

Gestión Sustentable del Agua Subterránea

Conceptos y Herramientas

Serie de Notas Informativas Nota 3

Estrategias para la Gestión del Agua Subterránea facetas del enfoque integrado

2002-2005

Autores (Grupo Base del GW•MATE)

Stephen Foster¹ Albert Tuinhof² Karin Kemper Héctor Garduño Marcella Nanni
(¹autor líder ²autor de apoyo principal)

¿Qué enfoques se necesitan para estabilizar acuíferos sumamente estresados?

- Esta nota informativa explica las estrategias técnicas para hacer frente a situaciones de explotación excesiva e inestable de las aguas subterráneas; el marco institucional para su implantación se aborda en las **Notas Informativas 4, 5 y 6**. En este aspecto, resulta útil la siguiente subdivisión fundamental de opciones para el manejo del recurso (Tabla 1):
 - **intervenciones para gestión de la demanda**
 - **medidas de ingeniería para incrementar la oferta.**
- Aunque la gestión del agua subterránea se lleva a cabo a nivel local del acuífero, **las políticas nacionales sobre alimentos y energía** pueden ejercer una influencia primordial sobre el comportamiento de quienes extraen agua subterránea (**Nota Informativa 7**) y, por ende, sobre las presiones para la explotación del recurso y las tensiones en su gestión. De estas presiones, quizá las más importantes sean los subsidios a la electricidad rural, a la perforación de pozos, a los equipos de bombeo, y a los precios de granos y leche. En términos generales, siempre se deben revisar estos subsidios y considerar la posibilidad de reorientar los ingresos involucrados hacia tecnologías para el ahorro del agua y/o de apoyar sólo a los miembros más necesitados de la comunidad.
- Siempre es esencial enfrentar el tema de limitar la demanda de extracción de agua subterránea (Tabla 1), ya que esto normalmente contribuirá más a equilibrar el acuífero, y siempre será necesario a largo plazo en regiones más áridas y densamente pobladas. El **concepto de ahorro real de agua** es crítico en este aspecto—estos ahorros sólo incluyen las reducciones de evaporación (esto es, el uso consuntivo) y las pérdidas a cuerpos de agua salada, pero no las reducciones que hubieran generado recarga de los acuíferos. Por ejemplo, en áreas urbanas, se puede lograr un ahorro real de agua al reducir las fugas de las tuberías y la infiltración de aguas residuales, pero sólo donde generen descarga a cuerpos de agua salobre o creen problemas de drenaje.

MITO

‘la transferencia de agua y otras medidas relacionadas con el incremento de la oferta son un prerequisite para la recuperación de acuíferos de los que se ha extraído excesivamente’

REALIDAD

una gestión de la demanda bien enfocada es la que generalmente resuelve el problema y, de todas formas, generalmente será esencial a largo plazo

Tabla 1: Acciones sobre la oferta y la demanda para la gestión de los recursos de agua subterránea

