

# Vulnerabilidad intrínseca del acuífero del valle de Chimaltenango, altiplano central de Guatemala. Impactos preliminares de su gestión integrada

## *Intrinsic vulnerability of the aquiferous belonging to Chimaltenango's valley, central high plateau of Guatemala*

Eugenio Orozco & Orozco<sup>1</sup>, Isaac Rodolfo Herrera Ibáñez<sup>1</sup> y Albi Mujica Cervantes<sup>2</sup>

**RESUMEN.** El valle de Chimaltenango, a una distancia de 60 km al este de la ciudad de Guatemala, está constituido por rellenos piroclásticos. En el área, se depende de las aguas subterráneas para el abastecimiento de los centros urbanos, agricultura e industria que actualmente aprovechan el recurso desordenadamente. En este trabajo, se generó información hidrogeológica del acuífero presente en el valle, se estimó su potencial hídrico subterráneo y se evaluó la vulnerabilidad del mismo y se analizaron los principales impactos preliminares de un programa de gestión integrada del recurso hídrico. La delimitación e información general de estudio, se realizó utilizando fotografías aéreas, ortofotos y mapas topográficos y geológicos. Se realizó un inventario de los pozos que se encuentran dentro del área, se midieron sus niveles estáticos y se obtuvo información de su estratigrafía. Se analizaron pruebas de bombeo y se estimaron valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento del acuífero. Se definieron las distintas unidades hidrogeológicas, y se estimó el potencial hídrico subterráneo. La vulnerabilidad intrínseca del acuífero se evaluó mediante el método GOD. Para el acuífero, se estimó un coeficiente de almacenamiento entre 0,01 y 0,02 lo que indica que es un acuífero libre o freático con producciones de 95 a 115 L/s, valores de transmisividad de 250 a 350 m<sup>2</sup>/día y con permeabilidades de 4 a 7,8 m/día. El flujo de agua subterránea tiene una tendencia general de Noroeste a Sureste y la mayor vulnerabilidad se presenta en las zonas urbanas. Existe una necesidad de establecer un marco general de estrategias de gestión integral del agua a nivel de una mancomunidad, y los principales impactos que se esperan de dicha propuesta son: Se garantiza la oferta del recurso y su máximo beneficio económico, se implementan tecnologías de riego más eficientes, se evita la sobreexplotación del acuífero, se disminuye el riesgo de contaminación y se asegura su recarga hídrica natural.

**Palabras clave:** Hidrogeología, gestión integrada, potencial hídrico subterráneo, integrated management

**ABSTRACT.** This study is about the hydrogeological conditions of the aquifer in the Chimaltenango valley, Guatemala. This is unconfined aquifer in pyroclastic deposits and the coefficients of storage go from 0,1 to 0,2. The transmissivity of the aquifer go from 250 to 350 m<sup>2</sup> a day. A potential recharge by precipitation of 13 millions m<sup>3</sup> a year is considered. The potential of groundwater is positive and an integrated groundwater resources management is necessary to guarantee the rational use and future sustainability in the valley.

**Keywords:** Hydrogeology, integrated management, groundwater hydric potential.

## INTRODUCCIÓN

En Guatemala, la falta de agua es uno de los problemas principales, ya que los centros de población tienen un bajo nivel de suministro, a la vez que cuando se trata de aguas superficiales debido a sus altos niveles de contaminación es necesario darle un tratamiento previo, para que sea apta para consumo humano. Esto último ha provocado que la utilización de las aguas subterráneas sea cada vez mayor, con la desventaja de que se ha hecho en una forma descontrolada, sin que exista institución alguna que regule su uso, por lo que se hace

sin ningún manejo tendiente a lograr un aprovechamiento sostenible. El aprovechamiento del agua subterránea, ya sea a través de pozos municipales y privados, se lleva a cabo en una forma desordenada y sin lineamientos tendientes a lograr un aprovechamiento sostenible, haciéndose necesario establecer con mayor objetividad las cantidades de agua subterránea disponibles.

