

# Gestión Sustentable del Agua Subterránea

## Conceptos y Herramientas

Serie de Notas Informativas Nota 12

# Recarga del Agua Subterránea con Aguas Residuales Urbanas

## evaluación y manejo de los riesgos y beneficios

2002-2006

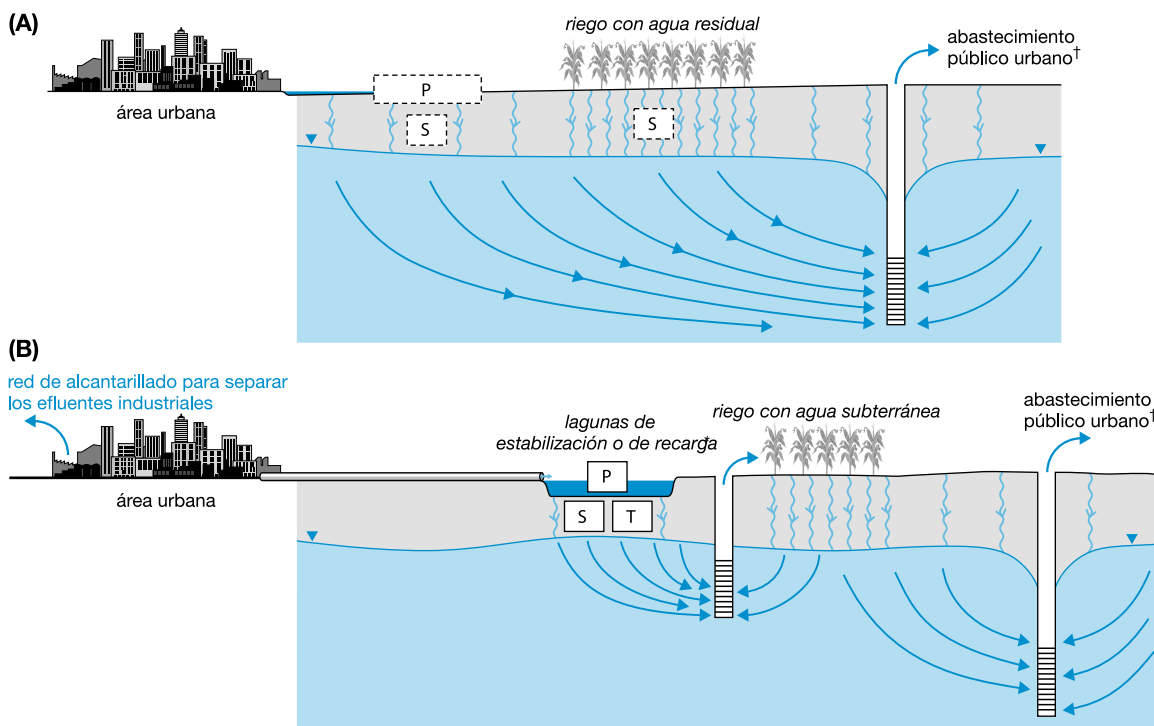
**Autores** (Grupo Base del GW•MATE)

