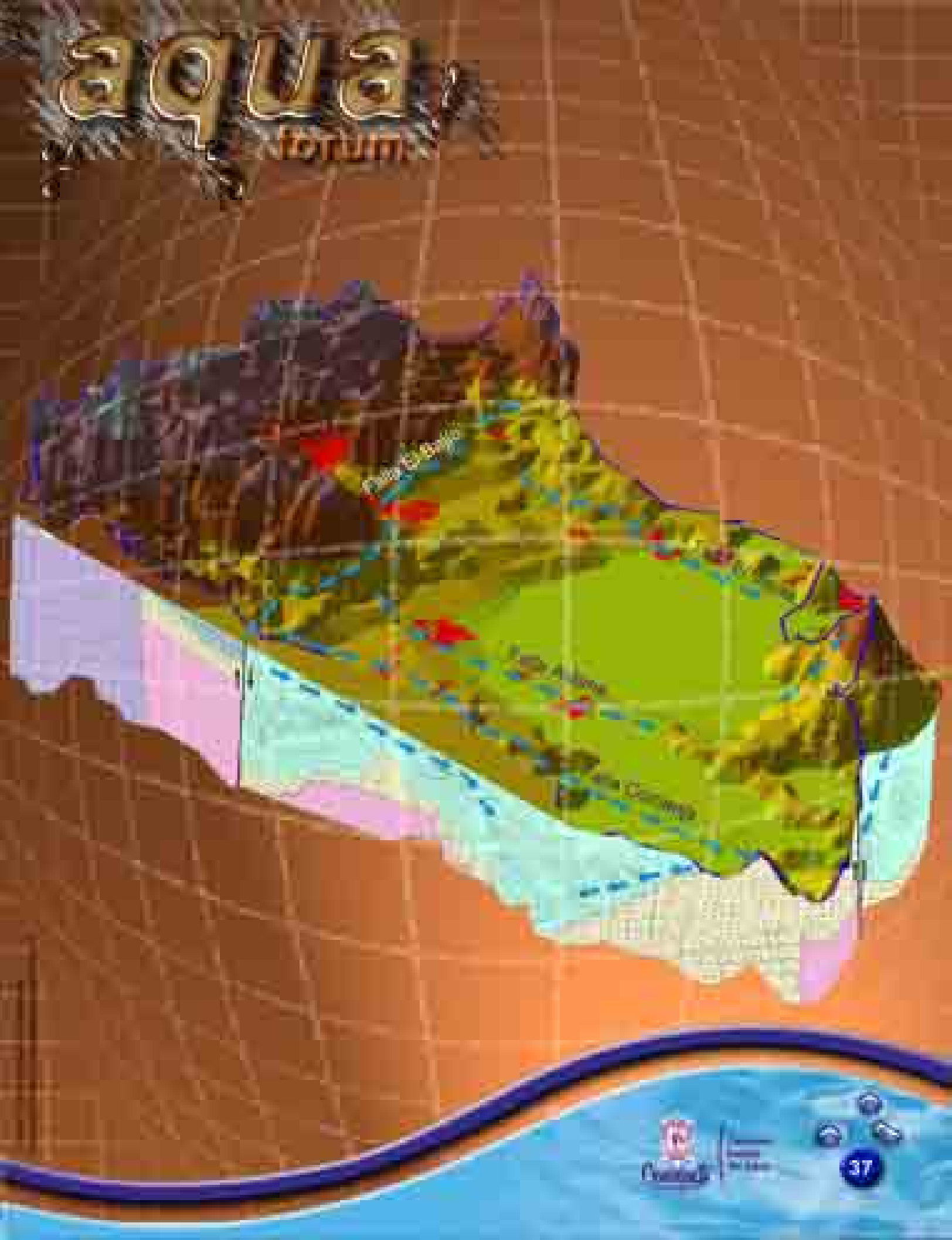
aqua forum



Presentación

...derrochamos, no importaba nada, las reservas de los manantiales,
Parecíamos dos irracionales, que se iban a morir mañana...
"Derroche", Manuel Jiménez (Int. Ana Belén)

Entre de las líneas de acción que Guanajuato lleva a cabo para cumplir con el Acuerdo para la Recuperación y Sustentabilidad de la Cuenca Lerma-Chapala, firmado el 22 de marzo del año en curso, destaca la relativa a la gestión sustentable de las aguas subterráneas. Como punto de partida, en el acuerdo se plantea completar y mantener actualizados los estudios de acuíferos de la cuenca, para sobre esa base, desarrollar los planes de manejo y reglamentos de las aguas subterráneas. Guanajuato adoptó con decisión y convicción este compromiso, puesto que, como en otros aspectos del acuerdo, hemos avanzado con los usuarios de agua en la construcción de un modelo de gestión participativa que es punta de lanza en México y uno de los más promisorios a nivel internacional: los Consejos Técnicos de Aguas o COTAS y el Consejo Estatal Hidráulico.

En primer lugar, Guanajuato cuenta ya con estudios y modelos matemáticos para todos sus acuíferos; en una evaluación reciente, el grupo consultor de gestión de aguas subterráneas, del Banco Mundial (GW-MATE), señaló que "la configuración general de los modelos de acuíferos utilizados [en Guanajuato] concuerda con los requisitos de la CNA para la evaluación hidrogeológica a nivel nacional. Inclusive, la CEAG ha ido más allá al utilizar estándares internacionales en la aplicación de paquetes de software y en la introducción de rigor adicional mediante la auditoría de la modelación. Además, la utilización del modelo SEPUSA que permite acoplar consideraciones agro-económicas a las predicciones hidrogeológicas de los modelos de acuífero, es un apoyo tanto innovador como poderoso para la toma de decisiones". El diagnóstico añade una nota de precaución ante la falta de elementos suficientes para valorar algunos parámetros que introducen un nivel de incertidumbre a las predicciones técnicas, sin que por ello se afecte "el mensaje fundamental de la urgencia de reducir el bombeo", es decir, la necesidad de no caer en la parálisis por análisis y empezar a reducir la presión sobre el acuífero, fuente renovable que hoy explotamos como una mina de agua que pudiera agotarse.

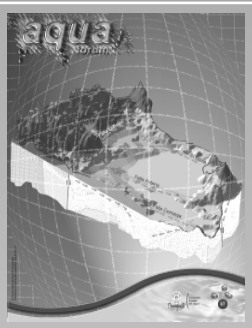
Esta reducción no se va a lograr a menos que gente de carne y hueso, con organización y recursos, se apersone en el campo a trabajar con los usuarios del agua, les informe, los implique en la solución y les facilite el acceso a la constelación de programas federales y estatales. Esta pudiera verse como la misión fundamental de los COTAS. Usualmente, los planes de manejo se han centrado en una frase, tan proverbial y multicitada como inútil: "hay que tecnificar la agricultura". Los productores agropecuarios saben que hoy no basta con cambiar de cultivo y sistema de riego, sin considerar las condiciones ambientales específicas, la escala, el nivel de integración a cadenas productivas, el entrenamiento, la organización y la capacidad de comercializar los productos, ligados a mercados complejos y cambiantes. De ahí que en los COTAS se debe buscar, a partir de núcleos piloto de usuarios, integrar soluciones desde los ámbitos financieros, de transferencia tecnológica, de tecnificación, comercialización y organización. A la conciencia de la gravedad del problema debe corresponder una actuación organizada de los usuarios para acordar, en un reglamento, restricciones progresivas al bombeo, simultáneas a una transformación productiva que les permita conservar y aún incrementar su nivel de generación de riqueza con menos agua. El mismo estudio del Banco Mundial avala los cálculos de la CEAG, en el sentido de que "[los modelos hidrológico-económicos] demuestran claramente relaciones muy positivas beneficio/costo para muchas medidas de gestión comparadas con las del escenario de no hacer nada". Es decir, organizarse para recuperar los acuíferos es posible y es rentable. Los enemigos son la ignorancia, la apatía, el protagonismo partidista disfrazado de hallazgo científico o liderazgo mesiánico, el individualismo codicioso, el celo profesional o burocrático, muestras todas de una incapacidad social para adaptarse a la escasez, que hoy Guanajuato supera gradual y sostenidamente. Pero hay otro "brazo" de la solución, hoy reservado al ámbito Federal, que todavía es necesario fortalecer: la vigilancia extensiva y la aplicación de la Ley, si no a todos los usuarios, sí de manera ejemplar y eficaz a aquéllos que traicionen el pacto de todos para recuperar el acuífero; en coordinación con la Comisión Nacional del Agua, buscamos un nuevo modelo de actuación para el cumplimiento de la ley, que de manera análoga a las clásicas residencias de construcción, concentre los recursos y facultades federales en entidades locales, descentralizadas de la federal, como *residencias de recuperación y gestión de acuíferos*, con participación colegiada de los tres órdenes de gobierno y los usuarios en sus órganos de gobierno y vigilancia.

El proyecto de los COTAS de Guanajuato fue presentado en el Foro Mundial del Agua de Japón y mereció la inclusión de un artículo en el Hydrogeology Journal, una prestigiada publicación científica internacional; en un mensaje relativo a dicho artículo, el Dr. Ramón Llamas —catedrático madrileño, coautor con Emilio Custodio de uno de los libros de referencia sobre el tema—, describe al proyecto COTAS de Guanajuato como "una experiencia internacionalmente reconocida como valiosa para ser imitada en otras regiones del mundo" y lamenta que exista el riesgo de verlo truncado, lo que sería "un verdadero desastre". Por ello, el Gobierno de Guanajuato y los usuarios organizados, buscamos mecanismos para dar permanencia, amplitud y efectividad a este proyecto. Queremos cambiar la forma de hacer las cosas, rebasando coyunturas y visiones parciales o de grupo. Porque el agua es... desarrollo para todos... y debe serlo por siempre.

Ricardo Sandoval Minero
Secretario Ejecutivo de la CEAG

directorio

Portada: Ldg. José Luis Hernández A.



Juan Carlos **Romero Hicks**
Gobernador del Estado de Guanajuato

Justino **Arriaga Silva**
Secretario de Desarrollo Social y Humano

Ricardo **Sandoval Minero**
Secretario Ejecutivo

Jesús **Nájera Santana**
Director General de Administración

Jorge **Montoya Suárez**
Director General de Gestión Social

Raúl **Almeida Jara**
Director General de Desarrollo Hidráulico

Montserrat **Serra Martínez**
Directora General de Planeación

Elizabeth **Jiménez Gutiérrez**
Directora de Comunicación y Cultura del Agua

José Luis **Hernández Aguilar**
Diseño

Mario A. **de Alba de la Tejera**
Fotografía

Comité Editorial:
Jorge Montoya Suárez
Cesar Augusto Rodríguez
Cesar Mauricio Calvo Lugo
Montserrat Serra Martínez
Raúl Almeida Jara
Martha Gabriela Rodríguez Cardenas
Jorge Rodríguez Romo
Tere García
Mario A. de Alba de la Tejera
Alicia Cordero Cabrera
José Manuel Rentería
Adriana Julieta Barrera Mejía

A nuestros lectores
Hacemos una cordial invitación a todos nuestros lectores para que participen en Aqua forum, a través de ensayos, reportajes, memorias, investigaciones, experiencias y/o trabajos que consideren puedan ser de utilidad en materia del agua.

Acerca del autor
La colaboración deberá ser de primera fuente del propio autor, citando las fuentes de referencia. Deberá incluir: nombre del autor, curriculum vitae, domicilio, teléfono y fax.

Acerca del artículo
El titulo deberá ser breve (7 a 10 palabras máximo) extensión de 2 a 4 cuartillas. Si se elabora en computadora, favor de enviar en disquete con una impresión en papel (no olvide anotar el nombre del archivo y programa) de preferencia en Word.

Señale con comillas e indique en el cuerpo del texto con un número la referencia bibliográfica, para ser citada al final del artículo. Anote el título de la obra , apellido paterno y nombre, lugar de la edición editorial, año de publicación.

Anexe de preferencia material fotográfico vinculado con el tema (en papel o digital a alta resolución) .

D.R. Número 04-2003-091014165000-102

contenido

Gestión del agua
Evolución del abatimiento en el nivel de los acuíferos de Guanajuato. **3**

Tema central
Afectaciones al agua subterránea como resultado del crecimiento urbano descontrolado e irregular. **8**

Semblanza sobre estudio y manejo de las aguas subterráneas. **12**

Recarga de acuíferos. **15**

El proyecto de Consejo Técnco de Aguas y los programas de manejo de acuífero **20**

Estudios de la calidad del agua subterránea en la zona de San Miguel Allende. **24**

Modelos matemáticos e hidrogeología estocástica. **26**

Red de monitoreo de la calidad de agua subterránea en el municipio de León, Gto. **30**

Entrevista
Dr. Stephen Foster
Consultor del Banco Mundial. **32**

Aqua notas
ANEAS realiza el sexto seminario de capacitación sobre la normatividad de agua potable. **36**

Se reune grupo de autoridades del agua en Guanajuato. **37**

CEAG recibió delegación de Red de Agua y Saneamiento de El Salvador. **38**

Trabajo conjunto por un bien común **39**

Fe de erratas

En el número 36 de Aqua Forum por un error involuntario cometimos dos omisiones:

El crédito como colaborador al Lic. Mauro Javier Rodríguez González, quien es coautor del artículo "Esquemas Alternativos de Financiamiento". Es egresado de la Escuela de Economía de la Universidad de Guanajuato y actualmente labora como Analista de Inversiones en la Dirección de Programación de la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato.
El nombre completo del articulista del trabajo "Facultad de Cobro de los Servicios de Agua", mismo que es Juan Alberto Mercado Rodríguez.

Enviar trabajos:
Revista Aqua forum
Comisión Estatal del Agua de Guanajuato.
Autopista Guanajuato-Silao Km. 1 Guanajuato, Gto. 36251
Tels.: 01(473) 7330301, 7330361, 7330241 Fax: 01(473) 7332539
e-mail: ejimengu@guanajuato.gob.mx
www.guanajuato.gob.mx/ceag/

Nota: El Comité Editorial se reserva el derecho de publicar las colaboraciones recibidas y de hacer cambios editoriales (no de contenido), que considere conveniente.

Publicación trimestral especializada en agua, editada y distribuida por la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato, con domicilio en autopista Guanajuato-Silao Km. 1 C.P. 36251, certificado de licitud de título número 7159, expedidos por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas. Derechos de autor número 2314/97. Impresa en Impresos Alfa Color S.A. de C.V.Chuparrosa No. 345 Col. San Juan de Dios, León , Gto. tiraje 1500 ejemplares.

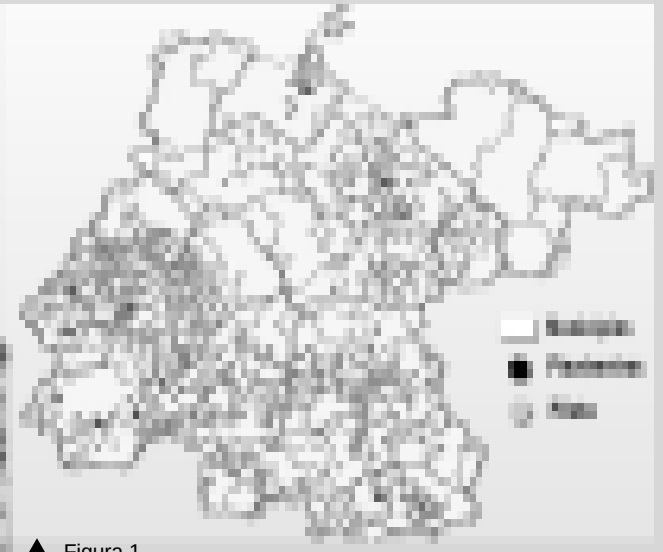
Evolución del abatimiento

en el nivel estático de los acuíferos de Guanajuato

Por: Beatriz **Acevedo Torres**

Ing. Geólogo Minero egresada de la Facultad de Minas, Metalurgia y Geología de la Universidad de Guanajuato, con 6 años de experiencia como responsable y supervisión de estudios hidrogeológicos, monitoreo piezométrico y evaluación del balance de aguas subterráneas del Estado de Guanajuato. Actualmente es Jefe de departamento de Balances en la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato. bacevedo@guanajuato.gob.mx

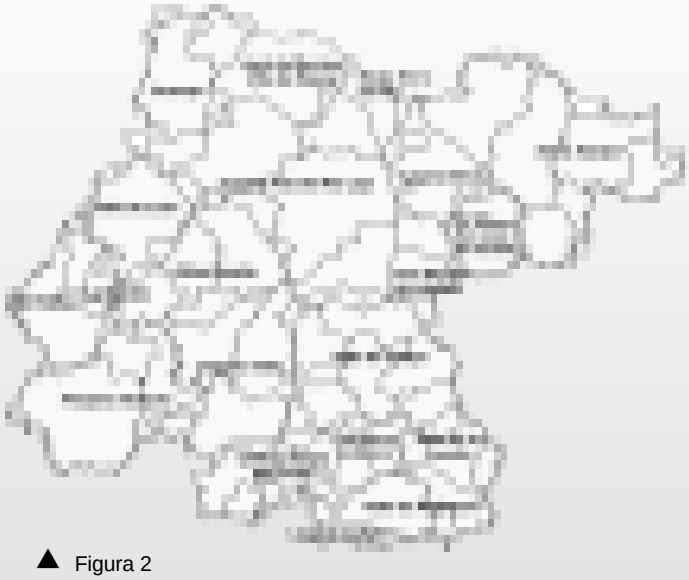
La Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG) lleva a cabo el monitoreo anual de la red piloto, que consiste en la medición del nivel estático en 920 pozos de uso agropecuario, público e industrial, ver figura 1. Los cuales se encuentran distribuidos en 18 de los 20 acuíferos del Estado. A partir de que se definió el funcionamiento hidrodinámico y la red piloto de los mismos en 1998; se le ha dado seguimiento al monitoreo de la red piloto estatal, con la finalidad de conocer y en consecuencia evaluar el abatimiento promedio anual. Teniendo en consideración que no se contaba con datos históricos que respaldaran el análisis de información para evaluar el descenso del nivel estático en los acuíferos. El rango de variación de abatimiento para los 6 años medidos es de 0.5 a 3 metros anuales. Lo cual está relacionado con varios factores: las características climatológicas, geológicas, hidrogeológicas, el desarrollo social, económico e industrial en el Estado.



▲ Figura 1

El problema de la disponibilidad de agua subterránea en Guanajuato es una situación que atañe a varias dependencias: Comisión Nacional del Agua, entidad federal normativa, Comisión Estatal del Agua de Guanajuato, entidad estatal cuya misión es “Asegurar que la gente de Guanajuato cuente siempre con agua suficiente y de calidad, para su desarrollo, en armonía con el medio ambiente”, los Organismos Operadores Centralizados y Descentralizados, entidades municipales, que tienen a cargo la distribución, recolección y tratamiento de aguas urbanas y rurales, los Consejos Técnicos de Agua (COTAS), asociaciones civiles, que tienen como función primordial apoyar a los usuarios aplicando un plan de manejo de aguas para lograr el equilibrio y recuperación de los acuíferos. Se cuenta con el historial piezométrico, correspondiente a 6 años consecutivos en los cuales se realizó el monitoreo semestral y en base a estos resultados se delimitaron 20 subsistemas acuíferos a los cuales CNA les denominó oficialmente (2001), ver figura 2.

La finalidad del presente artículo es hacer del conocimiento de los lectores los resultados de la evolución del nivel estático en los acuíferos, sus causas y las acciones que la Co



▲ Figura 2

misión Estatal del Agua de Guanajuato está realizando como propuestas de recuperación. La información utilizada para describir las configuraciones del nivel estático se basó en la actualización de mediciones piezométricas correspondiente al periodo de estiaje 2004.

