

# DE AGUA SUBTERRANEA

PARA EL DESARROLLO Y LA ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO

RECARGA, RETENCION Y REUTILIZACION DEL AGUA SUBTERRANEA Y ALMAENAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA

ESTA ZONA ESTA  
PREPARADA CONTRA  
INUNDACIONES  
Y SEQUIAS.  
¿Y LA TUYA?

AHORA CON  
LA INNOVADORA  
FORMULA 3R!

# Gestión de las reservas de agua subterránea para el desarrollo y la adaptación al cambio climático

Recarga, retención y reutilización del agua subterránea y almacenamiento del agua de lluvia

# Reconocimientos

Los principales autores de esta publicación son Frank van Steenbergem y Albert Tuinhof.

Las siguientes personas realizaron aportes de gran valor:

Martin van Beusekom, Simon Chevalking, Greg Christelis, Remko van Diepen, Peter Dillon, Raimond Hafkenscheid, Friedrich Hetzel, Nawal El Haouari, Thomas Himmelbach, Merel Hoogmoed, Basja Jantowski, Lenneke Knoop, Armin Margane, Robert Meerman, Ben van der Merve, Sander Nederveen, Kirsten Neke, Erik Nissen-Petersen, Alex Oduor, John Ratsey, Kerstin Schaberreiter, Henk van Schaik, Gerhard Schmidt, Ard Schoemaker, Willi Struckmeier, Vanessa Vaessen, Michael van der Valk, Sara Vassolo, Olaf Verheijen.

La edición del texto fue coordinada por Michael van der Valk. El diseño de la portada es de Vincent Wijers. El diseño gráfico y la infografía interiores son de Robert Jan van Noort y Wijtze Valkema de Pankra. La publicación se imprimió en Grafisch Service Centrum Wageningen.

La publicación fue posible gracias a la generosa colaboración de BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe), el Programa Cooperativo sobre el Agua y el Clima (CPWC) de los Países Bajos y el Comité Nacional CIHP-HWRP de los Países Bajos, que es una contribución de los Países Bajos a la fase VII del Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Unesco.



ISBN: 978-90-79658-03-9

# Prólogo

Existen pruebas científicas de que el cambio climático es una amenaza global grave, que requiere una respuesta urgente tanto a nivel mundial, como regional y local. Incluso con índices moderados de calentamiento, todas las pruebas (desde estudios detallados de impactos regionales y sectoriales de patrones de cambio climático, hasta modelos económicos de efectos globales) señalan graves consecuencias para el medio ambiente, la vida humana y la economía. Todos los países se verán afectados. Lamentablemente, la población en los países más pobres, que son los más vulnerables, sufrirán las consecuencias antes y de manera más severa. La adaptación al cambio climático es, por lo tanto, fundamental. Se deben tomar medidas con urgencia para generar resiliencia, optimizar las reservas y minimizar costes. Es de suma importancia optimizar la utilización de las opciones de almacenamiento que brindan tanto las capas freáticas como el agua superficial local.

El Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Unesco tiene como objetivo cumplir con los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) de la ONU sobre sostenibilidad del medio ambiente, suministro de agua, saneamiento, seguridad alimentaria y mitigación de la pobreza. La misión del programa es fortalecer la comprensión científica de las consecuencias de la variabilidad del clima y el cambio climático en los sistemas hídricos y relacionar las conclusiones científicas con las políticas para la promoción de la gestión sostenible de los recursos hídricos. Se presta una especial atención a las regiones en desarrollo que son particularmente vulnerables al cambio climático, con consecuencias que pueden tener efectos sociales y medioambientales muy graves. Las actividades relacionadas con el agua subterránea del PHI incluyen: evaluación del impacto del cambio climático global y los recursos hídricos subterráneos en el ciclo de agua mundial y los cambios implicados; evaluación de las presiones que ejercen la población y las economías crecientes y los efectos del calentamiento global sobre la recarga, los niveles del mar y la intrusión de agua salada y la concienciación de los responsables de la toma de decisiones, ejecutores, usuarios y el público en general acerca del almacenamiento de agua dulce.

La Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH) tiene una relación cooperativa de larga data con el programa hidrológico de la Unesco. Como organización internacional que reúne a científicos, ingenieros y otros profesionales que trabajan en el campo de la planificación, la gestión y la protección de los recursos hídricos subterráneos, la AIH tiene como objetivo mejorar la comprensión y la gestión del agua subterránea a nivel mundial. La AIH aprovecha la investigación, el conocimiento, la experiencia y el entusiasmo de sus miembros para promover la gestión profesional del agua subterránea como parte de la gestión integrada de los recursos hídricos.

