

# Gestión Sustentable del Agua Subterránea

## Conceptos y Herramientas

Serie de Notas Informativas Nota 13

## Explotación del Recurso de Agua Subterránea en Acuíferos Menores

estrategia de gestión para el abastecimiento  
de agua de aldeas y pequeños pueblos

2002-2006

**Autores** (Grupo Base del GW•MATE)

Stephen Foster<sup>1</sup> Albert Tuinhof<sup>1</sup> Héctor Garduño<sup>2</sup> Karin Kemper Phoebe Koundouri Marcella Nanni  
(<sup>1</sup>autor líder <sup>2</sup>autor de apoyo principal)

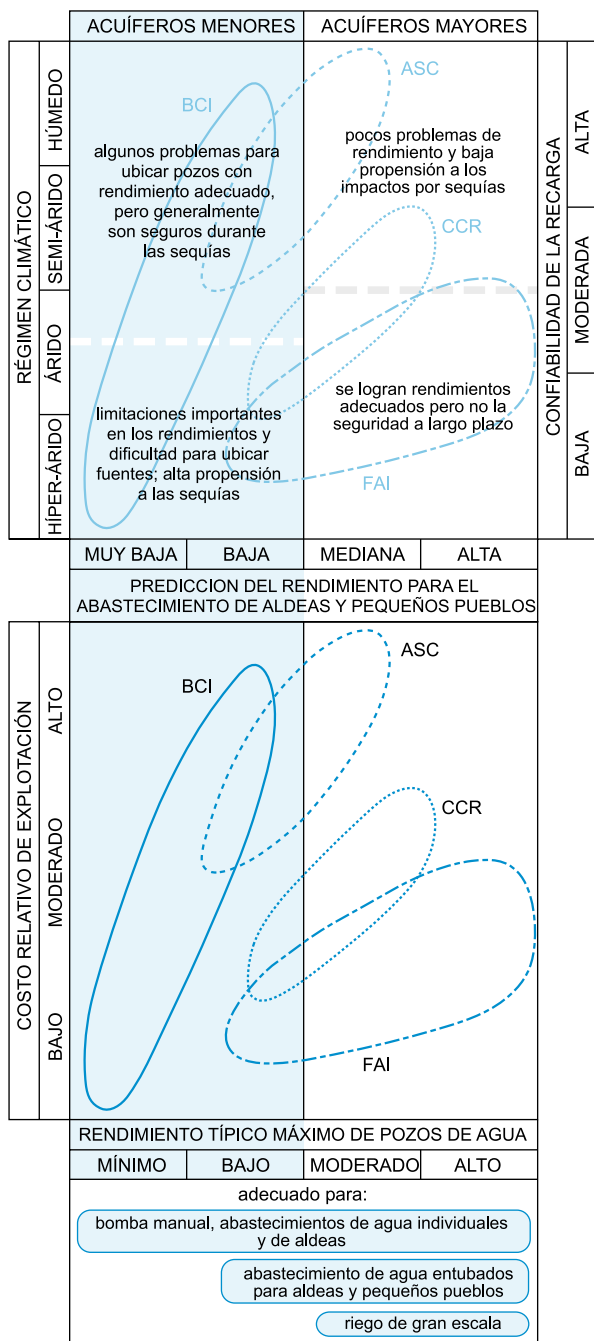
### ¿Por qué el agua subterránea juega un papel sumamente importante en el abastecimiento de agua de aldeas y pequeños pueblos?