Profundidad del nivel estático

En la porción noreste que abarca los acuíferos de Sta. María del Río, Dr. Mora – San José Iturbide y Laguna Seca, el nivel estático se encuentra dentro de un rango de 58 a 217 metros de profundidad. En el noroeste donde se localizan los acuíferos de Jaral de Berrios – Villa de Reyes, Cuenca Alta del Río Laja y San Miguel de Allende, el nivel estático se encuentra dentro de un rango de 28 a 175 metros de profundidad. En la porción centro – oeste en los acuíferos de Río Turbio, Silao – Romita, Valle de León, La Muralla e Irapuato – Valle, el rango de profundidad se encuentra entre 27 a 185 metros. Al suroeste en el acuífero de Pénjamo – Abasolo, el nivel se midió entre los 40 y 130 metros En la zona sureste donde se localizan los acuíferos de Ciénega Prieta – Moroleón, Salvatierra, Valle de la Cuevita, Valle de Acámbaro y Lago de Cuitzeo se tiene un rango de 10 a 225metros. Y por último en la porción centro – este se localiza el acuífero del Valle de Celaya, el nivel se midió entre los 22 y 152 metros. Ver tabla 1

Elevación del nivel estático

En la configuración de elevación del nivel estático se observan los conos de abatimiento generados en el estado por los efectos del bombeo. En la zona norte, en el acuífero de Jaral de Berrios el flujo natural del agua subterránea es de la zona de recarga en el sur hacia el norte en donde se localiza Villa de Reyes, se han conformado dos conos de abatimiento: zona noreste de Villa de Reyes, y en la porción central en Jaral de Berrios. En el acuífero de Laguna Seca, se forma un cono de abatimiento al suroeste del municipio de San Luis de la Paz. En el acuífero de San José Iturbide – Doctor Mora, en el valle donde confluye la recarga. En el acuífero de Cuenca Alta del Río Laja, se observa en el valle donde se localiza el municipio de Dolores Hidalgo. En San Miguel de Allende, el flujo confluye hacia el centro en el valle. En el acuífero de Río Turbio se han formado dos conos, en la porción norte y sur del valle. En el acuífero de La Muralla, se observan hacía el noroeste y en el centro del valle. En el acuífero del Valle de León, la zona centro donde se concentran la mayor cantidad de pozos. En el acuífero de Silao – Romita, se observan al norte de Silao y al sur en el valle. En el acuífero Irapuato – Valle, existen en las principales cabeceras municipales Irapuato y Salamanca. En el acuífero de Celaya se observan entre los municipios de Juventino Rosas y Celaya en la porción oeste del valle y en Obrajuelo al este. En el acuífero de Pénjamo – Abasolo se han formado tres, en la porción noreste en el municipio de

Tabla 1.- Rangos de profundidad y abatimiento del nivel estático de 18 acuíferos del Estado

Acuífero	Rango de Abatimiento Anual (mts) 1998 - 2004		Rango de Profundidad del Nivel Estático (mts) 2004	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Valle de Celaya	1.4	1.6	22.0	152.0
Río Turbio	0.5		37.0	147.0
Pénjamo - Abasolo	2		40.0	130.0
Doctor Mora - San José Iturbide	0.5		58.0	124.0
Laguna Seca	1.0		108.0	217.0
Santa María del Río	3.0		116.0	175.0
Silao - Romita	1.0	1.5	55.0	185.0
Irapuato - Valle	1.0	3.0	27.0	123.0
Valle de León	3.0		33.0	145.0
La Muralla	2.0		131.0	158.0
Jaral de Berrios - Villa de Reyes	0.5		28.0	119.0
Ciénega Prieta - Moroleón	0.5	2.5	20.0	127.0
Cuenca Alta del Río Laja	0.5	2.0	42.0	175.0
San Miguel de Allende	2.0		86.0	137.0
Salvatierra - Acámbaro	1.0		34.0	89.0
Valle de la Cuevita	0		72.0	225.0
Valle de Acámbaro	0		10.0	89.0
Lago de Cuitzeo	0		6.0	75.0

Fuente: Actualización Mediciones Piezométricas Estiaje 2004, CEAG

Cueramaro, en el centro en el municipio de Abasolo y en la porción suroeste entre los municipios de Pénjamo y La Piedad. En el acuífero de Ciénega Prieta - Moroleón, se ha formado un cono de abatimiento en las cabeceras municipales de Moroleón – Uriangato. En el acuífero de Salvatierra – Acámbaro, en la porción noreste del valle donde se localiza el municipio de Tarimoro y de la misma manera en el acuífero del Valle de La Cuevita.

Evolución de Nivel Estático

El nivel del agua subterránea varía con el tiempo de forma muy diversa, en general se trata de variaciones considerables en acuíferos con núcleos de bombeo intensos, en especial si se trata de acuíferos semiconfinados y confinados.

En los acuíferos del Estado se han identificado tres horizontes acuíferos: el somero o libre y que actualmente ya no es productivo pero actúa como fuente de recarga descendente vertical, tiene un rango de profundidad del nivel estático en promedio de 10 – 30 metros, el intermedio o semiconfinado, actualmente productivo abarca la mayor extensión del Bajío y cuyo rango de profundidad del nivel estático es de 30 – 100 metros, el profundo o confinado que debido al rango de profundidad del nivel estático de 100 – 150 metros se utiliza principalmente para abastecimiento potable e industrial. Los rangos de profundidad son variables dependiendo de la zona, sus características geológicas y topográficas.

Con el análisis de 6 años medidos se estableció un rango de abatimiento promedio anual para cada uno de los acuíferos. En la zona norte y centro en los acuíferos de Jaral de Berrios – Villa de Reyes, Santa María del Río, Laguna Seca, San José Iturbide – Dr. Mora, Cuenca Alta del Río Laja y San Miguel de Allende, Río Turbio, Valle de León, La Muralla, Silao – Romita, Irapuato – Valle y Celaya, se presentan abatimientos promedio anuales dentro de un rango de 0.5 a 3.0 metros. En la zona sur, en los acuíferos de Pénjamo – Abasolo, Ciénega Prieta – Moroleón, Salvatierra – Acámbaro, el rango varía de 0.5 – 2.5 metros anuales, en los acuíferos del Valle de Acámbaro, Valle de la Cuevita y Lago de Cuitzeo, se observó abatimiento nulo.

Se ha identificado una disminución en el abatimiento respecto a los años anteriores, se puede establecer que esta situación está directamente relacionada con las lluvias excedentes de los últimos dos años y el hecho que hayan dejado de utilizarse los pozos agrícolas que en su mayoría son los que predominan en el Estado.

Las variaciones del nivel estático se visualiza en gráficos cartesianos llamados hidrogramas, en los que en ordenadas se presentan la profundidad del nivel estático y en abcisas el tiempo. En estos gráficos no solamente se visualizan las oscilaciones si no también la tendencia de variación de niveles. El tipo de oscilaciones que se presentan en los acuíferos del Estado se deben a causas directas que suponen un cambio en el almacenamiento subterráneo como:

1) Sucesión de épocas secas y húmedas
2) Variaciones de niveles en ríos y lagos conectados directamente con el acuífero
3) Extracción de agua por bombeo y
4) Recarga en épocas de fuertes lluvias.

A continuación se presentan los hidrógrafos Estatales correspondientes a los acuíferos intermedio y profundo, en los cuales se puede observar la tendencia a la recuperación desde el año 2002, factor importante que ha influido directamente en la estabilización del nivel estático de los acuíferos. Figuras 3 y 4

▲ Figura 3

▲ Figura 4

Factores naturales y antropogénicos que han influido en el abatimiento del nivel estático en los acuíferos

- Condiciones climatológicas

La fuente principal de la recarga a los acuíferos es la infiltración profunda del agua de lluvia, la cual tiene un carácter intermitente. La recarga origina una elevación del nivel del agua y después de la misma el agua aportada se extiende hacia los lugares de descarga naturales o artificiales, dando origen a un descenso de niveles. Tomado como referencia los datos de precipitación media anual 593 mm y la evaporación promedio anual 551 mm se puede observar, por simple diferencia que los escurrimientos ascienden únicamente a 42 mm anuales promedio de los cuales se espera que se infiltren de un 7 a 10 %.

- Evolución de la perforación de pozos

La perforación y uso de un pozo en un acuífero produce un

descenso del nivel piezométrico, rápido al principio de la extracción y posteriormente más lento, al cesar el bombeo, los niveles tienden a recuperar su posición inicial, los datos históricos en el Estado indican que a partir de los 60's se produjo un incremento exponencial en el desarrollo de pozos. Durante el desarrollo de los estudios hidrogeológicos se censaron 17,242 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 15, 718 fueron pozos y 12,878 estaban activos, de los cuales el 76 % son de uso agrícola, el 18% potable, 4% pecuario y 2% industrial. El volumen que se extrae es de 4, 258 Hm^3 anuales, el uso en el que se aplica el mayor porcentaje de volumen es el agropecuario, el 83.2 %, el público el 15% y el industrial 1.8 %

- Producción agrícola

Así mismo respecto a la evolución histórica de las áreas agrícolas con servicio de riego dentro de la cuenca Lerma – Chapala, incluyendo las subcuencas cerradas de Pátzcuaro y Cuitzeo, en 1945 se disponía de infraestructura hidráulica para prestar servicio de riego a solo 160,000 ha; pero desde principios de la década de los cincuenta esta superficie creció aceleradamente, estimándose en 1999 que la cuenca dispone de infraestructura para beneficiar cerca de 830,000 ha, así en poco más de 50 años las áreas agrícolas con servicio de riego se incrementaron en 500 %. 1

- Crecimiento demográfico

En base a los resultados del XII Censo General de Población y vivienda 2000, se tiene que Guanajuato cuenta con 4,663, 032 habitantes, de los cuales 3, 133, 783 se concentran en zonas urbanas, ubicados en un total de 111 localidades mayores a 2,500 habitantes, por su parte la zona rural cuenta con 1,529 habitantes, distribuidos en 8,821 localidades. La densidad de población promedio en el Estado es de 152 hab/km^2, siendo León, Celaya e Irapuato los municipios con más densidad con 931, 683 y 526 hab/km^2 respectivamente. La distribución de la población se encuentra principalmente en las ciudades del corredor industrial, así como en las zonas con más actividad económica, incluyendo el sur del Estado, como Moroleón y Uriangato. En la zona norte es donde se encuentra la menor densidad de población. [1]

Acciones que definen las propuestas de recuperación

- Estudios que determinan las condiciones de funcionamiento hidrogeológico en los acuíferos

A partir de 1995 la CEAG identificó que el conocimiento de los acuíferos en el Estado era prioritario. En 1998 se retomaron acciones con la intención de dar seguimiento a los estudios hidrogeológicos y modelos matemáticos y así mantener la información actualizada. Este proceso ha permitido evolucionar el conocimiento del funcionamiento en los acuíferos, ya que ha sido posible: establecer los límites hidrogeológicos, evaluar y clasificar los volúmenes de extracción de los 20 acuíferos, crear los planos geológicos – geohidrológicos – piezométricos Estatales, establecer las redes de monitoreo de calidad del agua en 4 acuíferos, calcular el balance anual de aguas subterráneas en 18 acuíferos, contar con 15 modelos de simulación numérica y en base a ello crear los modelos de planeación de uso sustentable de 5 acuíferos, los cuales permitirán que se cuente con una herramienta para inferir anticipadamente las condiciones que tendrá el acuífero al someterlo a diferentes escenarios o políticas de explotación.

- Marco jurídico nuevo

En la Ley de aguas para el Estado de Guanajuato se contempla el Título Tercero, de la "Participación Social" responde al imperativo constitucional que legitima las políticas públicas, es decir, reitera el derecho y el compromiso de asumir la apertura a la sociedad en las acciones que propicien el contexto de aprovechamiento del recurso agua con sustentabilidad; así las autoridades facilitarán los medios para la participación de los sectores social y privado para mejorar la distribución y el aprovechamiento del agua, constituyendo instancias de asesoría y consulta técnica para las autoridades relacionadas con la materia. Cabe destacar que la participación de los usuarios del agua, representa en gran medida la orientación en las acciones que el Estado y los municipios emprendan en materia hidráulica, por lo tanto, su participación constituye un elemento indispensable en la toma de decisiones públicas. [2]

1.- Estudio Técnico para la reglamentación de los recursos hidráulicos de lacuenca Lerma-Chapala, CNA, 2002
2.- Presentación Ley de Aguas para el Estado de Guanjuato-Marco Jurídico, Dirección Jurídica CEAG, 2003

- Programas de cultura del agua, nuestro capital sociocultural

Del total de 61 oficinas, entre COTAS y Organismos Operadores en el estado, el 46.10% cuenta con un Programa de Cultura del Agua, el 41% no lo hace, el 7.69% realiza actividades en forma esporádica y el 5.13% cuenta con un propuesta para su Consejo Directivo. Con la finalidad de concretar las acciones hacía una cultura del agua existen actualmente en Guanajuato 14 oficinas de Consejos Técnicos de Aguas y un Consejo Estatal Hidráulico de los cuales en su totalidad contemplan dentro de su Plan de Trabajo la realización de proyectos en materia de cultura del agua. Además, a la fecha la Comisión Nacional del agua a través de su Gerencia Estatal en convenio con la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato han constituido 8 Espacios de Cultura del Agua.[3]

- Grupos de trabajo COTAS y Planes de manejo

La CEAG ha involucrado a la sociedad en la resolución de los problemas hídricos, proponiendo una nueva forma de manejo del agua, en la que tanto el gobierno como la sociedad interactúan de forma organizada, no solamente para fines de ejercicios de consulta, sino de forma continua y permanente, proponiendo planes e implantando acciones a nivel local. El objetivo de los COTAS es constituirse como promotores del uso sustentable del agua en el Estado con un enfoque conservacionista en función de la capacidad de soporte de los recursos, concertando acciones entre los distintos sectores usuarios. El Consejo Estatal hidráulico es la organización que agrupa a todos los Consejos Técnicos de Aguas en donde se definen las líneas y políticas generales de trabajo de las organizaciones de usuarios y son de observancia obligatoria para cada una de ellas y es el órgano de representación de los usuarios del agua del estado de Guanajuato ante los Consejos de Cuenca. En la Propuesta metodológica para el diseño e implementación del "Programa de Manejo de los Acuíferos", se han definido dos principales objetivos: 1) Planear y ejecutar un programa de manejo del acuífero consensuado con los usuarios y entidades gubernamentales implicadas. 2) Desarrollar en lo inmediato acciones de alto impacto que fomenten la participación social en la solución de los problemas relativos al manejo del agua.[4]

Conclusiones

Los acuíferos son sistemas hidrodinámicos vulnerables, que se han visto afectados por las actividades antropogénicas y los efectos de los agentes naturales. Guanajuato ha establecido un programa de acciones apegado a la legislación y normativa vigente, con la finalidad de fomentar la protección del recurso agua. El proceso de sobreexplotación ha rebasado toda posibilidad reversible de recuperación, más sin embargo, es posible mantener estable el funcionamiento de los acuíferos a partir de la concientización y participación de todos los que recibimos los beneficios del recurso. Dentro de las actividades que han permitido establecer el funcionamiento cíclico del nivel estático en los acuíferos es el monitoreo piezométrico, la aplicación de los modelos matemáticos y de uso sustentable que nos han indicado las predicciones y aplicación de estrategias para mantener un sistema estable con la participación social y gubernamental. Para conocer la disponibilidad y calidad del agua se está realizando la actualización del balance del agua subterránea y se han establecido las redes de monitoreo de calidad del agua, así como los parámetros a medir. El seguimiento y aplicación de las acciones mencionadas permiten que el recurso agua sea utilizado en base a los valores y principios del desarrollo sustentable de recursos naturales no renovables

Bibliografía

- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato, (1998-2000). Estudios Hidrogeológicos y Modelos Matemáticos de los Acuíferos de: Los Apaseos, Río Turbio, Pénjamo – Abasolo, León, Irapuato-Valle de Santiago, Silao-Romita, Río Laja –San Felipe, Ciénega Prieta - Moroleón, Celaya, Jaral de Berrios, Salvatierra-La Cuevita y Acámbaro-Cuitzeo, Gto. . (1998 – 2004 Periodos Estiaje y Lluvias). Actualización de las Mediciones Piezométricas de los acuíferos del Estado. Informes no editados. Gobierno del Estado de Guanajuato. Dirección General de Planeación.

- E Custodio/ M.R. Llamas, Hidrología Subterránea, Segunda Edición, Editorial Omega, (Tomo I)

3 .- La participación social en la gestión integral del agua de Guanajuato, Dirección General e Gestión Social, CEAG 2004

4.- Presentación de la Cultura del Agua en Guanajuato, Dirección General de Gestión Social, CEAG , 2004

Afectaciones al agua subterránea
como resultado del crecimiento urbano descontrolado e irregular

Por: Raúl **Morales Escalante**

Ingeniero Geólogo con 28 años de experiencia ocupando puestos en empresas de gobierno, instituciones académicas y en la iniciativa privada; actualmente Director General de Moro Ingeniería, S.C. cuenta con un Diplomado en Hidrogeología por la Universidad Complutense, Madrid. España y Maestría en Recursos Hidráulicos por la Universidad Politécnica de Valencia. España. raulmoralesescalante@yahoo.com.mx, proyectosmoro@prodigy.net.mx

Introducción

El desarrollo de las actividades humanas requiere por necesidad, que se realicen cambios en el medio ambiente; en el pasado, estos cambios nunca tomaron en cuenta las afectaciones a los recursos hídricos subterráneos, debido a que no existía conciencia de cómo podrían disminuir su calidad, razón por la cual el desarrollo se dio de forma no planificada, sin tomar en cuenta los efectos nocivos del crecimiento descontrolado.

A continuación se expone como ejemplo práctico y real de este proceso, el caso de la Ciudad de México y de su Zona Metropolitana, en donde se han invadido zonas rurales sin redes de drenaje, se han afectado cañadas de ríos y arroyos, se ha modificado la red hidrográfica, devastado la vegetación nativa y se han reducido las áreas de recarga al sistema acuífero.

Consecuentemente a lo largo del tiempo se ha generado una enorme mancha urbana, en la que cerros enteros son ahora zonas habitacionales; la rapidez en este crecimiento, así como la falta de planificación, motivaron que fuera imposible dotar de servicios a estas zonas, por lo que la contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos se convirtió en una práctica normal.

Afectaciones a zonas de recarga

Cuando el desarrollo urbano inició se extrajeron un gran volumen de materiales pétreos que fueron usados para la construcción, los cuales fueron obtenidos de bancos de materiales, los cuales por necesidad tenían que estar muy próximos a la ciudad, pues de lo contrario el transporte hubiera hecho incosteable la realización de las obras.

Los bancos de materiales se desarrollaron en volcanes extintos conformados por rocas de alta permeabilidad; la falta de visión ecológica y ambiental permitió que en los inmensos espacios formados a consecuencia de la extracción de materiales, se depositara basura de todo tipo, lo que propició la migración de contaminantes a los acuíferos.

Por otra parte, el crecimiento desmedido de la mancha urbana, provocó que grandes extensiones de la sierras de Guadalupe, Las Cruces y Ajusco, que constituyen zonas de recarga del sistema acuífero, hayan sido invadidas por casas. En la imagen Landsat el color gris muestra el crecimiento de la zona urbana sobre la montaña.

▲ Imagen Landsat

En consecuencia este proceso ha llevado a varias formas de desequilibrio ecológico, como son: pérdida de la vegetación, deterioro del paisaje, pérdida de la capacidad de infiltración del terreno, reducción del volumen de agua que recarga al sistema acuífero, contaminación de los recursos hídricos subterráneos, incremento en los volúmenes de agua que escurren y la modificación de la red de drenaje superficial, entre otros.

Hundimientos en el terreno

Los hundimientos en el terreno se presentan en donde existen sedimentos arcillosos y se dan a consecuencia de una disminución de su espesor, por lo que a mayor espesor de estos sedimentos existe una mayor posibilidad y capacidad de asentamiento. La razón por la que las arcillas reducen su espesor (consolidación) está directamente relacionada con la exagerada extracción de agua subterránea, esto es, a la sobreexplotación del sistema acuífero.

