

PUNTOS DE VISTA

Modelo matemático de flujo del sistema acuífero del valle aluvial de antigua Guatemala, Sacatepéquez, Guatemala

Flow mathematical model of the alluvial valley aquifer system of ancient Guatemala, Sacatepéquez, Guatemala

Eugenio Orozco & Orozco¹, Isaac Herrera¹ y Albi Mujica Cervantes²

RESUMEN. El presente estudio es un modelo matemático de flujo de aguas subterráneas para el sistema acuífero presente en el valle aluvial de la Antigua Guatemala, Sacatepéquez, Guatemala. En el valle destacan unidades de rocas andesíticas y depósitos de lapilli, sobreyacidos por aluviones mezclados con sedimentos de piroclastos. Se estima una recarga potencial por precipitación de 50 millones m³/año, representando un 24% de la precipitación en la zona. Las transmisividades del sistema acuífero van de 50 a 300 m²/día para los sedimentos superiores y de 600 a más de 5 000 m²/día para las rocas fracturadas. Coeficiente de almacenamiento de 0,1 desde Antigua Guatemala hasta Ciudad vieja constituyendo un acuífero libre y desde aquí hasta Alotenango, es semiconfinado con un coeficiente de almacenamiento de 0,01. El modelo matemático generado, se considera de aplicabilidad únicamente en el valle aluvial. En la calibración del modelo en estado transitorio, se tiene un error medio de 0,266 m. y un error de 2,36%. Por lo tanto, el modelo puede ser útil para hacer proyecciones de manejo y explotación futura de los recursos hídricos subterráneos de la zona.

Palabras clave: valle aluvial, recarga potencial, parámetros hidrológicos,

ABSTRACT. The present study is a mathematical model of groundwater flow for the aquifer system present in the alluvial valley of the Antigua Guatemala, Sacatepéquez, Guatemala. In the valley they emphasize andesitic rocks units and deposits of lapilli, overlain by alluviums mixed with sediments piroclastos. A potential recharge by precipitation of 50 millions m³/año is considered, representing a 24% of the precipitation in the zone. The transmissivity of the aquifer system go from 50 to 300 m²/day for sediments superior and of 600 to more than 5 000 m²/day for fractured rocks. Coefficient of storage of 0.1 from Antigua Guatemala to Ciudad Vieja constituting a unconfined aquifer and from here to Alotenango, is leaky aquifer with a coefficient storage of 0.01. The generated mathematical model, is considered solely of applicability in the alluvial valley. In the calibration of the model in transient state, one has a mean error of 0,266 m. and an error of 2,36%. Therefore, the model can be useful to make projections of handling and future operation of the underground hydric resources of the zone.

Keywords: Alluvial valley, Potential recharge, Hydrology parameters.

DESARROLLO

Ubicación geográfica

El presente trabajo consistió en la elaboración de un modelo matemático de flujo de aguas subterráneas para el sistema acuífero presente en el valle aluvial del río Guacalate, desde Antigua Guatemala hasta Alotenango en el departamento de Sacatepéquez, Guatemala. El área se encuentra en la parte norte de la cuenca del río Achiguate en la vertiente del

Pacífico en Guatemala, aproximadamente a 45 km al Oeste de la ciudad de Guatemala, dentro de las coordenadas UTM 1 600 000 m a 1 616 000 m Norte y 728 000 m a 752 000 m Este, con un área de 204,0 km² (Figura 1). Está comprendida dentro del departamento de Sacatepéquez. Entre los principales municipios que se encuentran dentro de ella, tenemos Antigua Guatemala, Ciudad Vieja Sacatepéquez, San Miguel Dueñas, y Alotenango.

Recibido 22/07/10, aprobado 31/03/11, trabajo 31/11, puntos de vista.

¹ M.Sc., Profesor Investigador, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, E-✉: eugenioorozco@yahoo.com

² Dr.C., Director del Centro de Estudios Hidrotécnicos, Facultad de Ingeniería, Universidad "Máximo Gómez Báez", Ciego de Ávila.