- El agua subterránea tiene grandes ventajas como fuente de abastecimiento de pequeña escala:
  - normalmente su **calidad microbiológica y química es excelente**, con lo cual se evitan la carga financiera y la complejidad logística de una instalación de tratamiento
  - **almacenamiento y adaptabilidad/recuperación (*resilience*) natural frente a las sequías**, con lo que se evita la necesidad de construir instalaciones costosas para almacenar agua superficial
  - **distribución extendida que facilita la explotación por etapas** cercana a la ubicación de la demanda, con lo cual se reduce el tamaño de la infraestructura de distribución y por lo tanto las necesidades de inversión son menores y flexibles.
- Es precisamente por estas razones que con frecuencia la explotación del agua subterránea es la única forma económica y sustentable de mejorar el acceso al agua segura en zonas rurales. Pero, desafortunadamente, en el pasado con demasiada frecuencia el desarrollo y la expansión del suministro de agua en aldeas y pequeños pueblos no han sido planificados ni gestionados, sino que simplemente se han efectuado suponiendo que el recurso es inagotable. Para poder alcanzar las 'Metas de Desarrollo del Milenio de la ONU' es indispensable modificar este enfoque fragmentado.
- Esta Nota Informativa se centra en identificar las estrategias más eficaces de gestión para el desarrollo de fuentes de abastecimiento de agua subterránea en el medio rural, especialmente en lo que se refiere a la evolución de un programa, el diseño de proyectos y la planificación de inversiones. Sin embargo, la intención no es proporcionar una guía para localizar, diseñar, construir, operar, mantener y dar sustentabilidad financiera a los pozos de agua, porque la mayor parte de estos temas ya están ampliamente tratados en material publicado disponible.

### ¿Por qué se requiere una estrategia especial para la explotación de fuentes de abastecimiento de agua subterránea en zonas que sólo tienen acuíferos menores?

- Esta Nota Informativa trata primordialmente asuntos que afectan el desarrollo inicial y la expansión subsiguiente de fuentes de abastecimiento de agua subterránea en zonas en donde subyacen **acuíferos**

**Figura 1: Variabilidad de la predicción del rendimiento de pozos de agua y seguridad frente a las sequías en función del tipo de acuífero y el régimen climático**



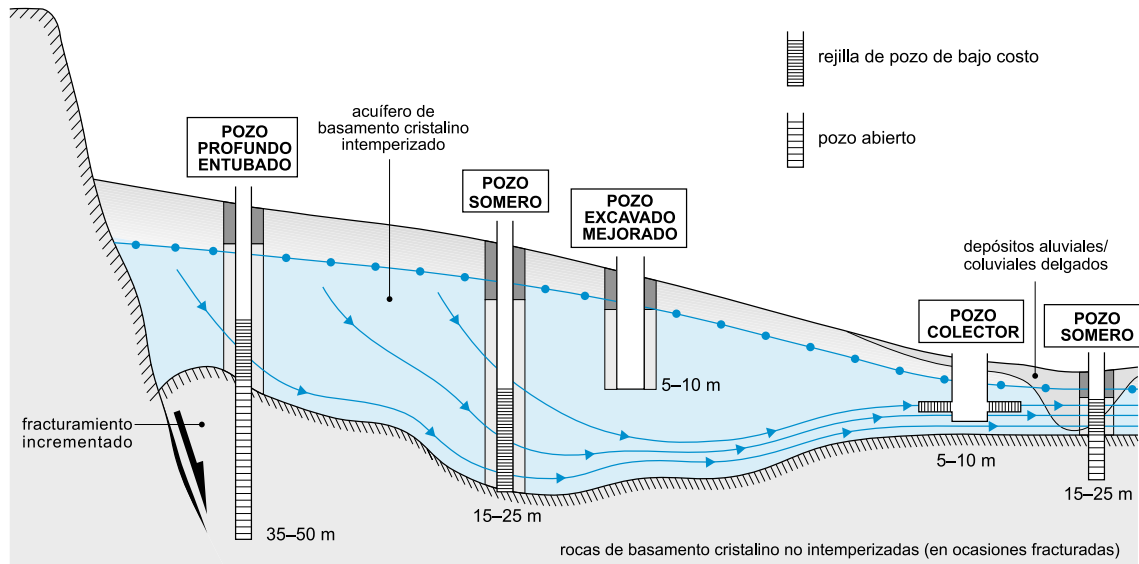
Rangos típicos indicados para los acuíferos indicados (Nota Informativa 2: Caracterización de Sistemas de Agua Subterránea):