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

### ¿Cómo se relacionan las aguas residuales urbanas con el agua subterránea?

- A partir de la introducción del alcantarillado (como un sistema que funciona con agua) en la primera mitad del siglo XX, la expansión en las ciudades en vías de desarrollo ha ocurrido en forma intermitente a lo largo de muchas décadas y, aunque la cobertura del alcantarillado está todavía un tanto rezagada con respecto al abastecimiento de agua, la generación de aguas residuales va en constante aumento a causa del veloz crecimiento de la demanda de agua urbana. Las Metas del Milenio en materia de suministro y saneamiento impulsadas por la ONU incrementarán aún más dicha generación. Muchos sistemas de alcantarillado descargan a los cursos de agua sin tratamiento alguno o con tratamiento parcial y con poca dilución en el estiaje, por lo que los caudales de aguas residuales disponibles para el riego son en realidad aguas negras.
- Por otra parte, es evidente que las prácticas comunes de manejo y reúso de aguas residuales en países en vías de desarrollo a menudo no son ni planeadas ni controladas y generan altas tasas de infiltración a los acuíferos subyacentes en los climas más áridos. Esta infiltración incidental es a menudo el 'reúso' local más significativo de aguas residuales urbanas en términos del volumen, pero rara vez se planea y casi nunca se reconoce como tal. Este fenómeno tiene la ventaja de mejorar la calidad de las aguas residuales urbanas y de almacenarlas para uso futuro, pero también puede contaminar los acuíferos que se utilicen para el abastecimiento de agua potable. Este tema tiene grandes implicaciones en términos de los enfoques futuros para la gestión del agua subterránea y las aguas residuales en muchos centros urbanos que se desarrollan rápidamente.
- La recarga de aguas residuales ocurre en áreas urbanas debido a la presencia de:
  - instalaciones de saneamiento *in situ* (fosas sépticas y letrinas) cuya descarga directa al subsuelo constituye una fuente difusa de contaminación continua
  - sistemas de alcantarillado cuyos efluentes descargan aguas abajo del centro urbano y son usados para riego.
 Esta Nota sólo aborda la segunda situación y, con objeto de reconocer los beneficios potenciales tanto del reúso de aguas residuales para riego agrícola como de la recarga inducida de acuíferos, incluye la evaluación de sus consecuencias en ciudades de países en vías de desarrollo (Figura 1A) y propone acciones graduales para reducir el riesgo de contaminación del agua subterránea por esta práctica.
- Las aguas residuales se infiltran directamente al subsuelo desde los sistemas de drenaje, y de forma indirecta por los excedentes de agua que se aplican para el riego agrícola en las zonas ribereñas. Investigaciones realizadas en diversas partes (Tabla 1) proveen evidencia de que esta recarga ocurre a tasas mayores de 1.000 mm/a. Por

**Figura 1: Esquemas generales de generación, tratamiento y reúso de aguas residuales, y su infiltración a los acuíferos (A) situación típica sin planificación ni control (B) intervenciones de bajo costo orientadas a reducir el riesgo de contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua subterránea**



**P/S/T** nivel efectivo de tratamiento de aguas residuales (P = primario; S = secundario; T = terciario)  
**P/S/T** los cuadros punteados indican procesos incidentales (no planeados)

\* una planta de tratamiento puede sustituir a las lagunas (especialmente cuando el terreno es costoso) siempre que los costos de construcción operación y mantenimiento sean aceptables † debería contar con vigilancia y tratamiento apropiados

ende, se puede argumentar que la recarga incidental a los acuíferos es importante, ubicua y siempre debe ser anticipada como parte integral de un proyecto de reúso de aguas residuales para riego agrícola.

- El agua residual es muy apreciada por los agricultores, en particular los más pobres, debido a su disponibilidad continua y contenido de materia orgánica y nutrientes que incrementa su productividad. Sin embargo, su uso indiscriminado genera riesgos muy serios para la salud pública, tanto en los agricultores que están en contacto con las aguas residuales como en los consumidores de los productos crudos. También puede haber peligros a más largo plazo si las aguas residuales contienen efluentes industriales con elementos tóxicos (como plomo, cromo, boro, etc.) que afecten el suelo, disminuyan su fertilidad o se introduzcan en las cadenas alimenticias. Dichos aspectos, aun cuando de importancia, no son del ámbito de esta Nota.