La Unesco y la AIH trabajan en conjunto para informar a un público cada vez más amplio acerca de las técnicas de buenas prácticas para la gestión de la recarga de acuíferos (GRA). Muchas de estas técnicas presentan soluciones viables desde el punto de vista económico y medioambiental para hacer un mejor uso de las oportunidades de almacenamiento de agua.

Esta publicación sobre Recarga, Retención y Reutilización del agua (conocido como enfoque 3R) se centra en las funciones de gestión de las reservas subterráneas como parte de la gestión de cuencas y la adaptación al cambio climático. Mientras los beneficios de un accionar enérgico y temprano sobrepasan ampliamente los costes económicos de la no acción, una adecuada gestión del agua subterránea puede compararse a un accionar bancario sensato: gestionar la cuenta de depósito aprovechando las oportunidades económicas, recargar la

cuenta en tiempos más prósperos y extraer de las reservas cuando el agua de la superficie es escasa. Además, existe una gama complementaria de oportunidades sin explotar en la recolección local de agua de lluvia. Es en este marco que damos la bienvenida a la iniciativa 3R de MetaMeta, Acacia Water, la Fundación RAIN y BGR.

Recomendamos vivamente esta publicación a todos los responsables de la gestión de aguas superficiales y subterráneas.

Dr. Willi Struckmeier  
— Presidente de la IAH

Drs. Michael R. Van der Valk  
— Secretario científico,  
Comité Nacional de los Países Bajos de IHP-HWRP

# Gestión de las reservas de agua subterránea para el desarrollo y la adaptación al cambio climático

## Recarga, retención y reutilización del agua subterránea y almacenamiento del agua de lluvia

Prólogo		III
<b>1</b>	<b>Introducción: el enfoque 3R en breve</b>	
1.1	3R: Recarga, Retención y Reutilización del agua	2
1.2	Las reservas de agua	3
1.3	El aspecto del cambio climático	3
1.4	Puesta en práctica del enfoque 3R	4
<b>2</b>	<b>Antecedentes del enfoque 3R</b>	
2.1	Gestión de las reservas de agua locales para el desarrollo en el contexto del cambio climático	6
2.2	Las técnicas 3R	8
2.3	Los procesos 3R	13
<b>3</b>	<b>Estudios de caso</b>	
3.1	Estanques de infiltración en dunas, <i>Atlantis (Sudáfrica)</i>	20
3.2	Infiltración a pequeña escala de las riberas: utilización del almacenamiento de sedimentos fluviales, <i>Bangladesh e India</i>	24
3.3	Recarga artificial del agua subterránea y zonas de protección en regiones áridas, <i>Represa Wadi Wala (Jordania)</i>	28
3.4	Suministro de agua potable en regiones con aguas subterráneas saladas, <i>Chaco (Paraguay)</i>	32
3.5	Represas de almacenamiento en la arena, <i>Kitui (Kenia)</i>	36
3.6	Utilización de las inundaciones para el riego y la recarga, <i>Yemen</i>	44
3.7	Desviación de las inundaciones breves para la infiltración de las cuencas en zonas extremadamente áridas, <i>Níger</i>	48
3.8	Búsqueda de alternativas para la extracción de arena de los lechos ribereños, <i>India, Sri Lanka</i>	52
3.9	Estanques subsuperficiales: interceptación del caudal de agua subterránea para almacenamiento, <i>Brasil</i>	56
3.10	Retención del agua en zonas muy húmedas, <i>Bengala del Norte (India)</i>	60
3.11	Creación de un “banco de agua” con excedentes de agua superficial, <i>Namibia</i>	64
3.12	Estanques de retención de agua superficial de gran altitud, <i>Perú</i>	66
3.13	Recogida de agua de lluvia en las regiones secas, <i>África subsahariana</i>	70
3.14	Recogida de agua de manantial, <i>Tanzania</i>	74
3.15	Recogida de agua de lluvia en una zona afectada por la sal, <i>Senegal</i>	76
3.16	Múltiples aspectos del agua de lluvia, <i>Nepal</i>	80