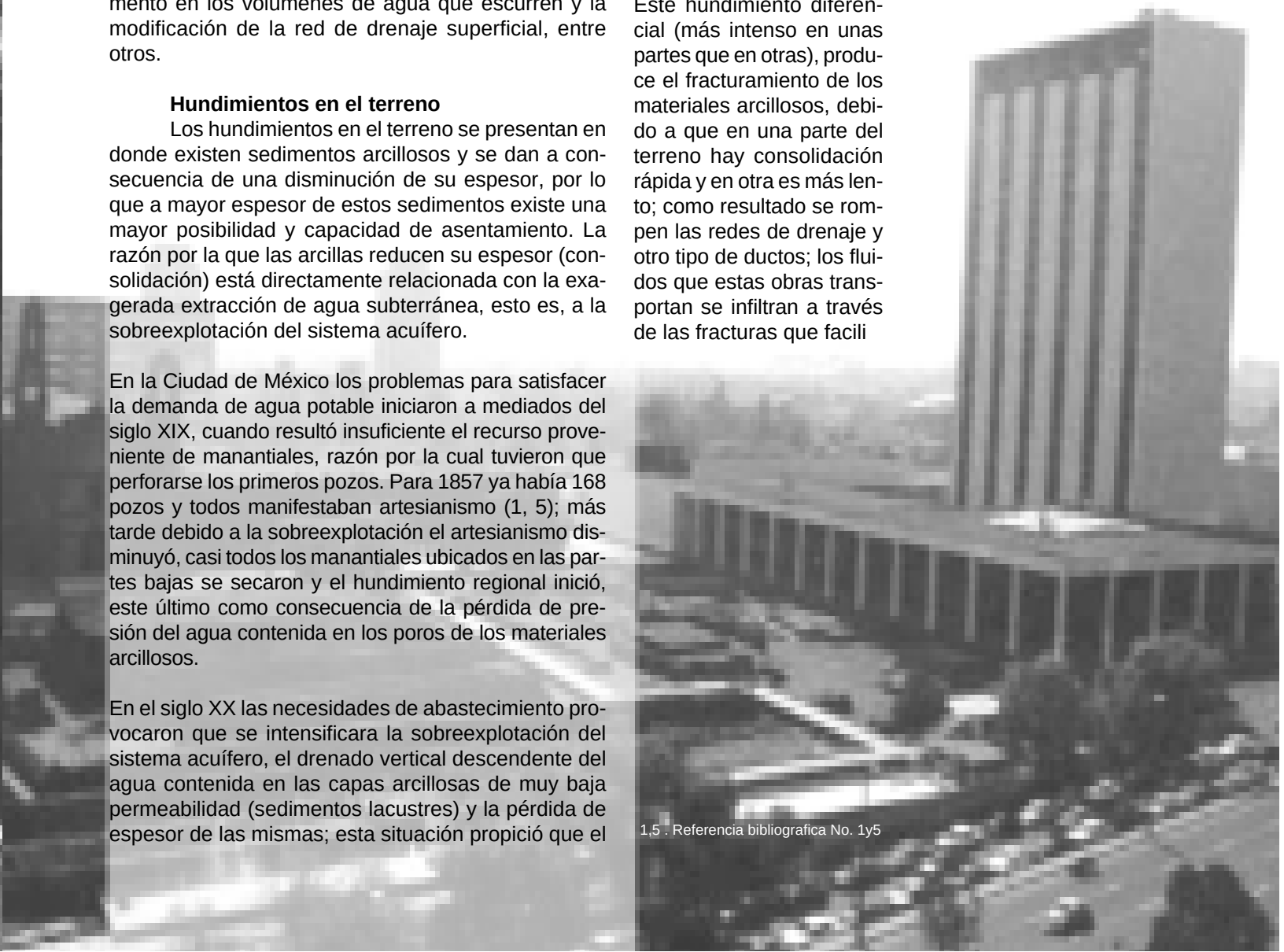
En la Ciudad de México los problemas para satisfacer la demanda de agua potable iniciaron a mediados del siglo XIX, cuando resultó insuficiente el recurso proveniente de manantiales, razón por la cual tuvieron que perforarse los primeros pozos. Para 1857 ya había 168 pozos y todos manifestaban artesianismo (1, 5); más tarde debido a la sobreexplotación el artesianismo disminuyó, casi todos los manantiales ubicados en las partes bajas se secaron y el hundimiento regional inició, este último como consecuencia de la pérdida de presión del agua contenida en los poros de los materiales arcillosos.

En el siglo XX las necesidades de abastecimiento provocaron que se intensificara la sobreexplotación del sistema acuífero, el drenado vertical descendente del agua contenida en las capas arcillosas de muy baja permeabilidad (sedimentos lacustres) y la pérdida de espesor de las mismas; esta situación propició que el terreno sufriera asentamientos notables, proceso que no ocurrió de manera homogénea, pues depende del espesor de los materiales arcillosos y de la profundidad a la que se encuentra la roca estable; de esta forma, en donde no hay sedimentos lacustres arcillosos no ha ocurrido ningún tipo de hundimiento del terreno a lo largo del tiempo.

Informe de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, reportan hundimientos de 8 a 9 m para la zona de Paseo de la Reforma, cerca de la Alameda Central, para un lapso de 94 años (1891-1985); en la intersección de Reforma y Av. Chapultepec de 4 a 5 m, para el mismo período. En otras áreas no se tienen registros tan amplios, pero para el período 1952-1985 (33 años), se registran hundimientos de 1.30 m en las delegaciones de Azcapozalco y Miguel Hidalgo y de alrededor de 4.70 m en la delegación Venustiano Carranza.

La figura 1 muestra que a lo largo del tiempo los hundimientos promedio han sido variables, ya que dependen de la capacidad de asentamiento de los materiales y de la cantidad de agua extraída, en comparación al volumen de recarga.

Este hundimiento diferencial (más intenso en unas partes que en otras), produce el fracturamiento de los materiales arcillosos, debido a que en una parte del terreno hay consolidación rápida y en otra es más lento; como resultado se rompen las redes de drenaje y otro tipo de ductos; los fluidos que estas obras transportan se infiltran a través de las fracturas que facili



1,5 . Referencia bibliografica No. 1y5

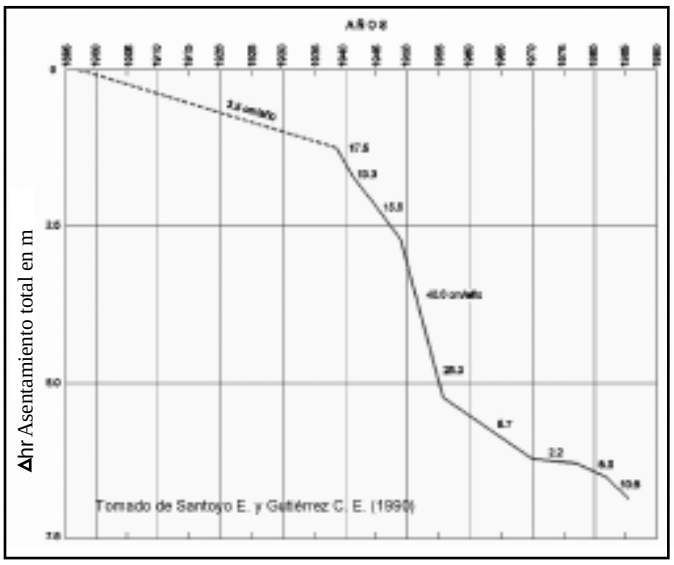


Fig. 1 Asentamiento regional en el centro de la ciudad

tan el tránsito rápido y disminuyen la capacidad de autodepuración del terreno; por esta razón, los materiales arcillosos de muy baja permeabilidad que en estado natural funcionaban como capa sello, pierden esta propiedad y dejan de proteger al sistema acuífero de la entrada de contaminantes.

En conclusión, el proceso de sobreexplotación y de consolidación de las arcillas ha producido daños a las estructuras civiles y puesto en riesgo la calidad del agua subterránea del sistema acuífero.

Calidad del agua subterránea

El agua subterránea es uno de los recursos naturales más afectado por las actividades humanas, no tan solo porque es sobreexplotado, sino por que se afecta su calidad. En muchas partes de la Ciudad de México y su Zona Metropolitana, existen desarrollos industriales que en algunos casos no tratan ni controlan adecuadamente sus residuos sólidos, líquidos y gaseosos.

En consecuencia gran parte de sus desechos se arrojan a tiraderos municipales, a la red de drenaje, canales sin revestir que en su trayecto pasan por rocas permeables o fracturadas por asentamiento diferencial, y en el peor de los casos a pozos de absorción, que introducen directamente a los contaminantes en el sistema acuífero; esto último ha ocasionado que en las aguas subterráneas se tengan metales pesados como el plomo y cromo, entre otros contaminantes.

Otra actividad que deteriora la calidad del agua es la relacionada con la disposición de basura urbana, ya que predominan los tiraderos que en su base no tienen membranas impermeables ni una estructura ingenierilmente segura.

Estudios realizados por varias empresas y por el Instituto de Ingeniería (4) en las etapas I y II de Bordo Poniente, mostraron que hay evidencias de que los

lixiviados han llegado hasta profundidades de 40 m y que su migración es principalmente de tipo vertical descendente, a través de las microfracturas que se han generado en las arcillas como resultado de su consolidación. Estas investigaciones también encontraron que la contaminación

4. Referencia bibliografica No. 4

se concentra y se hace mayor cuando llega a las capas duras más permeables; en estas capas los contaminantes se mueven en forma horizontal, distribuyéndose y pudiendo llegar hasta sitios más alejados del tiradero controlado, de tal forma que no hay seguridad de que el sistema acuífero esté protegido de la contaminación.

El deterioro a la calidad del agua subterránea, se da también en zonas urbanas irregulares que no cuentan con servicio de drenaje, principalmente cuando se localizan en áreas con rocas volcánicas fracturadas, pues en este caso los residuos líquidos se infiltran muy rápidamente a través de las fracturas.

Un ejemplo se presenta en la porción oriental de la Sierra de Santa Catarina, al este de la Zona Metropolitana, en donde la población del mismo nombre se ubica sobre rocas volcánicas de permeabilidad alta a muy alta; en este caso como se puede ver en las imágenes de la siguiente hoja, debajo de las casas existen fracturas por las que los fluidos se mueven y migran en sentido vertical descendente, sin ninguna posibilidad de que el material pueda tener alguna reacción química y disminuir su carga contaminante.

Este mismo proceso se presenta en diversas partes de la Cuenca del Valle de México, como en las inmediaciones del Cerro de La Estrella; en todos los casos los contaminantes migran a través de rocas o arcillas fracturadas cercanas a zonas urbanas sin servicios.

Lo expuesto en este artículo muestra algunas de las formas en que el desarrollo urbano ha afectado a la calidad de los recursos hídricos; cuando se piensa que las acciones que han dañado al sistema acuífero fueron iniciadas hace más de 100 años, se entiende que existiera falta de visión del daño que se causaba al entorno en que vivimos, pero cuando ahora, en el siglo XXI continúa siendo un proceso que se realiza de forma cotidiana, resulta incomprensible que no hayamos aprendido que estamos agotando nuestros acuíferos en cantidad y calidad. Como resolver esta situación es un problema que los mexicanos tenemos que solucionar de forma urgente

Bibliografía

1. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. (1983). “Actualización del inventario de aguas subterráneas”. Informe interno.

2. Comisión Nacional del Agua. (1990). “Boletín de mecánica de suelos. Datos del Valle de México, período 1983-1986”. Reporte generado por la Gerencia de Aguas del Valle de México.

3. Departamento del Distrito Federal. (1981). “Calidad físico química y biológica de las aguas subterráneas del sur y oriente del Distrito Federal”. Trabajo realizado por ABC Laboratorios, a través del contrato 1-33-1-221.

4. Instituto de Ingeniería. UNAM. (1993). “Evaluación del riesgo de daño al acuífero del Valle de México por la migración de lixiviados del relleno sanitario Bordo Poniente en el ex lago de Texcoco”. Elaborado para el Departamento del Distrito Federal. Convenio SUC-2-31-1-004.

5. Santoyo, E. y Gutiérrez, C. E. (1990). “Estratigrafía y muestreo inalterado de los suelos lacustres del Valle de México”. Artículo de TGC geotecnia, S.A.

Semblanza sobre estudio
y manejo de las aguas subterráneas

Por: Jesús **Díaz Escárcega**

Ingeniero Geólogo egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México con Estudios en Hidrología y Geohidrología. Ha llevado a cabo actividades sobre saneamiento, reuso, fuentes de abastecimiento, (aguas subterráneas y aguas superficiales), protección y drenaje de vías férreas. Actualmente es asesor externo en la Comisión Estatal de Aguas de Querétaro.

En México el estudio de las aguas subterráneas se inicia por los albores de 1890, pero fundamentalmente cuando se establece la Comisión Nacional de Irrigación por los años 40's, tiempo en los que se da como detonante el desarrollo de la geohidrología, tanto por las necesidades de agua de varios centros urbano-industrial (entre ellos el D.F.), como por la necesidad de volúmenes de agua en la conformación y desarrollo de los distritos de riego, y posteriormente de las unidades de riego para el desarrollo rural.

Sobre estos antecedentes, es conveniente mencionar algunas personas que han sido baluarte del estudio de las aguas subterráneas aquí en México: Ing. Heinz Lesser Jones, Ing. Ignacio Sainz Ortiz, Ing. Alfonso de la O. Carreño, Ing. Germán Figueroa, Ing. Rubén Chávez Guillén e Ing. José P. Arreguín Mañon, entre muchos otros.

Prospección geohidrologica

La búsqueda del agua subterránea, ha sido una actividad fundamental para el desarrollo de las actividades productivas del país, para eso, es necesario realizar estudios geohidrológicos que permitan conocer con precisión las características geológicas, hidrogeológicas, geométricas e hidrodinámicas de la posible zona acuífera, lo que implica desarrollar una serie de actividades que necesariamente tienen que realizarse en contacto directo con la zona que se pretende estudiar y conocer. Esta serie de actividades se enmarcan en un estudio de "Prospección Geohidrológica", el cual se inicia con una adecuada recopilación, selección y ordenamiento de toda la información existente en la zona, trátese de planos topográficos, aspectos geológicos, hidrográficos, hidrológicos, climatológicos, de vegetación y condiciones estructurales de las rocas y materiales granulares superficiales y del subsuelo.

Con todo esto y los recorridos de campo, se pueden identificar las unidades litológicas, sean formaciones de origen sedimentario marino o continental, o rocas de origen ígneo intrusivas y extrusivas (volcánicas), además de establecer e identificar qué grado de porosidad y permeabilidad tienen las rocas y materiales granulares y consecuentemente qué formaciones geológicas son las más favorables para constituir almacenamientos y flujos de agua en el subsuelo.

Lo anterior, si es necesario, tiene que complementarse con el apoyo directo de perforaciones exploratorias o indirecto de métodos geofísicos, trátese de sondeos eléctricos verticales (S.E.V. y sus modalidades), sismológicos y gravimétricos. Por lo tanto, los estudios de "Prospección Geohidrológica" exigen una adecuada y certera interpretación de los parámetros que se obtienen con estos métodos directos e indirectos, por lo que, siempre deben identificar las unidades hidrogeológicas de las zonas en estudio, mediante la correlación de las unidades geoeléctricas de los S.E.V., con la calibración

de registros eléctricos y cortes litológicos que pudieren existir en las zona en cuestión, lo que hace posible una buena configuración de las condiciones geológicas del subsuelo.

Por último, cabe mencionar que las aguas subterráneas que se almacenan y circulan a través de las rocas sedimentarias marinas calizas cársticas, están totalmente relacionadas con el proceso y periodicidad de las precipitaciones o lluvias de las zonas donde existen y afloran estas rocas, es decir, reciben volúmenes de agua como recarga natural en forma inmediata, y por consecuencia también descargan cuando se rebasa la capacidad de almacenamiento, mediante manantiales, independientemente de que estas rocas tengan características con porosidad y permeabilidad primarias (cuando se sedimentaron o formaron) o secundaria debido al fracturamiento o fallamiento por tectonismo.

Ejemplos de estos hay muchos: Calizas del cretácico medio de la alta Mixteca de Oaxaca, calizas formación Cupido Sierra de Nuevo León y Coahuila, formación el Doctor Sierra Gorda de Querétaro e Hidalgo, formación Aurora valles de Camargo Jiménez, Ascención Samalayuca y Villa Ahumada en Chihuahua, etc. (Figuras 3.1 y 3.2)

Indicios superficiales de la existencia de agua subterránea

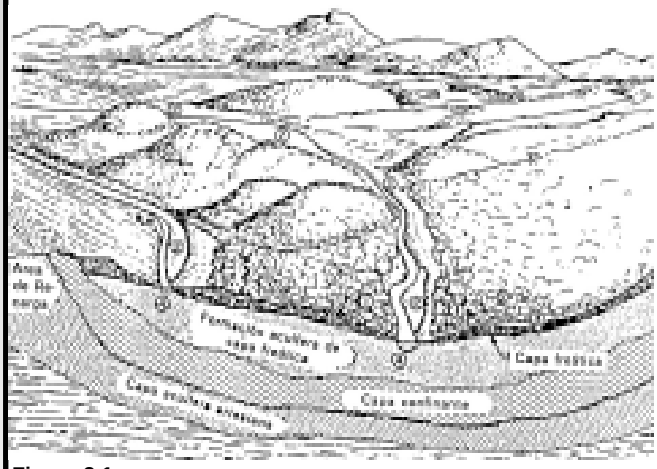


Figura 3.1

1.- Vegetación densa indicando un posible nivel freático poco profundo

2.- Llanuras fluviales, sitios posibles para pozos en formaciones de acuíferos libres

3.- Manantial donde aflora agua subterránea

4.- Los lechos de ríos atravuesan formaciones arenosas portadoras de agua, lo cual indica que en las margenes son buenos sitios para la formación de pozos

Sondeo eléctrico vertical interpretado con correlación y calibración de pozo profundo y registro eléctrico para su clasificación en unidades geoélectricas e hidrogeológicas

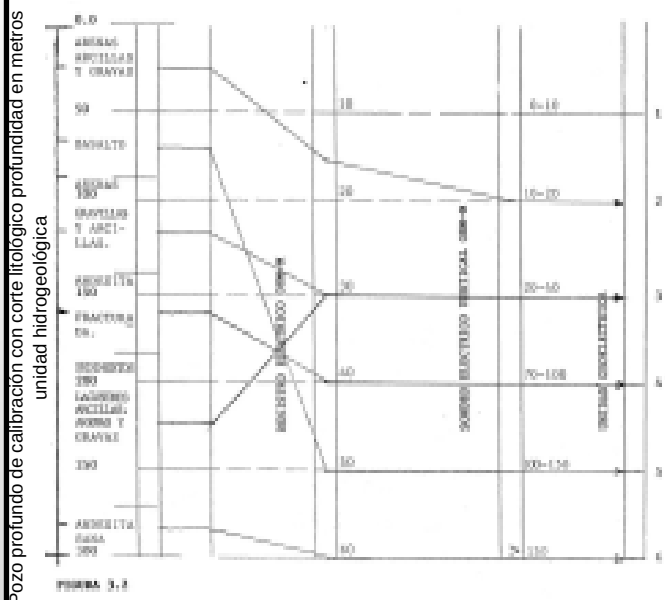


Figura 3.2

Evaluación geohidrológica

La actividad técnica dedicada a la investigación, estudio, conocimiento y explotación del agua subterránea no para ahí, ya que cada pozo profundo que existe en explotación se convierte en toda una ventana y unidad de observación, que auxiliará en el conocimiento de evolución de los parámetros hidrodinámicos e hidrogeoquímicos que rigen las características del acuífero. De esta manera, con todas las obras de captación de agua subterránea existentes, se establece una red regional de puntos de observación y dan marco a la intervención de la otra parte de la disciplina de la geohidrología que es el área de Evaluación Geohidrológica aplicando estrictamente la hidrología subterránea.

Con la misma importancia y metodología de trabajo de campo y gabinete, se concentra toda la información geológica, agrológica, edafológica, topográfica, hidrográfica, hidrológica, agrícola y usos del agua de todos los sectores usuarios, para conformar los planos correspondientes y toda la base de datos de la región o acuífero sometido al uso, explotación y aprovechamiento del agua subterránea, para así registrar los volúmenes de extracción, procesar planos con la obtención de datos de campo, en los que se configuren la profundidad de niveles estáticos, elevación de la superficie piezométrica, evolución de niveles, pruebas de bombeo para determinar caudales específicos, coeficientes de almacenamiento, pérdidas de acuífero y de pozo, para

estar en condiciones de realizar la Evaluación Geohidrológica, aplicando la "Ecuación de Balance de Agua Subterránea", ecuación que expresa el principio de conservación de la materia que en su forma más simple es:

Recarga – Descarga = ± Cambio de almacenamiento

Otra manera será la siguiente:

Eh + R + D – Sh – B – Ev = AV, donde :

Eh = Entrada horizontal
R = Recarga vertical
D = Recarga retorno riego y pérdidas físicas (cuando existen zonas de riego y sistemas de agua potable en el área de estudio)
Sh = Salida horizontal
B = Bombeo de captaciones o pozos
Ev = Evapotranspiración (cuando hay nivel freático somero)
AV = Cambio de almacenamiento

Esta ecuación de balance desde luego cuenta con la herramienta de los modelos matemáticos para facilitar la resolución de los problemas y características de los acuíferos, pero siempre hay que recordar que un buen resultado de balance dependerá de la calidad de los datos, tanto de campo como de gabinete, y que cualquier modelo matemático es tan solo una ayuda para resolver la ecuación.