### ¿A qué grado las aguas residuales representan un peligro de contaminación del agua subterránea?

- Los contaminantes del agua residual que pueden afectar principalmente al agua subterránea incluyen microorganismos patógenos, nutrientes en exceso y carbono orgánico disuelto. Además, la presencia de efluentes industriales importantes puede introducir metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos. Sin embargo, el efecto real sobre la calidad del agua subterránea variará en gran medida en función de:
  - la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación (**Nota Informativa 8**)
  - la calidad original del agua subterránea (**Nota Informativa 14**) y, por ende, su uso potencial
  - el origen de las aguas negras y, por ende, la probabilidad de que contengan contaminantes persistentes
  - la calidad de las aguas residuales, su nivel de tratamiento y grado de dilución

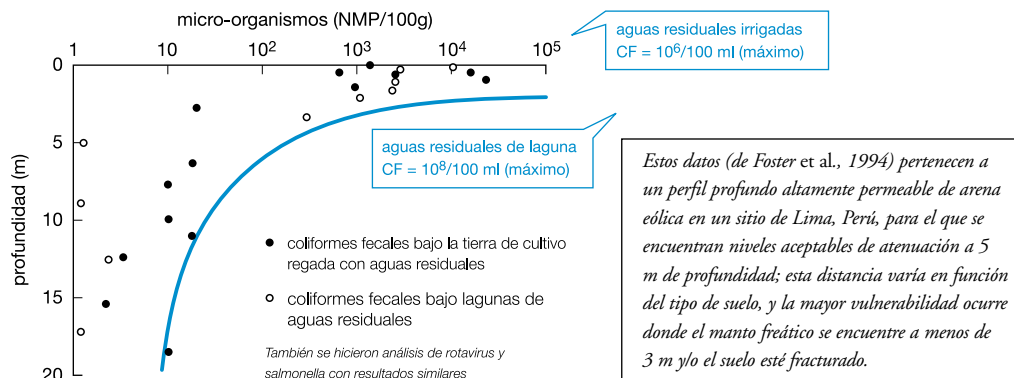
- el flujo de infiltración de aguas residuales en relación con el flujo dentro del acuífero
  - la forma en que se maneje y aplique el agua residual al suelo.
- Comúnmente, donde se practica el reúso de agua residual para riego se usan estructuras de almacenamiento y distribución sin revestir y las parcelas se riegan por inundación. En estas condiciones y con mantos freáticos someros o acuíferos fracturados localizados cerca de la superficie, es posible que haya una importante penetración de bacterias y virus patógenos. Pero en la mayoría de las demás condiciones diferentes, hay una atenuación en la zona no saturada que remueve efectivamente la mayor parte de los patógenos (Figura 2) antes de llegar al manto freático y (en este sentido) se logra un nivel de depuración equivalente al nivel terciario.
  - Sin embargo, incluso bajo circunstancias favorables, en términos de la vulnerabilidad del acuífero y calidad de las aguas residuales, el proceso de infiltración de aguas residuales en acuíferos freáticos por sí solo no puede lograr niveles de calidad de agua potable, principalmente debido a que:
    - como el contenido de nitrógeno en el agua residual municipal frecuentemente excede los requerimientos de las plantas, se produce su lixiviación de las tierras irrigadas y las concentraciones resultantes de nitrato (Tabla 1) sobrepasan los 45 mgNO<sub>3</sub>/l, que es el límite internacionalmente aceptado para consumo humano
    - donde el agua residual se infiltra directamente, el nitrógeno amoniacal (NH<sub>4</sub>) generalmente es la especie de nitrógeno estable y es posible que alcance niveles problemáticos (Tabla 1)
    - se encuentran concentraciones elevadas de carbono orgánico disuelto (COD), usualmente de 3–5 mg/l y con un nivel máximo de 6–9 mg/l, mientras que los valores normales de referencia son de menos de 1–2 mg/l.
  - Estas elevadas concentraciones de COD dan pie a dos preocupaciones:
    - que se incremente el potencial de formación de trihalometanos (THM) que resulten dañinos si el agua subterránea para abastecimiento público es desinfectada con cloro—las ‘aguas subterránea afectadas’ de las zonas de investigación tienen una reactividad al COD de 20–45 µg/mg y algunas muestras registraron concentraciones de más de 100 µg/l
    - la posibilidad de que el COD (principalmente generado por ácidos húmicos, algunos esteroides, ftalatos, detergentes y una variedad de compuestos no identificados) pudiera contener también trazas de compuestos sintéticos tóxicos—aunque rara vez se ha confirmado la presencia de compuestos cancerígenos, disruptores endocrinos u otras sustancias peligrosas en el agua subterránea.