Dicho marco actualmente ha tomado mayor importancia debido principalmente al crecimiento demográfico existente en las regiones del país, con lo que la presión sobre el recurso hídrico ha aumentado. Una de estas regiones la constituye la

Recibido 22/07/10, aprobado 10/09/11, trabajo 56/11, puntos de vista.

<sup>1</sup> M.Sc., Profesor Investigador, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, E-✉: [eugenioorozco@yahoo.com](mailto:eugenioorozco@yahoo.com)

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

del valle de Chimaltenango, dentro del cual se asientan los centros urbanos de los municipios de El Tejar y Chimaltenango del departamento del mismo nombre, las que dependen de las aguas subterráneas para el abastecimiento de agua potable y demás actividades productivas.

Debido a ello se llevó a cabo el presente trabajo que tuvo como objetivos principales generar la información hidrogeológica y de explotación del recurso hídrico subterráneo del valle, evaluar la vulnerabilidad intrínseca del acuífero presente y hacer un análisis de los principales impactos preliminares que se podrían esperar en la región como producto de la ejecución de un programa de gestión integrada del recurso hídrico subterráneo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Delimitación e información general del área de estudio

Se realizó con la ayuda de fotografías aéreas a escala 1:20000 y mapas topográficos a escala 1:50,000. Comprende una superficie de 30,5 km<sup>2</sup> que se ubica en el cuadrante entre las coordenadas UTM 734 000 m y 745 000 metros Este, 1,615000 m y 1,625000 m Norte del Datum horizontal NAD83/WGS84 (Figura 1).

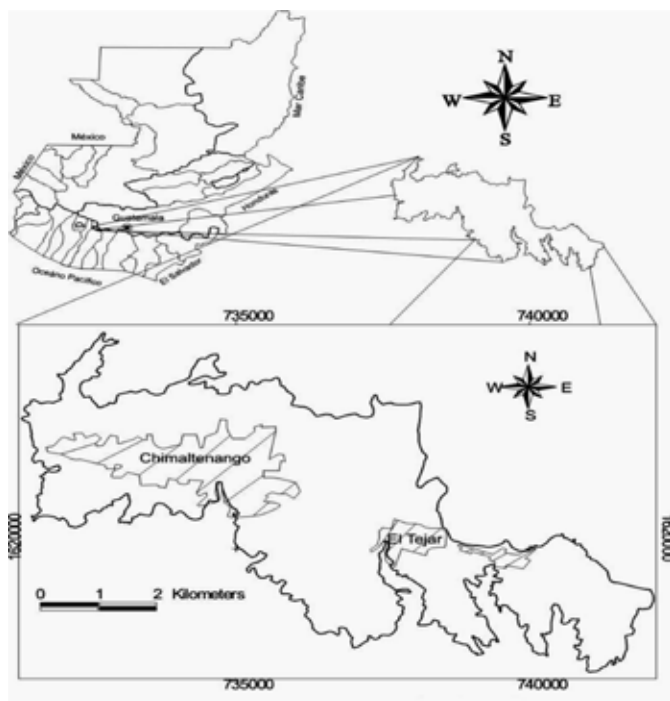


FIGURA 1. Ubicación del Valle de Chimaltenango, Guatemala.

## MÉTODOS

### Levantamiento geológico

El levantamiento geológico del área de estudio comprendió:

- i) La fotointerpretación de la zona con fotografías aéreas y ortofotos del año 2007 a escala 1:10000, definiéndose los contactos geológicos entre unidades superficiales.

- ii) Mapeo geológico del área utilizando mapas geológicos a escala 1:50000 y chequeo de campo por medio de recorridos de caminos, veredas, ríos y quebradas, con el muestreo de las principales unidades de rocas y la elaboración del mapa geológico.
- iii) El levantamiento de columnas litológicas en cortes de taludes de ríos y en pozos perforados dentro y fuera del valle para su correlación estratigráfica.
- iv) La elaboración de perfiles geológicos de acuerdo a la información de afloramientos de rocas y de litología de pozos, donde se definió la estratigrafía del área.