3.17	Drenaje controlado, <i>Países Bajos</i>	84
3.18	Utilización conjunta de las aguas subterráneas y superficiales en el riego de gran escala, <i>Marruecos</i>	88
3.19	Optimización de la infraestructura de carreteras para la recarga, la retención y la reutilización, <i>Kenia, China, Brasil</i>	92
4	Conclusión	97



# 1. Introducción: El enfoque 3R en breve

## 1.1 3R: Recarga, Retención y Reutilización del agua

Este libro explora cómo utilizar las aguas superficiales y el agua de lluvia para el desarrollo y la adaptación al cambio climático desde un enfoque denominado 3R. La visión del enfoque 3R es proporcionar a las personas los medios y la confianza necesarios para proteger sus fuentes de subsistencia en respuesta a los cambios climáticos, y mejorar la gestión hídrica local para garantizar un acceso seguro al agua, desarrollo económico y la integridad de su entorno. 3R es la sigla de Recarga, Retención y Reutilización.

Este libro está destinado a los responsables de la planificación de la utilización de la tierra y de la gestión de las cuencas hidrográficas, a todos los involucrados en la gestión hídrica y el cambio climático, ya sea que se encuentren trabajando para el gobierno, servicios hídricos, agencias de riego, empresas de seguros e inversiones, el sector privado o la sociedad civil, tanto en regiones áridas como húmedas.

El punto de partida es la función de reserva subterránea en una región, lo que permite tratar con los niveles máximos y mínimos y la gran amplitud de variabilidad que se prevé que ocasione el cambio climático. Una reserva importante de agua es el almacenamiento que se forma en los metros superiores del suelo y en los acuíferos poco profundos. En muchos lugares, esta reserva de agua subterránea puede utilizarse para almacenar agua de lluvia y escorrentía, lo que se ve aumentado por los flujos de los ríos y el riego, posibilitando la recirculación y reutilización del agua. Además del agua subterránea, el almacenamiento de agua superficial se suma a la reserva hídrica de una región, por ejemplo, a través de la cosecha y el almacenamiento de agua de lluvia en tanques y depósitos locales. La gestión de las reservas de agua locales es de una importancia vital, ya que determina las fuentes de subsistencia de la población y la economía de una región.

La filosofía descrita en este libro consiste en optimizar la gestión de esta función de reserva a través de tres etapas subsiguientes: 3R, es decir, Recarga, Retención y Reutilización. La idea más amplia es que el abordaje de una crisis hídrica local no debe enfocarse tanto en la asignación de la escasa agua disponible, sino en capturar agua y extender tanto como sea posible la cadena de la utilización de la misma y su reutilización dentro de una cuenca, tomando en consideración a toda la población.



Recarga



Retención



Reutilización

## 1.2 Las reservas de agua

Este libro tiene como eje central la gestión de las funciones de las reservas de agua, con especial énfasis en el agua subterránea y el almacenamiento superficial local a pequeña escala. El agua subterránea ya es nuestro principal depósito de agua dulce y almacena más del 90 % del agua dulce del mundo, excluyendo los hielos (hielos polares y glaciares). El agua dulce almacenada en ríos, lagos, grandes depósitos y en forma de humedad del suelo es inferior al 1 %.

El agua subterránea puede encontrarse prácticamente en todos lados. Cubre la mitad de las necesidades mundiales de agua potable, tanto en las áreas rurales como urbanas, a través de sistemas centralizados e individuales; así como el 40 % de las demandas industriales y el 20 % del agua para la agricultura, con fuertes variaciones entre las regiones áridas y las húmedas. Además, el agua subterránea tiene un potente efecto en la humedad del suelo. Las capas freáticas altas pueden brindar seguridad a la agricultura de secano, a través del aumento del agua suplementaria para hacer frente a los períodos secos. Proporcionando suministros locales, el agua subterránea es la fuerza impulsora detrás de muchos de los importantes avances en la producción agrícola y en el abastecimiento de agua potable en sitios que se encuentran alejados de los cursos de agua. El agua subterránea es también una fuente principal de agua para los ríos, los lagos y los humedales.

El debate sobre el agua subterránea a menudo se concentra en su utilización excesiva y su control, que de hecho es una gran preocupación en muchas zonas. La clara necesidad de una mejor gestión hídrica de los subsuelos debe incluir la maximización de la recarga y el almacenamiento del agua dulce donde sea posible, almacenando agua de las inundaciones, gestionando los niveles de agua y garantizando la calidad del recurso para posibilitar su reutilización. El almacenamiento de agua puede compararse con los ahorros en un banco y ha sido la base del desarrollo sostenible de las economías.

