuífero de la formación La Rusia.

El balance hídrico lleva a la conclusión de que la recarga es del orden de 33,8 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> anuales.

El índice de escasez, calculado indica que existe una presión media sobre los recursos de agua subterránea. Por lo tanto es necesario reordenar la demanda y la oferta para prevenir futuras crisis en el suministro de agua potable para la ciudad de Duitama.

La Formación La Rusia constituye un acuífero de importancia hidrogeológica. En la actualidad no se está aprovechando dado que, hasta el momento no se ha considerado como tal. Este acuífero debe ser materia de evaluación, ya que puede constituir una fuente importante de aguas subterráneas para cubrir las futuras necesidades de la ciudad.

## **5. Referencias Bibliográficas**

Cely R., Omar A. (2013). Utilización de modelos hidrológicos para la determinación de cuencas en ecosistemas de páramo. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178, 4 (2). pp: 56 - 65. Disponible en: [http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/RA/article/view/432/432](http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/view/432/432)

Cruz S., Diana C., Rivera, María E. (2014). Distribución del recurso hídrico de la microcuenca la quiña, departamento de Boyacá, Colombia. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178, 5 (1). Disponible en: [http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/RA/article/view/469/467](http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/view/469/467)

Sankarasubramanian y Vogel. (2002). Climate elasticity of stream flow in the United States.

Vogel, R. M. & Kroll, C.N. ((2002). Regional Geohydrologic-geomorphic relationships for estimation of low-flow statistics. Water Resources Res. 28(9), 1992, 2451 – 2458.

Thomas, H. A. (1982). Improved Methods for National Water Assessment. Report, Contract WR 15249270, US Water Resources Council, Washington D.C. USA.

Thomas, H. A., Marin, C. M., Brown, M.J. y Fiering, M. B. (1983). Methodology for Water Resources Assessment. Report NTIS 84- 124163, US Geological Survey, National. Springfield, Virginia, USA.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Atlas Climatológico Nacional – Distribución espacio – temporal de las variables del clima.