

Uso del agua subterránea en la región acuífera Irapuato-Valle de Santiago (México) y su impacto sobre el sistema hidrogeológico

J.A. Mejía Gómez⁽¹⁾ y R. Sandoval Minero⁽²⁾

(1) Consejo Técnico de Aguas Irapuato-Valle de Santiago A.C. Blvd. del Parque, s/n. Ecoparque. 36780 Salamanca (México).
E-mail: jangel@salamanca.ugto.mx

(2) Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG). Autopista Guanajuato Silao Km. 1. Guanajuato (México).
E-mail: rsandova@guanajuato.gob.mx

RESUMEN

En el Estado de Guanajuato, en el centro de México, se encuentra la mayor concentración de pozos en comparación con otros Estados del país. El agua subterránea representa la principal fuente de abastecimiento para usos domésticos y agrícolas. Estos últimos representan un 80% del volumen total de extracciones en el Estado. En el acuífero Irapuato-Valle de Santiago, que se localiza sobre cinco municipios del Estado, se localizan 1600 pozos activos distribuidos según diferentes usos: 80% uso agrícola, 12% uso doméstico, 5% uso industrial y 3% otros. En total se extrae cada año un volumen de 560 millones de metros cúbicos. El nivel estático desciende dos metros por año y se producen depresiones piezométricas alrededor de las dos principales ciudades de la región: Salamanca e Irapuato. El sistema hidrogeológico consiste en un acuífero libre situado en rocas basálticas y en su parte inferior en un acuífero confinado situado en rocas riolíticas. El uso intensivo del agua ha originado diversos problemas, tales como la subsidencia en áreas urbanas y rurales con daños considerables en la infraestructura urbana y las instalaciones industriales. En la ciudad de Irapuato ha originado daños en las edificaciones coloniales y en la ciudad de Salamanca ha provocado daños en las instalaciones de la mayor refinería petrolífera de América Latina, con la consiguiente contaminación del acuífero. El gobierno mexicano y las autoridades del agua en el Estado de Guanajuato, en coordinación con los usuarios del agua, están ejecutando acciones para conseguir un uso eficiente del agua a través del establecimiento del plan de gestión del acuífero.

Palabras clave: contaminación, plan de gestión, pozos, usos del agua subterránea, uso intensivo

The use of groundwater in Irapuato-Valle de Santiago aquifer region (México) and the impact over the hidrogeological system

ABSTRACT

In the State of Guanajuato, in the center of México, is found the greatest concentration of wells in comparison with the other States of the Country, and the groundwater represents the principal form of water supply for the domestic and agricultural uses, which represent 80% of the total volume of extraction in the State. In the Irapuato-Valle de Santiago aquifer, that presents a coverage in 5 Municipalities of the State, are located 1600 active wells distributed in different uses: 80% agricultural, 12% domestic, 5% industrial and 3% other small. In total each year is extracted a total volume of 560 million of cubic meters. The static level descends two meters per year, and piezometric depressions can be found about the principal cities of the region: Salamanca and Irapuato. The hidrogeological system shows a free aquifer located in basaltic rocks and granular material and in its lower part presents a confined aquifer located in rhyolitic rocks. The intense use of the water has caused several problems such as the subsidence in urban and rural areas with intensive damage in the urban infrastructure and the industrial installations. In the Irapuato City has caused damages to colonial buildings and in the Salamanca City has damaged the installations of the greater oil refinery in Latin America, with the consequent pollution to the aquifer. The Mexican Government and the authorities of the water in the State of Guanajuato in coordination with the users of the water, are executing actions to make efficient the use of the water through the setup of the managing plan of the aquifer.

Key words: groundwater uses, intensive use, management plan, pollution, wells

Introducción

La República Mexicana se ha caracterizado porque el desarrollo poblacional se ha distribuido de forma que

la mayor parte de las grandes urbes se ubican en sitios donde se presenta una menor reserva de agua. En este contexto es en el centro del país donde se ubican las cuencas de mayor degradación por el uso

intensivo del agua, siendo la más representativa la Lerma-Chapala, que de paso ha derivado en que las fuentes para satisfacer las necesidades de la población principalmente sean subterráneas.

Este contexto general se manifiesta también en el Estado de Guanajuato, ubicado en el centro de la República, donde el uso intensivo del agua subterránea ha provocado problemas de abastecimiento en ciudades como León, Celaya, Irapuato y Salamanca, y que el uso agrícola de irrigación cada vez presente mayores problemas económicos de acuerdo a los tipos de cultivo que se presentan en el Estado.