El almacenamiento de agua superficial local es un segundo aspecto importante de las reservas de agua. Especialmente en zonas donde el agua subterránea sufre problemas de calidad, como un alto contenido de sales, arsénico o flúor, o es de muy difícil alcance, el almacenamiento del agua de lluvia y de la escorrentía en depósitos locales contribuirá de manera considerable a que estas regiones cuenten con reservas, con muchas soluciones locales a su alcance.

## 1.3 El aspecto del cambio climático

En muchos lugares del mundo, tanto en climas secos como húmedos, la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH) representa un desafío clave, frente a la gran variabilidad de las condiciones climáticas. Cada región necesita conceptos apropiados de GIRH, que consideren en su totalidad tanto los recursos naturales como las condiciones socioeconómicas.

Para las economías de muchas regiones que dependen de las precipitaciones, como por ejemplo, amplias zonas del África subsahariana, el PIB (Producto Interno Bruto) se relaciona directamente con las precipitaciones anuales (figura 1).



Figura 1: Pretipitaciones y crecimiento del PIB en Etiopía 1982 - 2000 (Fuente: Gris y Sadoff, 2006)

El cambio climático exacerbará la vulnerabilidad de los medios de subsistencia, las economías y los ecosistemas, tanto a nivel nacional, local y como de cada hogar, y podría poner en jaque el desarrollo, inclusive el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Se prevé que las sequías serán más pronunciadas y las lluvias más intensas; mientras que estas últimas ocasionarán inundaciones de mayor intensidad y frecuencia. El almacenamiento de agua subterránea y la recolección de agua de lluvia pueden proporcionar alivio en estas condiciones cambiantes. Una mayor capacidad para absorber y almacenar agua resulta, por lo tanto, un factor clave en la adaptación al cambio climático.

En regiones húmedas, el cambio climático puede ocasionar que los monzones sean más impredecibles, lleguen más tarde y con largas rachas de sequía intermedias, lo que daría prioridad a la gestión del agua subterránea, la gestión de la humedad del suelo y el riego suplementario. La gestión del agua subterránea, y de las reservas de agua en general, es un aspecto central de la adaptación al cambio climático, tanto en las regiones áridas como en las húmedas.

#### 1.4 Puesta en práctica del enfoque 3R

Este libro fue escrito como una llamada a la acción para una iniciativa mundial del enfoque 3R con el objeto de presentar la gestión de las reservas a una escala cuenca por cuenca, más que de una manera poco sistemática. Combina la adaptación al cambio climático junto con la captación de agua proveniente de las lluvias y de las inundaciones y la gestión de las aguas subterráneas. El enfoque 3R es necesario tanto en zonas secas como húmedas para adaptar, sostener y promover la gestión de recursos hídricos con el fin de mejorar el abastecimiento sostenido de agua para la población, la generación de alimentos y los ecosistemas.

La próxima sección, el capítulo 2, brinda más información sobre los antecedentes del enfoque 3R, con un especial énfasis en la gestión del agua subterránea y el almacenamiento local. Presenta las técnicas utilizadas para la gestión de la recarga de los acuíferos, promoviendo la recarga natural y la

retención, la recolección de agua de lluvia y los procesos 3R para el almacenamiento de agua a la luz de los desafíos planteados por el cambio climático.

El capítulo 3 de este libro presenta ejemplos de aplicaciones 3R existentes que han demostrado ser altamente eficientes. Los casos explican cómo se realizaron, las técnicas utilizadas para el almacenamiento de agua subterránea, agua del suelo y agua de lluvia, y los resultados. Los casos demuestran claramente que se pueden lograr muchos objetivos útiles con un nivel de esfuerzo razonable. La utilización de técnicas 3R puede generar grandes beneficios para la seguridad del agua, el desarrollo y la sostenibilidad de los medios de subsistencia.

La infografía inferior (figura 2) ofrece una presentación gráfica de una hipotética cuenca con un resumen de las intervenciones técnicas, que son elementos 3R que contribuyen a la mejora de la función de almacenamiento de agua en el subsuelo en toda la cuenca o en la subcuenca.