**Tabla 1: Composición típica<sup>†</sup> del agua subterránea más somera afectada por la infiltración de agua residual en las áreas de investigación durante la época de estudio**

UBICACIÓN	NIVEL DE TRATAMIENTO DE ACUÍFERO	VULNERABILIDAD DE ACUÍFERO	COMPONENTES DISUELTOS SELECCIONADOS (mg/l)							ELEMENTOS TRAZA <sup>^</sup>
			Na	Cl	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	B	DO <sub>2</sub>	DOC	
Lima Suburbio, Perú <sup>^^</sup>	primario o secundario	moderada	90/85	182/168	40/85	3,2/0,8	n/a	n/a	5/4	n/a
Wadi Dhuleil, Jordania*		alta	570*	1190*	130	1,3	1,2	2	3	Mn, Zn
Valle del Mezquital, México	no hay, pero equivale a primario en el sistema de distribución	variable; generalmente moderada, pero alta a nivel local	240	220	60	< 0,1	0,8	3	4	As
León (Gto.), México **		moderada	210	340	40	< 0,1	0,3	2	4	Mn, Ni, Cr, Zn
Hat Yai, Tailandia		baja	40	50	< 1	6,2	<0,1	0	3	Mn, Fe, As

<sup>†</sup> datos de BGS *et al.*, 1998    <sup>^</sup> indica los detectados en concentraciones bajas    <sup>^^</sup> se dan valores separados para acuíferos ubicados debajo de lagunas de tratamiento/campos irrigados    \* acuífero también sujeto a cierto nivel de intrusión salina    \*\* aguas residuales con componente industrial importante    n/a no analizado

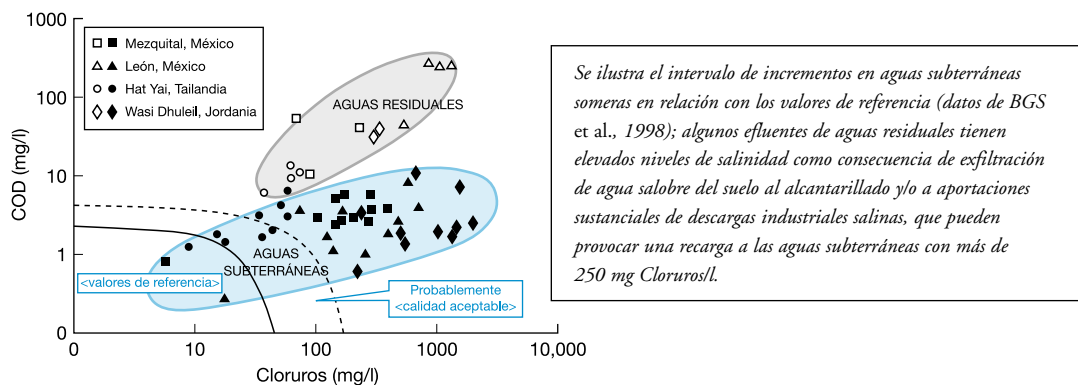
**Figura 2: Atenuación de patógenos fecales por la infiltración de aguas residuales en la zona no saturada**