FIGURA 1. Mapa de Ubicación General del Área de Estudio, dentro de la cuenca del río Achiguate.

Hidrogeológicamente, sobre el sistema acuífero ubicado en el valle aluvial con un área de 30 km², tienen influencia las regiones ubicadas en las faldas de los volcanes de Agua, que alcanza una elevación de 3 760 m.s.n.m. al sureste y Acatenango con 3 970 m.s.n.m. al suroeste, representando un potencial importante para la recarga al sistema acuífero presente en el valle (Velásquez, 1995). Por ello se consideró el área geográfica de influencia sobre el valle desde la Antigua Guatemala hasta Alotenango. El valle aluvial, se orienta en forma general de norte a sur, las partes planas presentan pendientes entre 0 a 4%, mientras que las laderas de las colinas y montañas que sobre él influyen presentan pendientes mayores del 50%.

Geología y estratigrafía del sistema acuífero

En el área, los materiales geológicos constituyentes son rocas volcánicas terciarias y cuaternarias como lavas, tobas y cenizas. Estas sobreyacen un basamento formado por bloques levantados (horsts) de rocas ígneas terciarias y rocas carbonatadas cretácicas. Dentro del basamento se formaron varias depresiones tectónicas que fueron rellenadas por depósitos piroclásticos, posteriormente estos depósitos fueron erosionados por la acción del río Guacalate, dando lugar al valle aluvial

(JICA-INFOM, 1995, Koch y McLean, 1975)

En la zona, se ha presentando abundante actividad volcánica y tectónica. Como resultado de los levantamientos (horsts) y hundimientos (grabens) de la región y específicamente por movimientos del sistema de fallas de los volcanes Acatenango, Fuego y Agua los flujos de lava se encuentran fracturados. Las fallas Noroeste-Sureste y Noreste-Suroeste formaron el límite del valle tectónico del río Guacalate, el que se encuentra bastante alineado, concluyéndose que la cuenca hidrogeológica está controlada por procesos volcano-tectónicos (JICA-INFOM, 1995, Koch y McLean, 1975).

Las unidades litológicas de la zona, se describen en orden ascendente de la más antigua a la más reciente. Es decir de las lavas dacíticas que constituyen el Grupo Terciario (Mioceno Superior-Plioceno) a los depósitos volcánicos del Cuaternario que incluyen lapilli, lavas andesíticas basálticas, tepHras (piroclastos) y los depósitos aluviales recientes. Hidrogeológicamente, destacan las unidades de lavas andesíticas y depósitos de lapilli del Cuaternario. Con menor grado de amplitud espacial, se encuentran aluviones mezclados con sedimentos de piroclastos recientes (INSIVUMEH-BRGM, 1997, Herrera, 1998), (Figura 2).