### Hidrogeología

En el trabajo se realizó un inventario de pozos que se encuentren dentro del valle y que se utilizan actualmente para explotación de agua subterránea, ya sea para suministro de agua a las poblaciones o para uso agrícola e industrial. Se obtuvo información de perfiles litológicos, pruebas de bombeo y régimen de explotación. El acuífero que se encuentra dentro de los límites del valle de Chimaltenango, se definió en base a la información generada de geología, estratigrafía y por el análisis de información recabada en el inventario de los pozos. La caracterización hidrogeológica se realizó por el método de correlación entre la geología superficial y subterránea ya es aplicable a zonas con una buena información de afloramientos de campo y buen control de litología de pozos.

La determinación de las direcciones preferenciales de movimiento del agua subterránea y por lo tanto, de su red de flujo se determinó de acuerdo al conocimiento de la distribución de niveles del acuífero. Las mediciones de niveles de agua subterránea se obtuvieron en la época seca y se refirieron al nivel del mar.

Los parámetros hidrogeológicos del acuífero (transmisividad y coeficiente de almacenamiento) se determinaron mediante el método de la prueba de bombeo, que consistió en extraer agua de un pozo a caudal constante y se midió el descenso de nivel de agua en determinado tiempo. Se aplicaron los métodos de Theis, Jacob y Neuman citados en Custodio y Llamas (2001).

### Estimación de la recarga hídrica

La metodología se dividió en dos fases: obtención del mapa de unidades de recarga hídrica para el muestreo de campo y cálculo de la recarga hídrica de cada unidad obtenida, de acuerdo a la geomorfología y al uso actual del suelo. De acuerdo a Muñoz (1998) y Herrera (2002), en los mapas de unidades de recarga hídrica, los factores más importantes que definen las zonas de recarga hídrica son: los geológicos, los geomorfológicos, los hidrometeorológicos y la cobertura vegetal.

La geología define la litología y la estructura hidrogeológica donde se generan los procesos de recarga, almacenamiento y circulación de las aguas subterráneas. El mapa geomorfológico se elaboró utilizando las fotos aéreas y ortofotos, con el posterior chequeo de campo. La geomorfología comprende las geofomas, con similar topografía (grado de pendiente) de los terrenos, y las características físicas del suelo: textura, estructura y pro-

fundidad efectiva (Herrera, 2002).

La meteorología define principalmente la precipitación pluvial como materia prima de la recarga de los acuíferos y la evapotranspiración como pérdida en el sistema hídrico. Para la determinación de la evapotranspiración del valle de Chimaltenango, se utilizó el método del evaporímetro de tanque tipo A. El parámetro meteorológico determinado fue el de precipitación pluvial y se utilizaron los valores de lecturas realizadas en la estación meteorológica del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) que se encuentra en el valle a una altura de 1766 m.s.n.m. En la cobertura vegetal tiene importancia la retención superficial de agua de lluvia y la profundidad de raíces de las plantas. Para la generación de esta información se trabajó con las ortofotos, comprobación de campo y cálculos con hoja electrónica.

La generación de las unidades de recarga hídrica natural, se realizó por medio del traslape de los mapas temáticos a escala 1:10000 de geomorfología y uso actual del suelo. Los mapas se elaboraron con sistemas de información geográfica, utilizando MAP INFO y ARCVIEW. En base a estas unidades se realizaron las pruebas de infiltración con el método de Porchet, y el muestreo de suelos a nivel de campo, con la posterior determinación en laboratorio de suelos de la capacidad de campo, punto de marchites y densidad aparente. Las distintas muestras de suelo, se obtuvieron en las mismas unidades en donde se realizaron pruebas de infiltración.

La estimación de la recarga hídrica, se basó en la ecuación general del balance hídrico, la cual tiene la siguiente expresión:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

Las entradas (precipitación pluvial, aportes), y las salidas (evapotranspiración real, escorrentía, retención), se cuantificaron utilizando el método desarrollado en Costa Rica por Schosinsky y Losilla (2000).

Dado que el valle de Chimaltenango forma parte de la cuenca alta del río Guacalate, se estimó la recarga lateral al Noreste y Noroeste a través de la ecuación de Darcy modificada ( $Q = T \cdot i$ ), (Freeze y Cherry, 1979). Con las estimaciones de alimentación al acuífero (recarga local y lateral) y los valores de explotación, se procedió a calcular el potencial hídrico subterráneo del acuífero.

