

# Gestión Sustentable del Agua Subterránea

## Lecciones de la Práctica

Colección de Casos Esquemáticos Caso 10

# México – Los ‘Cotas’: Avances en la Gestión Participativa del Agua Subterránea en Guanajuato

Abril 2004

**Autores:** Stephen Foster, Héctor Garduño y Karin Kemper

**Gerente de Proyecto:** Doug Olson (Banco Mundial - LCR)

**Organismos Contraparte:** CEAG–Guanajuato y CNA-SGT

*GW•MATE proporcionó asesoría general a la Comisión Nacional del Agua (CNA) sobre la preparación e implementación del Proyecto MASAS, financiado por el Banco Mundial, para estabilizar ciertos acuíferos mexicanos a través de, entre otras medidas, la consolidación de organismos para la gestión de acuíferos (los llamados COTAS). Más específicamente, los miembros de GW•MATE han colaborado de manera periódica entre 2001 y 2003 con la Comisión Estatal de Aguas de Guanajuato (CEAG) en sus esfuerzos por promover los COTAS para varios sistemas acuíferos específicos en el estado de Guanajuato. Este caso esquemático constituye una primera impresión dirigida a un público internacional sobre los avances y el camino a seguir de los COTAS en Guanajuato. Se agradece ampliamente a los directivos de la CEAG y de la Subdirección General Técnica (SGT) de la CNA, así como a los COTAS de Irapuato y Silao-Romita el diálogo tan constructivo que permitió la preparación de este caso esquemático; sin embargo, las opiniones expresadas aquí son responsabilidad exclusiva de sus autores.*

## RAZONES QUE MOTIVAN LA GESTIÓN PARTICIPATIVA DE LOS ACUÍFEROS

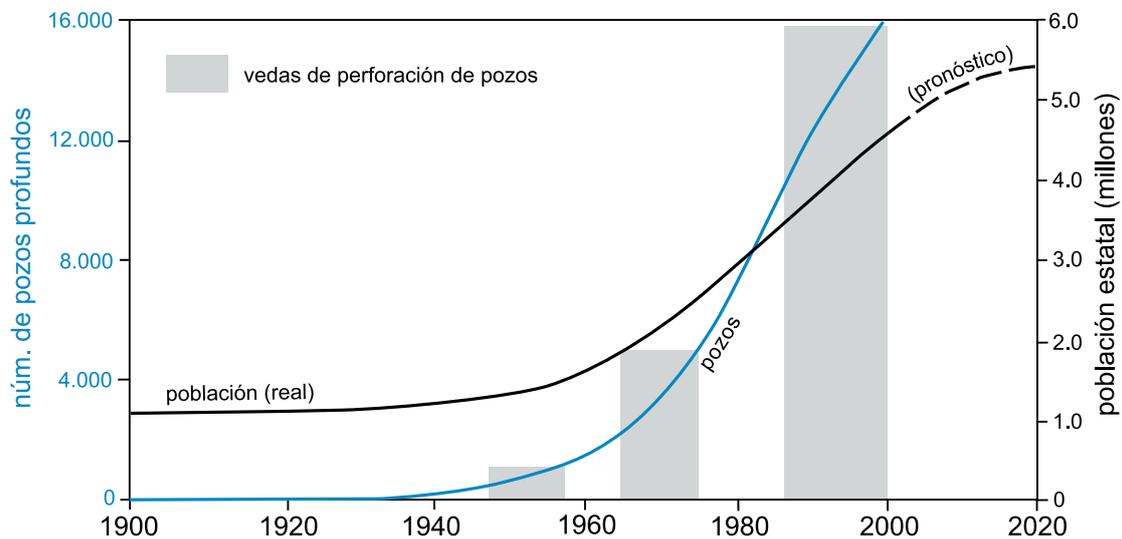
### Historia de la Degradación de los Acuíferos en Guanajuato

El estado de Guanajuato, ubicado en la parte septentrional del centro de México, ha experimentado un importante crecimiento poblacional desde la década de los cincuenta, y en la actualidad cuenta con alrededor de 4,5 millones de habitantes (Figura 1). Se localiza en la parte alta de la cuenca hidrográfica Lerma-Chapala en una zona de valles inter-montanos elevados con precipitación relativamente baja y marcadamente estacional.

Tradicionalmente, el estado ha sido productor de ganado, con importantes agroindustrias derivadas, tales como la producción de lácteos, el procesamiento de cuero y la manufactura de calzado. Pero a partir de la década mencionada, gracias a un considerable apoyo del gobierno federal, se amplió y fortaleció la base industrial del estado, con la construcción de una refinería, un complejo petroquímico y una importante planta de generación termoeléctrica. Para principios de los 1970, este desarrollo, aunado a la presión demográfica resultante, había impuesto un estrés considerable a los recursos de agua subterránea, manifestado en la aceleración de perforación de pozos (Figura 1). Y en la actualidad hay unos 17.000 pozos que extraen cerca de 4.000 Mm<sup>3</sup>/a, que se estima excede en unos 1.200 Mm<sup>3</sup>/a al recurso renovable. Las condiciones hidrogeológicas y la situación de los recursos de agua subterránea de los sistemas acuíferos Silao-Romita e Irapuato-Valle son típicos de gran parte del estado de Guanajuato, y se ilustran en el Recuadro A.

El estado de Guanajuato cuenta con 15 importantes áreas urbanas; casi el 30% de su economía está directamente ligado a la agricultura y se esfuerza por convertirse en un dinámico centro industrial y comercial. Las fuentes de agua subterránea proporcionan 99% del abastecimiento doméstico de agua, casi 60% del agua para la producción agrícola, y cubren toda la demanda industrial del estado, por lo cual la crisis de los acuíferos representa un obstáculo real al desarrollo. El agotamiento generalizado del agua subterránea a tasas de 2 a 3 m/a tiene efectos secundarios onerosos y críticos, como los crecientes costos de operación y de reemplazo de fuentes para suministro de agua urbano y rural, la calidad decreciente y/o la salinidad del agua subterránea, y el daño a la infraestructura pública y a la propiedad privada debido al asentamiento del terreno.

**Figura 1: Crecimiento de la población y de la perforación de pozos en el estado de Guanajuato, que ilustra la ineficacia de las vedas**



### Ineficacia de las Medidas de Gestión Anteriores

La dinámica de la explotación del agua subterránea fue resultado tanto de disparadores económicos como de la innovación tecnológica (tales como bombas de pozo profundo cada vez más eficientes y mejores redes de distribución de energía eléctrica). En México, la administración de las aguas nacionales es de competencia federal, pero a lo largo de los años, la capacidad operativa de la autoridad correspondiente ha sido insuficiente y frente a la debilidad para hacer valer la ley, se ha impuesto el empuje del desarrollo.

