

Resúmenes de tesis

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO DE GULUCHAPA, SAN SALVADOR, EL SALVADOR

José Roberto Duarte Saldaña

Tesis de Maestría, 1998; XVII + 134 págs., 26 tablas, 43 figs., + 3 apéndices

El presente trabajo de investigación contempla la utilización de un modelo de flujo de aguas subterráneas del Acuífero de Guluchapa, con el propósito de determinar su comportamiento tanto en la condición natural como en la condición con bombeo. La implementación de dicho modelo necesitó la obtención de las principales características hidráulicas del acuífero, las cuales se determinaron mediante la aplicación de técnicas de hidrogeología física, hidrogeoquímica e hidrología isotópica.

El acuífero en estudio se encuentra dentro de la Cuenca del Río Guluchapa, la cual está localizada a 12 km al este de la ciudad de San Salvador. Los principales límites del acuífero son los siguientes: al norte con la divisoria de aguas subterráneas de la Subcuenca del Río Las Cañas, al este con el Lago de Ilopango, al oeste con el San Jacinto, considerado como una barrera impermeable y al sur con la divisoria de aguas subterráneas de la Subcuenca del Río Comalapa. La extensión aproximada del Acuífero de Guluchapa es de 25 km².

Las principales unidades hidrogeológicas que componen al acuífero son las rocas volcánicas terciarias, consideradas como el estrato impermeable o basamento, los piroclastos pleistocénicos, constituidos por cenizas volcánicas, pómez y tobas, y los depósitos sedimentarios cuaternarios, consistentes en depósitos aluviales (arenas, gravas y limos).

El Acuífero de Guluchapa es de tipo semiconfinado, presentando valores de coeficiente

de almacenamiento entre 10^{-3} a 10^{-4} y valores de transmisividad que oscilan entre 1000 a 1900 m²/día. El efecto de semiconfinamiento es producido por una capa de material fino y compacto (toba lítica), cuyo espesor es de aproximadamente 15 m.

Los aforos diferenciales realizados en los Ríos Cuaya y Chagüite y las mediciones del gradiente hidráulico obtenidas en los nidos de piezómetros instalados, permitieron constatar la existencia de la conexión hidráulica río-acuífero, la cual fue muy importante para determinar la función que jugarían los ríos dentro del modelo utilizado.

El modelo numérico utilizado para representar el comportamiento del acuífero de Guluchapa determinó que el sistema de flujo de aguas subterráneas se orienta de oeste a este, teniendo como zonas de descarga el Lago de Ilopango por medio de flujo subterráneo, y los ríos a través de flujo base.

También se obtuvo que existen dos tipos de recarga al acuífero que son la recarga por precipitación que se infiltra, calculada en 20,500 m³/día, y la recarga por percolación vertical de los ríos, determinada en 6,000 m³/día, aproximadamente un 18% de la escorrentía superficial.

El flujo subterráneo disponible del acuífero se determinó en 22,300 m³/día, por lo que toda extracción por bombeo menor a este caudal no produce ninguna inducción de agua del Lago de Ilopango hacia el acuífero.

RECONOCIMIENTO HIDROGEOLOGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ITZAPA, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, GUATEMALA

Isaac Rodolfo Herrera Ibañez

Tesis de Maestría, 1998; XII + 104 págs., 24 tablas, 20 figs., + apéndice

El presente trabajo condensa información sobre la geología, hidrología, aguas subterráneas y la hidrogeoquímica de la cuenca del río Itzapa en el Departamento de Chimaltenango del altiplano occidental de Guatemala, con el objeto de caracterizar el acuífero de la cuenca que servirá para la formulación de un plan de manejo o desarrollo de las aguas subterráneas del municipio de San Andrés Itzapa.

Las principales unidades geológicas del área pertenecen al grupo volcánico del Terciario y consta de materiales del Mioceno al Plioceno, estando constituidas por andesitas y flujos riolíticos con obsidiana, las cuales están altamente fracturadas y forman el acuífero local. Las rocas volcánicas del Cuaternario comprenden el Pleistoceno y Holoceno compuestas de rocas volcánicas como dacitas y andesitas basálticas, y flujos piroclásticos de pómez, diamictones y conos volcánicos.

Por aforos diferenciales realizados en el río Itzapa, se determinó que éste, es influente, por lo que también recarga al acuífero. En la cuenca existe una distribución espacial de la recarga al acuífero, distinguiéndose tres áreas de recarga: 1) la parte baja de la cuenca donde se recarga un volumen anual de agua de $3,87 \times 10^6$ m³; 2) la parte alta de la cuenca donde se recargan anualmente $6,18 \times 10^6$ m³; y 3) la parte noroeste fuera de la cuenca que da una recarga lateral anual de $0,89 \times 10^6$ m³. El volumen total de recarga anual se estima de $10,945 \times 10^6$ m³.