### Vulnerabilidad intrínseca del acuífero

Para el análisis de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero del valle y la elaboración del respectivo mapa de vulnerabilidad, se tomó de base la metodología GOD (Foster e Hirata, 1987). Para el componente G (Grado de confinamiento hidráulico del acuífero), se consideró un acuífero como libre, para el componente O (Ocurrencia del sustrato suprayacente o litología de la zona no saturada), se asignó el índice en base al espesor de los estratos de origen cuaternario, y para el componente D (Distancia al nivel de agua subterránea), se midió la profundidad al techo del acuífero en los pozos monitoreados en el área. La elaboración de mapas, se llevó a cabo utilizando MAP INFO y ARCVIEW. Se obtuvo el mapa de índice de vulnerabilidad GOD a través de la ecuación:

$$I = G \cdot O \cdot D$$

### Gestión integrada de recursos hídricos

En el presente trabajo, se considera que la gestión de agua ha tenido como eje central el aspecto económico. Actualmente, en el valle se busca plantear un programa de Gestión Integrada del Recurso Hídrico Subterráneo, utilizando de base el enfoque de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). La GIRH, tiene como marco general la eficiencia económica, la equidad social y la sustentabilidad ecológica (Global Water Partnership, 2000).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Geología local

Los poblados de Chimaltenango y El Tejar se asientan sobre una unidad de piroclastos que sobreyacen a rocas andesíticas (Koch y McLean, 1975). Litológicamente se compone de sedimentos de pómez blancos y amarillentos, con granos de 0,5 a 8 cm de diámetro, de forma subangular y subredondeada (JICA-INFOM, 1995). En menor porcentaje en esta unidad se encuentran piroclastos de fragmentos líticos grises, café y negros, entre 0,5 a 5 cm de tamaño en una matriz fina (arcillosa a limosa). También existe vidrio volcánico, feldespatos y cuarzo de forma subangular y subredondeada. Esta variación en composición y color hace que en algunas partes tome la apariencia de un lahar (Herrera, 1998, Motta, 2001, Orozco, 2004). Los espesores de esta unidad son de más de 150 m, y se encuentra saturada en gran porcentaje, como se observa en el perfil hidrogeológico representativo de la Figura 2.

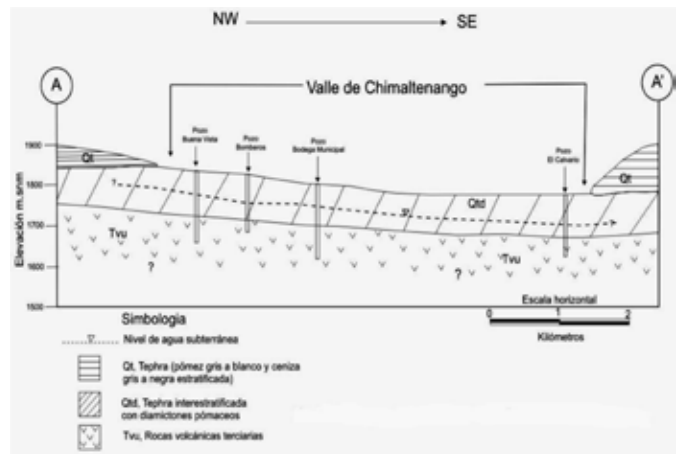


FIGURA 2. Perfil hidrogeológico representativo del Valle de Chimaltenango.

### Características Hidrogeológicas

Transmisividad, coeficiente de almacenamiento y permeabilidad

De acuerdo a los resultados de las pruebas de bombeo que se llevaron a cabo, los valores de transmisividad en el área varían desde 30 hasta 200 m<sup>2</sup>/día. Velásquez (1995) en su informe del Alto Guacalate, menciona valores de transmisividad de 50 a 250 m<sup>2</sup>/día para los depósitos piroclásticos, por lo que existe consistencia en las estimaciones. Se estimó un coeficiente de

almacenamiento de 0,01 lo que indica que es un acuífero libre o freático. Herrera (1998), en los depósitos piroclásticos saturados del valle de Chimaltenango estimó el valor de coeficiente de almacenamiento entre 0,01 y 0,02.