Otras manifestaciones del uso intensivo en esta región lo constituyen los cambios en la superficie del terreno donde la subsidencia ha iniciado a ocasionar destrozos en la infraestructura urbana e industrial en varias de las ciudades mencionadas.

A fin de obtener un manejo adecuado del agua subterránea las autoridades estatales propusieron un modelo de regionalización hidrogeológica en base a las subcuencas superficiales y a las unidades hidrogeológicas manejadas hasta 1998. En este sentido se subdividió a la Entidad en 14 regiones (Fig. 1), una de las cuales corresponde a la región Irapuato-Valle de Santiago, con influencia en 5 municipios y 3 centros urbanos de tamaño considerable (CEASG, 1999).

Objetivo

El objetivo del presente análisis es verificar los resultados y problemática ocasionados por el uso intensivo del agua subterránea en la región acuífera Irapuato-Valle de Santiago (Fig. 2), así como las estrategias utilizadas para subsanar la misma.

Características hidrogeológicas locales

La región acuífera Irapuato-Valle de Santiago se caracteriza porque la competencia por el uso del agua aumenta día con día a fin de satisfacer las necesidades de los usos: doméstico, agrícola, ganadero, industrial y de servicios. Esta competencia ha ocasionado que la extracción del agua subterránea se incremente año con año, a costa del almacenamiento acuífero. El valle motivo de estudio se ubica geográficamente en la porción sur oriental del Estado de Guanajuato y pertenece a la región del Bajío Guanajuatense, con una superficie de 1683 km². Las ciudades más importantes que se encuentran en la zona además de Salamanca son Irapuato y Valle de Santiago, las cuales cuentan con 806.818 habitantes conjuntamente.