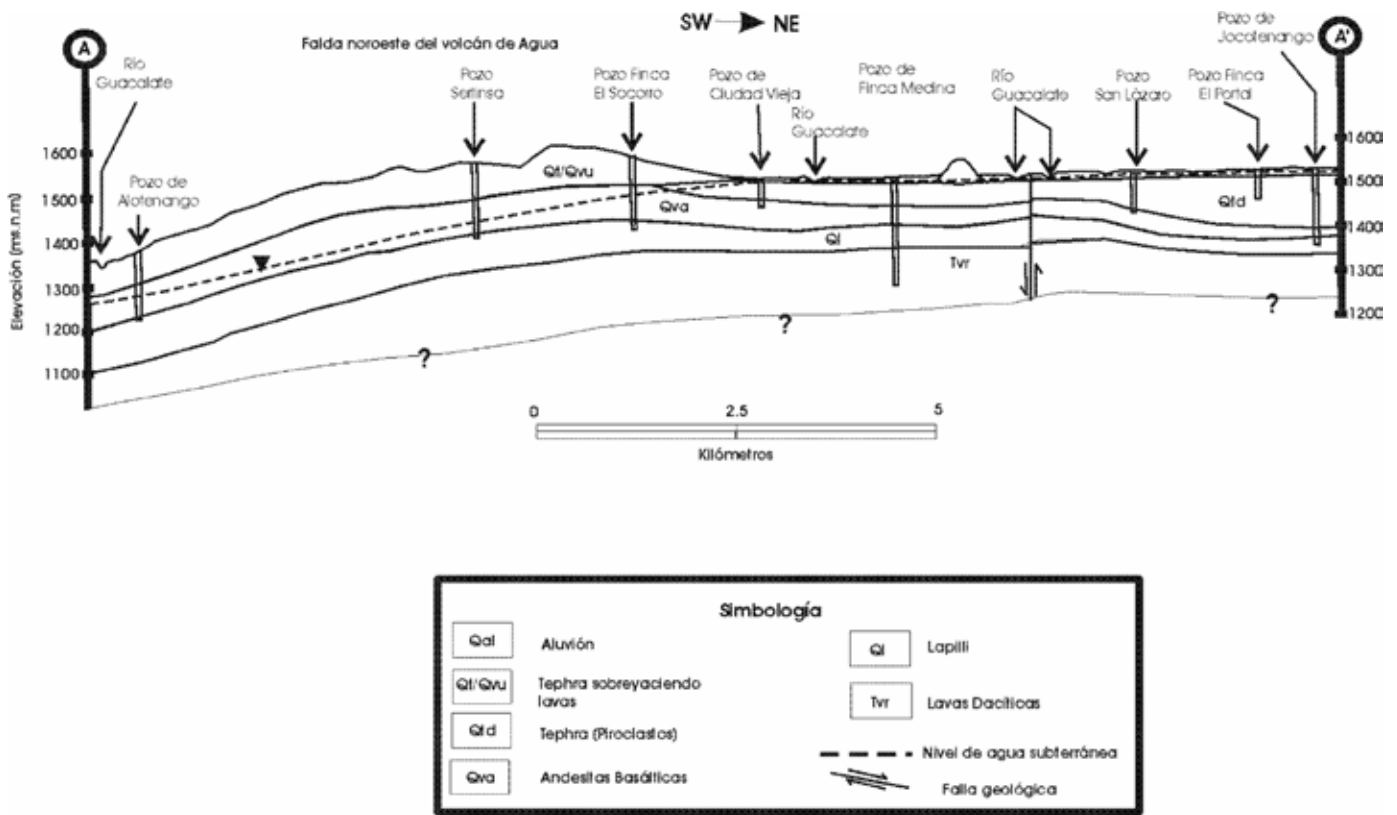


FIGURA 2. Perfil Hidrogeológico A- A'.

Recarga hídrica natural potencial al sistema acuífero

En el estudio, se realizó un balance hídrico de suelos, estimándose que existe una recarga hídrica potencial por precipitación alrededor de 50 millones de m³/año, representando un 24% de la precipitación en la zona. Este valor, aunque constituye el mayor aporte anual a las aguas subterráneas en el área, no es la única. Existe un flujo base proveniente de la cuenca alta del río Guacalate, este valor que ingresa se estimó en 16 millones de m³/año (Motta, 2001). La sumatoria de estos valores se considera el valor de entrada al sistema de aguas subterráneas, mientras que el flujo base de salida del río Guacalate en la estación de Alotenango (punto de aforo) y la extracción de agua subterránea en la zona a través de pozos constituyen las salidas.