### Niveles y movimiento del agua subterránea

Con base en datos recopilados de niveles estáticos del inventario de 35 pozos, se definieron las isolíneas de niveles del agua subterránea predominantes en el flujo del valle. En la Figura 3, se observa el comportamiento de las isolíneas y dirección de flujo de agua subterránea en el acuífero, con una tendencia general en Noroeste a Sureste.

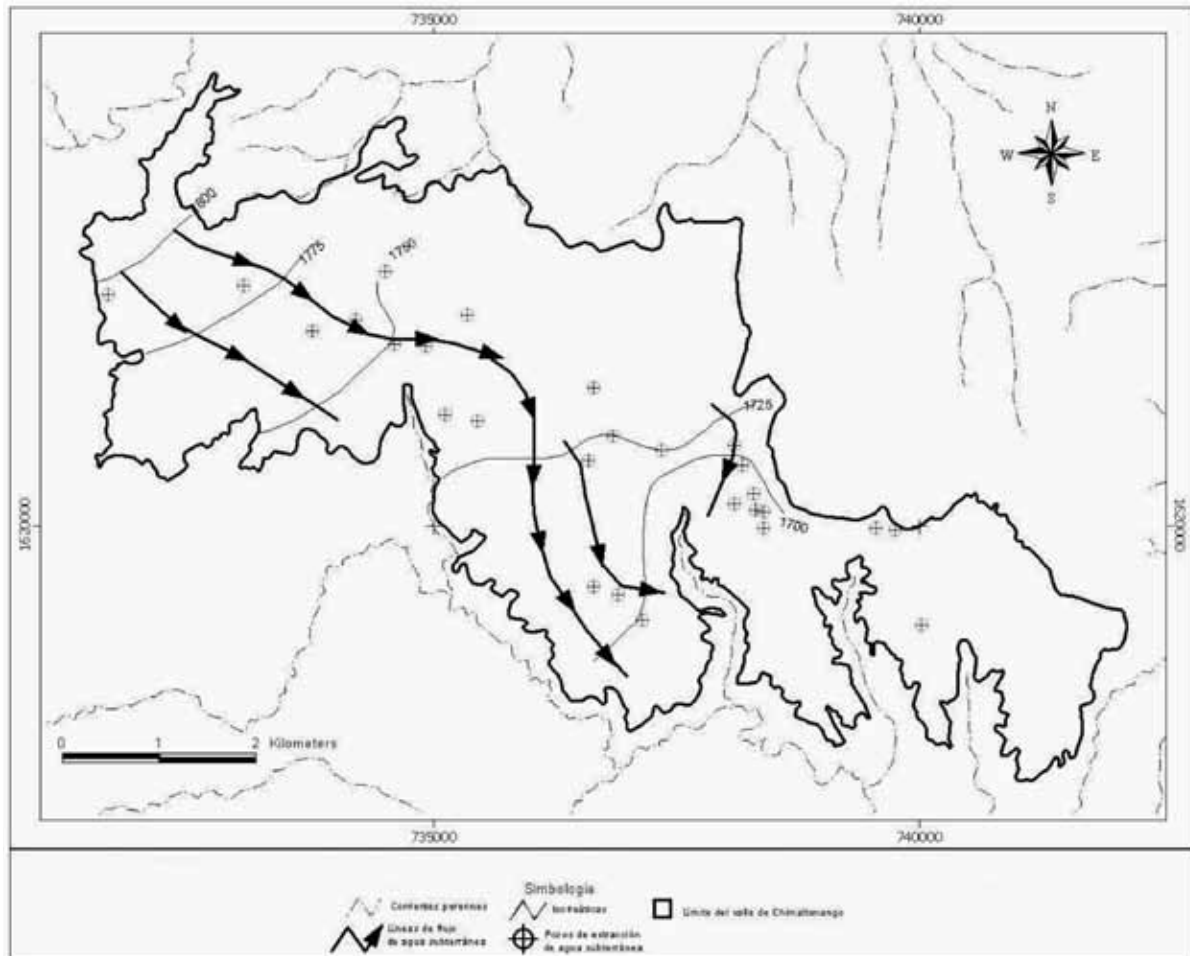


FIGURA 3. Mapa de isolíneas de agua subterránea en el Valle de Chimaltenango.