En los 1990, el gobierno federal, por medio de la CNA, realizó esfuerzos importantes para registrar los usos de agua subterránea y administrar el sistema de derechos correspondientes. Sin embargo, la falta de recursos operativos locales y las dificultades para lograr que los usuarios cooperaran ha erosionado el sistema. La falta de imposición consistente de la ley ha significado que los usuarios carezcan de motivación para cumplir y que los que incumplen no sean sancionados.

Los esfuerzos por restringir la explotación del agua subterránea en Guanajuato incluyeron vedas para la perforación de pozos en tres periodos, pero parece que el número de pozos profundos casi se duplicó en cada uno de estos periodos (Figura 1). A partir de esta experiencia, se concluye que promulgar leyes y establecer una política pública sin la capacidad correspondiente para implementarlas en campo no puede ser efectivo cuando tal política contradice las tendencias socioeconómicas estimuladas por otras políticas.

### **Creación de Organizaciones Participativas de Gestión de Acuíferos**

Tras la promulgación de la Ley de Aguas Nacionales, en diciembre de 1992, la CNA promovió a nivel nacional la creación de comités técnicos de aguas subterráneas (COTAS) para contribuir a enfrentar el reto de la gestión de recursos de agua subterránea, especialmente en unos 100 acuíferos sobreexplotados. Por un lado la responsabilidad general de legislación y gestión de recursos de agua subterránea recae en el gobierno federal, y por otro lado el estado de Guanajuato emprendió un programa complementario y ambicioso para enfrentar la crisis de recursos de agua subterránea con dos líneas de acción principales:

- nuevos estudios hidrogeológicos y modelos numéricos de acuíferos con objeto de consolidar las bases técnicas para mejorar la gestión de los recursos de agua subterránea
- promoción de la base social necesaria para lograr una gestión de agua subterránea más efectiva por medio de la creación de 14 asociaciones de usuarios de agua subterránea, con la intención de que evolucionen hasta convertirse en organizaciones maduras de gestión de acuíferos (ORGA); dichas asociaciones se agrupan en el 'consejo estatal de usuarios de agua' con representantes de distritos de riego de aguas superficiales y otras organizaciones, pero aún no se define por completo su relación con la administración de la cuenca hidrográfica Lerma-Chapala.

### **COTAS: Tipo de Organización, Modo de Operación y Objetivos Clave**

Cada uno de los COTAS ha sido apoyado por el Gobierno del Estado de Guanajuato desde 1988 (por medio de un fideicomiso llamado FIPASMA) con una oficina, tres empleados, un vehículo, equipo para monitorear agua subterránea, y computadoras, lo que representa una inversión total de unos US\$ 4,0 millones en inversión y gastos de operación durante el período 1998-2003. La CNA ha reconocido el potencial de los COTAS de Guanajuato al acordar la inyección de recursos económicos adicionales al fideicomiso, mientras que el Comité del FIPASMA ha investido al Director de la CEAG con autoridad para que suspenda la asignación de fondos a todo COTAS que no cumpla con ciertos indicadores de desempeño.

La mesa directiva de un COTAS (Figura 3) está constituida exclusivamente por usuarios de agua subterránea, y su personal operativo ejecuta el programa de trabajo acordado anualmente con la CEAG con recursos del FIPASMA. Los COTAS también reciben apoyo técnico del personal de la CEAG, de universidades y de centros tecnológicos locales, e interactúan con personal local de la CNA en materia de aspectos jurídicos de la administración de los recursos de agua subterránea (Figura 3). El concepto general es que los acuerdos sociales permitan implementar gradualmente medidas de gestión de los recursos de agua subterránea basadas en una mejor comprensión científica.

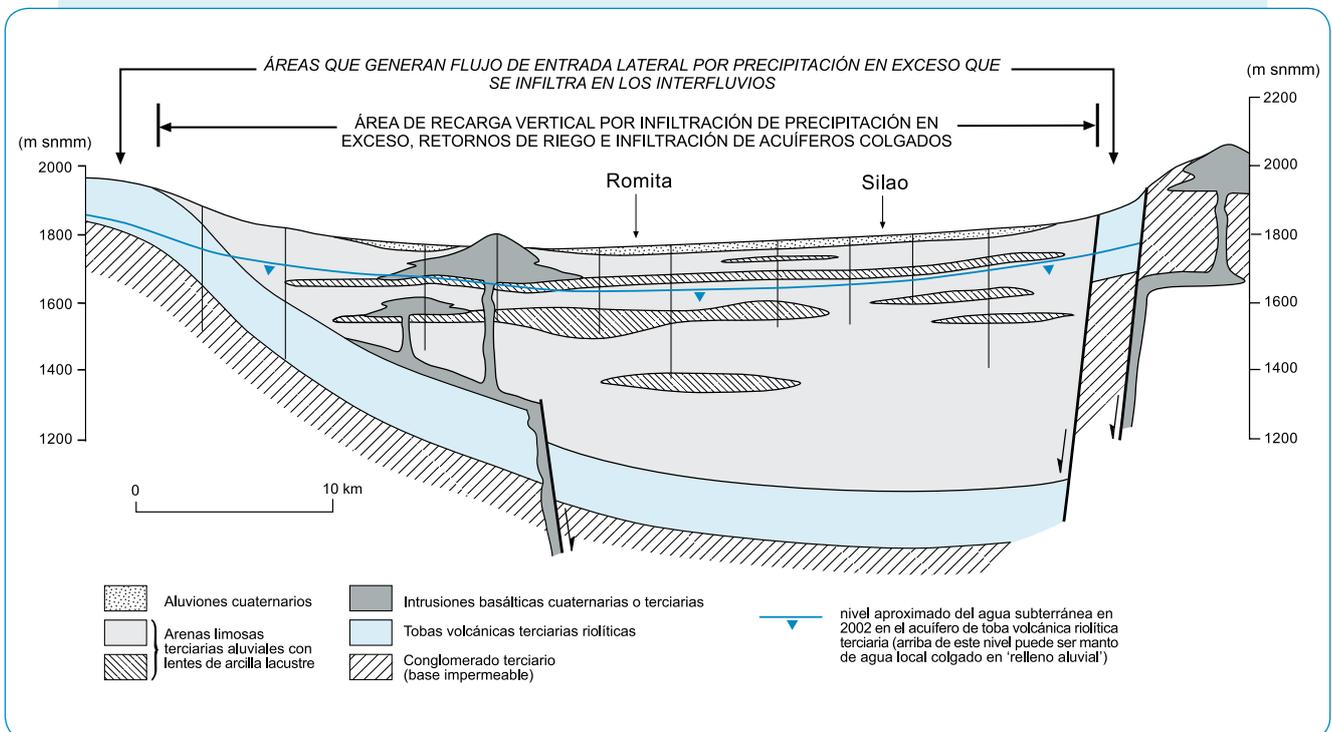
Así, los COTAS de Guanajuato han constituido un mecanismo permanente para la interacción entre usuarios del agua, gobierno estatal y gobierno federal, en el que cada COTAS (como asociación civil con su propia estructura y financiamiento) tiene la oportunidad de concertar nuevos acuerdos, conseguir fondos de otras fuentes locales y ajustarse a su contexto local específico. Cabe señalar que en el propio estado de Guanajuato se presentan condiciones socioeconómicas muy distintas entre las zonas más desarrolladas de los alrededores de las ciudades más grandes y las áreas más rurales con cría de ganado y cultivo de forraje tradicional. Por ende, es esencial que los COTAS de cada región definan sus propias prioridades, basadas en una agenda común pero con metas flexibles.