- BCI: Basamento Cristalino Intemperizado
- - - - - ASC: Acuíferos Sedimentarios Consolidados
- ..... CCR: Calizas Costeras Recientes
- - - - - FAI: Formaciones Aluviales Importantes

menores, cuyos pozos poseen un rendimiento más limitado y menos predecible (Figura 1). Estos acuíferos incluyen rocas de basamento intemperizado (metamórficas cristalinas y meta-sedimentos) y otros acuíferos locales y discontinuos (en particular depósitos Cuaternarios y otras rocas sedimentarias consolidadas como las volcánicas de mayor edad). En los casos en que el último grupo se ubica a lo largo de ríos o arroyos, también es posible explotar el agua subterránea infiltrada en las márgenes.

- En aldeas y pequeños pueblos situados sobre **acuíferos mayores** con agua subterránea de alta calidad natural, la explotación y sustentabilidad de fuentes de abastecimiento normalmente no presenta mayores problemas, a menos que el acuífero se explote intensamente para riego agrícola. En este caso, los principales problemas que hay que enfrentar se limitan a la operación y mantenimiento de los pozos de agua, lo que puede afectar seriamente la confiabilidad y sustentabilidad de las fuentes de agua subterránea (aspecto que no se trata aquí).
- En zonas donde se cuenta solamente con **acuíferos menores** subyacentes, la preocupación principal es la disponibilidad del recurso de agua subterránea en cantidad adecuada y con calidad aceptable, pero también pueden surgir problemas de confiabilidad del abastecimiento y sustentabilidad del recurso. Usualmente tales acuíferos constituyen la única opción factible para contar con fuentes de abastecimiento de agua rural de bajo costo, confiables frente a las sequías y con calidad aceptable en extensiones extremadamente amplias, particularmente en el Sub-Sahara de África pero también en algunas partes de Asia y América Latina.
- Durante la ‘década de la ONU’ para el Abastecimiento y Saneamiento (los 1980), muchas ‘organizaciones para el desarrollo’ concluyeron que los acuíferos menores eran ubicuos y que, por lo tanto, se podría encontrar pequeñas cantidades de agua, sin necesidad de pericia hidrogeológica y/o investigación, casi en cualquier parte, de tal manera que los problemas y las demandas de las comunidades debían prevalecer sobre las consideraciones técnicas en la planificación y el desarrollo de los sistemas de abastecimiento de agua.
- Esta conclusión fue válida solamente para las condiciones más favorables (zonas menos áridas sobre rocas cristalinas

**Figura 2: Armonización del diseño de pozos de agua con las condiciones hidrogeológicas—un criterio importante para lograr un abastecimiento de agua exitoso y sustentable al nivel de aldeas y pequeños pueblos**



metamórficas profundamente intemperizadas) en aldeas en donde se utilizan bombas manuales en pozos excavados o norias (con rendimientos hasta de 10 l/min) pero no tomó en cuenta el aspecto de la calidad del agua ni el crecimiento tanto de la población como de la demanda de agua. Incluso bajo condiciones favorables, si se desea construir pozos de agua hidráulicamente eficientes, y confiables frente a las sequías, es importante armonizar el diseño del pozo con las condiciones hidrogeológicas locales (Figura 2). Las condiciones esperadas durante sequías extremas son un factor crítico que afecta lo anterior y que se pasa por alto con demasiada frecuencia.

- En realidad, con frecuencia se encuentran dificultades crecientes para obtener el rendimiento deseado y una calidad aceptable en acuíferos menores en:
  - las regiones más áridas, en donde el nivel del agua subterránea normalmente se encuentra debajo de la base de la zona intemperizada que contiene la mayor parte del almacenamiento potencial del acuífero
  - en regiones con acantilados, en donde la zona intemperizada ha sufrido una erosión importante
  - en zonas debajo de las cuales se encuentran meta-sedimentos (y no rocas cristalinas metamórficas) que se intemperizan transformándose en materiales más uniformes y de menor permeabilidad.