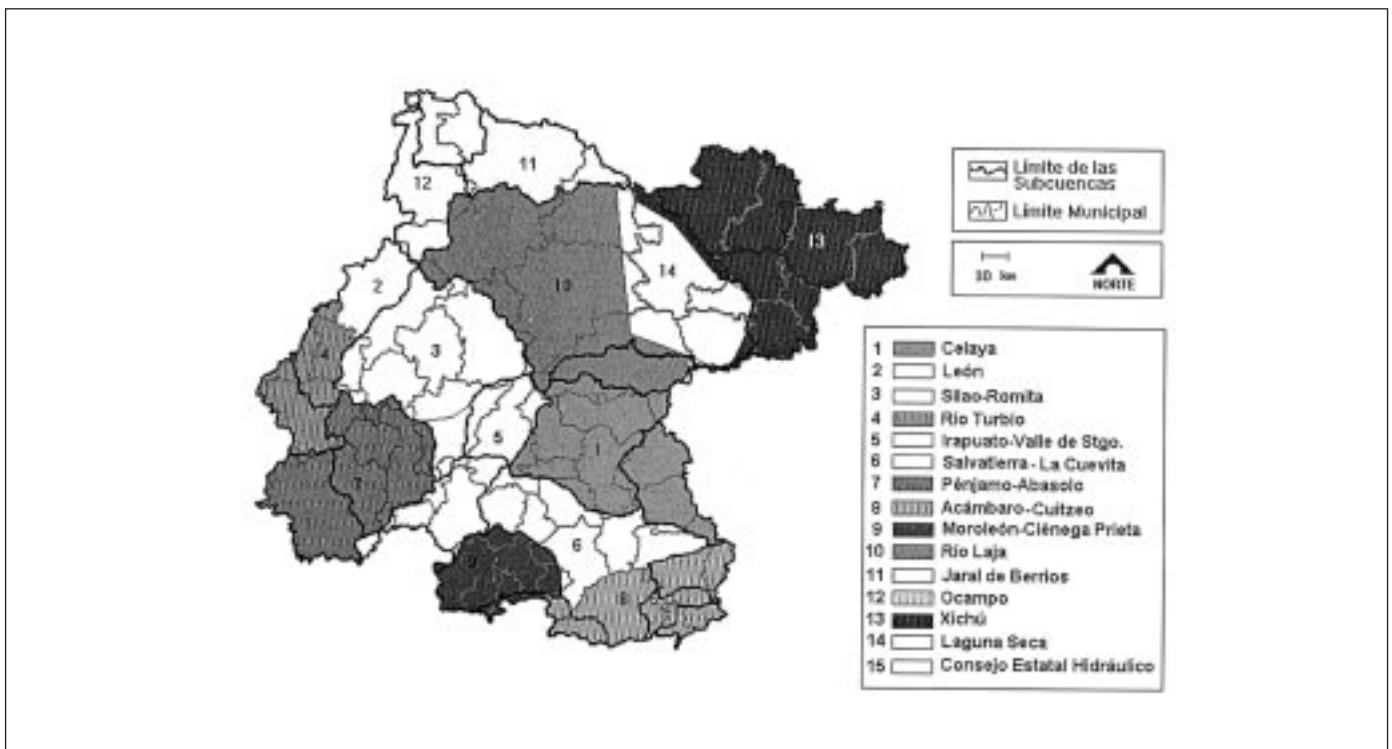


Fig. 1. Regiones acuíferas del Estado de Guanajuato
 Fig. 1. Aquifer regions in Guanajuato State

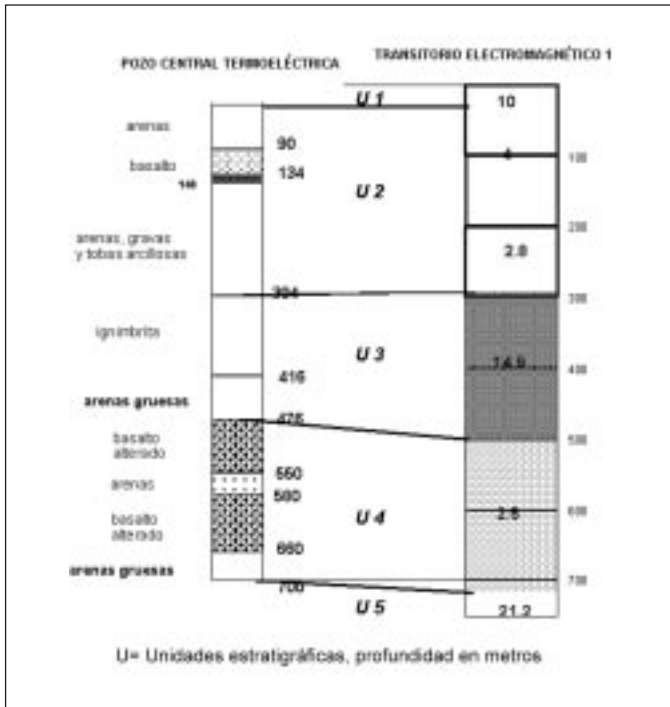


Fig. 3. Calibración de la geofísica en base al corte del pozo profundo 10348-A

Fig. 3. Geophysical calibration based on a section of the deep well 10348-A

Las unidades compuestas por secuencias de rocas basálticas y andesíticas, algunas veces riolíticas, han sido identificadas en diferentes localidades como Basaltos Río Lerma y Andesita Ordeña, y en general se encuentran cubriendo a la Ignimbrita Cuatralba.

Cubriendo a basaltos e ignimbritas se encuentra el Terciario Granular Indiferenciado (Tci). Esta unidad consiste en conglomerados polimícticos con clastos subredondeados, pobremente clasificados. Al parecer estos depósitos sedimentarios rellenaron las depresiones tectónicas presentes en el valle, en ambientes de abanicos aluviales (Fig. 4).

Los sedimentos cuaternarios incluyen todos los depósitos continentales clásticos no consolidados (gravas, arenas, limos, arcillas y suelo residual) y se localizan en la planicie y pie de monte de las partes altas (Qal). Este paquete es clasificado como tobas en las descripciones de columnas de pozos. Los estratos de arcillas, gravas y arenas varían en espesor de centímetros a un par de metros en la parte superior, los primeros 50 m.

El sistema acuífero

Desde el punto de vista regional (GUySA-CEASG,

1998), la explotación del agua del subsuelo, procede de dos acuíferos con diferentes características geohidrológicas. En primer lugar, se tiene un acuífero superior constituido por materiales granulares del Terciario y principios del Cuaternario, con intercalaciones de basalto fracturado y espesores de hasta 40 m. La temperatura media de este acuífero es de 24°C, y en él se encuentran perforados la mayoría de los pozos de la zona, con profundidad promedio de 150 m y un gasto medio de 40 L/s. Subyaciendo al acuífero anterior se encuentra un segundo acuífero formado por rocas riolíticas fracturadas del Terciario, y en él se encuentran la mayoría de los pozos de uso industrial. Las características medias de los pozos son: profundidad 300 m; nivel estático 30 m; nivel dinámico 48 m; gasto 45 L/s. La calidad del agua presenta mineralización y termalismo, con temperaturas que varían entre 29 y 38°C.