### RECUADRO A: LOS SISTEMAS ACUÍFEROS SILAO-ROMITA E IRAPUATO-VALLE

Los acuíferos del estado de Guanajuato se encuentran principalmente en una serie de cuencas elevadas separadas por cadenas de colinas. El sistema acuífero Silao-Romita (Figura 2) comprende una secuencia de sedimentos aluviales terciarios de gran espesor, en su mayoría interrumpidos ocasionalmente por arcillas lacustres ocasionales, que sobreyacen una toba riolítica más extensa con intrusiones de diabasas y basaltos terciarios y cuaternarios.

Antes de que se intensificara la perforación de pozos, había agua subterránea a poca profundidad en un acuífero freático que llegaba a 60 m bns (bajo el nivel del suelo), pero la extracción lo agotó rápidamente. En la actualidad, la parte más profunda de los depósitos aluviales terciarios junto con la subyacente toba riolítica proporcionan la mayor parte del agua subterránea a pozos con niveles estáticos que alcanzan los 100m bns (Figura 2), pero diversos mantos de agua colgados se presentan sobre las arcillas lacustres más extensas, especialmente a lo largo de la zona de riego de agua superficial del río Guanajuato.

Figura 2: Corte transversal hidrogeológico del sistema acuífero Silao-Romita



Los sistemas acuíferos son reabastecidos por diversos mecanismos (Tabla 1):

- el ingreso lateral sub-superficial desde interfluvios vecinos, especialmente cuando éstos se forman por el afloramiento del acuífero riolítico terciario
- la recarga vertical directamente de la precipitación en exceso o indirectamente de los cursos de agua superficial, junto con retornos de riego excedente, ya sea con agua superficial o subterránea, pero existe incertidumbre considerable en la estimación de cada uno de estos componentes, y la presencia de acuíferos locales colgados (que interceptan o retrasan parte de la recarga vertical) complican aún más el panorama.

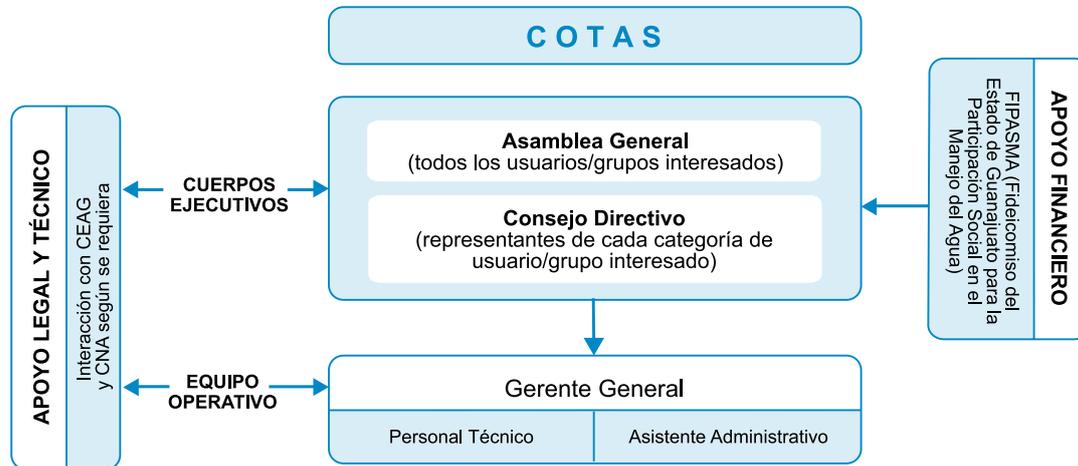
**Tabla 1: Estimaciones actuales del balance de agua subterránea en sistemas acuíferos seleccionados**

PARÁMETRO (en Mm <sup>3</sup> /a)	SISTEMA ACUÍFERO	
	SILAO-ROMITA*	IRAPUATO*
NÚM. DE POZOS ACTIVOS	1360	1960
<b>FLUJO DE SALIDA DEL ACUÍFERO</b>		
Extracción de pozos	363	649
(proporción usada para riego)	89%	78%
<b>FLUJO DE ENTRADA AL ACUÍFERO</b>		
Flujo Neto de Entrada Sub-superficial	141	222
Almacenamiento Drenado	67	218
Recarga Vertical**	155	209
(incl. Retorno de Riego)	(?)	(38)
<b>RECARGA DISPONIBLE DEL ACUÍFERO</b>	296	431
<b>CAUDAL TOTAL CONCESIONADO</b>	118	619

\* basado en datos de la CEAG para 2002

\*\* considerada como incógnita en el balance de agua subterránea y estimado por diferencia

Si bien se puede cuestionar la precisión del balance de agua subterránea, y hace falta mejorarla para que proporcione una base sólida para la toma de decisiones futura sobre la gestión del agua subterránea, queda claro que estos acuíferos han estado sometidos a una extracción excesiva durante largo tiempo, lo que ha llevado a una sobreexplotación anual considerable del almacenamiento del acuífero (Tabla 1) y a cargas de bombeo que amenazan la factibilidad de muchos tipos de agricultura de riego.