Para reducir la proporción de pozos fallidos, en todos estos casos se requiere:

- planificar la explotación con base en información hidrogeológica sólida obtenida de archivos nacionales sobre experiencias anteriores de perforación de pozos de agua
- realizar investigaciones hidrogeológicas y geofísicas combinadas.

**¿En qué debe diferir la estrategia de explotación de las fuentes de abastecimiento de agua subterránea en aldeas de la de pequeños pueblos?**

- Las características generales así como las principales diferencias entre el abastecimiento de agua a nivel de aldea y pequeño pueblo se resumen en la Tabla 1. Muchas regiones, primordialmente rurales, están experimentando una urbanización sumamente rápida. Las aldeas crecen y forman pequeños pueblos con más de 2.000 habitantes y muchos de los pequeños pueblos incrementan su población a 5.000 y hasta 20.000

**Tabla 1: Comparación de las necesidades y características del abastecimiento de agua a nivel de aldea y pequeño pueblo**

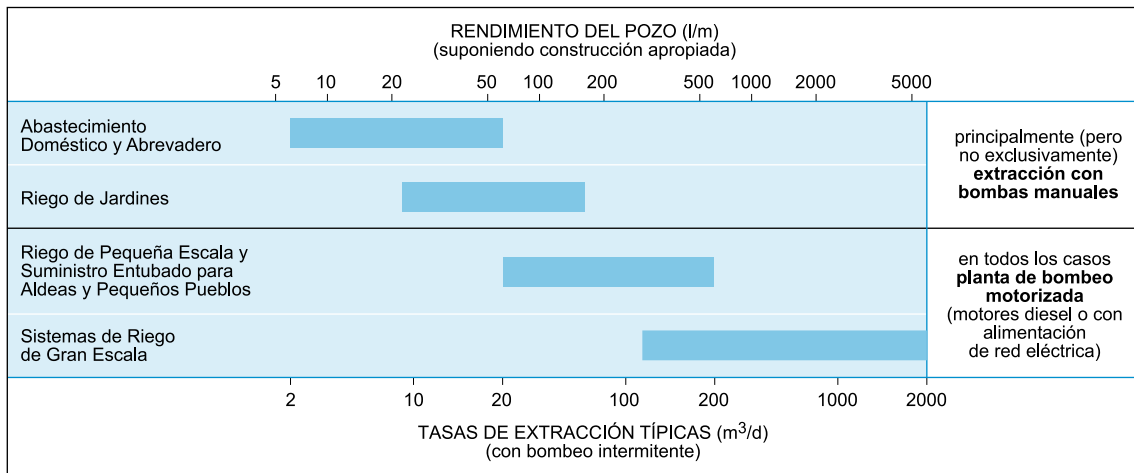
FACTOR	ALDEAS	PEQUEÑOS PUEBLOS
<b>Población Inicial</b>	hasta 2.000	2.000 a 20.000
<b>Fuentes de Abastecimiento de Agua</b>	pozos comunitarios y/o individuales o recolección de agua de lluvia	agua subterránea o agua superficial (en donde hay un curso de agua con buena calidad y confiabilidad en las sequías)
<b>Criterios de Abastecimiento de Agua</b>	fácil acceso a 25-50 lpd/capita mediante bombeo manual o acarreo	disponibilidad de 50 a 100 lpd/capita, en función de la red de distribución y el sistema de saneamiento
<b>Tecnología de Pozos de Agua</b>	pozos excavados someros mejorados o pozos entubados	bombas eléctricas (en ocasiones diesel) motorizadas en pozos entubados o pozos excavados mejorados y profundos, con distribución entubada a hidrantes comunitarios y/o tomas domiciliarias
<b>Tratamiento de Agua</b>	generalmente ninguno	generalmente de desinfección (con filtración lenta mediante arena para el agua superficial)
<b>Operador Responsable</b>	casa teniente individual o comunidad local	departamentos o concesionarios municipales y/o provinciales de abastecimiento de agua, pequeños proveedores de agua independientes, algunas comunidades
<b>Base Financiera</b>	costo de inversión normalmente sufragado por el gobierno o una ONG de beneficencia; costo de operación sufragado por la comunidad de usuarios	costos de operación junto con una contribución al costo de inversión normalmente sufragados mediante tarifas de agua o indirectamente vía impuestos locales
<b>Monitoreo de la Operación</b>	ninguno, con excepción de observaciones generales de los operadores	generalmente se colectan algunos datos limitados de operación (pero no hidrogeológicos)