### Explotación actual de las aguas subterráneas

En el área, el agua subterránea es captada por medio de pozos, la mayoría son perforados y con profundidades que varían de 60 a 150 m, con diámetros de 0,1524, 0,2036 y 0,3048 m y revestidos con tubería metálica. La explotación del agua subterránea se da por medio de caudales que oscilan entre 5 y 30 L/s, estos bombes generalmente no son continuos, los pozos municipales bombean de 16 a 20 horas al día, mientras que los pozos particulares un promedio de 8 a 10 horas. El uso principal de la explotación para agua potable, y en menor grado para riego, uso industrial y producción pecuaria. Se estimó que el caudal extraído por los pozos inventariados dentro del valle es de aproximadamente 13 millones de metros cúbicos anuales.

### Potencial hídrico

La zona, comprende planicies del valle y pequeña partes montañosa del Noreste y Noroeste. Los suelos son de textura franco arcillo arenosa, con cobertura principalmente de maíz, frijol, hortalizas, café y bosque abierto de coníferas. Los datos meteorológicos que se utilizaron registran una precipitación media de 1100 mm/año. Se estimó una lámina de recarga anual de 0,72 mm, que origina un volumen de recarga natural anual equivalente a 18,5 millones de metros cúbicos y se estimó una recarga lateral de 3,2 millones de metros cúbicos al año, representando un balance anual positivo de disponibilidad de agua subterránea

## Vulnerabilidad Intrínseca del acuífero

Después de considerar los valores de los distintos índices, se generó un mapa de vulnerabilidad del acuífero. Debido a la homogeneidad en la geología de la zona y al grado de confinamiento del acuífero, el producto que se obtuvo mostró variación únicamente en el aspecto de profundidad del acuífero, por lo que se incluyó como variante el efecto de las áreas pobladas como factor que incide en la mayor o menor vulnerabilidad del acuífero, obteniéndose el mapa que se muestra en la Figura 4.