**Figura 3: Estructura administrativa y operativa general de los COTAS de Guanajuato**


El estado de Guanajuato ha previsto que los COTAS lleven a cabo los siguientes tipos de actividades potenciales:

- llevar a cabo el desarrollo de capacidades como apoyo para la implementación de planes de gestión del agua subterránea
- promover proyectos relacionados con la gestión del recurso, que sean adecuados para resolver problemas locales específicos
- apoyar al gobierno federal en la administración de los derechos de agua subterránea
- incrementar la conciencia sobre las necesidades de gestión del agua subterránea, por medio de campañas de comunicación pública y del sistema de educación escolar
- ofrecer diversos servicios a los usuarios del agua subterránea, desde representar los intereses de los usuarios en las negociaciones con el gobierno estatal, hasta asistir a los usuarios individuales en sus trámites de concesión de agua subterránea y con medidas para hacer más eficiente la operación técnica y financiera de los pozos
- lograr la sustentabilidad financiera mediante acciones para incrementar la membresía y el establecimiento de vínculos con socios públicos y privados apropiados.

## **EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN E INCERTIDUMBRES SOBRE EL RECURSO DE AGUA SUBTERRÁNEA**

### **Algunas Medidas de Gestión de los Recursos de Agua Subterránea**

Para que las medidas de gestión sean exitosas, deben ser socialmente realistas, económicamente viables e institucionalmente sólidas, y para acelerar los cambios necesarios que permitan revertir los actuales patrones insostenibles del uso del agua subterránea, es necesario proporcionar incentivos. Tales patrones resultan de los niveles de agua en los acuíferos en constante descenso y el consecuente aumento de los costos de producción de agua subterránea debido a:

- la necesidad de profundizar o volver a perforar los pozos y redimensionar o reemplazar las bombas
- el aumento en el consumo de electricidad para bombear el agua.

Se sospecha que muchos cultivos y técnicas de riego actuales ya no serán económicos, incluso con el nivel actual del subsidio a la energía eléctrica para bombeo agrícola, cuando los niveles del agua subterránea alcancen los 120 m bns.

**Tabla 2: Resumen de medidas potenciales de gestión de recursos de agua subterránea**

MEDIDA	ENFOQUE	DIFICULTADES
<b>Reducción del Subsidio a la Energía Eléctrica</b>	es la forma más directa de incentivar la reducción del bombeo; la legislación actual permite que la CFE restrinja la aplicación de la tarifa subsidiada (09) solamente al volumen de agua concesionado	requiere que el registro de derechos de agua esté razonablemente actualizado y que haya voluntad política a nivel federal y mayor participación estatal; también se pueden necesitar medidas para proteger a los agricultores más pobres; si no, puede interferir con los esfuerzos de paliación de la pobreza
<b>Sustitución de Cultivos por Otros Menos Consumidores de Agua</b>	asesoría agronómica, distribución de semillas, etc. para la sustitución progresiva de cultivos por otros que requieran menos agua sin cambiar el régimen general de producción agrícola	quizá sea la opción más factible a corto plazo, aunque el ahorro de agua subterránea puede ser limitado y requiere restringir la expansión del área regada y/o los dobles cultivos para garantizar 'ahorros reales de agua'
<b>Renuncia a Derechos de Uso de Agua Subterránea</b>	indemnizar a los dueños de pozos que renuncien a sus derechos de uso de agua subterránea y sellen sus pozos, mediante pagos anuales a los agricultores para que puedan seguir cultivando de temporal o seco; esto podría financiarse con el ahorro que se tendría por usar menos energía eléctrica subsidiada	requiere que el registro de derechos de agua esté razonablemente actualizado; en algunos casos, cuando el pozo se hubiera secado o su caudal hubiera disminuido, los derechos de uso de agua podrían ser hipotéticos, y la contribución real a la reducción del desequilibrio de agua subterránea de la renuncia al derecho sería menor; el riesgo de crear problemas sociales por la migración de agricultores marginales a las ciudades podría contrarrestarse al fomentar que su organización colectiva compartiera pozos, equipos de riego y comercialización de cultivos
<b>Mejora de la Eficiencia del Uso de Agua para Riego</b>	proporcionar servicios financieros para subvenciones y préstamos y servicios de extensión agrícola para facilitar la introducción de técnicas de riego eficiente, sin cambiar el régimen general de producción agrícola	se obtienen ahorros reales de agua subterránea solamente si se reduce la evapotranspiración no benéfica u otras pérdidas de agua no recuperables, si no se permite la expansión del área regada y/o los dobles cultivos y si se reducen los derechos de agua; se necesitan ciertos apoyos agronómicos y para la comercialización de cultivos
<b>Cambios Radicales en el Régimen de Producción Agrícola</b>	introducir horticultura intensiva bajo cubiertas de plástico o en invernaderos con riego por goteo y técnicas de ferti-irrigación	se requiere de grandes inversiones y servicios de extensión sostenidos; la comercialización de productos puede ser problemática y requerir grandes esfuerzos; por ende, es una medida que puede dar resultados a largo plazo
<b>Recolección y Reúso del Aguas Residuales Urbanas</b>	libera agua subterránea para satisfacer la creciente demanda urbana (reduciendo así esta limitante en la expansión industrial/comercial) y aprovecha las aguas residuales para reúso agrícola, con lo que se aumenta considerablemente la productividad general del agua	amplio potencial, pero actualmente la proporción de áreas urbanas con red de alcantarillado es generalmente baja (25-35%), lo que implica que la mayor parte de las aguas residuales son devueltas a los acuíferos someros dentro del área urbana y no están disponibles para reúso agrícola; a más largo plazo la instalación de redes de alcantarillado puede ser financiada con esquemas existentes para reinvertir los cargos por uso de agua, pero se debe tener cuidado con el control de la calidad del agua residual, el tipo de cultivo que se riegue, y la contaminación de los acuíferos vulnerables

Las medidas potenciales de gestión de recursos de agua subterránea se resumen en la Tabla 2, en orden de probable factibilidad para implementarlas en campo, tomando en cuenta la realidad de las condiciones institucionales actuales y los puntos de vista de diversos usuarios y funcionarios de los COTAS. Cabe resaltar que la factibilidad de todas estas opciones depende de que opere un sistema efectivo de derechos de agua subterránea, ya que implican la reducción o reasignación del uso del recurso.

A corto plazo, lo mejor podría ser una combinación de las primeras cuatro opciones, en la que la SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), la CNA y la CEAG trabajen estrechamente con los COTAS para ganarse la confianza y el compromiso de los agricultores en cuanto a:

- la factibilidad financiera y operativa de las medidas agrícolas para ahorrar agua
- el beneficio económico a largo plazo que se acumularía si estos ahorros efectivamente ‘se dejaran en el acuífero’
- el hecho de que limitar el uso del agua no necesariamente implica menores ingresos en las fincas, y que el objetivo fundamental es el de aumentar la productividad del agua (en términos de ingreso por m<sup>3</sup>).