Características hidrogeológicas del sistema acuífero

Los parámetros hidrogeológicos que caracterizan a cada uno de los medios acuíferos del sistema y que se consideran representativos, van de 50 a 300 m²/día de transmisividad para los sedimentos superiores. Los valores de este parámetro para las lavas fracturadas van de 600 a más de 5 000 m²/día. En el sistema acuífero, estos materiales tienen valores de coeficiente de almacenamiento de 0,1, mostrando que se trata de un sistema acuífero libre desde Antigua Guatemala hasta Ciudad vieja. La condición desde aquí hasta Alotenango, es de semiconfinamiento con un coeficiente de almacenamiento de 0,01. La permeabilidad media en el abanico aluvial de

Antigua Guatemala, indicada por Velásquez (1995) es de 33 m/día. Permeabilidades de 4,0 a 7,8 m/día fueron obtenidas en los pozos perforados en los sedimentos de la parte norte del valle aluvial (INSIVUMEH, 1981). En las lavas de San Miguel Dueñas se reportan valores de 10 y 40 m/día hasta 70 y 88 m/día (INSIVUMEH 1978). Herrera (1998), calculó para el acuífero en rocas fracturadas valores de permeabilidad de 30 a 45 m/día.

En el presente estudio, se estimaron valores de permeabilidad de 12 a 13,7 m/día en pozos perforados en sedimentos. En las lavas se tiene más variabilidad, ya que se calcularon valores de 2 m/día para pozos que se encuentran en Alotenango a 12 m/día en la zona comprendida entre Ciudad Vieja y Alotenango. En las lavas de San Miguel Dueñas se tienen valores 28 y 85 m/día. Estas diferencias de permeabilidad, estriban en que la porosidad en las partes bajas de Antigua Guatemala es primaria, el agua se mueve a través de los espacios porosos de los sedimentos de grava, arena y limo. En las rocas volcánicas, es secundaria dado que la circulación del agua se da a través de fracturas de los bloques de lava.

Modelo conceptual del movimiento de las aguas subterráneas

La dirección del flujo de agua subterránea en el sistema acuífero, muestra una tendencia general que va del Noreste y Suroeste hacia la parte plana del valle y baja de la zona de estudio. En las partes de laderas varía en relación directa con la topografía del lugar, constituyendo una recarga desde las partes altas del este y oeste (zona de los volcanes) hacia la par-

te del valle en el centro de la zona. Entre San Antonio Aguas Calientes y San Miguel Dueñas, la dirección de flujo es de Noroeste a Sureste que corresponde al rumbo del sistema de fallas principal del área, mientras que en la parte oriental de Antigua Guatemala, la dirección de flujo es de Este a Oeste, por lo que se considera que el flujo está controlado por la estructura geotectónica de fallas de las partes montañosas. Un mayor flujo de agua subterránea, se puede captar en la parte noroeste, en los alrededores de Antigua Guatemala y San Miguel Dueñas, donde confluye de las partes norte, este y oeste, formando un valle geotectónico por donde circulan las aguas

del sistema acuífero con orientación similar al trayecto del río Guacalate. Otra zona que presenta grandes volúmenes de agua subterránea, la constituye la parte norte de Alotenango, ya que al existir un valle entre los volcanes de Agua y Acatenango formando una “garganta natural”, el agua subterránea tiene su confluencia en esta parte (Figura 3). En términos generales, se puede decir que el movimiento de las aguas subterráneas a nivel regional, sigue el patrón de circulación de acuerdo a las características geomorfológicas de la cuenca hidrográfica, es decir, los niveles de las aguas subterráneas varían de acuerdo con las características topográficas de la cuenca superficial.