Subyaciendo a las formaciones anteriores se encuentra un acuífero somero emplazado en materiales granulares que ha sido el más vulnerable a la contaminación local.

De acuerdo a los resultados de temperatura del agua de los pozos de la zona de estudio se hace evidente la intercomunicación entre los dos acuíferos; el 50% de los pozos agrícolas, con profundidades máximas de perforación de 120 m, mantienen temperaturas del agua en un rango de 24 a 29°C; el 25% son de agua termal, superior a 29°C, y el 25% restante son de agua fría, inferior a 24°C.

Uso del agua

El uso intensivo del agua en la región está sustentada por la explotación de 1600 pozos activos que en conjunto extraen alrededor 560 millones de m³ (Fig. 5). Esta explotación ha generado abatimientos importantes; en el período de 1976 a 1986 fueron de 5 a 20 m.

El uso indebido del recurso ha impactado localmente el flujo subterráneo. Estos cambios son evidentes al sur de la región. De igual manera los cambios piezométricos que se han suscitado en las áreas circundantes a Salamanca son muestra evidente del impacto negativo de la sobreexplotación del acuífero.

Problemas derivados del abatimiento y uso intensivo del agua

Evolución piezométrica

La hidroestratigrafía local está fuertemente controla-

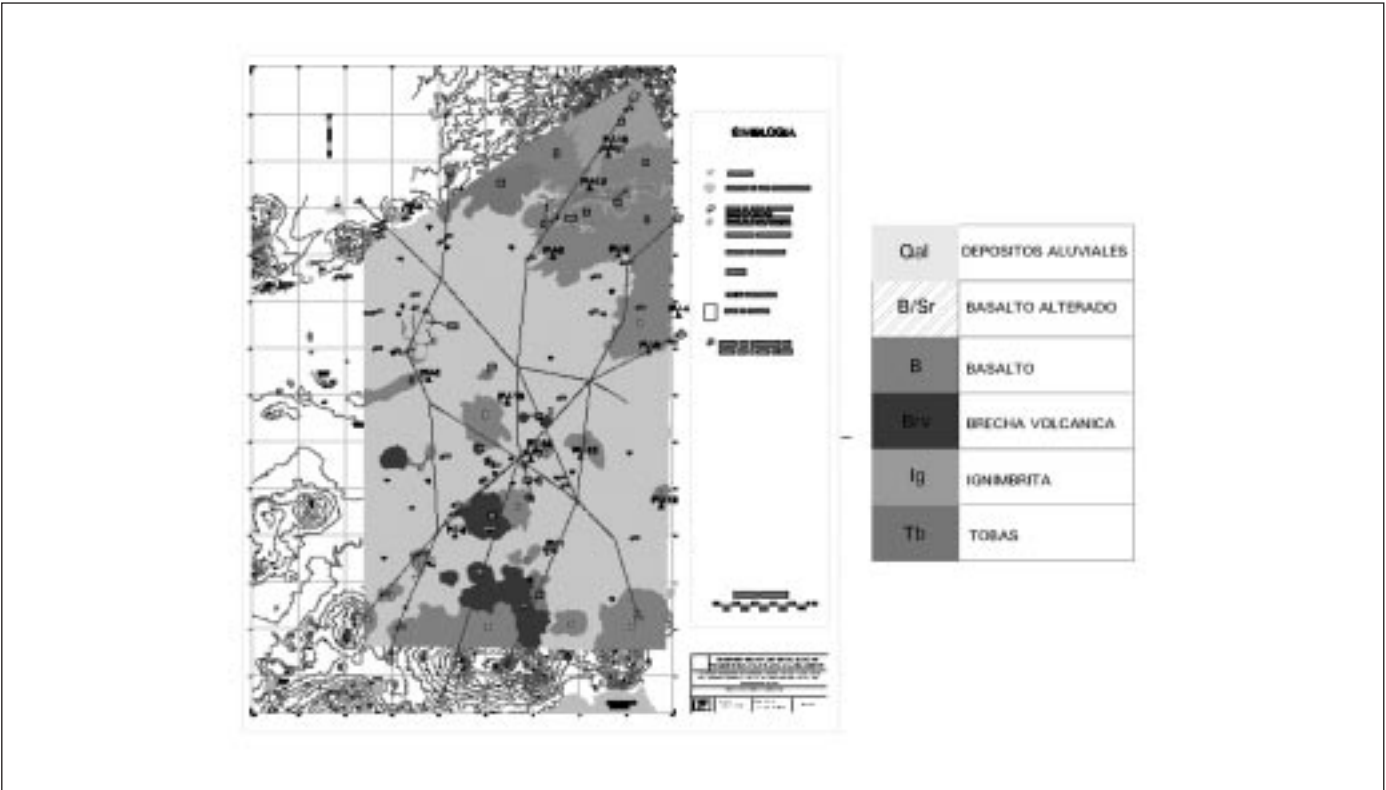


Fig. 4. Geología del área
Fig. 4. Geology of the area

da por alternancias irregulares de materiales de grano muy fino a grueso, secuencia que incluye paleocanales de diferente geometría y magnitud. La permeabilidad de estos paleocanales facilita la movilidad de flujos someros. Capas de arcilla impermeable pueden estar sosteniendo también acuíferos colgados de dimensiones variables.

Regionalmente, a fin de continuar con el análisis acuífero se conformó una red piloto piezométrica para medir las variaciones del sistema acuífero. Está conformada por 102 pozos productivos. De esta red se tienen resultados de la evolución del sistema desde 1998, de donde se han obtenido las siguientes observaciones: la