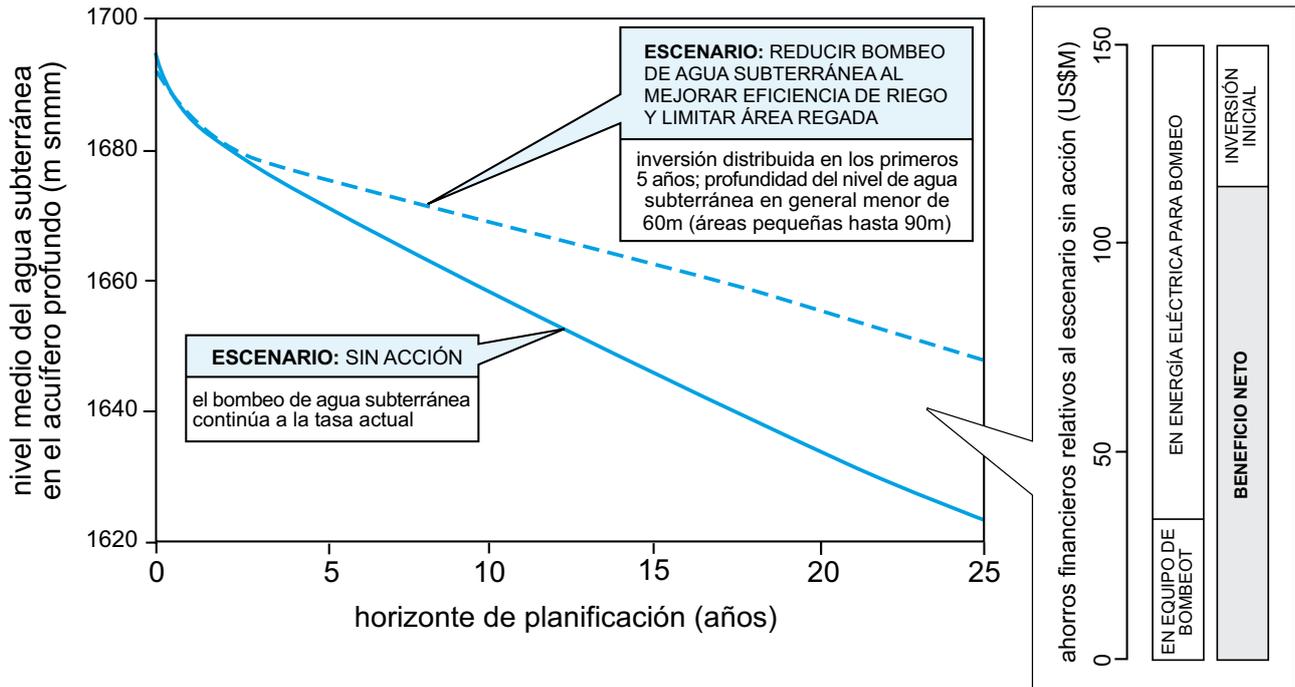
Además es posible en algunos sitios mejorar la recarga a los acuíferos por medio de estructuras retenedoras de poca altura en las laderas a lo largo de arroyos pequeños para mejorar la infiltración en sus cauces, de la colocación de columnas de drenado para mejorar la infiltración durante las inundaciones en las planicies, y de medidas para reducir la erosión del suelo y retener el escurrimiento en las laderas permeables. Sin embargo, todavía no se ha comprobado que dichos métodos sean efectivos para recargar el acuífero profundo, y pueden interceptar parte del flujo al río Lerma requerido para apoyar a los usuarios aguas abajo.

### **Reducción de la Incertidumbre en los Balances de Recursos de Agua Subterránea**

La evaluación de recursos de agua subterránea y su modelación para efectos de gestión ha avanzado considerablemente en años recientes, como resultado de la iniciativa de la CNA y la CEAG. Pero las condiciones geológicas locales la complican, ya que hay una extensa región de colinas volcánicas que forma áreas de recarga distantes, las cuales alimentan con agua subterránea a los amplios valles que tienen rellenos espesos de depósitos aluviales, lacustres y volcánicos. Esta compleja geología lleva a:

- la necesidad de definir fronteras laterales algo arbitrarias para las unidades del acuífero modeladas que se ubican en las áreas del fondo del valle (donde se concentra casi toda la extracción de agua subterránea y, por ende, la información disponible) cuyas relaciones con las áreas de recarga en la región vecina de colinas son inciertas
- la presencia de un sistema acuífero multi-capas en el que los horizontes más profundos generalmente contienen la mayor disponibilidad de agua, pero cuyas relaciones con los horizontes acuíferos suprayacentes (ahora colgados) son inciertas.

**Figura 4: Resultado de la modelación del escenario de gestión para el sistema acuífero Silao-Romita, usando el modelo numérico de acuífero existente MODFLOW integrado con información económica para regímenes seleccionados de producción agrícola**



Sin embargo, la incertidumbre resultante sobre la estimación de los componentes del balance de agua subterránea (que afecta las modelaciones numéricas para la gestión del acuífero) no es tan grande como para poner en duda la urgente necesidad de medidas de gestión de la demanda. Los depósitos del relleno del valle en la mayoría de las áreas son de gran espesor y los volúmenes de reserva almacenados en el acuífero aún son importantes, y no hay pruebas de salinidad excesiva en el fondo. Sin embargo, los niveles descendentes de agua subterránea ponen en duda la viabilidad de algunas actividades agrícolas (y reducen por mucho la rentabilidad de otras). Lo que es más, recientes modelaciones hidro-económicas del manto de agua subterránea descendente claramente demuestran que las relaciones beneficio/costo para diversas acciones de gestión son muy superiores a dichas relaciones para el 'escenario sin acción' (Figura 4).

No obstante, conviene hacer una evaluación comparativa de los métodos que se han usado para calcular los balances de agua subterránea del acuífero (Tabla 3) y el enfoque de considerar a la recarga vertical como incógnita, para identificar tanto los niveles potenciales de incertidumbre como cualquier escollo en su aplicación en la toma de decisiones sobre la gestión del agua subterránea.