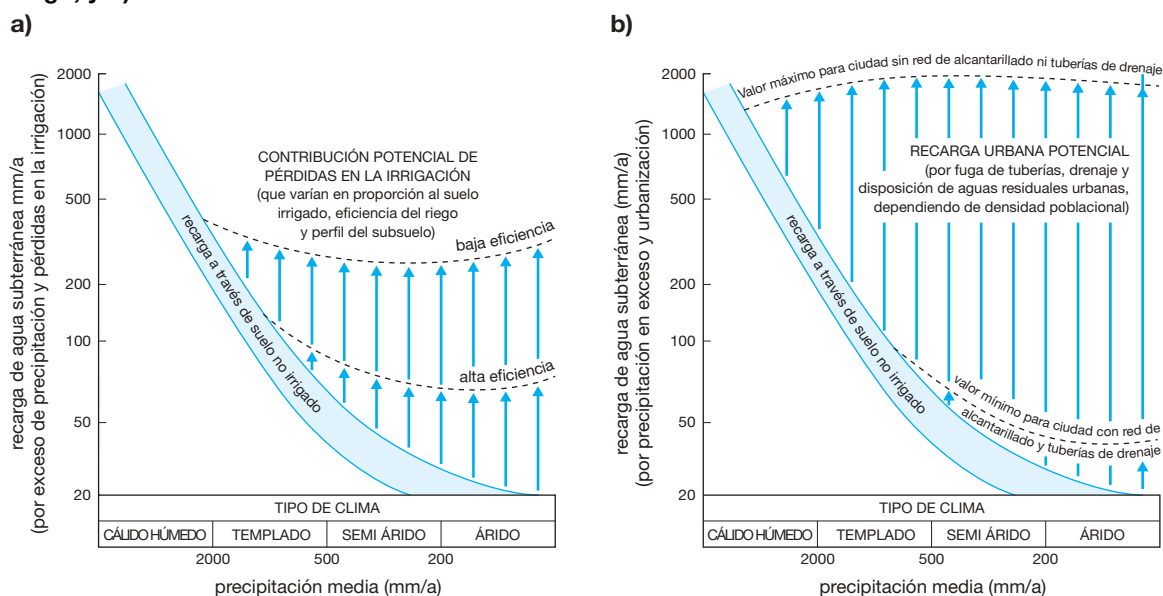
NIVEL DE ACCIÓN	INTERVENCIONES PARA LA GESTIÓN DE LA DEMANDA	MEDIDAS DE INGENIERÍA PARA INCREMENTAR LA OFERTA
Agricultura de riego	<ul style="list-style-type: none"> ● ahorro real de agua obtenido parcialmente con: <ul style="list-style-type: none"> – tuberías de baja presión para distribuir agua – promover cambio de cultivos y/o reducir el área irrigada – conservación agronómica del agua 	<ul style="list-style-type: none"> ● técnicas locales de cosecha de agua ● estructuras apropiadas para mejorar la recarga (ya sea capturando el escurrimiento superficial local o en ocasiones con agua superficial transferida)
Centros Urbanos Principales	<ul style="list-style-type: none"> ● ahorro real de agua obtenido en ocasiones con: <ul style="list-style-type: none"> – reducción de fugas de tuberías y/o de uso de agua – reducción del consumo de lujo (regar el jardín, lavar el coche) 	<ul style="list-style-type: none"> ● reciclaje y reúso urbano de aguas residuales (que incluye recarga controlada y/o incidental a los acuíferos tanto por saneamiento <i>in situ</i> como por fugas de redes de alcantarillado (Nota Informativa 12))

- Siempre se deben fomentar medidas complementarias para incrementar la oferta local (Tabla 1), como **cosecha de agua de lluvia**, **mejora de la recarga de los acuíferos** (con escurrimiento superficial excesivo), y **reúso de aguas residuales urbanas**, sobre todo donde las condiciones sean favorables. A menudo, tales medidas son importantes porque ayudan a mejorar las relaciones con los usuarios de agua subterránea y pueden constituir un primer paso para inducirlos a participar en la gestión de los acuíferos.

¿Se puede reducir el uso del recurso de agua subterránea en la agricultura de riego?

- Este tema debe recibir atención primordial puesto que, en la mayoría de las regiones, la agricultura es el principal consumidor de los recursos de agua subterránea. Además, el riego excesivo a menudo es un componente importante de la propia recarga de los acuíferos (Figura 1) que hace de ella un recurso a su vez disponible para otros usuarios de agua subterránea o para aportar flujo base a los ríos aguas abajo. Sin embargo, mientras un aumento en la eficiencia de riego representa un ‘ahorro de energía’ (ya que se necesita menos bombeo), no necesariamente representa un ‘ahorro del recurso hídrico’ (porque el agua de todas formas pudo haber vuelto al acuífero).
- En ocasiones, aunque se mejore la eficiencia del uso del agua para riego y se incremente la productividad del agua y el ingreso de los agricultores, también se puede provocar el desequilibrio de los recursos de agua subterránea como resultado de:
 - sustituir incrementos en la evaporación/evapotranspiración a nivel de campo (en riego por aspersión) en lugar de flujos de retorno importantes (en riego por inundación)
 - hacer viable la expansión del área de riego dominada y de la propia área cultivada (al incrementar la capacidad de entrega con sistemas presurizados)
 - facilitar la introducción de cultivos de más alto valor, que hacen factible que los agricultores hagan los pozos más profundos y bombeen agua subterránea de mayores profundidades.
- Sólo aquellas modificaciones a las prácticas de irrigación y cultivo que reducen la ‘**evapotranspiración no benéfica**’ o las ‘**descargas no benéficas a cuerpos de agua salada**’ de hecho representan ‘ahorros reales de agua’ (aunque estos componentes no puedan ser cuantificados en forma precisa de manera fácil). En consecuencia, el propósito principal de la gestión de la demanda agrícola para la conservación del recurso de agua subterránea debe ser reducir (a) la evaporación del sistema de distribución de agua para irrigación, (b) la evaporación de la tierra entre hileras de cultivos, (c) la evapotranspiración del propio cultivo que no se traduce efectivamente en rendimiento agrícola, (d) la evapotranspiración freática directa por vegetación no deseada y (e) la evaporación directa durante el riego por aspersión.