mayor profundidad del nivel estático se ha detectado al pie de la Sierra de Guanajuato, al Norte del canal Ing. A. Coria, fuera de la influencia del distrito de riego 011, en la cual se han encontrado niveles de hasta 100 m de profundidad. Los niveles más someros se han encontrado en el Norte de la ciudad de Valle de Santiago en el área más favorecida por los Ríos Lerma y Laja, y por los canales del distrito de riego 011.

A partir de la configuración de la elevación del nivel estático se ha detectado la existencia de un cono de abatimiento localizado al sur de la ciudad de

Salamanca, donde existe una extracción importante para satisfacer las necesidades de irrigación.

De las sierras que franquean a esta región se ubican isólinas de flujo que denotan aportaciones importantes de agua al acuífero en conjunto con los cauces principales y canales de riego, y que constituyen las zonas de recarga de toda la región.

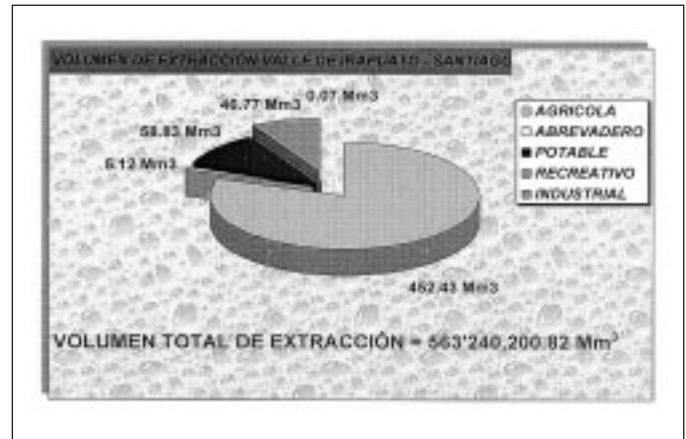


Fig. 5. Volumen total de extracción
Fig. 5. Total extraction volume

En lo que se refiere a la evolución del nivel estático, se ha observado que en los períodos de buen temporal de lluvias, áreas contiguas a la de riego del distrito 011 presentan recuperaciones en el nivel estático de hasta 4 m; en cambio, en zonas donde la explotación del acuífero es demasiado alta y no existe esta influencia llegan a presentarse descensos hasta de 10 m. El promedio regional de descenso se ha mantenido desde 1998 entre los 2 y 3 m.

Impacto del descenso de los niveles en la actividad agrícola

Guanajuato se ha caracterizado por ser uno de los Estados con mayor producción agrícola en México; del total de su superficie que asciende a 3.049.100 ha se aprovechan 1,2 millones de ha, donde se realizan 70 diferentes tipos de cultivos, el 34% regado con agua superficial, 18% con agua subterránea y 48% con riego mixto temporal. El 90% de la superficie cultivable se utiliza para la producción de granos forrajes y otros cultivos, y el 10% para la producción de hortalizas.