**Tabla 3: Evaluación comparativa de métodos usados para calcular balances de agua subterránea del acuífero**

PARÁMETRO	MÉTODO DE ESTIMACIÓN	ESCOLLOS POTENCIALES
<b>Extracción de Pozos (EP)</b>	de censos por pozo, que por lo general se basan en la capacidad de la bomba instalada y los períodos de bombeo para cada pozo individual o pozos representativos de distintas clases	quizá sea el parámetro más confiable, especialmente cuando se basa en levantamientos recientes en campo, pero es mejor cuando las estimaciones se concilian con cifras independientes sobre uso agrícola obtenidas de información sobre técnicas de riego, tipo de cultivo, etc.
<b>Flujo de Entrada Sub-superficial (ESS)</b>	flujo de entrada (o a veces de salida) a través de celdas de las fronteras permeables del área modelada, estimado a partir de valores de transmisibilidad del acuífero (T) y mediciones del gradiente hidráulico (I)	posibilidad de incertidumbre debido a errores potenciales en T para las celdas específicas en que se mide I; además, se debe cuestionar si el gradiente y flujo de entrada permanecerán constantes en modelaciones con fines de predicción a largo plazo
<b>Almacenamiento Drenado del Acuífero (ADA)</b>	basado en el valor medio del abatimiento del nivel del agua subterránea a lo largo de un año y en el coeficiente de almacenamiento específico (derivado de libros de texto, pero con cierta corroboración a partir de pruebas de bombeo) para los estratos drenados; por lo general, se toma el rendimiento específico ( $S_y$ ) de depósitos de relleno de valle o piedra volcánica, aunque en algunas ubicaciones los niveles sean semi-confinados	los datos piezométricos son relativamente buenos (aunque inciertos para acuíferos profundos en partes en las que hay acuíferos colgados) pero $S_y$ es un parámetro notoriamente difícil de predecir a partir de la descripción geológica, y sujeto a marcadas variaciones con la profundidad en depósitos estratificados; por ello se corre el riesgo de suponer valores constantes durante el abatimiento del acuífero a largo plazo
<b>Componentes de Recarga Vertical</b>	estimados como la diferencia entre las estimaciones de los parámetros anteriores (EP-ESS-ADA) debido a falta de información sobre sub-componentes potenciales: recarga por precipitación directa, recarga del cauce, retornos por riego de agua superficial/ agua subterránea, infiltración de saneamiento <i>in situ</i> , fugas de acuíferos colgados (que pudieron haber interceptado todo lo anterior)	sin estimación independiente y puede estar sujeta a errores compuestos, pero en modelaciones de rutinas de auto-calibración deben identificarse estos componentes; sin embargo, para desarrollar estrategias de gestión a largo plazo y para hacer modelaciones predictivas se debe establecer una relación entre la recarga del acuífero profundo y los retornos por agua de riego/ infiltración del cauce que se verá modificada por acciones de gestión

Para la gestión de acuíferos a más largo plazo, preocupan principalmente:

- los errores potenciales en las evaluaciones y la suposición de flujos de entrada sub-superficiales estables a las unidades de gestión del acuífero, especialmente porque representan una proporción importante de la recarga calculada
- la posibilidad de que haya errores sistemáticos del valor de los flujos de entrada sub-superficiales y el almacenamiento drenado del acuífero, lo que tendría importantes implicaciones para las modelaciones predictivas
- la falta de una comprensión más detallada sobre la relación entre el flujo de retorno de riego y la recarga del acuífero profundo; por ende, puede haber cierta incertidumbre sobre si las medidas diseñadas para el ahorro de agua de riego (tanto en la distribución como a nivel de parcela) efectivamente contribuirán a recuperar los niveles del agua subterránea en el acuífero profundo.

No es posible resolver la mayoría de estas incertidumbres con una campaña de mediciones a corto plazo y simplemente se deben tener en cuenta al interpretar los resultados que arrojen las modelaciones numéricas del acuífero y al formular las estrategias de gestión correspondientes. A la larga, es posible mejorar la comprensión y, por lo tanto, afinar las estrategias de gestión de los acuíferos, siempre que se lleve un monitoreo mejorado (que incluya un control más preciso de la ubicación y profundidad de los puntos de medición), acoplado e integrado con una investigación en campo del sistema suelo-agua bajo diversos regímenes de cultivo y riego.

## **EVALUACIÓN DE LOS AVANCES LOGRADOS POR LOS COTAS**

En la fase inicial, el objetivo principal de los COTAS fue esencialmente crear consenso para realizar en el futuro una gestión integrada de los recursos hídricos y para aceptar las iniciativas de gestión de la demanda, y se ha puesto énfasis en:

- mejorar la información sobre los usuarios de agua subterránea y establecer un diálogo con ellos
- proporcionar servicios a la comunidad de usuarios de agua subterránea
- apoyar las campañas de comunicación pública sobre la importancia, la situación y las necesidades de gestión de los recursos de agua subterránea
- facilitar y apoyar el monitoreo de los niveles, el uso y la calidad del agua subterránea.

Para estas y futuras tareas es importante no tomar en cuenta a los COTAS de manera aislada, sino como organizaciones intermedias independientes ubicadas entre los usuarios individuales o los grupos de usuarios y las oficinas de los gobiernos estatal y federal cuya responsabilidad global es la administración y protección de los recursos de agua subterránea (Tabla 4). Aunque los COTAS han proporcionado servicios a los usuarios de agua subterránea:

- son principalmente organizaciones en las que se pueden agrupar y representar todas las categorías de usuarios de agua subterránea
- en general necesitan ampliar su base de miembros activos para garantizar que sean realmente representativas.

### **Diálogo Constructivo con Usuarios de Agua Subterránea**

Cada COTAS está creando un directorio de todos los usuarios de agua subterránea para facilitar la comunicación. Cada año convocan por lo menos a dos Asambleas Generales con los usuarios de agua subterránea para debatir sobre asuntos clave relacionados con el recurso, sobre acciones que se están realizando y sobre las medidas que se necesitan, y también se reúnen individualmente con grupos más pequeños de usuarios. Además, la Mesa Directiva de los COTAS se reúne con más frecuencia para evaluar los avances y asesorar al Gerente General sobre el programa de trabajo. Estas mesas directivas se han convertido al mismo tiempo en un importante vehículo para el diálogo intersectorial sobre los recursos de agua subterránea.

### **Servicios Proporcionados a los Usuarios de Agua Subterránea**

Como parte de los esfuerzos por fortalecer el diálogo con los usuarios de agua subterránea, los COTAS han logrado considerables éxitos en la prestación de servicios orientados a los usuarios, tales como:

- asesoría legal para reunir la documentación necesaria para obtener los derechos adecuados de uso de agua subterránea y/o para obtener acceso a los programas de apoyo público
- evaluación de la eficiencia electro-mecánica de las bombas de pozo, así como asesoría para mejorar su eficiencia.

Para complementar estos servicios, el Consejo Estatal de Agua de Guanajuato está promoviendo un centro de información agro-meteorológica que proporcione pronósticos del clima con el fin de mejorar las prácticas de riego.