habitantes. La mayor parte de estos núcleos de población tienen la esperanza de que el agua subterránea satisfaga sus necesidades crecientes de abastecimiento. El crecimiento de la demanda resulta no sólo de la expansión de la población sino también de la introducción de redes de distribución, hidrantes y tomas domiciliarias.

- Para enfrentar este reto, hay que tratar de localizar los pozos de agua con rendimientos que hagan posible un bombeo motorizado (con más de 100 l/min de 12 a 24 horas por día) (Figura 3), y para ello se requieren datos hidrogeológicos más detallados, así como una investigación sistemática, ya que:
  - estos rendimientos solamente se pueden alcanzar en donde las condiciones son más favorables y/o con diseño y construcción más refinados (Figura 2)
  - debe ponerse atención cuidadosa a la confiabilidad durante sequías
  - puede haber restricciones por las tasas de recarga local del acuífero para mantener la sustentabilidad del recurso
  - los aspectos de calidad del agua subterránea y su protección son sumamente importantes.

Consideraciones semejantes también pueden ser aplicables para el suministro de agua en aldeas ubicadas en zonas con hidrogeología difícil, en donde existe una tendencia creciente a utilizar pozos de agua con mayor rendimiento, con bombas motorizadas y distribución con hidrantes (en lugar de varios pozos con menor rendimiento). Esto permite dedicar un mayor esfuerzo a la localización de los pozos, y es posible que resulte más económico (dado el alto porcentaje de fallas en pozos con bombas manuales localizados por la comunidad), pero implica requerimientos de mantenimiento más complejos.

**Figura 3: Rendimiento de pozos y requerimientos de extracción para diferentes tipos de uso rural del agua subterránea**



- La otra diferencia importante entre el abastecimiento de agua de aldeas y pequeños poblados estriba en el tipo de organización responsable de su desarrollo inicial y operación subsiguiente (Tabla 1):
  - el abastecimiento de agua de aldeas normalmente se instrumenta mediante programas del gobierno local, campañas de ONG, proveedores independientes y esquemas de autoayuda, y las comunidades se encargan de operarlo
  - el abastecimiento de agua de pequeños pueblos involucra (con mayor frecuencia) a departamentos municipales o provinciales de abastecimiento de agua o (cada vez más) a pequeños proveedores independientes de abastecimiento de agua.

Todas estas diferencias institucionales pueden influir en forma importante en la recolección, evaluación y archivo de datos sobre la operación de los pozos de agua.

### ¿Qué estrategias de gestión se requieren para aumentar la eficacia del abastecimiento con agua subterránea?

#### (a) a nivel de aldea

- En el caso de los acuíferos menores, y especialmente en las condiciones más difíciles, la localización de pozos de agua requiere consideraciones geológicas más sistemáticas. Dado que en general la información requerida no está disponible, es necesario prepararla con objeto de lograr un entendimiento cabal de las características y propiedades del acuífero. Dicha información incluye los factores que controlan la distribución tridimensional del agua, mismos que afectan la profundidad y espaciamiento de los pozos, las propiedades del almacenamiento, la adaptabilidad/recuperación (resiliencia) frente a las sequías, etc.
- Para mejorar la información en el largo plazo se requieren dos medidas:
  - **revitalizar las bases de datos a nivel nacional y/o provincial**, mediante *hardware* barato y *software* sencillo
  - un modesto componente de **investigación bien enfocado y aplicado en paralelo a la explotación del agua subterránea**.