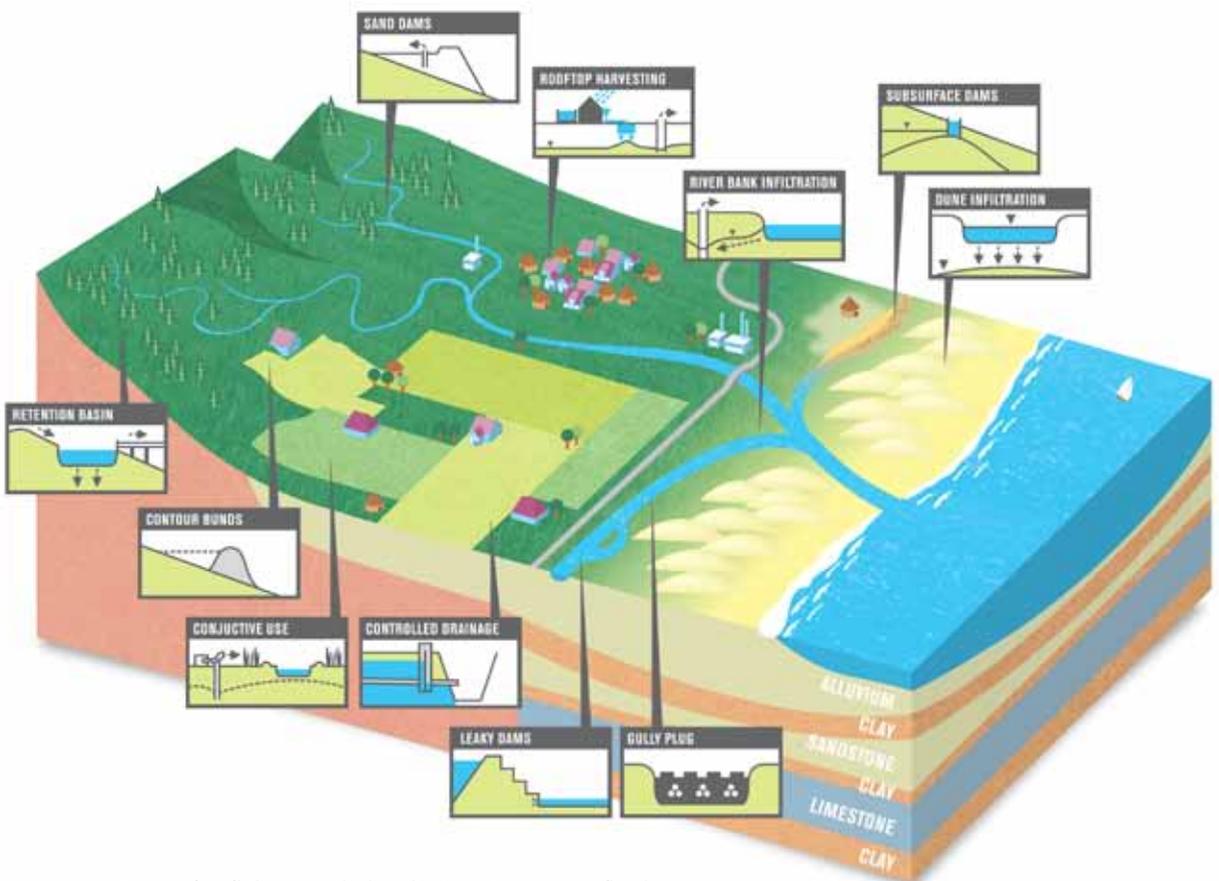


Figura 2: Infografía ilustrativa sobre las aplicaciones 3R en una cuenca fluvial

## 2. Antecedentes del enfoque 3R

### 2.1 Gestión de las reservas de agua locales para el desarrollo en el contexto del cambio climático

Existen al menos cuatro importantes argumentos a favor del enfoque 3R:

- La adaptación al cambio climático utilizando el almacenamiento natural
- Margen para la mejora de la calidad del agua
- Recirculación en la cadena del agua
- Funciones de apoyo para los ecosistemas y la agricultura

#### **La adaptación al cambio climático utilizando el almacenamiento natural**

Se prevé que el cambio climático tenga diferentes consecuencias en los distintos puntos del planeta (cuadro 1). El almacenamiento de agua desempeña un papel fundamental en la adaptación. Es un componente clave para afrontar déficits temporales (cuya duración puede variar entre una noche o un año) entre la disponibilidad de recursos hídricos y la demanda de agua.