Bueno, hasta aquí son los aspectos meramente técnicos, pero volteando un poco a los aspectos administrativos y legales, respecto al agua subterránea, resulta que tanto la Ley Federal de Aguas como la Ley de Aguas Nacionales de 1992 basaron sus conceptos con criterio unilateral y modelos de desarrollo insostenibles en materia de agua, independientemente de una mala administración de la oferta y la demanda. Tanto es así que, en nuestro país existen cerca de 200 acuíferos en franca sobreexplotación, con decretos de veda, sin haber tomado en cuenta los límites de la unidad de gestión, cuenca, subcuenca o acuífero, y por consecuencia sin haberse conformado una estadística clara de los diversos grados y evolución de sobreexplotación a que estaban sometidos éstos, los cuales fueron escalando poco a poco según la siguiente clasificación:

Sobreexplotación incipiente de primer grado o benéfica.- En ella se logran beneficios económicos y capacidad máxima de extracción.

Sobreexplotación de segundo grado o necesaria.- En ésta, la disminución del almacenamiento no afecta mucho el costo de la extracción, y por lo tanto el desarrollo de una región se finca en un recurso que puede ser renovado.

Sobreexplotación de tercer grado o dañina.- Es la que provoca el inicio de un proceso de abatimiento de los niveles y de la porosidad y permeabilidad del acuífero y por consecuencia su recarga natural.

Sobreexplotación de cuarto grado o destructiva.- Es la que presenta la franca sobreexplotación, con daños irreversibles, si antes no se planea adecuadamente una remediación o estabilización de los acuíferos, basado en un modelo armónico de sustentabilidad que sea técnicamente factible, económicamente viable y socialmente aceptable.

Para terminar, es preciso señalar que la mayoría de los acuíferos sobreexplotados del país están en esta fase de cuarto grado o destructiva, pudiéndose señalar los siguientes: Costa de Hermosillo, Santo Domingo en Baja California Sur, la mayoría de la Cuenca Lerma, Valle de Aguascalientes, Valle de San Luis Potosí, Valle de México, Zacatecas, La Laguna, Valle de Jiménez-Camargo, Casas Grandes, Juárez, Ascención y Chihuahua en el Estado de Chihuahua, entre otros más. (Figuras 3.3 y 3.4)

Encontrar el agua subterránea, cuantificarla, evaluarla, manejarla, y mediante una administración integral ponerla en manos de los diversos sectores usuarios, para su más correcta y adecuada utilización, es un compromiso ineludible de todos

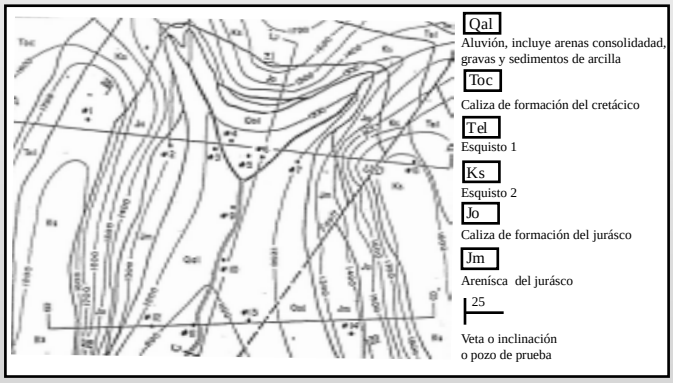


Figura 3.3 Ejemplo de un mapa geológico mostrando la localización de los pozos de prueba.

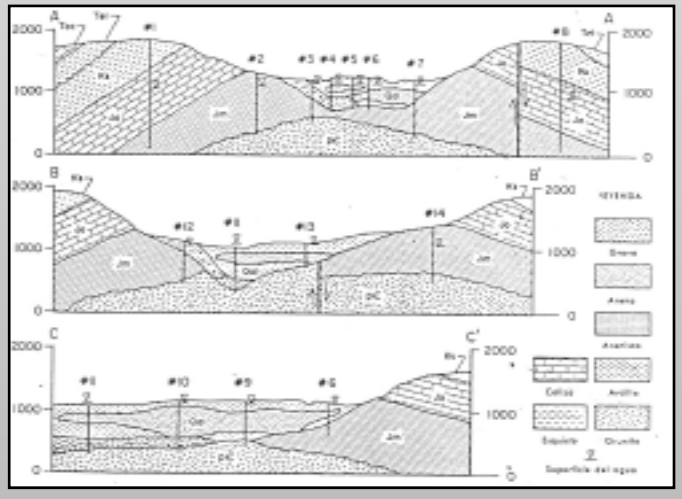


Figura 3.4 Secciones transversales geológicas del mapa de la fig. 3.3

Referencias:

- Revista Ingeniería Hidráulica en México 1992
- Aportes a la Historia de la Geohidrología en México 1998, presentado por el Ing. José P. Arreguín Mañon.
- Metodologías para Trabajos de Campo en Estudios Geohidrológicos, presentado en Congreso de México-Centroamericano en 1985 por el Ing. Jesús Díaz Escárcega
- Abatimiento y Remediación del Agua Subterránea en el Valle de Querétaro, presentado por el Ing. Jesús Díaz Escárcega en Congreso anual ANEAS 2000.
- Administración, Manejo y Control de Acuíferos Regionales presentado por el Ing. Jesús Díaz Escárcega, en Simposio de Aguas Subterráneas en el Norte de México en 1985.

Recarga de Acuíferos

Por: Alejandrina **Castro Rodríguez** y Rosario **Iturbe Argüelles**

Alejandrina Castro Rodríguez
Ingeniera Geóloga con Maestría en Ingeniería Ambiental. Cuenta con experiencia laboral en recarga y vulnerabilidad de acuíferos. Actualmente es investigadora del Instituto de Ingeniería de la UNAM.
aacr@pumas.iingen.unam.mx

Rosario Iturbe Argüelles
Ingeniero civil con Maestría en Ingeniería Ambiental y Doctorado en Hidráulica.Tiene gran experiencia sobre migración de contaminantes, contaminación de agua subterránea y remediación, caracterización de suelos contaminados con hidrocarburos y tratamiento de los mismos por medio de procesos fisicoquímicos y biológicos.
ria@pumas.iingen.unam.mx

Resumen
El desarrollo demográfico en el país ha creado una demanda acelerada de servicios, uno de los más importantes de cubrir es el abastecimiento de agua potable.

El problema de la sobreexplotación no es únicamente debido a la extracción excesiva de agua, se agrava también por la baja eficiencia en su utilización y a la pérdida de zonas de recarga, a consecuencia de la deforestación y los cambios de uso de suelo. Otro problema que se suma a la disponibilidad del agua es la contaminación de los mantos freáticos.

Es por ello que en el país se ha empezado a utilizar la recarga artificial de acuíferos como una alternativa para almacenar agua y para preservar la calidad de la misma en el acuífero. Existen diferentes métodos para llevar a cabo la recarga, en este escrito se hablará brevemente de algunos de ellos, así como de algunas experiencias en México.

Introducción
El aumento de la demanda por agua en todo el mundo ha hecho que los acuíferos constituyan invaluables fuentes de suministro de agua así como grandes instalaciones para almacenarla. El agua de los acuíferos puede ser infiltrada por recarga natural o artificial. La recarga natural es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un período de tiempo, a causa principalmente de la percolación de agua de lluvia y de los cuerpos de agua superficiales: canales, ríos, lagunas. Y en el caso de la recarga artificial, puede definirse como el conjunto de técnicas, cuyo objetivo principal, es permitir una mejor explotación de los acuíferos, por aumento del recurso agua y creación de reservas, mediante una intervención directa o indirecta en el ciclo natural del agua (1).

Actualmente nuestro país enfrenta grandes problemas ambientales con respecto al agua. Se observa una disminución acelerada de la disponibilidad de agua en las zonas más pobladas y hay una creciente contaminación de los cuerpos de agua susceptibles a servir como fuentes de abastecimiento. La actual precipitación pluvial que se tiene en el país es muy parecida a cuando no se encontraba poblado; sin embargo, la superficie donde se precipita la lluvia ya no es un suelo vegetal permeable, ahora hay pavimentos y azoteas impermeables que cambian drásticamente las condiciones de infiltración y por ende el equilibrio hidrológico de los valles. Los mantos freáticos se ven afectados por el acelerado crecimiento de la mancha urbana. La CNA ha manifestado que el incremento en la demanda del agua de las ciudades es

cada vez más difícil de satisfacer y ello genera serios problemas de sobreexplotación. En la actualidad, de los 653 acuíferos que componen el país, 102 se encuentran sobreexplotados (2).

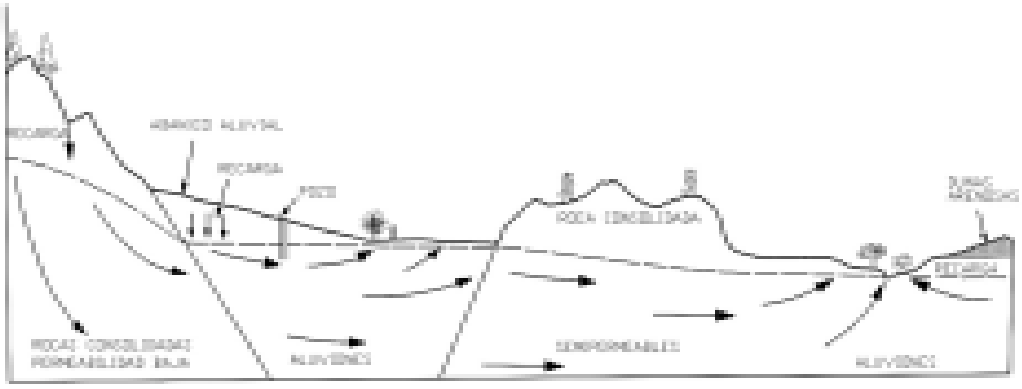
La disponibilidad de agua promedio nacional en cincuenta años ha tenido una disminución del 60 por ciento. Actualmente la disponibilidad es de 4900 m^3 por habitante, cifra muy inferior a la de países como Estados Unidos y Canadá, que cuentan anualmente con 10000 y 99000 m^3 por persona, respectivamente; aunque hay que aclarar que debido a sus climas tan diferentes, en el país se presentan grandes contrastes con respecto a la disponibilidad del agua, ya que mientras en el sureste se dispone de 27000 m^3 por habitante al año, en las regiones centro y norte se tienen niveles inferiores a los 2500m^3 anuales por persona (3).

En México, D.F. el Ingeniero Sáins Ortiz, fue precursor de la recarga artificial, esta consistía en un pozo de absorción en San Fernando, frente al panteón del mismo nombre en la colonia Guerrero. Este proyecto fue seguido por más de cuarenta instalaciones de este tipo construidas entre 1953 y 1961. El propósito inicial fue el de ayudar a resolver los problemas de inundaciones, ampliándose posteriormente para aminorar los efectos de la sobreexplotación de los acuíferos (4)

En la actualidad, existen en el país varios proyectos para realizar recarga, tanto artificial como natural (5)(6). Entre las actividades que se desean promover están el aprovechamiento del agua pluvial, promoviendo su utilización en el comercio y la industria; en casas habitación se deberá inducir el escurrimiento de techos hacia las áreas jardinadas.

Métodos de recarga

Una amplia variedad de métodos han sido desarrollados para llevar a cabo la recarga de acuíferos. Algunos de los factores a tomar en cuenta al momento de hacer la selección del método son la disponibilidad del terreno, tipo de suelo, condiciones hidrogeológicas del sitio de recarga, financiamiento, tecnología disponible, calidad del agua residual para la recarga y posibles usos del agua recargada (5)(7).



▲ Recarga horizontal.

La clasificación de los métodos de recarga pueden variar de acuerdo a diferentes autores, la clasificación que aquí se presenta es muy general, se divide en: métodos superficiales y profundos (8).

MÉTODOS SUPERFICIALES

Estas técnicas son de las más antiguas y sencillas de aplicar. En estos métodos, el agua se mueve de la superficie al acuífero por percolación a través del suelo. La técnica consiste en extender el agua buscando una gran superficie de contacto agua-terreno, ya que los estudios en campo han mostrado que, dentro de los muchos factores que gobiernan la cantidad de agua que entrará al acuífero, el área de recarga y tiempo que el agua esté en contacto con el suelo son de lo más importantes. Estos métodos son útiles en caso de acuíferos libres donde no se tienen niveles poco permeables próximos a la superficie. En los métodos superficiales se agrupan las siguientes categorías:

- Inundación
- Zanjas y surcos
- Estanques o balsas de infiltración
- Modificación de corrientes
- Sobreirrigación

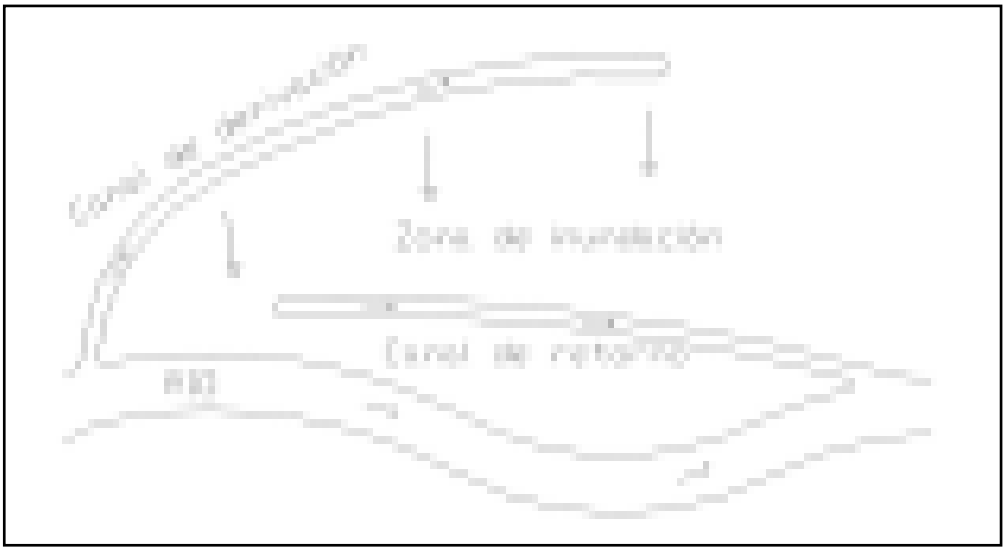
Métodos profundos

Estos métodos se emplean cuando el agua es llevada directamente hasta el acuífero. Generalmente son utilizados cuando el terreno está formado por una alternancia de niveles permeables e impermeables. Los sistemas de recarga a profundidad son esencialmente los pozos verticales, las fosas y tiros y las grietas u otro tipo de abertura natural, donde se inyecta el agua hacia el acuífero.

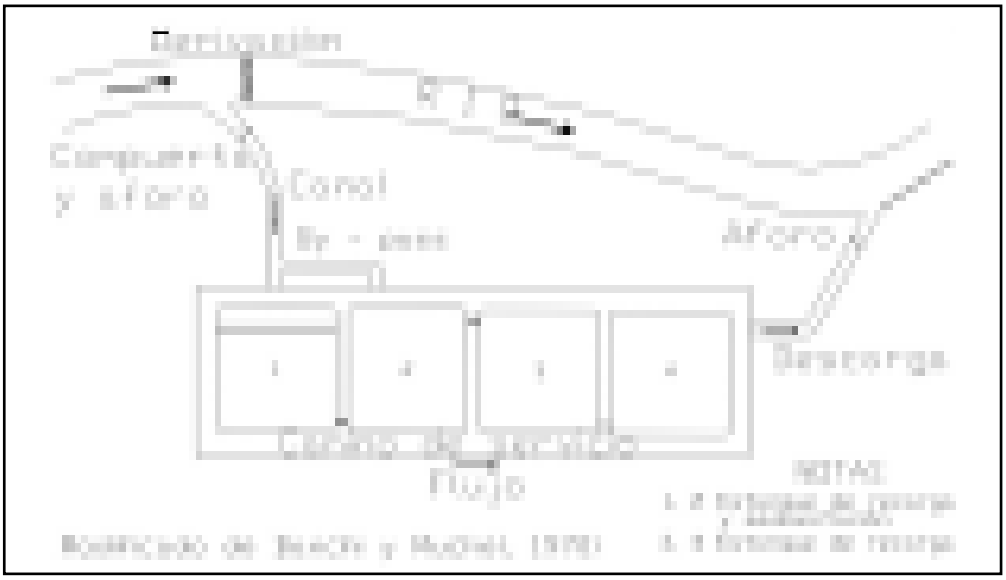
Los principales inconvenientes que presentan estos métodos son el mayor costo de construcción y mantenimiento y la necesidad de utilizar agua de mejor calidad ya que esta no pasa por la zona no saturada la cual sirve de filtro. Y su principal ventaja, es que la necesidad de terreno es mínima, lo cual es esencial donde el terreno es caro y en zonas urbanas.

A continuación se habla brevemente de algunas de las acciones que se desean implementar para reducir un poco el problema del agua en el país.

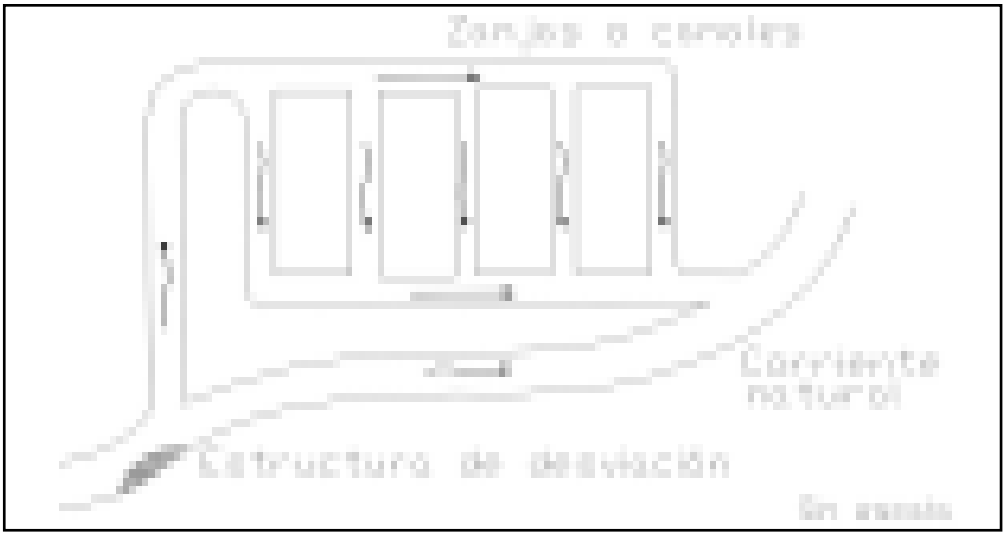
Sistema de Recarga Artificial en Acuífero de la Comarca Lagunera, Coah. (Proyecto Piloto)



▲ Inundación



▲ Balsas.



▲ Zanjas

El acuífero de la Comarca Lagunera se extiende sobre una superficie aproximada de 4,500 Km^2. Está alojado en un potente relleno conformado por materiales aluviales, depósitos de bolsón y lacustres con un espesor de varias decenas de metros. La extracción en el acuífero alcanza un volumen total de 931 Mm^3/año con una recarga estimada en 481 Mm^3/año. El déficit entra la descarga y la recarga se compensa a costa del almacenamiento. Lo anterior, ha generado impactos negativos como: abatimientos de nivel estático de 2-3 m/año; asentamientos del terreno; extinción de manantiales y particularmente la degradación de la calidad del agua subterránea por la presencia de arsénico en concentraciones superiores a la NOM para uso doméstico.

Como una alternativa para preservar la calidad del agua en el acuífero en la zona de reserva exclusiva para uso doméstico, se evaluó la factibilidad de aplicar un sistema de recarga artificial mediante un proyecto piloto. El área de recarga comprende una superficie de 130,000 m^2 ubicada sobre el cauce del río Nazas frente al km 3+500 del canal Sacramento. El agua es de buena calidad con STD < 250 mg/l y concentraciones de arsénico por debajo de la NOM para uso doméstico. El experimento inició con un primer desfogue de 800,000 m^3 a través del sifón 3+480 del Canal Sacramento. Posteriormente, los intervalos de descarga se repitieron de 7 a 9 días con duración de 24 a 72 horas cada uno y con gastos variables de 3 a 20

m³/s, alcanzando un volumen total promedio de 500,000 m³, en cada evento. El volumen total derivado durante 67 días fue 5.2 Mm³, de éstos se estima que 0.2 Mm³ se evaporaron y el resto, 5.0 Mm³, se infiltraron. Durante el proyecto se monitoreó la variación piezométrica en dos pozos construidos a 200 m y 500 m del estanque de infiltración y a profundidades de 30 m y 50 m, respectivamente. A distancias superiores entre 1 y 3 Km se monitorearon 112 pozos de observación con profundidad promedio de 130 m.