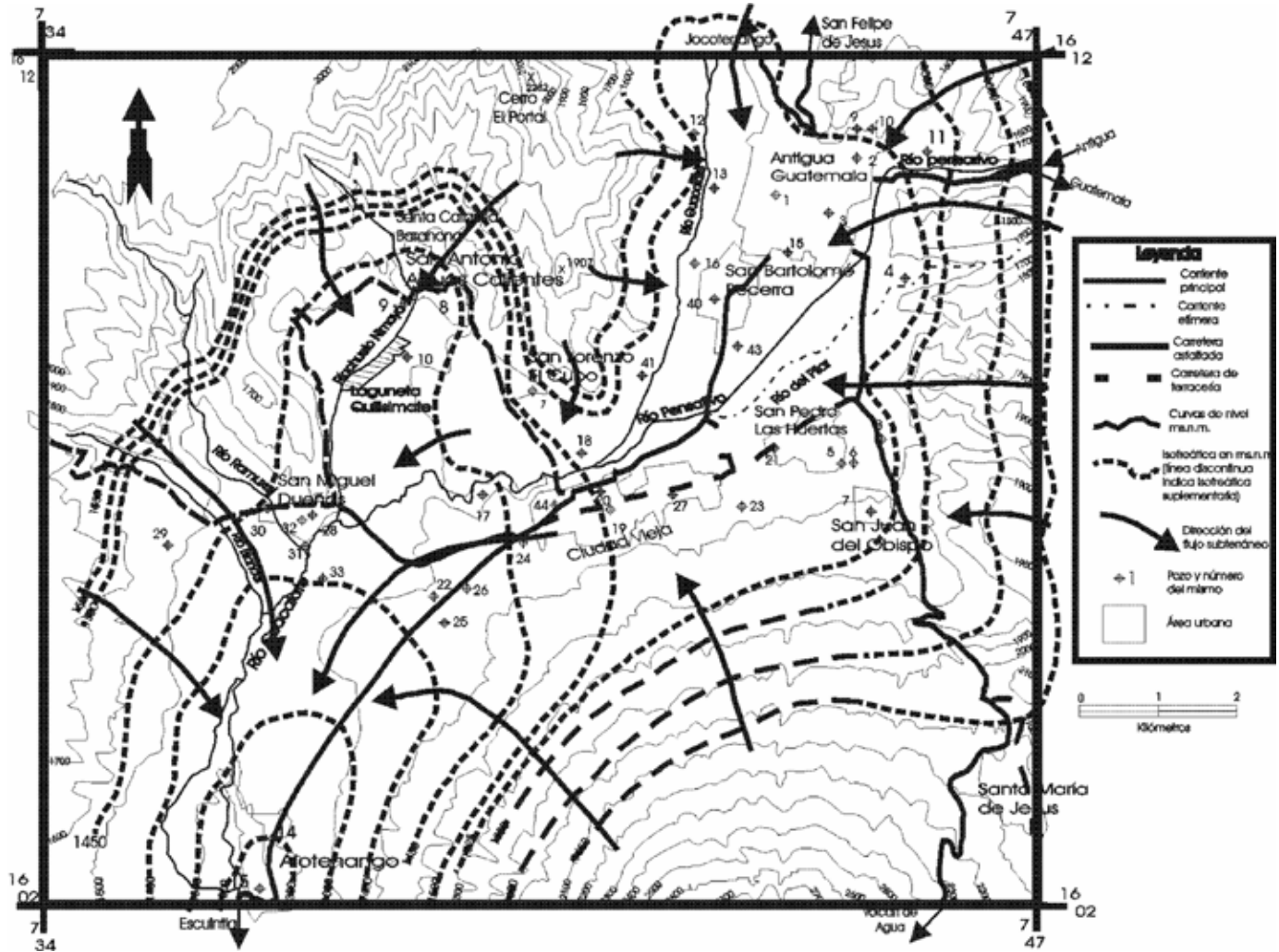


FIGURA 3. Mapa de Isolíneas de agua subterránea.