### ¿Qué tipo de medidas se pueden tomar para reducir los riesgos y aumentar los beneficios?

- Ya que el agua subterránea es a menudo la fuente preferida para el abastecimiento público urbano, y también se explota ampliamente para uso doméstico privado y uso industrial sensible, el peligro de contaminar los acuíferos es un asunto delicado. Sin embargo, probablemente en los países en vías de desarrollo se avance poco en controlar este peligro con sólo publicar normas de calidad más estrictas para las descargas de aguas residuales y para la recarga de dichas aguas. Es más, la existencia de dichas normas puede incluso resultar contraproducente, ya que a menudo las autoridades ambientales y de salud 'se tienen que hacer de la vista gorda' al no tener la capacidad económica y de personal para atender dicha situación.
- Existe la necesidad urgente de confrontar de manera pragmática la realidad de las prácticas actuales, identificando dónde se pueden hacer intervenciones eficaces e inversiones graduales para reducir los riesgos a los usuarios del agua subterránea (Figura 1B), en lugar de construir ciegamente obras convencionales de tratamiento de aguas negras cuya sustentabilidad operativa puede ser cuestionable. Por lo tanto, estas acciones prioritarias deben realizarse de manera consistente (como parte de un paquete que incluya acciones dirigidas a otros temas críticos como el control de cultivos, la salud de los trabajadores agrícolas y la fertilidad de la tierra), con la participación de representantes de los grupos urbanos y rurales involucrados.
- Se deberá otorgar siempre alta prioridad a mejorar la caracterización de las aguas residuales como apoyo a la evaluación del peligro de la contaminación del agua subterránea. Donde sean evidentes los problemas potenciales asociados con contaminantes presentes en el agua subterránea (como alta salinidad o ciertas sustancias tóxicas orgánicas e inorgánicas de origen industrial), el mejor enfoque será determinar su origen dentro del sistema de alcantarillado y establecer la viabilidad de controlarlo en la fuente o de efectuar su recolección y eliminación final por separado.
- El impacto de la infiltración de aguas residuales a las fuentes específicas de suministro de agua subterránea no sólo dependerá de su impacto sobre el sistema acuífero somero, sino también de su ubicación con relación al área de infiltración de aguas residuales, la profundidad de la captación del agua y la integridad de la construcción de los pozos. Un control cuidadoso de dichos factores (y bajo circunstancias favorables en términos de la vulnerabilidad de los acuíferos y la calidad de las aguas residuales) puede lograr la compatibilidad entre el reúso de las aguas residuales y las necesidades del suministro con agua subterránea por medio de:
  - aumentar la profundidad y mejorar el sellado sanitario de pozos de agua potable
  - establecer zonas de protección apropiadas para los pozos de abastecimiento
  - aumentar el monitoreo del agua subterránea para detectar los indicadores de contaminación discutidos arriba

**Figura 3: Concentraciones de Cloruros y COD en agua subterránea de zonas de investigación de la infiltración de aguas residuales**



- usar pozos en las zonas de riego para recuperar la mayor parte de la infiltración del agua residual y proporcionar una ‘barrera hidráulica’ que proteja las fuentes de agua potable
- mejorar la eficiencia de uso de agua para irrigación y, por ende, disminuir la recarga de aguas residuales a acuíferos subyacentes y así disminuir la carga contaminante
- alentar con urgencia el establecimiento de restricciones al uso de pozos domésticos privados someros.