### **Campañas de Comunicación con los Grupos Interesados y Educación Pública**

Algunos COTAS producen materiales de divulgación (como revistas, carteles y calcomanías) para llamar la atención del público sobre la 'crisis de los recursos de agua subterránea' y crear una cultura de conservación del agua. Otros participan en reuniones públicas periódicas y han ganado presencia como líderes de opinión en los medios de comunicación locales. Esto implica cierto riesgo de que se propaguen ideas erróneas, pero los beneficios de que los temas de agua subterránea estén entre los más importantes de las agendas locales compensa con creces los tropiezos que se puedan presentar ocasionalmente. Una iniciativa local aún más ambiciosa fue el Taller Internacional sobre Vulnerabilidad y Riesgos del Agua Subterránea, organizado por el COTAS Irapuato-Valle en Salamanca en mayo de 2003, con el fin de buscar soluciones a los problemas creados por la fuerte contaminación del acuífero somero y el riesgo de contaminación del acuífero profundo debido al fenómeno de asentamiento del terreno.

### **Inventario de Pozos y Monitoreo de los Acuíferos**

Desde 1988 todos los COTAS han trabajado con la CEAG en campañas bianuales de mediciones piezométricas basadas en una red de 927 pozos de producción y 10 pozos de observación profundos. También han recibido copia del registro de usuarios de agua subterránea de la CEAG, que incluye la referencia geográfica, los detalles de construcción y la información de los usuarios de unos 15.700 pozos, y están realizando una labor valiosa al apoyar al gobierno estatal en la validación, actualización y corrección de esta base de datos. Sin embargo, este proceso todavía está lejos de completarse satisfactoriamente y es importante que se hagan esfuerzos renovados, en colaboración con la CNA y la CFE (Comisión Federal de Electricidad), para generar una base de datos confiable de los usuarios inscritos en el REPDA (Registro Público de Derechos de Agua); posteriormente, será necesario que la CNA tome medidas para garantizar que cada usuario tenga un 'título' en el que la extracción concesionada coincida con la extracción real.

**Tabla 4: Funciones de gestión del agua subterránea que ilustran el ámbito potencial y la interacción necesaria de los COTAS**

FUNCIONES	ORGANIZACIONES SOCIALES			OFICINAS GUBERNAMENTALES		
	USUARIOS	COTAS	CEH o CC	CEAG	CNA-GE/OC	OTROS
obtener/apegarse a los derechos de uso de agua subterránea	R	a			H	
operación y mantenimiento de pozo/sistemas	R	a		a		
medición de extracción del agua subterránea	R	a			H	
formular/implementar planes de gestión de agua subterránea	R	c	c	a	H	R
denunciar pozos/perforaciones clandestinos	c	R			H	
denunciar fuentes potenciales de contaminación de agua subterránea	c	R			H	a
conciliar información sobre uso de agua subterránea y energía	c	R		a	a	a
mantener actualizado el perfil de usuarios/usos de agua subterránea	c	R		a	H	
actualizar la información sobre la situación de los acuíferos		R		a	a	
promover campañas de comunicación para el público en general		c	R	R	a	
monitoreo de nivel, uso y calidad del agua subterránea	c	c		R	R	
movilización y evaluación de las contribuciones de los COTAS	c		c	R		
actualizar periódicamente el sistema de derechos de agua subterránea	c	c			R	
controlar la descarga y el reúso de aguas residuales/desechos sólidos	R*	c		a		E
resolver disputas entre usuarios/contaminadores de agua subterránea	c	c		a	R	c
formular/implementar medidas de ahorro de agua	R*	c	c	c	H	c
formular/implementar ordenamiento territorial	c*	c	c	c		R y E

R responsable  
H hacer cumplir  
c contribución  
a apoyo

COTAS – organización de gestión de acuíferos  
USUARIOS – individuos o asociaciones de usuarios de agua subterránea  
CEH o CC – consejo estatal de recursos hídricos o consejo de cuenca  
CEAG – agencia estatal del agua  
CNA-GE/OC – comisión nacional de recursos hídricos (oficina estatal o nacional)  
OTROS – control ambiental o producción y asesoría agrícola

\* los promotores del desarrollo urbano pueden desempeñar este papel más que los usuarios

## FACTORES CRÍTICOS PARA LOGRAR ÉXITO EN EL FUTURO

### Apoyo de las Instituciones Gubernamentales

La meta fundamental de los COTAS concebida originalmente es proporcionar la base social para promover las medidas para frenar y a la larga eliminar el agotamiento de los acuíferos. Las experiencias obtenidas hasta la fecha indican claramente que los COTAS no pueden lograr esta meta por sí solos, pero tampoco la 'administración del agua' podría lograrla sin los COTAS. La complejidad institucional de la administración y protección de los recursos de agua subterránea resulta evidente en la Tabla 4. Dada la urgencia de agilizar la gestión del agua subterránea, es vital que las oficinas de los gobiernos federal y estatal (especialmente la CNA) revisen y fortalezcan sus interfaces con los COTAS, para garantizar que esta iniciativa en la gestión desde abajo ('bottom-up') no falle por falta de acción desde arriba ('top-down') mediante procedimientos legales complementarios y decisiones de política.

La labor de gestión de los recursos de agua subterránea requiere de una asociación estrecha entre la administración federal de recursos hídricos (CNA), la agencia estatal de agua (CEAG) y los COTAS, pero la escasa capacidad de la CNA para hacer valer la legislación vigente sobre las concesiones de aguas subterráneas y la perforación clandestina de pozos constituyen obstáculos importantes. Sin embargo, las mejoras que se están dando en el registro del uso del agua subterránea, principalmente por acción de los COTAS con el apoyo de la CEAG son un paso importante en la dirección deseada. Se podría facilitar la finalización de esta tarea prioritaria con un acuerdo entre la CNA y la CEAG para inyectar fondos adicionales al FIPASMA, lo que permitiría a los COTAS contribuir con trabajo de campo y oficina bajo la supervisión de la CNA, aunque hace falta que ésta realice una labor jurídica importante como autoridad del agua para definir la situación de los volúmenes de extracción.

### Enfocar los Esfuerzos para Lograr Ahorros Reales de Recursos de Agua Subterránea

Existe el riesgo de que algunos COTAS, al involucrarse cada vez más en una amplia gama de actividades locales relacionadas con el agua, puedan perder de vista el objetivo fundamental de frenar y a la larga eliminar el agotamiento de los acuíferos. Para reafirmar los objetivos fundamentales convendría que cada COTAS (con la colaboración activa de la CEAG) preparara un documento ejecutivo (de unas 8 páginas), que incluyera una descripción de la ocurrencia del agua subterránea a nivel local, un diagnóstico sobre el estado de los recursos y la calidad del agua subterránea, así como las opciones de gestión preferibles para lograr la sustentabilidad y sus implicaciones para los usuarios y grupos interesados.