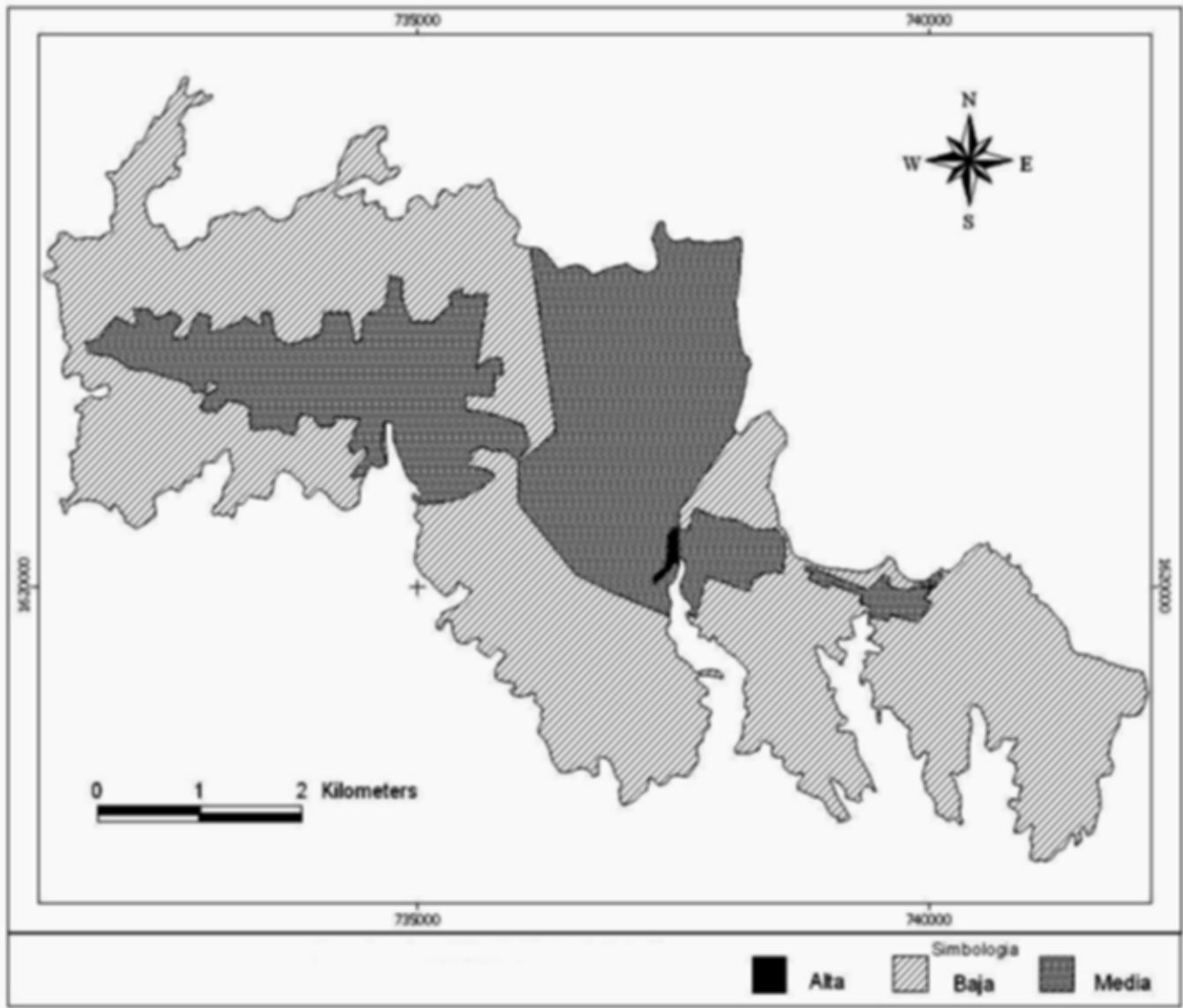


FIGURA 4. Mapa de vulnerabilidad del acuífero del Valle de Chimaltenango.

### Principales impactos preliminares que se esperan de la gestión integrada

Actualmente se está trabajando en el desarrollo de un plan de gestión integrada del recurso hídrico subterráneo en el área de estudio, con dicho plan y basado en los principios y mecanismos de la GIRH, se esperan principalmente los siguientes impactos:

1. Se garantiza que la oferta del recurso sea mayor que la demanda de los usuarios, principalmente en los usos de consumo humano y utilidades domésticas. Se coadyuva en el crecimiento económico (agrícola, industrial, turismo, servicios públicos, etc.) de la región al asegurar el suministro del agua.
2. Una gestión adecuada del recurso hídrico, tiene su implicación en el aumento de ingresos como pago por su uso y puede ser fuente de futuros empleos en la región en su ejecución.
3. El contar con el suministro de agua en todo momento, puede ser fuente de seguridad o disminución de pérdidas económicas ante posibles desastres, sean estos naturales o no.
4. Se hace necesario la implementación de sistemas de riego más eficientes con el objeto de disminuir las cantidades de agua utilizadas con estos fines.
5. Se debe de colocar estructuras de monitoreo de niveles de agua subterránea (piezómetros) con el objeto de conocer las fluctuaciones de nivel del acuífero y su recarga. Las

perforaciones de pozos en la zona, se deberán de realizar previo a un análisis hidrogeológico con el objeto de analizar efectos sobre el acuífero..

6. Se evitará la sobreexplotación del acuífero del valle y se disminuirá el riesgo de su contaminación a través de vertidos, sean estos productos de usos domésticos, agrícolas, industriales o pecuarios.
7. Al garantizar el suministro de agua y de buena calidad producto de la gestión integrada, se incide en el mejor nivel de vida de la población y se impacta en la salud de los mismos al reducir el grado de incidencia de enfermedades gastrointestinales.
8. Se disminuye la competencia, se resuelven conflictos debido al uso del recurso hídrico en forma pacífica, efectiva y participativa.
9. Se trata de lograr una equidad social respecto al uso del agua y se garantiza la estabilidad social de la región respecto al uso del recurso a través de incidir en mejores ingresos debido a actividades agrícolas más eficientes y permanentes.
10. Se desarrollan programas dirigidos a la educación de la población de la región sobre la temática de gestión integrada del recurso hídrico y en algunos casos se llevan a cabo investigaciones y desarrollo tecnológico. Se disminuye la vulnerabilidad socioeconómica de la región debido al uso intensivo e irracional del acuífero.