El riego basado en la extracción de agua subterránea, en general ha conducido a un uso intensivo del recurso agua ocasionando inestabilidad en los sistemas acuíferos con abatimientos que han cambiado el régimen de cultivo, ya que para los años 1970 los costos por extracción aún se consideraban incipientes. Sin embargo, en la actualidad, muchos productores han preferido cambiar la actividad por el excesivo costo que significa el bombeo del agua subterránea, aún con el subsidio que el gobierno mexicano mantiene en las tarifas eléctricas para el bombeo de irrigación.

En la región acuífera Irapuato-Valle de Santiago ha prevalecido esta misma condición. Actualmente se utilizan 1012 pozos en el riego agrícola de 50.822 ha (Tabla 1), los cuales representan el 82,95% del total de pozos de la zona. Sólo algunos productores han incursionado con éxito en cultivos de alto rendimiento con el apoyo de compañías transnacionales. Sin embargo, el grueso de los productores se mantiene con los sistemas tradicionales de producción de granos, con el consiguiente bajo rendimiento y deterioro económico de la actividad.

El uso intensivo de los acuíferos en el Estado de Guanajuato ha propiciado cambios en los estratos más superficiales, representados por la subsidencia que ha dañado tanto infraestructura urbana, donde se incluyen edificios coloniales, así como instalaciones industriales. En Guanajuato, la ciudad de Celaya es la que presenta una mayor intensidad en esta proble-

mática; sin embargo, en la región acuífera Irapuato-Valle de Santiago, las ciudades de Irapuato y Salamanca han sufrido serios daños tanto en su infraestructura urbana como en la industrial. De esta última se ha efectuado un estudio de detalle en los daños sufridos, cuantificando pérdidas por 2 millones de dólares tan solo en lo referente a casas habitación. Adicionalmente, ello ha incrementado los problemas de contaminación al afectar las instalaciones de la mayor refinería de América Latina.

Subsidencia superficial

Procesos de contaminación

En áreas urbanas con desarrollo industrial y colindancia con zonas de uso agropecuario y agrícola intensivo es factible encontrar un complejo abanico de fuentes potenciales de contaminación acuífera (Lesser, 1993). Éstas van desde fugas en los sistemas de agua potable y en las tuberías de los drenajes hasta lixiviaciones de contenedores de residuos

| TIPO DE CULTIVO | SUPERFICIE (ha) |
|-----------------------|-----------------|
| Ajo | 132 |
| Alfalfa | 436 |
| Avena | 30 |
| Cebada | 2.164 |
| Cebolla | 113 |
| Espárrago | 168 |
| Forraje | 54 |
| Frambuesa | 11 |
| Fresa | 203 |
| Frijol | 94 |
| Hortalizas | 2.922 |
| Invernadero | 4 |
| Maíz | 2.881,2 |
| Nopal | 8 |
| Olivo | 20 |
| Pastos | 50 |
| Pepino | 34 |
| Pradera | 50 |
| Sandía | 8 |
| Sorgo | 20.645,5 |
| Tomate | 183,5 |
| Tomatillo | 18 |
| Trigo | 20.610,75 |
| TOTAL DE ESPECIES: 23 | TOTAL: 50.822 |

Tabla 1. Cultivos de la región Irapuato-Valle de Santiago
Table 1. Crops of Irapuato-Valle de Santiago region

industriales peligrosos pasando por almacenamientos temporales de insumos o residuos. Los terrenos agrícolas que usan agroquímicos como herbicidas o plaguicidas representan fuentes de contaminación potencial de tipo difuso. Todos estos factores juegan un papel importante en la incorporación de compuestos orgánicos solubles a los sistemas acuíferos locales.

Esta situación se complica cuando, como en el área de Salamanca (Guanajuato), existe una empresa generadora de insumos para diversos tipos de industria de la transformación, como sería el caso de la Refinería Ing. Antonio M. Amor. Estas empresas adicionalmente representan otro tipo de fuente de tipo lineal y difusa; las fugas en ductos y poliductos. Las fugas pueden tener una gran diversidad de orígenes: rupturas accidentales; fugas provocadas por el robo de productos, la llamada "ordeña" de ductos; afectaciones a las líneas de conducción por fenómenos naturales como sismos, inundaciones, actividad volcánica, reactivación de fallas geológicas, subsidencia. Pueden durar grandes períodos de tiempo antes de ser detectadas.