Figura 1: Efecto típico sobre las tasas de recarga de agua subterránea de: a) agricultura de riego; y b) infraestructura hidráulica urbana



- las flechas verticales indican el aumento potencial de recarga de agua subterránea en escenarios de eficiencia variable en el uso de agua, suponiendo que las pérdidas por irrigación y fugas urbanas se infiltran libremente a un acuífero no confinado
- los efectos de esta recarga ocasionada por el hombre serán más evidentes en el acuífero cuando el agua superficial importada (y no agua subterránea local) sea la fuente principal de irrigación y suministro urbano

- Generalmente hay un amplio margen para lograr este tipo de ahorros agrícolas de agua mediante:
 - **medidas de ingeniería:** como distribución de agua para irrigación por medio de tuberías de baja presión (en lugar de canales de tierra) y aplicación de agua para irrigación con tecnología de goteo y micro aspersión
 - **medidas de gestión:** para mejorar la programación del riego y la gestión de humedad del suelo
 - **medidas de agronomía:** como arado profundo, acolchado de paja y plástico, y el uso de cepas/semillas mejoradas y agentes resistentes a las sequías.

Si se necesitan mayores ahorros de agua, también se debe considerar la posibilidad de cambiar el tipo de cultivo y el uso del suelo (por ejemplo, por medio de cultivos de más alto valor en invernadero, o de utilizar una proporción de la tierra de riego para cultivar en secano especies resistentes a las sequías). Una opción aún más radical sería la de prohibir cierto tipo de cultivos irrigados en áreas cuyas condiciones de agua subterránea sean críticas.

- El éxito que tengan las medidas agrícolas de ahorro de agua para reducir el descenso de los niveles de agua en los acuíferos depende directamente de que estos ahorros se traduzcan en reducciones permanentes en los derechos de extracción de los pozos y del bombeo en sí. Es esencial que los ahorros de agua no se usen para expandir el área irrigada o para aumentar el uso de agua en otros sectores. Esto requerirá de un sistema flexible de derechos de extracción y de incentivos claros para que los usuarios actúen en el interés colectivo, que es la conservación del recurso. En la interfaz urbano-rural, la reasignación del recurso hacia usos comerciales

MITO

➤ **aumentar la 'eficiencia del uso de agua para irrigación' forzosamente lleva a 'la conservación del recurso de agua subterránea'**

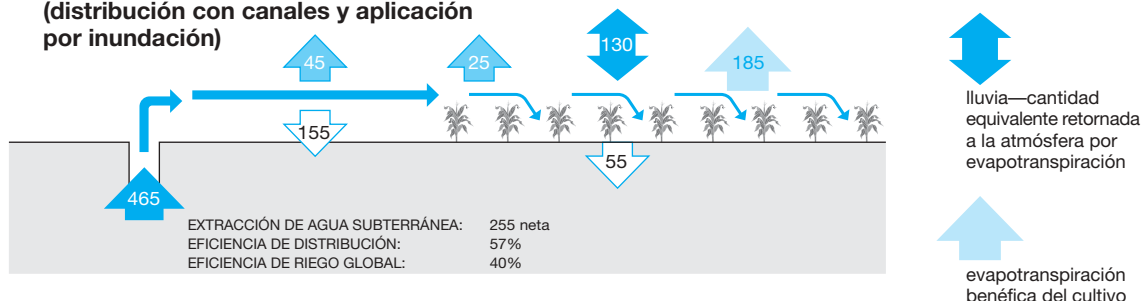
REALIDAD

➤ *en la práctica, a menudo puede suceder lo contrario, como resultado de reducciones importantes en los flujos de retorno de la irrigación, aumento de la evaporación a nivel del campo y expansión del área irrigada*

Figura 2: Técnicas mejoradas de riego agrícola que conducen al ahorro real del recurso hídrico

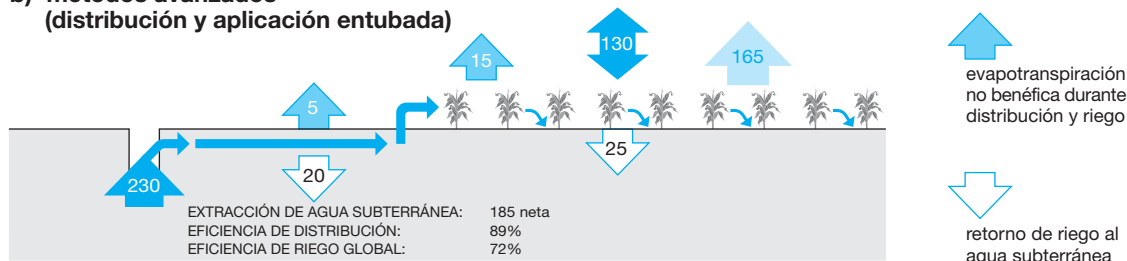
a) métodos tradicionales

(distribución con canales y aplicación por inundación)



b) métodos avanzados

(distribución y aplicación entubada)