## CONCLUSIONES

- El acuífero presente en el valle de Chimaltenango es freático y se encuentra en materiales piroclásticos y su potencial hídrico subterráneo es positivo.
- El valle depende fundamentalmente del agua subterránea para satisfacer sus necesidades de consumo humano y actividades productivas.
- La mayor vulnerabilidad del acuífero se considera que existe en las zonas urbanas presentes en el mismo.
- Debido a la utilización desordenada del recurso hídrico en el valle, es necesario implementar un programa de gestión del recurso. Mediante un programa de gestión integral del recurso hídrico subterráneo del valle de Chimaltenango, es posible garantizar la sostenibilidad del recurso y por ende el bienestar económico y social de sus usuarios.
- La gestión del agua, en su condición de bien económico, es un medio importante para lograr el uso eficaz y equitativo del agua, y de alentar la conservación y protección de los recursos hídricos con impactos positivos para la sociedad y el ambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUSTODIO, E. y R. LLAMAS: Hidrología Subterránea, 2100 pp., Segunda Edición, tomos I y II. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España, 2003.
- FOSTER, S. y R. HIRATA: Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una metodología basada en datos existentes. CEPIS: 1-81. Lima, 1991.
- FREEZE, R.A. & J.A. CHERRY: Groundwater, 604pp., Ed. Prentice. Englewood Cluffs., New Jersey, USA, 1979.
- GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL: Mapa topográfico de la república de Guatemala. Hoja Cartográfica de Chimaltenango, Guatemala, (escala 1:50,000. Color) 2006.
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWO). Manejo integrado de recursos hídricos. Comité de Consejo Técnico. TAC BACKGROUND PAPERS No. 4. Estocolomo, Suecia, 2000.
- HERRERA, I.I.: Reconocimiento Hidrogeológico de la Cuenca del Río Itzapa, Chimaltenango, Guatemala, 104pp., Tesis (en opción al título de Magister Scientiae), Universidad de Costa Rica, 1998.
- HERRERA, I. I.: Hidrogeología Práctica, 345pp., Primera edición, Red Centroamericana de Manejo de Recursos Hídricos (CARA), Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2002.
- JICA-INFOM.: Estudio sobre el desarrollo de las aguas subterráneas en el altiplano central de la república de Guatemala, Informe principal, KOKUSAI KOGYO CO., Guatemala, 1995.
- KOCH, A., H. McLEAN: "Pleistocene tephra and ash flow deposits in the volcanic highlands of Guatemala", Geol. Soc. Am. Bull., 86: 529-541, 1975.
- MOTTA, E.: Modelo matemático del acuífero de la cuenca alta del río Guacalate, Chimaltenango y Sacatepéquez, Guatemala, 106pp., Tesis (en opción al título de Magister Scientiae), Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. 2001.
- MUÑOZ, P.: La conceptualización e identificación de las zonas de recarga hídrica prioritarias a nivel nacional, 36 pp., Plan de acción forestal (PAFG), Instituto Nacional de Bosques, Ministerio de agricultura, ganadería y alimentación (MAGA), Guatemala, 1998.
- OROZCO, E.: Potencial del recurso hídrico subterráneo y modelo matemático preliminar del sistema acuífero del valle aluvial del río Guacalate, desde Antigua Guatemala hasta Alotenango, Sacatepéquez, Guatemala., 132 p., Tesis (en opción al título de Magister Scientiae), Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. 2004.
- SCHOSINSKY, G. & M. LOSILLA: "Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual", Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, Revista geológica de América Central, (23): 44-54, 2000.
- VELASQUEZ, E.: Estudio hidrogeológico preliminar del Alto Guacalate, Guatemala, 45pp., Guatemala, 1995.