Cuando se tiene un caso multifuente con solutos iguales o similares es bastante difícil diferenciar el origen de los mismos. Se tiene que analizar la evolución espacial y temporal de las concentraciones de los solutos considerados como representativos para asociarlos a la actividad de una fuente potencial, lo que tampoco garantiza que se tenga la certeza de que esa es la fuente que originó el soluto. Si se trata de compuestos orgánicos se tiene la complicación adicional de que en muy contadas ocasiones se tienen análisis químicos en donde se reporte la presencia de éstos.

El benceno y los BTEX son los hidrocarburos aromáticos que más fácilmente se incorporan al agua subterránea debido a su alta solubilidad, de 1.8 mg/L y 100 mg/L respectivamente (Zemo y Graf, 1993). Una vez incorporados al agua, los hidrocarburos tienden a modificarse, dando lugar a productos diferentes a los originales. Los procesos que controlan estos cambios son: evaporación, solubilización y oxidación, tanto química como biológica.

Las variaciones en el régimen de extracción juegan un papel importante en la migración de los LNAPL (*light non-adsorbible petroleum liquids*). La hidrodinámica de los LNAPL como el diesel y la gasolina en medios con cambios laterales de conductividad hidráulica es bastante compleja. Las depresiones piezométricas facilitan que los LNAPL "resbalen" hacia los mínimos piezométricos. Los LNAPL no presentan "mojabilidad", lo que hace que prácticamente no interactúen con la matriz rocosa y se lleguen a

desplazar más fácilmente que el agua. Los DNAPL (*deuse non-adsorbible petroleum liquids*) pueden migrar incluso en dirección contraria a la del flujo del agua subterránea cuando se tiene baja velocidad del agua en conjunción con la geometría del fondo del acuífero.

Para el caso de la ciudad de Salamanca (Guanajuato), todos estos factores influyeron en la cancelación de tres fuentes de abastecimiento por la interacción de diferentes solutos asociados a los hidrocarburos manejados en la refinería, pasivos ambientales industriales y componentes naturales como el arsénico y el fluor. Sin embargo, la fuente principal está asociada al uso intensivo de agua subterránea, por la aglomeración de usos en esta región tales como la agricultura, el uso doméstico que abastece a la población y el industrial representado por la propia refinería y una central termoeléctrica instalada en la zona.

Estrategias utilizadas para reducir la problemática derivada del uso intensivo del agua en la región

Organización de los usuarios

A fines de la década de 1980 y en el marco de las reformas económicas establecidas por el gobierno en turno, se trató de enfrentar la gestión del agua con un nuevo modelo basado en la cuenca hidrográfica, iniciando las actuaciones en la más problemática desde el punto de vista de acumulación de la población y por ende escasez y contaminación del recurso, la cuenca Lerma-Chapala, que de paso es donde se ubica el 95% de la superficie del Estado de Guanajuato.

Este modelo incluyó la creación del primer consejo de cuenca del país, que da inicio a las mismas dentro de las políticas de descentralización, e incluyó la participación de los usuarios, iniciando con la transferencia de la administración de los sistemas de riego y la descentralización de los sistemas de agua potable. Adicionalmente se contempló la organización de los usuarios de agua subterránea en comités técnicos de agua subterránea, o COTAS, a fin de participar en la planeación hidráulica. Sin embargo, a estas organizaciones se les confiere un carácter más institucional hasta que se incluyen en las modificaciones efectuadas a la ley de aguas nacionales en el año de 1997. Con todo esto, la autoridad federal en materia de agua (CNA) aún no ha tenido muy claro el potencial de participación de estas organizaciones, por lo que para 1998 el Gobierno del Estado de Guanajuato ante la situación apremiante en la regulación del uso

intensivo del agua subterránea, decide impulsar decididamente la creación de estas organizaciones con una orientación diferente, definiendo que los COTAS deberían ser entidades netamente ciudadanas que promovieran la gestión integral del agua, acordando acciones entre los usuarios, a fin de regular, conservar y usar de manera eficiente el recurso en su ámbito geográfico de influencia (Guerrero, 1999).