Desde finales de la década de los 80, la segunda medida ha sido notoriamente descuidada y los datos de los pozos se han ido depositando en oficinas de gobierno venidas a menos. En consecuencia, los datos (sobre hidrogeología, disponibilidad y calidad del agua subterránea) recopilados durante las campañas de suministro

de agua (de gobiernos locales, ONG y agencias bilaterales) se archivan de manera cada vez menos eficiente. Las ONG incluso no tienen la capacidad técnica por sí mismas de procesar, interpretar ni almacenar los datos hidrogeológicos.

#### (b) a nivel de pequeño pueblo

- En los pequeños pueblos (en donde la demanda del recurso por unidad de superficie es mucho mayor), la forma más eficaz y de menor costo para generar los datos hidrogeológicos requeridos en la toma de decisiones futuras es mediante el **monitoreo a mediano plazo tanto del acuífero como del comportamiento de los pozos como respuesta al bombeo durante la operación**. Si la autoridad municipal o local recopila y almacena los datos apropiados en forma sistemática durante varios años, se sentará una base confiable para definir la mejor estrategia para perforar nuevos pozos de agua y expandir los campos pequeños de pozos conforme incrementa la demanda.
- Para abastecer de agua a pequeños pueblos es posible mejorar las expectativas de explotación de recursos de agua subterránea en depósitos delgados aluviales si se localizan los pozos a lo largo de arroyos (permanentes o efímeros) para aumentar la recarga del acuífero al inducir la infiltración proveniente de los cauces. Ello requiere localizar los pozos en forma adecuada para protegerlos de inundaciones y evitar problemas obvios de calidad.
- Los gobiernos locales o quienes proveen del servicio de agua a los pequeños pueblos pueden jugar un papel importante en la vigilancia de la calidad del agua suministrada, la protección sanitaria de los pozos de agua y el monitoreo de los niveles, usos y calidad del agua subterránea, siempre y cuando la agencia responsable de la gestión del recurso de agua subterránea proporcione orientación e inspección adecuadas. Algunas medidas rudimentarias de gestión local, tales como planear la explotación del acuífero y registrar los pozos de agua, pueden apoyar este proceso.

*Para resumir, en la Tabla 2 se presenta una lista de verificación sistemática de los procedimientos recomendados para desarrollar y expandir el suministro de agua en aldeas y pequeños pueblos a partir de recursos de agua subterránea de acuíferos menores.*

#### ¿Cómo abordar los aspectos de calidad del agua subterránea?

- La ‘filosofía de la década’ tendió a concentrarse en ‘lavar las enfermedades con agua’ y por lo tanto en facilitar el acceso al abastecimiento. Esta filosofía resultó deficiente en muchas regiones a causa de la ocurrencia natural de concentraciones elevadas (muy por encima de los criterios para agua potable de la OMS) de algunos elementos traza, con implicaciones de largo plazo en la salud. Ello ocurrió como resultado de la naturaleza mineralógica de algunos acuíferos y la imposibilidad de lograr una limpieza total por la lentitud del flujo de agua subterránea.
- Las concentraciones problemáticas de flúor (F) fueron las primeras en llamar la atención, seguidas de contaminaciones severas por arsénico (As) en algunas localidades, pero también por la presencia potencial de manganeso (Mn) y otros elementos traza en ciertos tipos de acuífero. Por ello, es necesario desarrollar una estrategia eficaz para evitar o mitigar estos problemas (**Nota Informativa 14: Amenazas Naturales a la Calidad del Agua Subterránea**). Más aún, el sabor o color inaceptable del agua abastecida (como resultado de la presencia en exceso de  $MgSO_4$ , NaCl o Fe soluble) pueden ocasionar rechazo social de una fuente de abastecimiento.