Potencial del recurso hídrico

En el área, la explotación actual de agua subterránea se estimó en 27 millones de metros cúbicos anuales (41% del recurso temporal). En la estación hidrométrica de Alotenango, el flujo base del río Guacalate estimado es de 31 millones de metros cúbicos por año. De acuerdo a estas cifras, el recurso hídrico subterráneo en el área se encuentra en un estado de desarrollo, las entradas naturales son mayores a las extracciones. Se tiene una sub-explotación, es decir el manejo del

recurso hídrico es deseable y posible, pudiéndose obtener mayor provecho efectuando la extracción del recurso hídrico subterráneo de una forma planificada y racional logrando así la conservación del mismo. El potencial hídrico subterráneo total viable de aprovechar se estimó en 36 millones de metros cúbicos por año y se recomienda la debida planificación que incluya protección de las partes altas de la zona con el fin de mantener la recarga natural, y llevar un registro a detalle de los caudales extraídos para que no pueda existir sobre-explotación del recurso.

Modelo matemático del flujo de aguas subterráneas

El modelo que se generó, se considera de aplicabilidad únicamente en el valle aluvial. Fuera del mismo sus resultados pueden ser erróneos e incongruentes con la realidad. Se desarrolló mediante el uso del software Modflow (McDonald and Harbaugh, 1988), desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos, con la implementación de la interfase gráfica Visual Modflow 2.8.2. por Waterloo Hydrogeologic, Inc. (2000). Entre los datos de entrada del modelo se tienen las características topográficas de la superficie del terreno y de las diferentes capas geológicas, conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento y porosidad de los diferentes materiales. Condiciones de frontera, tales como celdas de

no flujo, pozos de inyección, conductancia del lecho del río Guacalate y sus tributarios. Se consideró además la recarga, descarga del sistema por bombeo de pozos. Considerando que el dominio del modelo es el valle aluvial incluyendo su área geográfica de influencia principalmente en cuanto a recarga natural, se colocaron cargas constantes en las secciones en las que se encuentra el volcán de Agua al Este, el volcán Acatenango y cerro El Tigre al Oeste. Estas se colocaron en el extremo del dominio del modelo de tal manera que su efecto no sea directo en la simulación de futuros abatimientos por bombeo. En la calibración del modelo en estado transitorio, se tiene un error medio de 0.266 m. con un error de 2,36% lo que se considera aceptable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HERRERA, I. 1998. Reconocimiento hidrogeológico de la cuenca del río Itzapa, departamento de Chimaltenango, Guatemala. Tesis maestría. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. 152 p.
- INSIVUMEH. 1978. Informe hidrogeológico del pozo de explotación Dueñas III. Sección de aguas subterráneas. Guatemala. s.p.
- INSIVUMEH. 1981. Informe hidrogeológico del pozo Guacalate (Jocotenango I). Sección de aguas subterráneas. Guatemala. s.p. [Informe interno].
- INSIVUMEH-BRGM. 1997. Modelización del transporte de agua y solutos en los estratos volcánicos y sedimentarios en la ciudad de Guatemala. Proyecto de Cooperación Franco-Guatemalteco. Guatemala. 144 p.
- JICA-INFOM. 1995. Estudio sobre el desarrollo de las aguas subterráneas en el altiplano central de la república de Guatemala. Informe principal. KOKUSAI KOGYO CO. Guatemala. s.p.
- KOCH, A., McLEAN, H. 1975. Pleistocene tepHra ans ash flow deposits in the volcanic highlands of Guatemala. Geol. Soc. Am. Bull., 86. pp. 529-541.
- McDONALD, M.D., and HARBAUGH, A.W. 1988. A modular three-dimensional finite-difference flow model. Técnicas en Investigaciones de Recursos Hídricos del Geological Survey de los Estados Unidos, Libro 6. 586 p.
- MOTTA, E. 2001. Modelo matemático del acuífero de la cuenca alta del río Guacalate, Chimaltenango y Sacatepéquez, Guatemala. Tesis maestría. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. 106 p.
- VELASQUEZ, E. 1995. Estudio hidrogeológico preliminar del Alto Guacalate. Guatemala. 45 p.
- WATERLOO HYDROGEOLOGIC INC. 2000. Programa de interfase gráfica Visual Modflow 2.8.2. Ontario Canadá. 80 p.