De esta forma, a partir de finales de 1998 se instalaron las catorce organizaciones de usuarios en el Estado de Guanajuato, para lo cual se efectuaron convocatorias a cada uno de los usos a fin de seleccionar el consejo directivo, el cual se conformó con un Presidente, un Secretario, un Tesorero, vocales representantes de cada uso, un consejo de vigilancia, un grupo técnico de apoyo y un consejo consultivo donde participan diferentes instituciones de carácter federal, estatal y municipal. Se instituyó un fideicomiso a cinco años que garantizaría que durante este lapso las organizaciones tuviesen los fondos suficientes para operar, dotándolos de un presupuesto anual para el pago de los servicios indispensables, el salario de un gerente y un auxiliar técnico, con la única premisa que en cinco años las organizaciones deberán ser autosuficientes en base al trabajo de gestión realizado (Marañón, 2001).

Para el año 2002, el gobierno estatal ha invertido alrededor de 2,8 millones de dólares. En este sentido ya se han obtenido resultados del trabajo que estas organizaciones han realizado, dentro de las cuales la instalada en la región acuífera Irapuato-Valle de Santiago ha incursionado en diferentes acciones, participando en la gestión integral del agua con la premisa de que los usuarios serán coadyuvantes con las autoridades del agua para dirimir los problemas que en el mismo surjan.

La organización ha incursionado en lo técnico, en el estudio de las áreas de recarga de la región acuífera, propiciando la declaratoria de áreas naturales protegidas, donde se han invertido a la fecha recursos importantes para la conservación del capital natural de las regiones en coordinación con los habitantes de las mismas. Se ha participado en la actualización de los detalles geohidrológicos de la región a través de la actualización piezométrica, se ha incursionado en el análisis de la problemática de la contaminación del acuífero en el área de Salamanca, incluyendo la elaboración de mapas de vulnerabilidad.

En lo social se participa en la difusión de la cultura del agua en diversos foros y con toda clase de público: escolares, usuarios agrícolas e industriales etc., se participa en la difusión del uso eficiente del agua en todos los ámbitos y en forma muy particular ha incursionado con mucho éxito en programas de

capacitación ambiental y aspectos técnicos del manejo del agua a partir de la obtención de la administración del centro regional de competitividad ambiental ubicado en la ciudad de Salamanca, donde se ha obtenido apoyo con equipo suficiente para montar diferentes aspectos de capacitación.

Adicionalmente se sigue trabajando en lo básico, que es acercar el mayor número de usuarios a la organización a fin de que para el año 2004 se esté en posibilidades de iniciar con las primeras propuestas del plan de manejo del acuífero.

Referencias

- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato. 1999. *Plan Estatal Hidráulico de Guanajuato 2000-2025*, Guanajuato, Gto.
- Guysa. 1998. Estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero del valle de Irapuato-Valle de Santiago. *Reporte Técnico* CEAS-APA-GTO-97-023. Gyusa, CEASG, México.
- Guerrero Reynoso, V. 1999. Hacia una gestión integral integrada y participativa del agua: Experiencias y propuestas del Estado de Guanajuato. *Seminario sobre enfoques Innovadores para el Manejo del Agua*, México D.F. Octubre/99.
- Lesser y Asoc. 1993. Dictamen para definir los términos de referencia de un estudio integral para la detección de fugas de hidrocarburos al subsuelo y métodos de saneamiento en la zona de Las Llenaderas y sus alrededores en la Refinería de Salamanca Gto. *Rep. Tec.* PEMEX. México.
- Marañón, B. 2001. La viabilidad de la organización de los usuarios para el manejo del agua subterránea en la cuenca Lerma-Chapala, México. *1er Encuentro de investigadores de la Cuenca Lerma-Chapala*, Chapala Jal.
- Quintero O. 1999. Evolución geológica del Extremo Noroccidental de la Sierra de Guanajuato. Instituto de Geología, UNAM. *Simposio Sobre la Geología de la Sierra de Guanajuato*. Resúmenes y Guía de Excursiones 25-29.
- Rodríguez, R., Armienta, A., Villanueva, S., Díaz, P. y González, T. 1991. Estudio hidrogeoquímico y modelación matemática del acuífero del Río Turbio para definir las acciones encaminadas a proteger de contaminantes la fuente de abastecimiento de la ciudad. de León, Gto. *Rep. Técnico* il 140 pp. IGF-UNAM, CNA-SARH. Jun. /91.
- Zemo, D.A., Graf, T.E. y Bruya, J.E. 1993. The importance and benefit of fingerprint characterization in site investigation and remediation focusing on petroleum hydrocarbons. *Proceedings Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Groundwater*, API, NGWA, Nov/93, Houston Texas, USA. 39-45 pp. Groundwater Management, Book 17, NGWA.

Recibido: enero 2004

Aceptado: junio 2004