**Tabla 2: Lista de verificación para el desarrollo y operación de sistemas de abastecimiento de agua en aldeas o pequeños pueblos**

PROCEDIMIENTO/TAREA/ACTIVIDAD	TIPO DE ORGANIZACIÓN INVOLUCRADA						
	GOB	CN	APM	ONG	CAS	PPA	COM
● financiamiento del costo de construcción	■		PA	A	P	P	●
● reconocimiento hidrogeológico (archivos de datos de aguas subterráneas, imágenes de satélite, etc.)		■	PA	A	P	P	
● trabajo de campo hidrogeológico (exploración geofísica, etc.)		■	PA	A	P	P	
● localización y diseño de pozos de agua (incluyendo consultas a la comunidad)		■	PA	PA	P	P	■
● perforación y terminación de pozos de agua (otros trabajos de ingeniería en donde resulte apropiado)		■	PA	PA	P	P	■
● prueba de pozos de agua (cantidad y calidad)	■	■	PA	PA	P	P	
● protección sanitaria y contra la contaminación de pozos de agua	■	■	PA		P		■A
● desarrollo de la capacidad y la conciencia de la comunidad			PA	A	P		■●
● operación y mantenimiento de pozos de agua		■	P		P	P	A
● cobro del agua y recuperación de los costos	■		P		P	P	■
● monitoreo e inspección de pozos de agua (uso de agua, niveles que los pozos, calidad del agua)	■●	■●	■●		P	P	PA
● evaluación del desempeño de los pozos y el abastecimiento de agua durante la operación	●	●	PA	A	P		■
● respuesta a problemas del recurso de agua subterránea	■●	P	P				
● retroalimentación de datos al archivo nacional de agua subterránea		■●	PA	A	P	P	

**GOB\*** ministerios del gobierno central

**CN** centros nacionales (p. ej. servicio geológico)

**APM\*** autoridad provincial/municipal

**ONG** organizaciones internacionales no gubernamentales

**CAS\*** compañías de agua y saneamiento (públicas y privadas)

**PPA\*** pequeños proveedores privados de abastecimiento de agua

**COM** asociaciones comunitarias

\* pueden utilizar consultores y/o contratistas de pozos de agua

- Además, en el medio rural, algunos acuíferos someros son muy vulnerables a la contaminación por:
  - las instalaciones de saneamiento *in situ*
  - la aplicación de pesticidas en campos agrícolas vecinos con producción intensiva de cultivos para el mercado
  - la descarga ocasional de grasas y solventes en talleres para el mantenimiento de vehículos.
 Por todo lo anterior, se debe prestar mayor atención a los reconocimientos de campo sanitarios de fuentes de agua subterránea, a las medidas de protección y al monitoreo apropiado del recurso (**Nota Informativa 8: Protección de la Calidad del Agua Subterránea, y Nota Informativa 9: Requerimientos de Monitoreo del Agua Subterránea**)

### Lecturas Adicionales

- Chilton, P. J. and Foster, S. S. D. 1995. Hydrogeological Characterization and Water Supply Potential of Basement Aquifers in Tropical Africa. *Hydrogeological Journal* 3: 36-49.
- Foster, S., Chilton, J., Moench, M., Cardy, E. and Schiffler, M. 2000. *Groundwater in Rural Development – Facing the Challenges of Supply and Resource Sustainability*. World Bank Technical Paper 463. Washington DC., USA.
- Langenegger, O. 1994. *Groundwater Quality and Handpump Corrosion in West Africa*. UNDP – World Bank Water and Sanitation Program Publication. World Bank, Washington DC. USA.
- Lloyd, B. and Helmer, R. 1991. *Surveillance of Drinking Water Quality in Rural Areas*. WHO-UNEP Publication. Longman, London. U.K.
- MacDonald, A. M., Davies, J., Calow, R., and Chilton, P. J., 2004. *Developing Groundwater: a Guide for Rural Water Supply*. ITDG Publishing, Rugby. U.K.
- Van Dongen, P. and Woodhouse, M. 1994. *Finding Groundwater: A Project Manager's Guide to Techniques and How to Use Them*. UNDP-World Bank Water and Sanitation Program Publication. World Bank, Washington DC. USA.

#### 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](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.