### ¿Cómo se puede integrar el uso de aguas residuales y agua subterránea en la planificación urbana?

- Un asunto relacionado se refiere a cómo la futura ingeniería de aguas residuales urbanas puede tomar en cuenta los intereses de los recursos de agua subterránea. Las decisiones actuales de extender la cobertura de redes de alcantarillado normalmente se adoptan atendiendo los siguientes aspectos técnicos y sociales:
  - la capacidad inadecuada del subsuelo para el depósito final de efluentes líquidos debido a la presencia de estratos superficiales de baja permeabilidad y/o mantos freáticos altos, lo que provoca mal funcionamiento o desbordamiento de las unidades de saneamiento *in situ*
  - el desarrollo residencial de alta densidad con acceso inapropiado o espacio insuficiente para el manejo de residuos sólidos *in situ*.
- No se toman suficientemente en cuenta los nuevos problemas ambientales que puede generar una mayor cantidad de efluentes de aguas negras captados en redes de drenaje centralizados y descargados en un solo punto, en comparación con los beneficios de un saneamiento *in situ* mejorado que cumpla con estándares ecológicos más altos; la opción más adecuada depende del sistema de tratamiento y las modalidades y controles del reúso, en el primer caso, y del diseño de la unidad de saneamiento, la vulnerabilidad del acuífero y la densidad poblacional, en el segundo. Tampoco se pone suficiente énfasis en temas de recursos hídricos, como:
  - reusar agua para servicios o irrigación agrícola en áreas con acuíferos de baja vulnerabilidad a la contaminación, como una forma de conservar el agua subterránea de calidad potable
  - reducir el acceso de agua subterránea salada al alcantarillado en zonas áridas
  - reducir el peligro de contaminación en pozos privados y municipales situados dentro del área urbana
  - aumentar la demanda de abastecimiento al tener que utilizar agua (posiblemente subterránea) para que funcione el alcantarillado
  - reconocer que el almacenamiento en acuíferos de aguas residuales tratadas a menudo es la mejor opción en sitios en los que la demanda de agua para riego varía mucho según la temporada, y a la vez usar la infiltración en la zona no saturada para tratar las aguas residuales a nivel terciario.
- Para lograr un enfoque más integrado, se deben responder preguntas importantes también a nivel institucional, como:



- ¿qué agencia debe tener la responsabilidad final de la gestión de las aguas residuales?
  - ¿cuáles deberían ser las obligaciones legales tanto de generadores como de usuarios de aguas residuales?
  - ¿cuál es la mejor forma de realizar una consulta de base amplia con los grupos interesados?
  - ¿cómo pueden los permisos de descarga de aguas residuales considerar factores de reúso?
  - ¿cómo debe ser la capacitación sobre el manejo conjunto de las aguas residuales y el agua subterránea?
- Lamentablemente, la dimensión del agua subterránea a menudo sigue siendo uno de los ‘eslabones perdidos’. La recarga incidental considerable de los acuíferos por medio del manejo y reúso de aguas residuales es una situación difundida que siempre debería ser considerada como parte integral de la gestión del agua residual y, por lo tanto, ser planeada según el caso. Los responsables del agua residual necesitan adquirir conciencia sobre los beneficios y peligros de la recarga a los acuíferos con aguas residuales, y de cómo los ambientes hidrogeológicos varían con respecto a su vulnerabilidad a la contaminación, para poder definir tasas y patrones seguros de carga de contaminantes. Se necesitará, además, de un ingrediente fuerte de planificación municipal para que las peores (y menos sustentables) prácticas del pasado se eviten en el futuro.

### Lecturas Adicionales

BGS, CNA, SAPAL, WAJ, DMR and PSU. 1998. Protecting groundwater beneath wastewater recharge sites. *BGS Technical Report WC/98/39*.

Bouwer, H. 1991. Groundwater recharge with sewage effluent. *Water Science & Technology 23: 2099–2108*.

Dillon, P. J. 2002. Management of aquifer recharge for sustainability. *Proc. 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater* (Adelaide, September 2002). Balkema Publishers.

Foster, S. S. D., Gale, I. N. and Hespagnol, I. 1994. Impacts of wastewater reuse and disposal on groundwater. *BGS Technical Report WD/94/55*.

Foster, S. S. D., Lawrence, A. R. y Morris, B. L. 2001. El agua subterránea en el desarrollo urbano: evaluación de las necesidades de gestión y formulación de estrategias. *Documento Técnico del Banco Mundial 390*.

George, D. B., Leftwich, D. B., Klein, N. A. and Claborn, B. J. 1987. Redesign of a land treatment system to protect groundwater. *J. Water Pollution Control Federation 59: 813–820*.

Idelovitch, E. and Michail, M. 1984. Soil-Aquifer Treatment—a new approach to an old method of wastewater reuse. *J. Water Pollution Control Federation 56: 936–943*.

Jiménez, B. y Garduño, H. 2002. Social, political and scientific dilemmas for massive wastewater reuse in the world. In AWWA Publication *Navigating Rough Waters—Ethical Issues in the Water Industry*.

#### 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.