El acuífero es extenso y profundo, por lo que sus límites corresponden en gran medida con los de la cuenca hidrográfica del río Guacalate, localizándose en rocas volcánicas fracturadas con espesores saturados de por lo menos 80 metros.

El acuífero de la zona de estudio es libre o freático, presentando un coeficiente de almacenamiento de 0,014 a 0,018 y transmisividad en la

parte baja de la cuenca de hasta 5.000 a 7.000 m²/día. Las isofreáticas determinan líneas de flujo de oeste a este, dándose fluctuaciones de los niveles estáticos por cambios estacionales, al menos entre 0,15 a 0,6 m.

En la cuenca existe un alto potencial del recurso hídrico subterráneo, ya que se tiene una recarga de $10,945 \times 10^6$ m³/año y una producción actual de $1,912 \times 10^6$ m³/año, con un balance positivo de 9,03 millones de metros cúbicos por año. Por lo que la explotación actual representa solo el 21% del recurso temporal y el excedente es de un 79%.

La demanda de riego en la parte baja de la cuenca para regar un total de 310 hectáreas sería de aproximadamente 4 millones de m³/año, calculando una aplicación de agua alrededor de 1 l/s/ha. Mientras que la demanda actual para agua potable es de 9.000 habitantes de San Andrés Itzapa, se suple con un pozo que produce 14,2 l/s las 24 horas del día y los manantiales La Toma y La Chorrera en el río Negro.

Por hidrogeoquímica y según el diagrama de Piper, las aguas subterráneas son del tipo bicarbonatadas - calcico - magnésicas, siendo aguas jóvenes con poca evolución química y muy diluidas, presentando valores de sólidos disueltos totales de 85 a 124 mg/l. Poseen valores de pH y temperatura de 6,8 a 7,0 y de 20,5 a 23,7°C respectivamente. Además, estas aguas no presentan contaminantes inorgánicos con concentraciones sobre las normas de potabilidad, por lo que son aptas para consumo humano y para riego.

Los análisis isotópicos de ¹⁸O y ²H, permitieron confirmar de forma cualitativa, que las áreas de recarga, se dan tanto en la parte alta como en la parte baja de la cuenca por efecto de la lluvia, ya sus concentraciones son muy similares a las del agua de precipitación pluvial.

INTERPRETACIÓN GEOMAGNÉTICA DE LOS VOLCANES: MIRAVALLS, TENORIO Y RINCÓN DE LA VIEJA, CORDILLERA VOLCÁNICA DE GUANACASTE, COSTA RICA

Mario Enrique Arias Salguero

Tesis de Licenciatura, 1998; IX+93 págs.+ apéndice, 5 cuadros, 23 figs.

Como parte de los estudios geofísicos con fines de Exploración Geotérmica, llevados a cabo por el Instituto Costarricense de Electricidad en la Cordillera Volcánica de Guanacaste, se elaboró esta investigación con el objetivo principal de realizar una correlación a partir de la interpretación cualitativa de las tendencias y anomalías magnéticas observadas, con la información geológico-estructural compilada.

En el área de estudio, se encuentran aflorando una serie de litologías de origen volcánico, las cuales han sido definidas y agrupadas en cuatro formaciones y nueve unidades informales, con el fin de ordenar y correlacionar varios trabajos que ya existían en la zona, con respecto a los mapas magnéticos el aspecto más importante que se puede observar en el Mapa Magnético de Campo Total es la relación existente entre la orientación de las curvas isomagnéticas y la localización de las anomalías magnéticas, ya sean estas máximos o mínimos pero siempre positivos. Al hacer la correlación entre el Mapa Magnético de Campo Total con el Mapa Geológico, se desprende que la

orientación de los isolíneas magnéticas está influenciada por las estructuras, sin embargo, no se puede relacionar directamente el grado de magnetización con cada una de las unidades geológicas, ya que máximos o mínimos se pueden encontrar prácticamente en cada una de ellas. Se realizaron una serie de mapas filtrados entre ellos: Continuación analítica hacia arriba, Polinomial regional de grado 9, Filtrado pasa bajo a 10 km de profundidad, que representan una sección del basamento profundo, observándose máximos positivos que limitan cuerpos densos y ricos en magnetita. En contraposición los mapas de anomalías residuales: Filtrado pasa bajo a 250 m de profundidad, Polinomial residual de grado 9, Continuación analítica hacia abajo a 125 m, Segunda derivada vertical y Mapa de reducción al polo, resaltan las anomalías magnéticas locales. Se recomienda realizar varias campañas para la toma de datos de susceptibilidad magnéticas de las rocas, con el objetivo de obtener una interpretación cuantitativa que podría reflejar la ubicación y morfología más detallada de cuerpos magnéticos.