- la extracción bruta de agua subterránea se reduce en 235 (465–230) (que representa un ahorro de 51% de energía de bombeo)—frecuentemente se asegura que esto también es el ahorro de agua, pero en realidad hay que considerar el retorno de riego al agua subterránea y el ahorro real de agua es la reducción de la extracción de agua subterránea neta de 70 (255–185), o sea 27%
- los datos presentados provienen de una prueba de campo comparativa monitoreada en la Planicie Septentrional de China—las unidades son mm equivalentes sobre 65 ha de trigo de invierno bajo riego durante la temporada seca de cultivo

e industriales más productivos se puede promover mejor si la municipalidad correspondiente financia las mejoras en la irrigación agrícola (generando ahorros reales de agua) a cambio de derechos de extracción sobre una proporción del agua subterránea que se ahorró. Sin embargo, se debe resaltar que la posición será apreciablemente diferente cuando el agua superficial sea la fuente principal de irrigación y/o cuando el manto de agua subterránea sea muy poco profundo, ya que en esos casos la principal preocupación será el drenaje para mitigar el anegamiento y salinización del suelo.

¿Cómo se debe usar la capacidad natural de almacenamiento de un acuífero?

- De muchas maneras, el amplio almacenamiento de sistemas de agua subterránea—cuya magnitud varía considerablemente con el marco geológico (**Nota Informativa 2**)—es su ventaja más valiosa. Esta capacidad de almacenamiento no sólo incluye el agua subterránea que ya está almacenada en los sistemas acuíferos, sino también el potencial de su espacio vacío (y almacenamiento elástico) para recibir una mayor recarga (resultado, en parte, de desaguar por bombeo) (Tabla 2).
- Es importante que la planificación estratégica nacional tome en cuenta de manera adecuada los recursos de agua subterránea. Resulta necesario abordar la cuestión de política sobre ‘qué servicios son los que más se necesitan del agua subterránea’, con el fin de proporcionar metas para acciones de gestión local, pero este tema a menudo es ignorado. Por un lado, los componentes importantes del valor que tiene el agua subterránea (como costos de bombeo, accesibilidad individual, sustentar el escurrimiento en humedales de agua dulce y en climas secos) dependen de la profundidad hasta el manto freático y no del volumen almacenado. Por otro lado, en muchas situaciones el almacenamiento de agua subterránea es la única fuente de agua dulce durante períodos prolongados de sequía, y se deben encontrar maneras de explotar este recurso al tiempo que se mitigan los impactos sobre los

MITO

'el almacenamiento de agua subterránea se ha visto severamente reducido de manera generalizada, por lo que debe 'darse por perdido' como solución futura para los problemas de suministro de agua'

REALIDAD

la explotación descontrolada del agua subterránea que ha traído efectos secundarios negativos se ha generalizado, pero aún queda mucho campo de acción (si bien no hay suficiente experiencia práctica) para la ingeniería de control del almacenamiento de acuíferos para suministro de agua

servicios relacionados con el nivel de agua de los acuíferos. Se necesita con urgencia el uso más generalizado y socialmente sustentable de los almacenamientos de agua subterránea para combatir la variabilidad de la demanda de agua que resulta de sequías persistentes y cambios climáticos (en una escala de meses a décadas y más).

- Se denomina **uso conjunto** a la estrategia de gestión del recurso hídrico en que el agua subterránea y el agua superficial se usan en tandeo y se aprovechan las ventajas comparativas de ambas. Algunos ejemplos:
 - uso ineficiente de agua superficial en riego por inundación con el fin de mejorar la recarga de los acuíferos en temporada de lluvias
 - uso de agua subterránea para irrigación en períodos de sequía con el fin de reemplazar el suministro normal de agua superficial.