El análisis de las variaciones piezométricas, de calidad del agua y de la información hidrogeológica, sugiere que la dirección del agua de recarga se desplazó en forma "escalonada" debido a la interestratificación de sedimentos finos y gruesos presentes en el subsuelo en forma errática.

Los resultados del proyecto piloto y los estudios preliminares en el área sugieren que el cauce del río Nazas presenta condiciones muy favorables para implementar un sistema de recarga artificial a mayor escala que la del proyecto de referencia. Bajo un esquema de infiltración de mayor alcance, la recarga artificial representa una alternativa viable técnica y económicamente para controlar la degradación del agua subterránea in situ y mantener la calidad en las fuentes de abastecimiento. A corto plazo el costo-beneficio de la recarga es superior, comparado con alternativas como: el tratamiento y remoción del

arsénico en plantas de tratamiento o la construcción de un acueducto desde la presa Fco. Zarco a las ciudades de Torreón o Gómez Palacios (9).

Distrito Federal

El día 05 de mayo del presente año, el jefe de gobierno de la ciudad de México anunció que en breve se llevarán a cabo la construcción de pozos para recargar los mantos acuíferos con una inversión de más de 200 millones de pesos. El proyecto se llevará a cabo principalmente en las delegaciones Tlalpan, Magdalena Contreras y Xochimilco. La recarga se llevará a cabo principalmente con agua pluvial la cual tendrá un tratamiento previo a la inyección al acuífero. También comentó que se emitió un bando que prohíbe obras habitacionales en la zona sur de la ciudad, donde se encuentra la mayor parte de las áreas de recarga acuífero (5).

En el mes de Junio del año en curso, se anunció el comienzo de la perforación de 60 pozos de absorción para la recarga del acuífero en Tlalpan, Xochimilco y Milpa Alta. Confía que este proyecto concluya en diciembre.

Guadalajara, Jalisco

La zona metropolitana de Guadalajara cuenta con una población de cerca de seis millones de habitantes distribuidos en los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tonalá y Tlaquepaque. Para abastecer de agua potable a todas esas personas, es necesario bombear 11.9 metros cúbicos por segundo. La fuente de abastecimiento principal es el lago de Chapala, de donde se extraen 6.2 metros

cúbicos por segundo, es decir, poco más de la mitad del agua que necesita la ciudad; la presa Calderón aporta aproximadamente 2 metros cúbicos por segundo y los pozos profundos (como el sistema acuífero Tesistán-Atemajac-Toluquilla, junto con los manantiales de la zona), el 3.7. Estas fuentes de abastecimiento están sobreexplotadas, por lo que es necesario buscar alternativas para satisfacer a creciente demanda de agua (10).

Se pretende instalar un sistema eficiente de pozos de infiltración en la ciudad, lo cual no solo ayudaría a recargar los mantos acuíferos e incrementar las reservas de aguas subterráneas, sino que también aliviaría con ello las molestas y en ocasiones peligrosas inundaciones que se producen en puntos bajos y depresiones de la ciudad. El volumen de infiltración de ambos sistemas combinados sería del orden de los 72 millones de metros cúbicos al año, que significaría proveer a la ciudad de cerca de 2.30 metros cúbicos por segundo, 20 por ciento del agua que requiere la ciudad (10).

Baja California Norte

A fin de garantizar la sustentabilidad del vital líquido que se halla en el subsuelo, la CNA y el gobierno de Japón, a través de la Agencia de Recursos Verdes (J-Green), emprendieron hace cinco años un proyecto tecnológico para instrumentar a futuro el concepto de Presas Subterráneas en la República Mexicana. El lugar seleccionado para el arranque del mismo fue el valle de La Misión en el estado de Baja California Norte. En esta zona, el agua fluye por dentro de la tierra hasta salir al mar. Sin embargo, éste último también penetra hacia el manto acuífero formándose una interfase marina o cuña de mar. Cuando el acuífero se sobreexplota o cuando la fuerza de succión de las bombas dentro del pozo es demasiado potente, se extraen ambos líquidos (agua dulce y salada) produciéndose la intrusión marina. La tecnología propuesta por Japón consiste en generar una pantalla o muro impermeable en el subsuelo que separe la parte costera y el acuífero de La Misión, a fin de evitar el movimiento de los líquidos en cualquiera de las dos direcciones (entrada y salida). Los beneficios que espera la CNA con la adopción de esta técnica son interceptar las descargas subterráneas de los acuíferos, con el propósito de incrementar su almacenamiento, prevenir y controlar la intrusión marina.

Entre las características preliminares de dicha presa subterránea figuran la de tener una longitud de 500 m a una profundidad de 50, y se estima que con esas acciones se incrementará el almacenamiento del acuífero de seis a nueve millones de metros cúbicos por año, en caso de que las lluvias sean favorables. De igual modo, se calcula que el costo del proyecto a valor actual rondará los 12 millones de dólares, con un periodo de construcción de cinco años una vez terminados los estudios ambientales y de costo-beneficio (11).

Zona serrana de Sonora

Sonora presenta varias zonas de fuerte inundación en verano pero que también sufren sequías. En este proyecto se pretende controlar inundaciones bajo eventos extremos y aprovechar tal control para aumentar la captación de agua dulce superficial y subterránea con cosecha de lluvia y su recarga natural y artificial. El proyecto es dirigido por el M.C, Osvaldo Landavazo Gracia de la Universidad de Sonora. Cuando hay recarga artificial sin tratamiento del agua recolectada, puede contaminarse el acuífero. Por eso, el control que se pretende hacer en este proyecto es capturar el agua en cañadas y en el área rural serrana con aguas libres de contaminación. Esta condición la cumple la zona serrana de Sonora. Las conclusiones hasta el momento del proyecto es que es viable, efectivo y de bajo costo; los programas de cosecha y recarga de lluvia, al ligarse a la protección civil contra inundación la hacen productiva; para ello se usarían estanques de recolección de la inundación, y luego sería conducida a pozos, zanjas o áreas de recarga (6).

Conclusiones

La recarga artificial de acuíferos es una buena medida para disminuir el problema de la escasez de agua en nuestro país. Sin embargo, hay varios aspectos que se deben tomar en cuenta antes de iniciar un proyecto de esta naturaleza, uno de los más importantes es el contar con la infraestructura necesaria tanto técnica como jurídica para asegurar el éxito del proyecto. Las experiencias en México son todavía incipientes, es por ello que se debe continuar en la investigación de su viabilidad principalmente para las zonas áridas y semiáridas de nuestro país.

No hay que dejar de lado la importancia que representa la educación pública, ya que esta es la clave para cambiar las actitudes básicas hacia el uso adecuado del agua.

Agradecimientos

Las autoras agradecen de manera muy especial al Dr. Carlos Cruickshank la asesoría técnica y revisión del manuscrito.

Bibliografía

(1) Custodio, E. y Llamas, M.R. (1976) Hidrología subterránea 1ª, 2ª ed. - Barcelona : Omega D.L. 2359 p.

(2) CNA. Estadísticas del agua en México. Edición 2004. http://www.cna.gob.mx/publica/estaticas/PDF/Cap3_Situacion_de_recursos-pdf

(3) ¿Se puede evitar una crisis hidráulica en México? Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Abril 2002. http://www.invdes.com.mx/anteriores/Abril2002/htm/agua.html

(4) Flores, I.N. (2001). Experimento de recarga artificial en el acuífero de la Comarca Lagunera. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería. UNAM

(5) Fuerza informativa Azteca. «http://www.todito.com/paginas/noticias/151854.html» http://www.todito.com/paginas/noticias/151854.html

(6) Landavazo, O. Propuesto de adaptación al problema de disponibilidad de agua ante el cambio climático. Cosecha y recarga de agua en eventos de precipitación extrema. Universidad de Sonora. Fecha de consulta junio 2004.»http://www.ine.gob.mx/dgicurg/cclimatico/download/landavazo.pdf» www.ine.gob.mx/dgicurg/cclimatico/download/landavazo.pdf

(7) Asano, T. (1985) ARTIFICIAL RECHARGE OF GROUNDWATER.

(8) Custodio, E. y Llamas, M.R. (1983) Hidrología subterránea 2ª ed. - Barcelona : Omega D.L.

(9) Comunicación escrita con Fernando Lara, CNA (2002)

(10) Urgente establecer un sistema eficiente de captación de lluvias en la ciudad. Gaceta universitaria. Julio 1998. Consultada en junio 2004 en «http://www.comsoc.udg.mx/gaceta/paginas/78/6-78.pdf» http://www.comsoc.udg.mx/gaceta/paginas/78/6-78.pdf

(11) Proyecto de presas subterráneas en México. http://www2.irc.nl/source/lges/item.php/3621

El proyecto de Consejo Técnico de Aguas
y los programas de manejo de acuífero

Por: Jorge **Montoya Suárez,** Adriana Julieta **Barrera Mejía,** Isabelle Claire **Agner Ollivier**

Jorge Montoya Suárez
Ingeniero Agrónomo especialista en Agroecosistemas, con estudios de Maestría en Ingeniería Hidráulica con Fase Terminal en Hidroagrícola.
Desde 1999 colabora con la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato, actualmente se desempeña como Director General de Gestión Social teniendo bajo su responsabilidad la consolidación de la autogestión de las organizaciones sociales vinculadas al agua a través del fortalecimiento de sus capacidades y alcanzar con ello la plena gestión integral del agua.
jmontoya@guanajuato.gob.mx

Adriana Julieta Barrera Mejía
Licenciada en Administración Financiera por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey Campus León con Maestría en Legislación Fiscal. Especialista en Administración de proyectos, gerencia administrativa, negociación, bursátil y planeación financiera. Se ha desempeñado como asesor financiero de Scotia Inverlat Casa de Bolsa S. A de C.V. en la promoción de inversiones, asesoría financiera a los clientes y ejecución de inversiones. Actualmente es Directora de Promoción a Organizaciones de Usuarios de la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato, donde es responsable del buen funcionamiento de 15 asociaciones civiles, así como de la creación y seguimiento de proyectos productivos para el uso eficiente del agua.
abarrera@guanajuato.gob.mx

Isabelle Claire Agnier Ollivier
Ingeniera Agrónoma con Maestría en Manejo Social del Agua egresada del Centro Nacional de Estudios Agronómicos de las Regiones Calientes de la ciudad de Montpellier, Francia. Ha llevado a cabo investigación agronómica en países como Benin, Tailandia, y México. Actualmente es Jefe de Departamento de Manejo Social del Agua en la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato.
iollivier@guanajuato.gob.mx

Nowadays the state of Guanajuato presents a very small part of the national water disponibility and the higher wells density in the country (21.7% of the deeps wells of the country). In order to solve this water resources problem which represents a risk for future economic development of the state many actions have been promoted at the state level to avoid this situation. One of the most relevant is the implementation of 14 "Tecnical water councils" (COTAS, for its Spanish acronym) by the State Water Comision (CEAG, for its Spanish acronym). These civil organizations are composed by all those who hold water concesions and their main objetive is to reduce the groundwater deficit. In order to reach this objetive since 2002 the asociations implement the groundwater management programs. The project seeks to develop comunity participation and use mathematical flow transport simulation models and economic analysis in order to implement actions which respond to the users necesities and which have been previously agreed between users and autorities.

Hoy en día, el estado de Guanajuato sólo cuenta con una fracción mínima de la disponibilidad nacional de agua y presenta la mayor densidad de pozos del país (21.7% de los aprovechamientos subterráneos del país). Debido a que esta problemática representa un gran riesgo para el futuro desarrollo de Guanajuato se han implementado numerosas medidas a nivel estatal para combatirla. Entre ellas unos de los logros importante del estado es la implementación, a través de la CEAG (Comisión Estatal del Agua de Guanajuato) de 14 Consejos Técnicos de Aguas (COTAS). Estas asociaciones civiles representan a todos los usuarios que cuentan con titulo de concesión y tienen como meta principal inducir la reducción del abatimiento de los acuíferos. Para lograr esta meta se implementaron desde 2002 los planes de manejo de los acuíferos. A través de un trabajo de fomento a la participación social y gracias al apoyo de herramientas como los modelos hidroeconómicos se logra implementar acciones que correspondan a las necesidades de los usuarios y que sean consensuadas con los usuarios y las autoridades.

Keywords: Community Participation, Ground water management program, Mathematical flow transport simulation model

Antecedentes

El acelerado crecimiento de la población y el desarrollo económico en Guanajuato durante los años 40's, provocó un aumento en la demanda de agua, por lo que para poder satisfacer las necesidades hubo un gran crecimiento en el número de perforaciones de pozos en la región (en la actualidad hay aproximadamente 17,000 pozos en el Estado) y como consecuencia un constante abatimiento en los niveles de agua subterránea.

Hoy por hoy, el balance de agua subterránea en Guanajuato presenta un déficit de 1,200 millones de metros cúbicos por año, mientras que el nivel de almacenamiento en las presas ha mostrado variaciones considerables a través del tiempo.

La Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG) ha involucrado a la sociedad en la resolución de los problemas hídricos, proponiendo una nueva forma de manejo del agua, en la que tanto el gobierno como la comunidad interactúan de forma organizada, no solamente para fines de ejercicios de consulta, sino de forma continua y permanente, proponiendo acciones a nivel local.

Los COTAS: objetivos de funcionamiento

Para cumplir su objetivo, la CEAG promovió la creación de 14 "Consejos Técnicos de Aguas, COTAS" que son formados por todos aquellos que cuentan con un título de concesión y son representados a través de un Consejo Directivo. Su principal objetivo es: constituirse como instancias de coordinación y concertación de los usuarios de aguas subterráneas y superficiales, en coordinación con las diferentes autoridades relacionadas con el sector para la solución de sus problemas y necesidades, buscando un uso eficiente del agua y su preservación en cantidad y calidad. Además, estas organizaciones propician la explotación, uso y aprovechamiento racional del acuífero, a fin de evitar la sobreexplotación y contaminación, a través de la formulación de programas y acciones para su estabilización y recuperación.

El órgano supremo de cada COTAS es la asamblea general integrada por los usuarios de las aguas nacionales

con aprovechamientos dentro de la región. En su seno se plantean y resuelven los asuntos de mayor importancia para el desarrollo sustentable de la región asociados con el uso del agua. El órgano de gobierno del COTAS es su Consejo Directivo. Esta integrado por un máximo de 3 representantes electos por los usuarios durante una asamblea general, por cada uso del agua. Los representantes que integren el Consejo Directivo a su vez eligen un Presidente, un Secretario, un Tesorero y vocales por cada uso del agua. Cada organización cuenta con una oficina y personal operativo que pone en marcha las decisiones que toma el Consejo Directivo. Todo esto con el apoyo presupuestal del Gobierno del Estado de Guanajuato, a través de la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato.

Entre otras cosas, los COTAS tienden a representar a todos los usuarios del agua en su región, a participar en la reglamentación para el uso, explotación y aprovechamiento de aguas, a que sea convocado por parte de las autoridades del agua, respetar y vigilar el cumplimiento de los asociados y sus representados las disposiciones legales y administrativas relacionadas con el agua, coadyuvar con las autoridades competentes en la formulación, seguimiento, evaluación y modificación de los planes y programas que en matera hidráulica estatal o regional se implementen.

Los planes de manejo de los acuiferos

Desde 1998 los esfuerzos del Gobierno del Estado de Guanajuato, fueron enfocados a la realización de estudios y modelos matemáticos de los acuíferos, iniciando un proceso de planeación participativa del agua en el Estado para diseñar estrategias y políticas hidráulicas con una visión de largo plazo, asimismo se diseño un sistema de monitoreo permanente del agua, se implementó un programa dirigido a aumentar la eficiencia administrativa de los organismos operadores, se creó un nuevo programa de comunicación y cultura del agua, así como programas de entrenamiento para el Sector Hidráulico del Estado.

A partir del año 2002, la CEAG en coordinación con los COTAS, inició los trabajos de implantación del “Programa de Manejo del Acuífero” el cual busca desarrollar en lo inmediato, acciones de alto impacto que fomenten la participación social en la solución de los problemas relativos al manejo del agua y disminuir la demanda de agua través del fomento a la productividad.

Considerando que el sector agrícola es el que consume más del 80% del recurso agua muchas de las acciones del programa están enfocadas a este sector, el cual esta atravesando por una situación complicada y es difícil que tengan los recursos necesarios para mejorar sus sistemas de riego, por lo que el programa busca vincular a los agricultores con redes de comercialización, instituciones de crédito, así como brindarles soporte técnico. Para asegurar el éxito del proyecto y la participación de los involucrados, el programa se inicia en una zona piloto de cada acuífero integrado al proyecto, la delimitación del área, se hace en función al mayor cono de abatimiento y es aproximadamente de 50 a 70 Km^2 y por las características de la tenencia de la tierra agrupa entre 100 y 300 usuarios (pequeños propietarios o ejidatarios).

Un diagnóstico socioeconómico como un análisis de actores representan las bases de trabajo en la zona. Una vez realizado este diagnóstico se llevan a cabo foros informativos y de consulta con los usuarios de la zona para asegurar su compromiso y participación así como para definir las acciones y la forma de implantación. Ya definido el plan de trabajo se empieza con la implementación de acciones, dando seguimiento permanente a las mismas. El impacto de las acciones implementadas sobre el acuífero esta medido gracias a una red piezométrica dentro de la zona de trabajo.

Todo lo anterior apoyado en herramientas técnicas como son los modelos de simulación de flujo de agua subterránea y un modelo hidroeconómico que nos permite llevar a cabo un análisis de evaluación de políticas hidráulicas. Gracias a información de las características de los pozos y de los parámetros hidráulicos que rigen el almacenamiento y movimiento de las aguas subterráneas como datos sobre el sistema de explotación de los usuarios esta herramienta permite evaluar el impacto hidroeconómico de instrumentar una política y propiciar bases para la toma de decisiones.

Además de simular el comportamiento del acuífero para distintas políticas de explotación, el modelo evalúa también, los requerimientos de inversión y los beneficios en términos de reducción de costo de producción (consumo de energía eléctrica, gasto de operación y mantenimiento de los pozos) y el incremento en el ingreso. Esta herramienta es igualmente útil tanto para informar y sensibilizar como para lograr el consenso de los principales actores en la aplicación de toda política: los usuarios.

Avances

Actualmente la CEAG está trabajando en coordinación con 9 COTAS para la implementación de los planes de manejo; cada asociación se encuentra en un etapa diferente.

Hasta la fecha el principal logro de la implementación de acciones en los diferentes COTAS es la construcción de organizaciones capaces de promover mejores practicas de manejo del agua con la participación de los usuarios de la región. Varias iniciativas fueron implementadas por los consejos directivos a través de su equipo técnico con el apoyo de la CEAG pero con suficiente independencia operativa para poder enfrentar la dispersión creciente, la complejidad y la variabilidad de los problemas del agua en la región.

Entre otros beneficios a corto o mediano plazo las asociaciones promueven la tecnificación del riego, crean programas de capacitación para mejorar el manejo del agua principalmente en el sector agrícola (tecnificación de riego, cultivos alternativos, nivelación de terrenos, producción en invernaderos), difunden proyectos de agrupación de productores, desarrollan proyectos de investigación sobre la calidad del agua en coordinación con universidades estatales y nacionales, apoyan programas de educación con niños y estudiantes, apoyan a las autoridades federales.

Como beneficio a largo plazo se contempla la implementación de un proceso de participación permanente de los usuarios en la toma de decisiones en el manejo del agua a nivel local, un desarrollo sustentable para los productores agrícolas, la reducción del déficit de agua subterránea y la recuperación de los acuíferos en el estado. El impacto económico de la implementación de las acciones es considerable. El beneficio evaluado por el modelo hidroeconómico por los agricultores (en un acuífero) representa USD 4,000,000 en costo de producción, USD 6,000,000 en costo de energía eléctrica y un incremento de ingreso de USD 8,500,0000.

El siguiente paso es la replica de la experiencia en todo el acuífero para posteriormente generar una propuesta conjunta del reglamento de operación. Para asegurar la sostenibilidad de los programas de manejo se contempla definir una reglamentación de los acuíferos la cual funcionará con un sistema de control y sanción y será implementada por las asociaciones de usuarios.

Conclusiones

El posicionamiento social de una organización es un proceso sumamente lento, más aún cuando los sistemas de control para hacer respetar el marco normativo en torno a un bien común, como lo es el agua, son deficientes y no se tiene una verdadera conciencia sobre la gravedad del problema que se enfrenta.