Es vital que en este documento ejecutivo, y en las acciones de gestión para darle seguimiento, se ponga un gran énfasis en lograr un 'ahorro real de los recursos de agua subterránea', y no solamente en introducir tecnologías más eficientes del uso de agua. Las medidas que reduzcan las pérdidas de agua por evaporación o infiltración no benéfica a cuerpos de agua de baja calidad, ya sea en la agricultura de riego o en el contexto urbano, son indispensables. El razonamiento es sencillo, pero la implementación puede resultar compleja. Los programas de ahorro de agua subterránea pretenden reducir el uso consuntivo de agua tanto como sea posible, sin reducir los ingresos de los agricultores, por medio del aumento de la productividad económica por metro cúbico de agua utilizada. Pero también requieren de:

- reducciones concomitantes de los volúmenes de agua subterránea concesionados y, en muchos casos, restricciones para que no se amplíe la superficie bajo riego
- reasignación del recurso de agua subterránea y adecuación de las concesiones correspondientes para las comunidades urbanas, las industrias y las áreas rurales, cuando las aguas residuales de las dos primeras se reutilicen en agricultura de riego.

Dado el papel crítico que juega la gestión de la demanda de riego en la estrategia general de los recursos de agua subterránea, también hace falta intensificar la colaboración de los COTAS con los servicios de extensión, apoyo y comercialización agrícola. Además, debido a que la disponibilidad de agua superficial y la eficiencia con que se usa para el riego impactan el uso del recurso de agua subterránea, sería sensato acordar que los COTAS estuviesen representados en las asociaciones de usuarios de los módulos de riego con agua superficial.

### **Prestar Mayor Atención a la Calidad del Agua Subterránea**

Los temas de calidad del agua subterránea, tales como las medidas para minimizar los riesgos de salinización y contaminación, son de gran relevancia. La CEAG ha iniciado una importante labor en este aspecto por medio de la consolidación de una red de monitoreo de la calidad del agua subterránea así como de un programa de mapeo de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos y un inventario de fuentes de contaminación en áreas prioritarias. Sin embargo, esto no es el fin en sí, sino un medio para facilitar la participación de los COTAS y de la comunidad en la gestión de la calidad del agua subterránea, pero también se requiere de la voluntad política y los esfuerzos coordinados de una serie de oficinas del gobierno estatal (Tabla 4), para lograr avanzar en este rubro.

### **Lograr la Sustentabilidad Financiera y Asegurar la Representación Equilibrada**

Se cuenta con un plan a corto plazo para financiar a los COTAS durante un período de cinco años a partir de 2004 por medio de una extensión del FIPASMA. A plazo más largo, se debe lograr la sustentabilidad financiera, de preferencia usando parte de las cuotas por derechos de extracción de agua subterránea (recaudadas por el gobierno federal) para financiar los costos de operación. En la actualidad, el presupuesto del FIPASMA para apoyar a los COTAS (proporcionado por el gobierno estatal) equivale a un 2% de las cuotas recaudadas por el gobierno federal en el estado de Guanajuato. Otros posibles mecanismos de financiamiento incluyen:

- la inyección de fondos federales al FIPASMA para permitir que los COTAS coadyuven con la CNA en labores de campo para apoyar la gestión de recursos de agua subterránea
- el cobro a usuarios de agua subterránea de una cuota de membresía en los COTAS a cambio de representarlos y proporcionarles servicios.

Ya que la integración resulta clave para que el modelo de organización COTAS tenga éxito, su personal debe estar preparado para integrar los distintos programas tanto de apoyo financiero como de asistencia no monetaria de agencias federales, estatales, municipales o privados, según las circunstancias y necesidades locales. A la fecha, los municipios más pequeños han mostrado más disposición y han prestado un apoyo más diversificado a los COTAS, que las ciudades más grandes (como León y Celaya), las cuales han sido más renuentes a tomar parte en las iniciativas de los COTAS y a financiar sus esfuerzos.

## Comentarios Finales

No hay duda que la participación de la comunidad es un componente esencial para avanzar en la gestión y protección, y en este sentido los COTAS son un valioso modelo institucional. Pero se debe reconocer que la acción constructiva de la comunidad no puede lograrse sin que el gobierno local lleve a cabo acciones cuidadosas de facilitación, y que las organizaciones de grupos interesados/usuarios no pueden tener éxito en la conservación de los recursos de agua subterránea sin la acción complementaria de todos los niveles del gobierno que estén implicados; de hecho, la acción ‘desde abajo’ debe facilitarse ‘desde arriba’.

Para que el gobierno estatal evalúe periódicamente el progreso de los COTAS en la consecución de sus objetivos fundamentales de gestión del agua subterránea, podría utilizar tres indicadores de desempeño semi-independientes:

- primero, la situación de los recursos de agua subterránea, que incluirían tendencias del nivel promedio del agua subterránea, reducciones del volumen de extracción y mejoras en la productividad del uso del agua
- segundo, y mucho más difícil de medir, un indicador de la calidad del agua subterránea
- tercero, indicadores institucionales como la proporción de usuarios de agua subterránea que son ‘miembros activos’ de los COTAS, el nivel de autofinanciamiento de la organización y el nivel de inscripción en el REPDA.

Sin embargo, es importante reconocer que los dos primeros grupos de indicadores dependen de la cooperación de diversas agencias, y que si no se lograran los avances deseados no necesariamente implicaría que los COTAS en sí no estuvieran funcionando al nivel esperado.

### Publicación

La Colección de Casos Esquemáticos del GW•MATE ha sido publicada en inglés por el Banco Mundial, Washington, D.C., EEUU. La traducción al español fue realizada por Héctor Garduño. También está disponible en formato electrónico en la página de Internet del Banco Mundial ([www.worldbank.org/gwmate](http://www.worldbank.org/gwmate)) y la página de Internet de la GWP – Asociación Mundial del Agua ([www.gwpforum.org](http://www.gwpforum.org)).

Los resultados, interpretaciones y conclusiones expresados en este documento son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista del Directorio Ejecutivo del Banco Mundial ni de los gobiernos en él representados.

### Patrocinio económico



El GW•MATE (Groundwater Management Advisory Team – Equipo Asesor en Gestión de Aguas Subterráneas) es parte del Bank-Netherlands Water Partnership Program (BNWPP) y usa fondos de fideicomiso de los gobiernos holandés y británico.