ANÁLISIS ESPECTRAL DEL TREMOR ARMÓNICO DEL VOLCÁN ARENAL (COSTA RICA) Y MODELIZACIÓN DE SU FUENTE

Mauricio Mora Fernández

Tesis de Licenciatura, 1998; XII + 112 págs. + apéndice, 12 cuadros, 35 figs.

El volcán Arenal ha mantenido, a lo largo de más de 30 años, erupciones estrombolianas acompañadas de efusión de coladas de lava, algunos flujos piroclásticos e intensa actividad sísmica, de la cual sobresalen, por su abundancia y

particularidad, los tremores armónicos. Esta investigación tiene como objetivo primordial establecer un modelo sismo-volcánico que asocie adecuadamente los rasgos de las señales del tremor armónico en el ámbito de la frecuencia con

la actividad eruptiva del volcán Arenal. Además, trata de establecer la utilidad del estudio de los tremores armónicos como herramienta de pronóstico de erupciones volcánicas.

Para ello se analizaron los registros digitales de tremor del Arenal de los meses de enero a abril de 1995 y de 1997, registrados en la red sísmica del Observatorio Sismológico y Vulcanológico de Arenal y Miravalles (OSIVAM), del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). También se dan a conocer los resultados parciales de una campaña sismológica realizada en enero y febrero de 1997, en la que se utilizaron diversas geometrías de redes sísmicas densas o "arrays". El método fundamental del trabajo fue el análisis espectral en términos de energía, para estudiar las características del resonador (geometría + fluido, fuente del tremor armónico). Utilizando la correlación espacial de los espectros de frecuencia y el método de los cocientes espectrales, se estudiaron los efectos de sitio de cada estación de la red.

El tremor armónico concentra prácticamente toda la energía en estrechas bandas de frecuencia con un modo fundamental (f_1) a 0,9 Hz y armónicos ($f_1 * n$ con $n = 1, 2, 3, \dots$). Se comprobó que estas frecuencias no se deben a efectos de sitio o propagación. Se propone que la fuente del tremor armónico puede ser modelada como un resonador unidimensional ($Q = 20$) con forma de cavidad cilíndrica rellena de magma andesítico basáltico rico en gases y de alta viscosidad ($\leq 10^8$), de unos 500 m de largo, cuyas condiciones de frontera varían en el tiempo según el estado eruptivo del volcán. Un primer estadio estaría dado por fronteras doblemente abiertas, cuando los armónicos impares se ven disminuidos respecto a los pares (1,8, 3,6 ...

Hz). Durante este estadio, la actividad efusiva es mayor y más efectiva, en tanto que la explosividad es muy baja. En el segundo estadio, las fronteras están doblemente cerradas, por lo que los armónicos para 2,7, 4,5, ... Hz) se ven disminuidos respecto a los impares. Como consecuencia, la actividad explosiva es mayor y la efusión es menos efectiva. Los desplazamientos de las frecuencias fundamentales y de sus armónicos en el tiempo pueden ser ocasionados por cambios en la longitud del resonador, barreras en el conducto volcánico, flujos turbulentos transitorios o cambios en la viscosidad del magma. El comportamiento de las frecuencias en el tiempo observado en el Arenal es muy semejante al del volcán Semeru (Indonesia).

A través del modelo propuesto, *grosso modo* se podría decir que si el pico principal de frecuencia se mantiene alto por mucho tiempo ($>2,5$ Hz por espacio quizás de varios días), es posible que el conducto está cerrado y se encuentre acumulando presión, la cual puede eventualmente ser evacuada violentamente por una explosión estromboliana cuya magnitud podría ser mayor a la del promedio. Este padrón de conducta se observó, por ejemplo, durante la actividad eruptiva del 5 de mayo de 1998, lo cual parece sugerir que podría ser plausible utilizar los tremores como instrumentos de pronóstico de erupciones. Por supuesto, son necesarios más detalle y pruebas que corroboren el modelo. Faltan aún muchos aspectos complementarios que no fueron desarrollados aquí y que, sin duda, pueden brindar nuevas claves sobre la geometría del resonador y la fuente excitadora del tremor armónico. No se estudió el mecanismo disparador de la excitación sísmica, el cual es diferente al modelo de resonancia (geometría + fluido involucrado).