En la actualidad, el uso conjunto (cuando se practica) tiende a haber surgido más por accidente que intencionalmente.
- La mejora en la recarga de los acuíferos (Tabla 2) y la manipulación del almacenamiento subsuperficial permitirán a largo plazo mayores caudales promedio de extracción de agua subterránea que beneficien a todos los usuarios. Las oportunidades para mejorar la recarga de los acuíferos varían extensamente con el entorno

Tabla 2: Resumen de tipos de estructuras para mejorar la recarga de los acuíferos

TIPO	ASPECTOS GENERALES	ÁMBITO DE APLICACIÓN
Cosecha de Agua	pozos excavados/tanques a los que llega por gravedad el escurrimiento de tormentas locales para su infiltración conservación del suelo/agua por medio de terraces/arado en contorno/forestación	en poblados con densidad poblacional relativamente baja y subsuelo permeable ampliamente aplicable, pero sobre todo en terreno inclinado en las partes altas de las cuencas
Estructuras Alojadas Dentro de los Canales	presas de caucho para detener el flujo reteniendo primero el sedimento para generar agua clara presa de recarga con el embalse utilizado para infiltrar por el lecho y generar agua limpia amortiguador de lecho para desviar el flujo y aumentar la infiltración zanja sub-superficial con membrana impermeable y/o arcilla para almacenar el flujo sub-superficial	en cauces con frecuencia de escurrimiento incierta y pendiente elevada valle superior con suficiente escurrimiento ubicado sobre un acuífero con manto freático profundo ríos de cauce ancho en llanuras de piedemonte sólo valles anchos con tierras de aluvión delgadas sobre basamento de roca impermeable
Técnicas Externas a los Canales	cuencas/canales artificiales a los que se deriva el escurrimiento de tormenta eliminando sedimentos en cuenca aguas arriba esparcimiento de agua al inundar el terreno ribereño en el que ocasionalmente se cultivan cosechas tolerantes a las inundaciones	donde los depósitos aluviales superficiales son de baja permeabilidad en tierras de aluvión, beneficiando además con control de inundaciones
Pozos de Inyección	pozos de recarga hacia capas permeables de acuíferos cuyo uso se alterna para inyección/bombeo	almacenamiento/recuperación de excedentes de agua de las plantas potabilizadoras

de la cuenca hidrológica:

- en **cuencas cerradas** (el agua no llega al mar) la mejora de la recarga aguas arriba resultará en la disminución de la disponibilidad aguas abajo para los usuarios existentes, pero puede constituir un uso más benéfico del agua
 - en **cuencas abiertas** (flujo continuo al mar) la mejora de la recarga se puede practicar, pero sólo aumentará el valor marginal del agua durante sequías extremas
 - en **cuencas semicerradas** (flujo intermitente al mar) es probable que se presenten oportunidades importantes para mejorar la recarga con valor potencialmente alto.
- Se puede utilizar un rango de estructuras para la mejora de la recarga (Tabla 2), pero es importante que la selección de técnicas esté estrechamente relacionada con las condiciones del sitio hidrogeológico. Además, será necesario tomar en cuenta:
 - la calidad del agua para recarga (después de considerar los procesos naturales de atenuación de contaminantes) para no degradar el cuerpo de agua subterránea
 - asuntos institucionales en términos de recaudar inversión (¿quién paga?), prioridades de uso (¿quién se beneficia?) y arreglos de gestión (¿quién controla?).
 - Las primeras estructuras emplazadas en un área específica deben ser consideradas ‘piloto’ y monitoreadas sistemáticamente a lo largo de un periodo de 5 años para analizar su costo-efectividad (en US\$/m³ de agua cosechada). Sin embargo, la rigurosa evaluación técnica y económica de la efectividad de las estructuras para mejorar la recarga dista de ser sencilla, debido a la incertidumbre de la relación precipitación-escurrimiento. El requisito clave es estimar el escurrimiento adicional que se recarga por encima de lo que hubiera ocurrido de forma natural (es decir, la diferencia entre condiciones ‘con proyecto’ y ‘sin proyecto’).

Lecturas Adicionales

- Bouwer, H. 2002. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *IAH Hydrogeology Journal* 10: 121–142.
- Foster, S.S.D., Lawrence, A.R. and Morris, B.L. 1997. *Groundwater in urban development: assessing management needs and formulating policy strategies*. World Bank Technical Paper 390: Washington-D.C., USA.
- Foster, S., Chilton, J., Moench, M., Cardy, F. and Schiffler, M. 2000. *Groundwater in Rural Development: Facing the Challenges of Supply and Resource Availability*. World Bank Technical Paper 463: Washington-D.C., USA.
- IAH-NNC. 2003. *Management of Aquifer Recharge and Subsurface Storage*. International Association of Hydrogeologists-Netherlands National Committee. Technical Note 4.

Publicación

La Serie de Notas Informativas del GW•MATE ha sido publicada 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) y la página de Internet de la GWP – Asociación Mundial del Agua (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.