Para tener éxito, cualquier medida de manejo debe ser socialmente realista, y económicamente viable por lo que trabajar de cerca con los usuarios e involucrarlos en el proceso es sumamente importante.

La solución debe integrar aspectos de construcción y operación hidráulica con acciones para el equilibrio financiero, la consolidación de capacidades, la adecuación del marco institucional y la valoración social propicia para el buen uso del agua.

El futuro de Guanajuato es incierto sin acuíferos restaurados por lo que es necesario conjuntar esfuerzos entre gobierno y sociedad para recuperarlos y de esta forma asegurar la viabilidad del futuro del Estado

Referencias:

Comisión Estatal del Agua de Guanajuato, 2003. Situación Hidráulica de Guanajuato. Comision Estatal del Agua de Guanajuato, Guanajuato. p 96.

Comisión Nacional del Agua. 2001. Programa Nacional Hidráulico 2001-2006. Compendio básico del agua en México. Comision Nacional del Agua. México. p. 96

Estudios de la calidad del agua subterránea en la zona de San Miguel Allende

Por: Jürgen **Mahlknecht**

Doctor en Hidrogeología y Maestro en Water and Waste Management and Technology, Licenciatura en Water and Waste Management and Technology y Licenciatura en Ciencia Forestal (Universität für Bodenkultur Wien, Austria). Su línea de trabajo e investigación se ha centrado en la aplicación de conceptos y modelos numéricos del flujo subterráneo y de la química del agua para el uso sustentable del agua. Actualmente dicta cursos en Modelación de la Calidad de Agua y en Ingeniería Ambiental II. Desarrolla investigación en la estimación de las reservas hídricas y en la vulnerabilidad de acuíferos, utilizando técnicas innovadoras de la química del agua, isotopía ambiental y modelación numérica. Actualmente es Profesor Investigador del Centro de Estudios del Agua del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey. jurgen@itesm.mx

La Universidad de Guanajuato realizó un estudio sobre el agua subterránea en la zona de San Miguel de Allende. Este estudio fue apoyado por el Consejo de Ciencias y Tecnología del Estado de Guanajuato (CONCyTEG), la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG) y la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SDA).

La problemática del medioambiente y específicamente del agua en dicha zona es típica para gran parte del Estado de Guanajuato y se puede describir como una modificación del entorno. Ésta concierne a la deforestación, degradación de suelos, desecación y sobreexplotación de mantos freáticos, así como la contaminación del recurso hídrico por agroquímicos y en menor proporción por la industria, desechos sólidos y aguas residuales urbanas.

Se han realizado varios estudios del agua subterránea a nivel regional (Cuenca Alta del Río Laja, Laguna Seca), sin embargo no se contaba con un estudio local que suministre bases firmes para obtener certidumbre y confianza en las acciones que se acuerden o establezcan para mejorar la administración y la optimización del recurso hídrico.

La ubicación del estudio en San Miguel de Allende representa también un reto académico-investigativo ya que esta zona se encuentra en una estructura tectónica muy importante: la falla de San Miguel de Allende. Esta falla provoca desniveles hasta de 130 m.

Dicha investigación se realizó entre diferentes Facultades de la Universidad de Guanajuato (Facultad de Ingeniería en Geomática e Hidráulica, Facultad de Química y Centro de Investigación en Química Inorgánica), la Universidad Estatal del Estado de México, la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad de Waterloo, Canadá. Estas instituciones y entidades aportaron personal académico, estudiantes tesistas, equipamiento y materiales para poder realizar el estudio.

El objetivo principal del estudio fue conocer y conceptualizar el complicado sistema acuífero de la zona

mencionada, estimar las reservas hídricas y determinar el grado de contaminación. Concretamente se desarrollaron: un modelo conceptual del flujo subterráneo, un modelo hidrogeoquímico, un estudio de calidad de agua subterránea y un estudio de vulnerabilidad acuífera a contaminación.

Con respecto a la calidad del agua subterránea, se concluyó que el agua es poco salina y con un pH relativamente neutral. La temperatura varía entre 19 y 39ºC, presentando la mayoría de los pozos condiciones termales. Se tienen en algunos sitios concentraciones elevadas de fluor. El 16% de los pozos no cumple con el límite permisible del 1.5 mg/L establecido por la NOM-127-SSA1-1994 (calidad para agua potable), tratándose en su mayoría de pozos utilizados para abastecer agua potable, por lo que puede causar fluorosis dental en la población. El origen del flúor en el agua es geológico, es decir producto de la interacción entre el agua y la roca circundante. Es recomendable instalar una técnica de mezcla apropiada de agua caliente y rica en flúor, con agua fría y pobre en flúor, con el fin de bajar el contenido del mismo. Sin embargo, no siempre es posible implementar lo anterior.

El arsénico alcanza hasta 16 _g/L y no sobrepasa el límite permisible de la Norma Oficial Mexicana (30 _g/L) pero sí supera el límite para agua potable sugerido por la guía de calidad de agua potable publicada por la Organización Mundial de la Salud. Las concentraciones elevadas de arsénico en la zona se deben a una circulación profunda de agua, la cual tiene contacto con óxidos e hidróxidos metálicos que liberan arseniato con pHs elevados.

El plomo sobrepasa en algunos de los pozos de agua potable el límite permisible de 10 _g/L. El origen de este metal pesado no es certero, pero existe evidencia de que esto se debe a la presencia de tuberías antiguas y oxidadas.

Con respecto al nitrato, solamente en el fraccionamiento La Lejona se excede al límite máximo permitido. Esto nos indica que en la zona de San Miguel de Allende afortunadamente todavía no se observa la influencia del fuerte uso de agroquímicos. No obstante, es recomendable monitorear este elemento.

Un mayor problema presentan los microorganismos: el 85% del agua de los pozos muestrados está contaminada con bacterias coliformes fecales debido a la falta de procesos de desinfección en la mayoría de ellos. En un gran número de pozos, el contenido de bacterias llega a ser no cuantificable. Se sugiere instalar/reactivar los sistemas de cloración que están fuera de uso.

Con respecto a la contaminación global, existen dos zonas con mayor grado de contaminación: la de la cabecera de San Miguel de Allende y sus alrededores (los ranchos Insurgentes 2, Alcocer, San Julián, San Luis Rey 2, Taboada y el Fraccionamiento La Lejona) y la que incluye los ranchos Corral de Piedra de Arriba, El Carmen y La Estrella. El estudio propone instalar una red de monitoreo de la calidad del agua subterránea en las zonas de mayor riesgo af

* Nueva dirección: Centro de Estudios del Agua (CEA), Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) Campus Monterrey.

Modelos matemáticos
e hidrogeología estocástica

Por: Adolfo **Chávez Rodríguez**

Es hidrogeólogo, académico y consultor, con grados otorgados por la Universidad Nacional Autónoma de México y por la Universidad de Arizona (E.U.A). Profesor de la maestría en Hidrología Subterránea en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Ha laborado en la antigua SARH, en el Departamento de Geohidrología de la CFE, como consultor en la empresa Estudios y Proyectos en Agua Subterránea, y como asesor de organismos de gobierno y de empresas mineras tales como el Corporativo Peñoles y el Grupo Acerero del Norte. De 1998 a la fecha ha sido consultor de la Comisión Estatal de Agua de Guanajuato, en donde supervisó la construcción de 15 modelos hidrodinámicos y dirigió la calibración automatizada y el análisis predictivo de los mismos. Con más de 25 años de experiencia en las Ciencias de la Tierra, el Dr. Chávez ha publicado artículos de nivel internacional y ha dirigido numerosos proyectos hidrogeológicos, hidrogeoquímicos y de modelación matemática del flujo de agua subterránea, de transporte de contaminantes, y de manejo óptimo de sistemas acuíferos.

Introducción

Un modelo se puede definir como una representación simplificada de un sistema real o de un proceso. Un modelo conceptual es una hipótesis acerca de la manera de operar de ese sistema o proceso, y se puede expresar cuantitativamente como un modelo matemático. Los modelos matemáticos son abstracciones que representan procesos como ecuaciones, propiedades físicas como coeficientes en las ecuaciones, y que calculan el estado o el potencial del sistema como variables (Konikow y Reilly 1999).

Un modelo matemático se puede definir también como una ecuación o conjunto de ecuaciones que simulan de manera aproximada la relación estímulo-respuesta de un sistema. Los modelos son así herramientas de cómputo que se pueden utilizar para analizar y evaluar los sistemas acuíferos, y para predecir su respuesta ante estímulos tales como el bombeo en pozos y como las acciones correctivas propuestas en caso de contaminación.

En la mayoría de los casos los modelos predictivos se han utilizado en el llamado modo de crisis, es decir, el modelo se ha construido para responder a alguna interrogante específica relacionada con alguna decisión administrativa urgente, y una vez que ha servido a este propósito, se archiva o se olvida. Pero un modelo matemático se puede utilizar también en el modo de gestión, es decir, como una herramienta de apoyo para la planeación y la gestión hidráulicas, y en este caso el modelo provee de elementos cuantitativos para la toma de decisiones relativas al manejo del acuífero, que pudieran ser tomadas al nivel diario, mensual o anual.

En relación con los conceptos de gestión del agua subterránea, los modelos matemáticos pueden emplearse para simular el proceso dinámico de la captura, en donde uno de los objetivos más importantes sería el de estimar el tiempo que le llevaría al acuífero el alcanzar una nueva condición de estado estacionario. Los modelos matemáticos tienen un uso común en acuíferos sometidos a una explotación intensa, la cual puede haber ya conducido a la aparición de impactos negativos ambientales, económicos o sociales. En un caso así, si la decisión administrativa consiste en alcanzar el rendimiento sostenible dentro de un plazo razonable, entonces las condiciones y el grado de explotación del acuífero que se tengan al momento de elaborar el plan van a ser determinantes para su diseño. Si la planeación y la gestión hidráulicas se entienden como procesos permanentes, entonces los modelos matemáticos van a ser uno de los elementos principales para el análisis sistemático de las políticas de manejo de los acuíferos.

La construcción de los modelos matemáticos de acuífero se efectúa de acuerdo con un PROTOCOLO, en donde destacan como acciones principales el desarrollo de un modelo conceptual del funcionamiento del sistema, el diseño del modelo, su calibración, y las simulaciones predictivas.

Los Modelos y su Complejidad

La caracterización del sitio es el primer paso importante para la modelación del flujo de agua subterránea y del transporte de solutos, pero en virtud de que la geología del subsuelo es heterogénea y sujeta a poco muestreo, el conocimiento imperfecto del sistema conduce a errores de predicción. Típicamente, es menos de una millonésima parte del volumen de un sitio el que se muestrea durante la exploración (Poeter y McKenna 1995).

En consecuencia, en la modelación aplicada no sólo la correcta identificación de los procesos actuantes en el sistema tiene valor, sino también la interpretación y el uso adecuados de los siempre escasos e inciertos datos de campo. En palabras de Anderson y Woessner (1992, p.28): "En teoría, mientras el modelo conceptual más se aproxime a la situación de campo más preciso será el modelo numérico. Sin embargo, en la práctica es deseable actuar con parsimonia, lo cual implica que el modelo conceptual se ha simplificado lo más posible, pero que se ha mantenido la complejidad suficiente para reproducir adecuadamente el comportamiento del sistema". En forma compacta esto se puede expresar como "tanta complejidad como sea necesaria y tanta simplicidad como sea posible".

Está empíricamente demostrado que a una mayor complejidad del modelo no corresponde necesariamente una mejor reproducción del comportamiento del sistema; se tienen ejemplos de modelos más simples que logran mejores predicciones que modelos más complejos (Freyberg 1988). El definir el grado de complejidad adecuado en un modelo específico es uno de los problemas más críticos de la modelación aplicada, donde el propósito del modelo y la experiencia práctica del analista juegan un papel esencial. Por lo general, la modelación del transporte de solutos en el agua subterránea requerirá de una mayor complejidad que la simulación del flujo, particularmente en lo que se refiere a la parametrización de la conductividad hidráulica.

La Incertidumbre en los Modelos de Acuífero

La incertidumbre es una propiedad inherente a la modelación de los sistemas subterráneos, ya sea que esto se reconozca explícitamente o no, y dimana de nuestra incapacidad para medir, entender, o representar todas las características del sistema real (Gorelick 1997). Las dos fuentes de error más comunes en la aplicación de modelos de acuífero a problemas de campo son: errores conceptuales, es decir, concepciones erróneas de los procesos básicos que ocurren en el sistema; entre estos errores se tienen la exclusión de procesos importantes y la representación inapropiada de los procesos en el modelo. La segunda fuente de error procede de las incertidumbres e insuficiencias en los datos de entrada, lo que refleja nuestra incapacidad de describir completamente y con unicidad las propiedades de acuífero, los esfuerzos hidrológicos y las condiciones de frontera (Konikow y Reilly 1999). La mayoría de los modelos de acuífero que se han construido y que se usan hoy día son modelos matemáticos determinísticos. Los modelos determinísticos se basan en las leyes de conservación de la masa, del impulso y de la energía, y describen las relaciones causa–efecto en el sistema. La hipótesis subyacente es que si se tiene un alto grado de entendimiento de los procesos de estímulo–respuesta, la respuesta del sistema a cualquier esfuerzo hidrológico se puede predeterminar, aun cuando los nuevos esfuerzos estén fuera del ámbito de los valores que se hayan presentado históricamente (Konikow y Reilly 1999).

Los modelos determinísticos tienen con frecuencia un bajo poder predictivo. Aun cuando se tengan numerosos datos de campo, siempre habrá una incertidumbre asociada con las propiedades, esfuerzos, y condiciones de frontera del sistema subterráneo bajo estudio, lo cual ha conducido a investigar la naturaleza de esta incertidumbre y las mejores maneras de abordarla. Así, el enfoque estocástico reconoce que las variables hidrológicas están afectadas por la incertidumbre y las considera como aleatorias. Esta aleatoriedad conduce a definir los modelos de acuífero en un contexto estocástico, y las predicciones se ofrecen en términos probabilísticos (Dagan 1997).

Por ejemplo, la incertidumbre en la carga hidráulica causada por la incertidumbre inherente a los parámetros del modelo se puede analizar mediante el método Monte Carlo, en donde se generan múltiples realizaciones de la distribución de parámetros y cada una de éstas se usa en el modelo de simulación para producir, al terminar, una serie de realizaciones de la carga hidráuli

ca, de donde se calculan la media y la varianza de la carga simulada. Esta es una manera en que los modelos estocásticos evalúan la incertidumbre.

El Tratamiento de la Incertidumbre

En acuíferos heterogéneos la dimensión del espacio de los parámetros es teóricamente infinita, pero en la práctica las ecuaciones de flujo y de transporte se resuelven por computadora utilizando métodos de discretización espacial, como son las diferencias finitas o el elemento finito. Al aplicar estos métodos numéricos, las propiedades del material se parametrizan para reducir el número de parámetros a una forma dimensional finita. Los dos esquemas más utilizados de parametrización son zonificación e interpolación, aunque también se pueden instrumentar esquemas mixtos, en donde una porción del acuífero se parametriza por zonificación y otra por interpolación. En la zonificación el parámetro tiene un valor constante en zonas del modelo que se extienden sobre un cierto número de celdas de la malla; mientras que en la interpolación el valor de la propiedad de acuífero puede variar de celda a celda, pero el número de parámetros a estimar se limita únicamente a los valores de la propiedad en los nodos de la red de interpolación, o puntos piloto.

Hill et al. (1998) adujeron que el problema más importante en la modelación de sistemas hidrogeológicos complejos, es la obtención de modelos manejables que sean lo suficientemente representativos del sistema real como para producir resultados útiles, y argumentaron que la simplificación relacionada con la parametrización se presenta como la única opción potencialmente útil para lograr este propósito. Sin embargo, Gómez-Hernández (2003) advirtió que el problema principal en los modelos que tratan de incorporar la heterogeneidad de una manera realista con información escasa, es la imposibilidad de determinar una representación heterogénea única que sea consistente con los datos disponibles: siempre hay representaciones alternativas que son igualmente consistentes y por tanto igualmente plausibles, lo que da lugar a una incertidumbre acerca de la representación del parámetro y de las predicciones efectuadas con el modelo. Así, la investigación actual en la complejidad de los modelos se enfoca a las alternativas de parametrización de los campos heterogéneos, a la consideración de todos los tipos de información pertinente, y a la modelación de la incertidumbre.

En cuanto a la instrumentación práctica de los nuevos enfoques destaca el código de computadora PEST (Doherty 1994), el cual originalmente sólo trabajaba como código inversor (calibración automatizada), pero con el tiempo este código se ha venido desarrollando, y en la actualidad incluye el análisis no-lineal de incertidumbre en predicción que se efectúa mediante el método del punto crítico, la instrumentación de técnicas de regularización que mejoran la estabilidad numérica, el acomodamiento de la heterogeneidad geológica mediante métodos avanzados de parametrización espacial (puntos piloto) y, además este código permite explorar, en combinación con la generación de campos aleatorios, la incertidumbre de los parámetros del modelo en sistemas heterogéneos.

Por su parte, Carrera (2003) anotó que los parámetros que controlan el flujo de agua y el transporte de solutos sufren importantes anomalías que ponen de manifiesto las limitaciones de las ecuaciones básicas convencionales, pero que pueden explicarse reconociendo que el medio es heterogéneo, de donde surge la necesidad del enfoque geoestadístico. El objetivo de la geoestadística es la expansión de unos pocos datos en campos que describen el valor del parámetro en todos los puntos de la zona de estudio, para lo que se dispone de dos herramientas: la estimación (interpolación) y la simulación estocástica. A partir de los datos medidos se establece un modelo que explique los patrones de variabilidad espacial del parámetro (distancias de correlación, anisotropías, varianza global, derivas,…..) y éste se utiliza para determinar los valores del parámetro en aquellos puntos donde no se dispone de medida.

En la actualidad es común usar la geoestadística para caracterizar la variabilidad espacial de los parámetros de flujo y de transporte. El enfoque geoestadístico trata a los parámetros determinados en varios puntos dentro de una unidad hidrogeológica como una muestra de un campo aleatorio, definido éste sobre un continuo. Las teorías estocásticas suponen que todas las propiedades estadísticas necesarias de tales campos aleatorios se pueden inferir de tales datos (Neuman 1997).

La simulación estocástica geoestadística también se ha utilizado en combinación con la optimización para generar campos de transmisividad que están condicionados tanto a los datos de transmisividad como a las cargas hidráulicas observadas. Gómez-Hernández et al. (1997) presentaron un método que tiene mucha similitud con el problema inverso clásico, pero que en contraste puede generar un conjunto “infinito” de realizaciones de transmisividad igualmente probables, siendo todas éstas representaciones plausibles de la realidad, ya que están condicionadas a los datos disponibles y exhiben la misma variabilidad espacial que la observada en campo.

En relación con el uso de tipos diversos de información, el Profesor Yeh de la Universidad de Arizona y su grupo introdujeron el método de Tomografía Hidráulica para el análisis de los acuíferos considerando puntos múltiples de bombeo y de observación. Este método se puede usar para discernir la anisotropía y la heterogeneidad inherentes a los parámetros hidráulicos, a di-

ferencia de las soluciones convencionales de pruebas de bombeo que suponen homogeneidad (v.g., Theis y Cooper-Jacob). Además, están trabajando en la llamada Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE), la cual supera las limitaciones de los sondeos eléctricos convencionales, que han sido virtualmente ineficaces en aplicaciones ambientales donde las anomalías de resistividad eléctrica son sutiles, complejas y a escalas múltiples. La TRE ha sido diseñada para recabar conjuntos extensos de datos sobre corrientes y potenciales eléctricos en dimensiones múltiples.

Este grupo se encuentra también explorando el poder de la llamada Fusión Estocástica (Yeh y Simunek 2002). La idea principal de este enfoque consiste en incluir tipos distintos de información simultáneamente en el proceso de inversión (calibración del modelo). El concepto de utilizar diferentes tipos de datos, incluyendo los obtenidos por métodos geofísicos (resistividad, gravimetría, sísmica, térmica), métodos hidráulicos (pruebas de bombeo tradicionales y tomográficas), y pruebas de trazador (tradicionales y tomográficas), aglutinados y combinados dentro de un marco estocástico y de análisis de incertidumbre, constituye la base de la fusión estocástica de información, la cual permite reducir significativamente la incertidumbre en el proceso de inversión.