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLOGICA Y MANEJO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO TIBÁS, MACIZO ZURQUÍ, VALLE CENTRAL DE COSTA RICA

Ana Lucia Castro M.

Tesis de Maestría, 1999; 112 págs., 17 tablas, 26 figs., + 9 apéndices

Con el presente trabajo, se pretende caracterizar la hidrogeología y definir el manejo de los recursos hídricos en la cuenca alta del río Tibás. Se

eligió la subcuenca del río Lajas, que es un afluente del río Tibás, como cuenca piloto para el desarrollo de la investigación. La cuenca alta del río Ti-

bás se localiza en la ladera sur del Macizo Zurquí, al noreste de Heredia, y tiene una área de 26 km².

Se realizó geología de campo convencional y mapeo de los tipos de rocas presentes. Se utilizaron fotografías aéreas para hacer el inventario del uso actual del suelo. También se hicieron, medidas de caudal, pruebas de infiltración y pruebas de bombeo. Además se hizo un inventario de pozos perforados y excavados y captaciones de agua superficial. Se recurrió a la información meteorológica disponible en el Instituto Meteorológico Nacional para establecer las características climáticas e hidrológicas. Con esta información recopilada, se definieron las características hidrogeológicas de la cuenca y el manejo del agua.

Se concluye que la cuenca alta del río Tibás está establecida en la ladera media e inferior de un antiguo volcán y corta rocas de edad Cuaternario. La geología está conformada por dos miembros, el miembro basal Zurquí y el miembro cuspidal Lajas. Las rocas del Zurquí son lavas, intrusivos hipoabisales y diques de composición basáltica, lahares compactados, autobrechas, tobas y surges. Las del Miembro Lajas son lahares no compactados y tobas. La inclinación general de las capas de roca es de 25° hacia el sur-sureste-suroeste. Los rasgos estructurales son alineamientos y fracturas con rumbo preferencial noreste-suroeste y rumbos secundarios sureste-noroeste y norte-sur.

La precipitación promedio en la cuenca es de 2500 mm al año y se produce entre los meses de mayo a octubre; no obstante, durante los meses de enero y febrero, entrada de frentes fríos procedentes del norte producen precipitaciones de gran importancia. Marzo es el mes más seco del año. Por medio de los aforos realizados en el río Lajas se determinó que el caudal mínimo de los ríos es de 4 l/s observados después de 4 días de no lluvia. Con períodos de más de 4 días sin lluvia, el caudal es crítico y alcanza 1 l/s. Este fenómeno se produce alrededor de 5 veces entre los

meses de enero y abril. El flujo base en la cuenca es de 225,64 mm anual y la recarga aportada a los Acuíferos Colima es de 9,5 l/s como promedio anual, lo que se considera poco importante.

Los acuíferos desarrollados son acuíferos colgados que se albergan en lentes de rocas volcánicas clásticas como son lahares no compactados y tobas arenosas y lapílicas. La recarga es producto del agua de lluvia que se infiltra en la superficie y por percolación vertical a través de tobas de ceniza. Los valores de conductividad hidráulica, obtenidos de las pruebas de bombeo, varían entre 2.3E-6 m/s y 1.0E-4 m/s y los de coeficiente de almacenamiento entre 0.05 y 0.1.

Los análisis químicos de las muestras de agua superficial y subterránea demuestran que estas aguas son bicarbonatadas cálcico-magnésicas, son bastante puras puesto que contienen como máximo 146.9 mg/l de sólidos totales disueltos y los contenidos químicos de iones mayores están por debajo de los valores recomendados por la norma CAPRE.

En relación al manejo del agua por parte de la Asociación Acueducto Rural de Concepción de San Isidro de Heredia, se considera que no es necesario el racionamiento actual del suministro de agua potable, si se invirtiera en las siguientes mejoras: los sistemas de almacenamiento y la captación de nuevas fuentes superficiales y subterráneas. Además, los problemas de abastecimiento sin necesidad de recurrir al racionamiento en el mes de marzo, quedan resueltos utilizando el caudal mínimo de 4 l/s del río Lajas, el caudal mínimo de 0,6 l/s de la Quebrada Caricias y el de 0,6 l/s del pozo Tranqueras, totalizando un volumen de 5,2 l/s; siempre y cuando se lleven a cabo las mejoras de almacenamiento recomendadas.

Al ser captadas las riberas de los ríos del Macizo Zurquí para la utilización de agua potable y además por ser éste una fuente que aporta recarga al Acuífero Colima Superior, debería establecerse como zona de protección a dichas fuentes.