Comentarios Finales

Las respuestas determinísticas a los problemas ambientales del mundo real ya dejaron de ser suficientes. En los E.U.A., por ejemplo, cada vez más organismos normativos y más estudios sujetos a litigio requieren que la incertidumbre asociada con una estimación sea cuantificada junto con los valores de los parámetros de interés. Esta tendencia se está ya dando al nivel mundial.

En México, la calibración automatizada se ha venido aplicando desde la hace más de una década. Con ella, el problema inverso se plantea mediante un enfoque estocástico que además de proporcionar los valores óptimos de los parámetros del modelo, proporciona estadísticos que evalúan la información contenida en los datos y que cuantifican la precisión de estimación de los parámetros.

En lo particular, cabe anotar que la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG) ha venido desarrollando desde el año de 1998 un programa de construcción de modelos hidrodinámicos para las 15 principales zonas acuíferas de la entidad, los cuales son indispensables para el diseño de los planes de manejo del agua subterránea. Estos modelos han estado sujetos a calibración automatizada y a un análisis de incertidumbre en predicción mediante el uso del mencionado código PEST

Referencias

Anderson, M.P., and W.W. Woessner, APPLIED GROUNDWATER MODELING, Academic Press, 1992.

Carrera, J., Flujo de agua y transporte de solutos en acuíferos. ¿Es necesaria la geoestadística?, en GEOSTADÍSTICA Y MODELOS MATEMÁTICOS EN HIDROGEOLOGÍA, J. Mateu e I. Morell (eds.), Universitat Jaume I (Castelló), 2003.

Dagan, G., Stochastic modeling of flow and transport: the broad perspective, in SUBSURFACE FLOW AND TRANSPORT: A STOCHASTIC APPROACH, G. Dagan and S.P. Neuman (eds.), Cambridge Univ Press, 1997.

Doherty, J., PEST: Model-independent parameter estimation, Watermark Computing, Australia, 1994.

Freyberg, D.L. An exercise in groundwater model calibration and prediction, Ground Water 26(3), pp. 350-360, 1988.

Gómez-Hernández, J., A. Sahuquillo and J.E. Capilla, Stochastic simulation of transmissivity fields conditional to transmissivity and piezometric data–I. Theory, Journal of Hydrology 203 pp.162-174, 1997.

Gómez-Hernández, J., Complexity, Proceedings of MODFLOW and More 2003: Understanding through Modeling, 2003.

Gorelick, S.M., Incorporating uncertainty into aquifer management models, in SUBSURFACE FLOW AND TRANSPORT: A STOCHASTIC APPROACH, G. Dagan and S.P. Neuman (eds.), Cambridge Univ Press, 1997.

Hill, M.C., R.L. Cooley, D.W. Pollock, A controlled experiment in ground water flow model calibration using nonlinear regression, Ground Water, 36(3), pp. 520-535, 1998.

Konikow L.F. and T.E. Reilly. Groundwater Modeling, in The Handbook of Groundwater Engineering, Chap. 20. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, USA, 20-1 – 20-40, 1999.

Neuman, S.P., Stochastic approach to subsurface flow and transport: a view to the future, in SUBSURFACE FLOWAND TRANSPORT: ASTOCHASTIC APPROACH, G. Dagan and S.P. Neuman (eds.), Cambridge Univ Press, 1997.

Poeter, E.P., and S.A. McKenna. Reducing uncertainty associated with groundwater flow and transport prediction, Ground Water 36(6), pp. 899-904, 1995.

Yeh, T-C, J. and J. Simunek. Stochastic fusion of information for characterizing and monitoring the vadose zone, Vadose Zone Journal 1:207-221, 2002.

Red de monitoreo de la calidad de agua subterránea en el municipio de León, Gto.

Por: Virguina **Petkova**

Ingeniera Civil egresada del Instituto Superior de Ingeniería y Construcción, con Maestría en Matemáticas aplicadas a la Hidráulica, por el Instituto Superior de Electromecánica. Cuenta con experiencia profesional de más de 25 años en diseño, asesoría, consultas, desarrollo de proyectos de investigación en la rama de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Autora de dos desarrollos tecnológicos: Remoción de arsénico, y Remoción de hierro y manganeso en las fuentes de abastecimiento con agua potable.
WEB page: http://www.posgrado.unam.mx/ambiental

El fuerte desarrollo socio económico y la creciente demanda de agua en el municipio de León imponen la necesidad de contar con información sobre la cantidad y calidad del agua subterránea. Desde 1998 la CEAG implementó la red piezométrica para el monitoreo y evaluación de la cantidad de agua subterránea; en 2001 se inicia la conformación de la red estatal para el monitoreo de la calidad del agua subterránea en Guanajuato. Esta actividad se realiza por etapas, incorporando pozos existentes, representativos para la calidad del agua subterránea y su evolución en el tiempo.

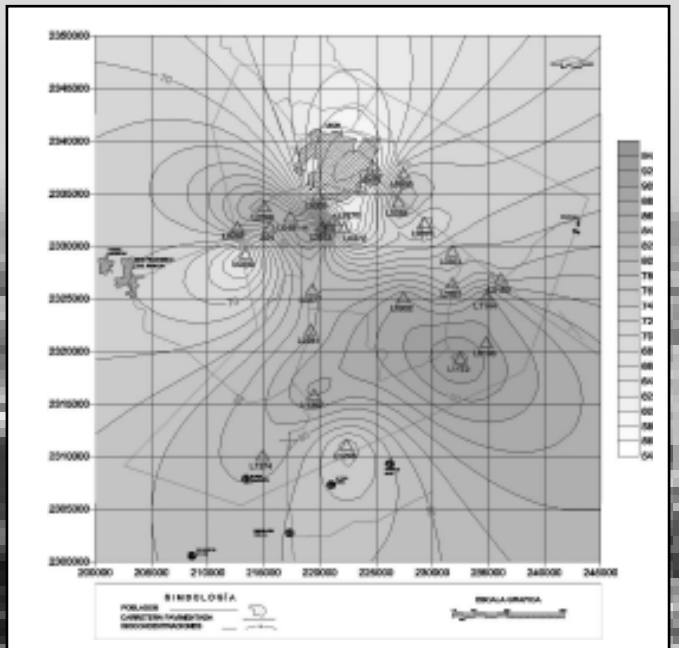
El diseño de redes de monitoreo de la calidad del agua subterránea abarca varias etapas:

- Identificación de zonas de riesgo potencial según la vulnerabilidad acuífera y la carga contaminante, generada por la actividad antropogénica en el área de estudio.
- Monitoreo de agua subterránea con el fin de detectar alteraciones en la calidad de la misma.
- Clasificación de las zonas afectadas de acuerdo al grado y el origen de contaminación en el agua.
- Configuración de la red de monitoreo.
- Elaboración del programa de monitoreo y operación de la red.

Para evaluar el riesgo que las actividades productivas representan para el acuífero, se elaboró un inventario industrial de 150 empresas divididas en 17 giros industriales, incluyendo el manejo y disposición de los desechos sólidos y líquidos, e identificando parámetros que caracterizan sus descargas.

Se hizo un monitoreo de agua subterránea, analizando 36 parámetros físico-químicos, bacteriológicos y especiales en un total de 25 pozos localizados en el área de estudio. La calidad de agua fue relacionada con los estándares establecidos para el consumo humano y para uso agrícola - los dos principales consumidores de agua subterránea en el área de estudio.

De acuerdo con los resultados del monitoreo se elaboraron las mapas de isoconcentraciones de los elementos presentes en el agua, y se calcularon diversos índices que caracterizan el agua, como el índice de calidad de agua (ICA), el índice de contaminación (Cd), índice de estabilidad de agua (SI), la relación de adsorción de sodio (RAS), etc.



▲ Fig. 1 Indice de contaminación.

Mediante los resultados del monitoreo se identificaron los focos de fuerte contaminación en el área de estudio, asociadas con la elevada concentración de sólidos disueltos totales, cloruros, nitratos y sulfatos. Estos parámetros, por lo general, son indicativos para una contaminación artificial.

El análisis de la vulnerabilidad acuífera, la hidrodinámica del flujo subterráneo y la posición de las fuentes de contaminación respecto a los pozos monitoreados permitieron relacionar el contaminante detectado en el agua con las industrias localizadas en el área de estudio.

Por otra parte, la evaluación hidro-geoquímica del acuífero determina el origen de los principales constituyentes en el agua y establece las anomalías en la composición de agua subterránea. Un análisis íntegro de la información permite distinguir entre las zonas donde la calidad de agua está alterada por los procesos naturales de interacción agua – roca y las zonas donde el agua está afectada por las actividades humanas. En la zona de León fue comprobada la contribución y el fuerte impacto de las industrias curtidoras sobre la calidad de agua subterránea; fue evaluada la extensión de la contaminación antropogénica e identificados los tipos de contaminantes arrojados en el acuífero.

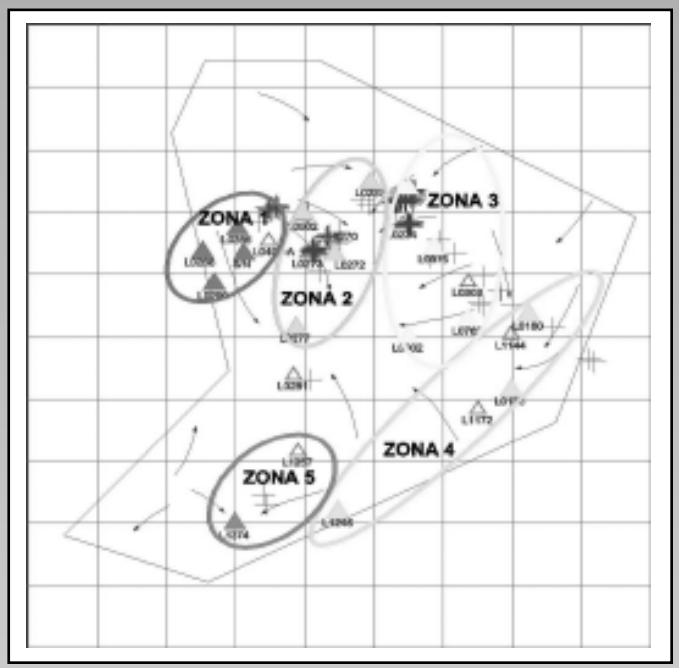
El conocimiento de las actividades humanas que afectan la calidad de agua, la vulnerabilidad acuífera y el modelo hidrodinámico del flujo permite identificar zonas que representan un mayor riesgo para el agua subterránea y merecen un mayor control.

En el acuífero de León fueron determinadas cinco zonas de monitoreo, clasificadas en tres grupos según el grado de deterioro de la calidad de agua y la prioridad a atender:

Grupo A: Zonas críticas con evidente contaminación antropogénica
- zona 1: contaminación agro - industrial
- zona 2: contaminación urbano - industrial
Grupo B:
- zona 3: con riesgo de contaminación por fuerte desarrollo industrial actual y futuro, localizada en la ruta del flujo principal de la recarga acuífera.
Grupo C: Zonas fuertemente influidas por anomalías geológicas
- zona 4: afectada por las fallas y fracturas geológicas.
- zona 5: asociada con el flujo termal detectado en esta zona

La red de monitoreo establecida en el área de estudio comprende un total de 16 pozos, de los cuales 50% están distribuidos en el grupo de prioridad A, el resto de los pozos se localiza en las zonas de prioridad B y C.

El programa de monitoreo y operación de la red identifica los parámetros a monitorear para cada pozo y la frecuencia de monitoreo en función de la posición del pozo y el riesgo de contaminación, definido para las zonas correspondientes.



▲ Fig. 2 Red de monitoreo

Los resultados del estudio pueden ser utilizados como una herramienta en la modelación de migración de contaminantes en el subsuelo y cuantificación del riesgo para poder marcar alternativas de prevención y/o remediación del acuífero contaminado.

El conocimiento de los problemas de contaminación, mediante el monitoreo del agua subterránea, es un elemento esencial para el desarrollo de políticas estatales de explotación del recurso hídrico, e implementación de estrategias para la protección de los acuíferos

Bibliografía

- Estudio Hidrogeológico y Modelo matemático del acuífero del Valle de León, Geofísica de Exploraciones GUYSA, S.A. de C.V, contrato CEAS-APA-GTO-97-023. Diciembre de 1998.
- Desarrollo de un modelo Integral para el análisis de las aguas subterráneas y superficiales en las subcuencas de los ríos Turbio y Guanajuato, Contrato No CEAGS-OD-EP-99-07, BURGEAP Ingenieros Consultores y GUYSA, S.A de CV, Diciembre de 1999.
- Estructuración de mapas temáticos de índice de vulnerabilidad de las subcuencas de los Ríos Turbio y Guanajuato Turbio, Gto., Universidad Iberoamericana, León, Convenio CEAGS-XXVI-OD-UNIVERSIDAD-99-079, Noviembre 1999.
- Definición de Red para la caracterización de calidad físico-química del agua subterránea para el acuífero de Pénjamo-Abasolo, Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, Informe Final, 2002.
- Geología de la Sierra de Guanajuato. Programa y resúmenes del Primer Simposio sobre la Geología Regional de México, Martínez R., J., Instituto de Geología, UNAM, México, D.F, pp. 34-36, 1988.
- Modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del sistema acuífero del Valle de León, Guanajuato. Hernández L., N., UNAM, Facultad de Ingeniería, Tesis profesional de ingeniería geológica, p. 129, 1991.
- Groundwater Protection: The Science and Practice of land surface zoning. Foster, S.S.D. and Skinner, A.C., IAHS Publ. No. 225, A34, 1995.
- Aquifer contamination and protection. JACKSON, R.E., UNESCO Studies y Reports in Hydrology 30, 1980.
- Groundwater pollution Risk assessment: a methodology using available data. FOSTER, S.S.D. y HIRATA, R.C.A. CEPIS Technical Report (WHO-PAHOCEPIS, Lima-Perú), 1988.

Entrevista

Dr. Stephen Foster

Consultor del Banco Mundial

Actualmente es líder del World Bank - Global Water Partnership Groundwater Management Advisory Team' (GW-MATE), Profesor Visitante en la Universidad de Londres en Contaminación de Aguas Subterráneas, Vice-Presidente de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos, y anteriormente Asesor Regional en Aguas Subterráneas para América Latina y el Caribe de la Organización Mundial de la Salud y Director de la División de Geología Ambiental del British Geological Survey.

Aqua Forum: Sabemos que en el 2003 realizó un estudio acerca de la gestión del agua realizada por los COTAS (Consejos Técnicos de Aguas Subterráneas), tanto en su parte técnica como en la participación social, ¿qué puede comentarnos al respecto?

Stephen Foster: Si, el motivo de la misión del año pasado y ésta que es un seguimiento de la anterior, era ayudar a las autoridades estatales y también de la gestión del agua a nivel federal en la evaluación periódica de los COTAS para saber en que punto esta ese nuevo elemento de usuarios organizados en asociaciones, adelantados y contribuyendo a la gestión del agua subterránea, hasta qué punto puede existir la necesidad de mejorar sus estudios del recurso hídrico subterráneo para efectivamente diseminar información a ellos con más alta credibilidad y precisión.

A.F: Según la evaluación que pudo hacer a los COTAS, ¿cuáles serían algunas acciones que de acuerdo a sus posibilidades, pudieran realizar para lograr un manejo y uso sustentable?

S.F: Claro que muy a largo plazo los COTAS deben formar parte de un equipo para la gestión de las aguas subterráneas y el control del uso de los mismos, pero en los primeros pasos esa es una gran tarea y no se puede lograr ese objetivo en unos años, es cuestión de una década pero mientras tanto hay algunas cosas que ellos pueden hacer quizá mejor que nadie y lo deben hacer, y quizá más eficientemente, a lo mejor necesitan ayuda en ese aspecto. Por ejemplo para mí, lo más importante es conocer mejor el uso de las aguas subterráneas, su extracción, la eficiencia y los beneficios del uso, porque a pesar de que hemos estado en esa área trabajando muchos años, el gobierno federal y estatal, la realidad es que el panorama esta cambiando todo el tiempo y se necesita mucha información a nivel local para realmente dominarlo, es decir, tener un registro social y socio-económico de los usuarios y los usos y esto es clave si queremos mejorar nuestras estrategias de gestión. Es absolutamente clave conocer el uso, los beneficios y los problemas del uso.

A.F: Una vez que conocemos los beneficios y los problemas del uso, ¿De qué manera se puede sensibilizar a los usuarios del agua?, que bueno, son los propios usuarios quienes se benefician y conocen mejor el acuífero.

S.F: Ellos realmente, siendo los usuarios quienes conocen el proceso y los problemas que tienen y si nosotros tenemos esta información es una gran

ayuda en mejorar los estudios y cálculos modelos del mismo recurso, el tamaño del recurso, porque estamos ingresando en el balance las recargas al sistema y las descargas o usos, cuantificar esas cosas no es una tarea fácil si queremos cuantificar mucho mejor el uso consultivo en la agricultura y las tendencias y cambios en esto, ayuda mucho al diagnóstico y la predicción de escenarios futuros.

A.F: El 85% del agua que se extrae va destinada al uso agrícola, nos podría dar algunos ejemplos de....

S.F: ... Y, y eso es el 85% del agua que se extrae y agua que se consume, se evapora, se usa, prácticamente el fin probablemente el 98% y entonces este uso en el sector agrícola y los cambios con el tiempo, el cambio de cosecha, cambios en la manera de regar y otras consideraciones económicas es absolutamente central en el conocimiento total del recurso agua y la planeación y la precisión.

A.F: Una parte de esa agua que se extrae, mínima, se utiliza en las zonas urbanas ¿cuál sería el futuro del agua subterránea en este uso?

S.F: Si, hay que tomar en cuenta que muchos de los acuíferos de Guanajuato están en una situación crítica, el balance es crítico y estamos minando agua al cultivar plantas, hasta cierto punto. Bueno, el uso en el sector urbano por lo general tiene más alto valor económico y no está consumiendo el agua, esta utilizándola y contaminándola en cierto grado, entonces si hay una expansión de actividad económica a nivel por año que necesita determinado uso por año para sustentarse, es muy... se puede planear bien, esto no es de uso consultivo de agua, es una extracción de agua subterránea que se puede devolver para el reúso en la agricultura siempre y cuando se dé la planificación, el tratamiento y toda la infraestructura para que esto sea organizado. Y esto va a ser el futuro para este Estado porque es un Estado árido, con escasez de agua y si queremos ganar más ingresos per cápita, más puestos de trabajo, más beneficios es conveniente que en un crecimiento económico urbano sea utilizado primero en la zona urbana y devolverlo para el reúso de la agricultura, bien planeado y esto puede ser uno de los aspectos clave para el futuro en unos 20 o 30 años para este Estado y esta ocurriendo ya, pero quizá lo que queremos lograr es un mejor control de este proceso.

A.F.: ¿En qué punto de ese proceso se encuentra Guanajuato?

S.F.: Relativamente adelantado al nivel mundial hablando de los países áridos, no hay que comparar Guanajuato con Suecia o Suiza, hay que compararlo con países parecidos como España por ejemplo en Europa y con otros países áridos en medio oriente, y en esta tarea está bastante adelantado hasta la propia iniciativa de formar COTAS y movilizar la participación de los usuarios. México en esto, en general y Guanajuato en particular está considerado uno de los ejemplos de la vanguardia en ese proceso, es un proceso que ha sido obviamente necesario para varios años pero difícil de arrancar porque los usuarios de las aguas subterráneas son muy diferentes a los usuarios de aguas superficiales porque tienen su propio pozo, no dependen de los canales de riego, la organización de los usuarios en las asociaciones de riego con agua superficial es mucho más fácil porque todos han trabajado por el mantenimiento de las obras, porque son comunidades, mientras que los usuarios de las aguas subterráneas cada uno con su pozo privado han sido un elemento más difícil de movilizar socialmente y por esto ha tardado 10 o 15 años más que las organizaciones de usuarios de aguas superficiales. Y todavía cuesta, por su propia independencia y la naturaleza del recurso es que tenemos que convencer de que están independientes cada uno de ellos en el mismo acuífero, subterráneo, independientes de pozo pero no de la fuente del agua, pero ese proceso cuesta en la práctica, convencerles de que es otra realidad y que el futuro es colaborar y cooperar también con las elites estatales y los grupos especialistas, porque en sí, no se pueden hacer ni ellos solos ni nosotros sin ellos, es una cuestión que tiene que ser con un amplio equipo de organizaciones.

A.F.: Y en el uso del agua para las sociedades urbanas, ¿Se contempla la posibilidad de abastecerlas de aguas superficiales?, ¿Es posible?

S.F. : En esta área yo no he estudiado toda la disponibilidad del recurso agua, las opciones digamos técnico-económico para el Estado, por eso no quiero comentar o definir sobre ese tema, está un poco fuera del alcance de mi acción. Pero en general, las aguas subterráneas tienen una tremenda ventaja para el abastecimiento urbano porque la calidad es mejor, son protegidas naturalmente contra la sequía por el gran almacenamiento, etc, etc, etc, entonces... y son mucho más económicas, pero hay límites en todo esto y las soluciones más elegantes en los países áridos son los usos llamados por los especialistas “uso conjuntivo”, no se si es “conjuntivo” en español pero en inglés es “conjuntive use” que es uso combinado mejor traducido en español, en que se usan las fuentes superficiales y subterráneas en una manera planeada e integrada para efectivamente sacar las mejores características de esta aguas, usar las aguas subterráneas para proteger de la sequía, para abastecer a las zonas donde el agua superficial es difícil de alcanzar y eso es lo más eficiente para las zonas urbanas en los países áridos.

A.F.: ¿Son las aguas subterráneas un recurso finito?

S.F.: Si, finito en dos sentidos. Yo creo que esa es la gran diferencia con las aguas subterráneas porque tenemos en el subsuelo grandes cantidades de agua almacenada, son enormes, son mucho más grandes que las presas y los embalses superficiales pero esta agua es un recurso limitado por la recar

ga a este sistema y la recarga contemporánea de hoy, porque mucha de esa agua subterránea fue generada en tiempos históricos con un clima más lluvioso, por eso tenemos un largo pero limitado volumen de almacenamiento que podemos usar una sola vez para usos apropiados y tenemos una recarga a este resguardo que es limitante para su uso sustentable en un tiempo largo. Pero no hay que olvidar que este almacenamiento es muy útil, podemos bombear para pasar 20 años de sequía, 10 años de sequía y es excelente pero si no esta recargada, renovada, al final en un tiempo muy largo se va a agotar todo y nunca se va a renovar, entonces hay dos consideraciones que son, el ritmo de renovación del agua subterránea y hasta qué punto podemos explotar la parte no renovada, cuál es la mejor política si usar el agua o dejarla para generaciones futuras.

A.F.: ¿Es posible la recarga de los mantos acuíferos, la recarga artificial?

S.F.: Artificial sí, y además hasta cierto punto no hay que diferenciar el proceso. En la naturaleza se recargan los acuíferos y el hombre con todas sus obras y acciones superficiales como regar, forestar o deforestar, cambia cualquier cosa, a veces mejora y a veces empeora, a veces mejora en cantidad y empeora en calidad, entonces todo esto es una forma de recarga artificial, si estamos hablando de grandes obras, específicamente de tomar agua de un río e inyectarla al suelo sí se puede hacer también pero a veces las pequeñas acciones, dispersas en el terreno, son más beneficiosas y menos problemáticas que un gran esquema, pero se puede hacer esto también.

A.F.: Y aquí, ¿habría que considerar también la posibilidad de contaminar el agua subterránea que ya existe con la recarga artificial?

S.F.: Quisiera dar un punto adicional antes de contestar esta pregunta. Hay que reconocer que cuando nosotros recargamos un acuífero artificialmente estamos inyectando agua aquí que esta destinada a otro lado y en muchos casos el destino de esa agua no fue beneficiado, se evapora en una zona salina o no llega a un uso positivo u ocasiona problemas pero en algunos casos el agua nos da la garantía de que puede ser competitiva con otro uso aguas abajo. El aspecto de planeación hídrica en este punto es importante, hay que pensar que si ganamos aquí hay alguien perdiendo en otro lado, siempre hay que valorar esta situación.

Pasando ahora a la pregunta sobre contaminación de aguas subterráneas y la calidad, no hay que sobre exagerar ese problema porque realmente son las aguas superficiales las que son mucho más vulnerables a la contaminación porque están expuestas, no son cubiertas por el suelo, pero hoy en día o cada año es más evidente que algunos procesos del hombre en la superficie amenazan la calidad del agua subterránea, por ejemplo lo más común, la disposición indiscriminada de aguas negras, hay cierta capacidad de renovación en ese proceso pero si el agua negra contiene contaminantes persistentes o si está descargada en áreas muy vulnerables podría resultar la contaminación. Igualmente los procesos agrícolas pueden, si son muy intensivos y con un uso excesivo de nutrientes y fertilizantes y/o parecidos, pesticidas, etc, generar las condiciones vulnerables que pueden ensuciar las aguas subterráneas; se necesita más sensibilización del uso para evitar estos problemas. Además la agricultura es capaz de causar salinización de aguas subterráneas y otras cosas aisladas como la ruptura de tanques de hidrocarburos o de líquidos o químicos industriales pueden causar incidentes llamativos localmente, pero en general la calidad de las aguas subterráneas es buena, natural es muy buena con la excepción de que en algunas condiciones se encuentra salinizada naturalmente o con un contenido de minerales un poco excesivo a lo que es deseado pero que está naturalmente en el subsuelo.

A.F.: ¿Esto se debe a la sobre explotación?, o sea ¿cómo asegurar la calidad de un manto acuífero que esta sobre explotado?

S.F.: Esa es una pregunta sumamente compleja porque depende mucho de las condiciones de cada lugar. Hay situaciones en que la sobre explotación o la explotación excesiva con grandes abatimientos de la capa freática puede causar movilización de sales o puede causar más flujo de agua subterránea profunda hacia arriba que contiene más cantidad de fluoruros, problemas con arsénico o con este tipo de elementos, no es la situación común pero puede ocurrir y es muy específica, cada lugar necesita un diagnóstico e investigación específico para establecer la vulnerabilidad y también buscar soluciones y manejos de este problema.

A.F.: En relación a esta segunda visita que nos hace, ¿cuál sería el reto de los COTAS ahora que en diciembre terminan una etapa de consolidación e inician una de autosuficiencia?

S.F.: Sí, hay que considerar 2 o 3 elementos muy importantes, uno, obviamente es que ellos mismos tienen que ser... demostrar a los usuarios el beneficio de la asociación, tienen que consolidarse en los usuarios. Para mí, si van a contribuir de manera muy importante en la gestión del agua subterránea tienen que demostrar su capacidad técnica y social para ayudar en ese proceso de revaloración del uso, tienen que realmente dominar, entender todo el proceso como ya mencionaba al inicio, esto obviamente va a ayudar mucho en la valoración del recurso y va a hacer una contribución muy positiva a la valoración de estrategias y necesidades de inversión, etc, etc, etc. Para mí éste es el elemento más importante desde un punto de vista global del agua pero para ellos mismos, tienen que consolidarse en sociedad.
En plan más largo ellos tienen que lograr una apreciación independiente sobre el estado del recurso para que ellos puedan efectivamente hablar con sus

miembros con autoridad sobre el estado del recurso, eso cuesta más tiempo, hay bastante incertidumbre también en la interpretación del recurso y claro ése es un trabajo también para la Comisión Estatal del Agua y la Comisión Nacional del Agua para ir mejorando el conocimiento, para que la información sea accesible a los COTAS y sea de más confianza, transparente e indiscutible científicamente y todavía hay cosas que hacer, vamos por buen camino pero no es nada fácil y claro tenemos presupuesto limitado y no podemos gastar a un nivel irracional.

A.F.: Ya para terminar ¿cuál es su opinión de la forma en la que Guanajuato esta manejando el uso del agua subterránea?

S.F.: Primero hay que decir que hay un problema muy grande y solamente hay que cuidar la evaluación demográfica del Estado, la situación hidrogeológica, la perimetría y la tendencia a la sequía, hay que tomar todas esas cuestiones en la conservación, entonces la demanda es tremenda; en el Estado el manejo es bastante bueno considerando que tenemos una geología compleja pero todavía falta, no falta información para justificar acciones, para controlar el mando y mejorar el uso, pero falta información para redefinir estas estrategias y esto sí que esta en camino pero no es posible en dos o tres meses, son cosas de mediano plazo.

Me gusta mucho el esfuerzo por ejemplo, que están haciendo de utilizar los modelos numéricos y particularmente, no tanto la aplicación pues fue hecho ya, sino la manera de revisarlo, de auditarlo, realizar auditorias de ese modelo para la investigación complementaria y mejorar su funcionamiento, esto sí me gusta mucho, ese es el camino a futuro pero hay más proyectos a futuro y claro, Guanajuato es de los Estados que en México están a la vanguardia en ese proceso.

Agradecemos mucho su tiempo
para esta entrevista
Muchas gracias.

ANEAS REALIZA EL SEXTO SEMINARIO

de capacitación sobre la normatividad de agua potable

**** Se requieren $1,600 millones para rehabilitar red de agua***

**** Trabaja Guanajuato por un estudio tarifario global para todo el Estado***

La Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México (ANEAS) realizó dentro de su Programa de Capacitación Anual, el Sexto Seminario de Capacitación sobre la Normatividad de Agua Potable, en donde se analizaron las normativas del manejo de agua potable y alcantarillado y el rezago de inversión que se tiene.

El taller inició con la bienvenida por parte de José Trinidad Muñoz Pérez, Representante del subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental SEMARNAT, quien mencionó que hay subsidios muy grandes en los diferentes estados, por lo que es importante regular el cobro del agua, además de pagar una cuota sobre el total recibido para superar el déficit que se tiene en cuanto a infraestructura hidráulica.

Haciendo referencia al mismo tema, Ricardo Sandoval Minero, Secretario Ejecutivo de la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato y Consejero Regional de la Región Centro-Occidente de la ANEAS resaltó los diferentes problemas y las alteraciones del sistema de agua; entre ellas que no se les ha da mantenimiento, contabilidad, ni rehabilitación, debido a las políticas tarifarias.

Mencionó además que para la rehabilitación de redes de drenaje se requiere una inversión aproximada de 1,200 millones de pesos y otros 400 millones para la distribución de agua, lo que conduce nuevamente al tema de las tarifas y su importancia en que éstas representen para los Organismos Operadores la vía económica no sólo para mantener en buen estado la infraestructura hidráulica sino también para que se abran las posibilidades de aumentar la cobertura de agua en todo el estado.

Sergio Volantin Robles, Encargado de la Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas de la Comisión Nacional del Agua (CNA), fue quien expuso a los asistentes el objetivo del taller, destacando la revisión del marco jurídico de las normas y decretos, reformas a la Ley de Aguas Nacionales, la Normalización del sector agua, así como algunos tips y recomendaciones para cumplir con las normas, ya que estos temas impactan directamente a las funciones de los Organismo Operadores.

El taller no sólo incluyó sesiones teóricas sino también una Prueba de Hermeticidad en Campo para la aplicación de normas en el sistema de alcantarillado sanitario

**** Guanajuato es miembro activo de ANEAS. Gobierno del Estado a través de la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG), específicamente de su titular Ricardo Sandoval Minero, forma parte importante dentro de la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México, A. C. (ANEAS) como Consejero Regional Centro-Occidente, que incluye los estados de Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Zacatecas.***

▲ Ricardo Sandoval Minero, Secretario Ejecutivo de CEAG y Consejero Regional Centro- Occidente de la ANEAS dirigiendo su mensaje de bienvenida.

▲ Asistieron al taller, personal de CNA, Comisiones Estatales de Agua de la región Centro Occidente y Organismo Operadores.

Se reune grupo de autoridades del agua en Guanjuato

**** Realizan Seminario sobre Sistemas de Información de Agua y la Reunión Ordinaria del GAA-RCO***

Se llevó a cabo la Cuarta Sesión del Grupo de Autoridades de Agua de la región Centro Occidente en la ciudad de Guanajuato, teniendo como asistentes a Ricardo Sandoval Minero, Secretario Ejecutivo de la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG), además de representantes de la Comisión Nacional del Agua y de los estados de Nayarit, Querétaro, Aguascalientes, Jalisco y el Estado de México.

Durante esta sesión se compartieron experiencias en el diseño e instalación de Sistemas de Información de Agua, además de llevarse a cabo la formulación de un programa de trabajo del Grupo de Autoridades de Agua de la Región Centro Occidente (GAA-RCO) y la elección del coordinador del GAA-RCO para el periodo 2004-2006.

Esta sesión de trabajo tuvo una duración de dos días; en el primero se realizó el Seminario sobre Sistemas de Información de Agua y en el segundo día la Reunión Ordinaria del GAA-RCO.

Seminario sobre sistemas de información de agua

Contó con la participación de Juan Carlos Valencia Vargas, Gerente de Planeación Hidráulica de la CNA quien hablo del Sistema Unificado de Información Básica del Agua (SUIBA). Más tarde, se estudiaron y compartieron las experiencias de cada uno de los estados de la Región Centro Occidente en sistemas de información sobre agua.

Gilberto Lara Córdoba y Jesús Ponce Palafox, investigadores de la Universidad Autónoma de Nayarit, hablaron de la experiencia de esta institución durante el desarrollo del Diagnóstico regional de Manejo de Agua en la RCO con la ponencia "Visión analítica de la información sobre agua en la Región Centro Occidente"

Además se abordo la Vinculación con Sistemas de Información de la Región Centro Occidente (SIRCO) conformado por los sistemas estatales de información estadística y territorial y el INEGI, y las "Referencias Internacionales y esquemas de apoyo para la estructuración y coordinación de sistemas de información", expuesto por José Antonio Amozurrutia, representante de la UNAM.

El trabajo de este día fue concluido, una vez terminada la exposición de las "Estrategias de trabajo, conjunto y acuerdos" por parte de la Coordinación Ejecutiva del FIDERCO.

Reunión ordinaria del grupo de autoridades del agua región centro occidente (GAA-RCO)

Fue formalmente inaugurada con el mensaje de bienvenida de Ricardo Sandoval Minero, Secretario Ejecutivo de la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG).

Durante esta reunión destacaron las observaciones y propuestas para la cartera de proyectos de infraestructura hidráulica y de gestión del agua de la Región Centro Occidente; así como la elección de la coordinación del Grupo de Autoridades de Agua de la RCO que incluye los estados de Nayarit, Querétaro, Guanajuato, Aguascalientes, Jalisco y el Estado de México

▲ Asistentes a la reunión del Grupo de Autoridades del Agua

▲ Presidieron la reunión Guillermo Woo, Coordinador Ejecutivo del FIDERCO y Ricardo Sandoval Minero, Secretario Ejecutivo de la CEAG.

CEAG RECIBIÓ DELEGACIÓN

de Red de Agua y Saneamiento de El Salvador

**** Estudiaron experiencias de Guanajuato y realizaron visitas de campo.***

La Comisión Estatal del Agua de Guanajuato dio la bienvenida a personal a La Red de Agua y Saneamiento de El Salvador (RASES), quienes visitaron el estado por medio del programa Promoción de la Sustentabilidad de los Procesos de Descentralización de los Sistemas de Agua y Saneamiento de El Salvador (PRODES), en una misión conformada por representantes del congreso, alcaldes y miembros de juntas de agua rural.

Esta Delegación llegó a Guanajuato con el fin de conocer de primera mano la experiencia del estado en el proceso de gestión del agua y la visión y perspectiva respecto al manejo del agua para extraer de ella todos aquellos elementos generadores de enseñanzas positivas, que podrían ser aplicadas a la realidad de la situación hidráulica en El Salvador.

El Gobierno de El Salvador buscó mejorar las capacidades de aquellos actores locales y nacionales involucrados en la gestión de los sistemas de agua y saneamiento y promover la gobernabilidad y sustentabilidad de los recursos hídricos de su país, por medio de una serie de acciones, investigaciones, seminarios e intercambios de experiencias con otros países, entre los que se encuentra México y especialmente el estado de Guanajuato.

Durante su estancia recibieron platicas con temas como el "Diagnóstico del Agua", "Sistema de Planeación Hidráulica en Guanajuato", "Lineamientos para la Programación de Obras de Agua y Saneamiento Rural y Urbano" "La CEAG como apoyo a los Organismo Operadores y Municipios", "El Sistema Tarifario" entre otros, además de prácticas de campo en el municipio de Guanajuato donde visitaron la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y el Sistema de Agua Rural de la comunidad La Luz; y en el municipio de Dolores Hidalgo, dando un recorrido al rancho La Esperanza con el fin de conocer su manejo de agua mediante la tecnificación de riego, eficiencias electromecánicas y planta de tratamiento.

Además dieron un recorrido por las instalaciones del Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guanajuato (SIMAPAG) para conocer de primera mano la forma en la que opera este organismo af

▲ Jonathan Claros, Representante de la RASES y Ricardo Sandoval Minero, Secretario Ejecutivo de la CEAG durante la ceremonia de bienvenida.

▲ Integrantes de la Delegación de El Salvador estudiaron experiencias del sector hidráulico en Guanajuato.

Trabajo conjunto por un bien común

*** Universidad de Guanajuato y Comisión Estatal del Agua coordinan "Espacio Acuoso"**

La Universidad de Guanajuato a través del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA) y la Comisión Estatal del Agua (CEAG) buscan promover el conocimiento, investigación y participación en los temas de agua, mediante el establecimiento de una colaboración y coordinación, acuerdo firmado el 13 de agosto, con la finalidad de realizar el Tercer Foro Nacional Universitario sobre el imaginario del agua "Espacio Acuoso" en su edición 2004.

El Foro se realizará dentro del marco de la X Expo Agua 2004, el día 18 de noviembre, y mediante el trabajo conjunto se busca ampliar la convocatoria de la presentación de propuestas para el manejo de los recursos naturales a las Universidades Públicas y Privadas. Todas estas propuestas, estarán basadas en una amplia gama de disciplinas de estudio en sus diferentes ámbitos, donde el tema principal sea de manera particular el agua. Será desarrollado como una plataforma de intercambio entre los más de 500 jóvenes universitarios participantes y docentes representantes del sector académico a nivel nacional e internacional.

Este acuerdo de colaboración establece el compromiso de la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato a desarrollar la convocatoria e imagen de "Espacio Acuoso" así como la difusión de su concepto, proporcionar el espacio físico que será en el Centro de Convenciones durante la X Expo Agua 2004; convocar a las instituciones relacionadas con el sector hídrico con el fin de contar con la presencia del medio para el intercambio de experiencias, ideas y conocimientos; convocar a los integrantes de las mesas de especialistas, integrar y reproducir las memorias de "Espacio Acuoso" y llevar a cabo los procedimientos de inscripción y expedición de reconocimientos.

Por su parte la Universidad de Guanajuato acordó convocar a los representantes de las instituciones académicas de educación media superior y superior y a instancias relacionadas con las labores académicas, esto con la finalidad de conformar el Comité Organizador de "Espacio Acuoso", integrado por 9 instituciones que son:

* Universidad de Guanajuato a través del Instituto de Ciencias Agrícolas
* Instituto Tecnológico de Celaya
* Universidad Iberoamericana de León
* Facultad de Ingeniería

en Geomática e Hidráulica de la Universidad de Guanajuato
* Universidad Tecnológica de León
* Universidad Tecnológica del Norte de Guanajuato
* Instituto Tecnológico Agropecuario No. 33
* Instituto Tecnológico Superior de Irapuato
* Escuela Preparatoria Oficial de Irapuato.

A su vez, la Universidad de Guanajuato establecerá los vínculos pertinentes con instituciones académicas, organizaciones civiles y personas físicas que permitan lograr una mayor difusión y coordinación del foro; dar seguimiento de manera directa a los acuerdos y compromisos derivados de las reuniones del Comité Organizador e informar de los resultados y estado de los mismos a sus integrantes; realizar los envíos de la convocatoria a las distintas unidades académicas del país. Es de suma importancia su función de recibir, concretar, registrar y clasificar las propuestas, así como dar formato para la revisión de las mismas por los especialistas integrantes del comité organizador.

La notificación de los lineamientos para su participación a los autores de los trabajos seleccionados será por parte de la Universidad de Guanajuato así como la integración de la mesa de especialistas que intervendrán en las ponencias de cada uno de los ejes temáticos establecidos en la convocatoria.

Durante la realización de este Foro Universitario "Espacio Acuoso", los expositores tendrán un margen de diez minutos para desarrollar su proyecto, mismo que será plasmado dentro de las memorias de la X Expo Agua 2004 y recocido en un documento oficial emitido por la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato

Porque el agua es... responsabilidad de todos

▲ Manuel Collado Marie, Director del ICA; Ricardo Sandoval Minero, Secretario Ejecutivo de la CEAG; Arturo Lara López, Rector de la UG; y Eduardo Pérez Cervantes, Presidente de la Sociedad de Alumnos del ICA durante la firma del convenio.

▲ Imagen de la firma del convenio de colaboración entre la UG y CEAG.