#### **Cuadro 1: Predicciones del cambio climático**

Se prevé que el cambio climático altere el ciclo hidrológico. El 4.º Informe de Evaluación del IPCC presenta los impactos a nivel regional y muestra que estos serán diferentes a nivel regional y local. En la región del Mediterráneo, por ejemplo, se prevé que las precipitaciones estivales disminuyan entre un 5 - 20 % para 2050 - 2100. Esto podría reducir la escorrentía promedio en un 40 % en esta región que ya es relativamente seca.

En las regiones de clima monzónico, se prevén más inundaciones relámpago, especialmente en áreas urbanas; y una mayor frecuencia de precipitaciones intensas en áreas montañosas incrementará el riesgo de aludes e inundaciones, ciclones más intensos y episodios de precipitaciones prolongadas, más inundaciones costeras y una reducción de la producción y duración de los caudales debido a la menor cantidad de precipitaciones en los territorios internos. Estos cambios en la escorrentía afectarán también a la calidad del agua (Ludwig et ál., 2009).

Se estima que se podrá contar con pronósticos y perspectivas más precisas sobre los impactos en la escorrentía (cantidad y calidad) a medida que la comprensión sobre el tema y la capacidad de pronóstico mejoren. Todas las indicaciones advierten, sin embargo, que ha llegado el momento de actuar. Se pueden emprender acciones a dos niveles: el de las medidas de resultados garantizados (que resultan útiles en cualquier escenario) y el de las medidas específicas de cada clima. Las acciones 3R constituyen importantes medidas de resultados garantizados.

La utilización del subsuelo para el almacenamiento del agua y la utilización de las aguas subterráneas cuenta con numerosas ventajas. Generalmente, el agua subterránea se encuentra disponible en el punto de utilización deseado (o en las zonas aledañas). Lo mismo se aplica a los depósitos en el subsuelo. Para millones de hogares, las bombas manuales que extraen agua subterránea constituyen una fuente de abastecimiento hídrico segura. Esta disponibilidad local de agua brinda un gran alivio a las mujeres, que antes se exponían a riesgos en muchas regiones, al recorrer largas distancias transportando cargas pesadas.

La desventaja de almacenar agua en los acuíferos, en lugar de hacerlo en depósitos superficiales, es que se debe extraer con bomba. Además, los acuíferos (según sus características) pueden llenarse lentamente por infiltración a lo largo de un área relativamente amplia.

### Margen para la mejora de la calidad del agua

El almacenamiento de agua en el subsuelo tiene numerosas ventajas, entre las que se incluyen escasas pérdidas por evaporación (si las hubiera), una relativa protección contra la contaminación hídrica y una mejora en la calidad del agua. Los sólidos en suspensión son absorbidos por el suelo, las temperaturas se moderan y con un tiempo suficiente de retención en acuíferos cálidos, se eliminan muchas bacterias, virus y microorganismos unicelulares patógenos (Dillon et al., 2009). Además, el suelo puede reducir la acidez, eliminar los compuestos inorgánicos y orgánicos a través de la absorción, y los procesos tanto químicos como biológicos pueden modificar y neutralizar los compuestos peligrosos. Asimismo, el almacenamiento subterráneo de aguas superficiales y el potencial de purificación del agua de lluvia capturada *in situ* tiene la ventaja de ofrecer una fuente segura de agua, evitando así la necesidad de purificarla en primer lugar.

### Recirculación en la cadena del agua

Existe una tendencia en la gestión de los recursos hídricos a considerar la disponibilidad de agua como la suma de precipitaciones, escorrentía y depósitos. En consecuencia, la gestión del agua se limita a menudo al paradigma de la asignación de los recursos, la disponibilidad per cápita y la eficiencia hídrica; y no tiene en cuenta la circulación del agua ni el enfoque 3R (cuadro 2). El enfoque 3R puede contribuir de manera considerable al incremento de la cantidad y calidad de los recursos hídricos. Por ejemplo, en Bangladesh, la infiltración inducida de las riberas permite la reutilización del agua de los ríos con fines agrícolas o domésticos. Durante este proceso de infiltración, el agua de río cargada de arsénico se filtra, y su almacenamiento en el acuífero permite contar con disponibilidad de agua durante la mayor parte del año. En la mayoría de los casos, la utilización y reutilización del agua descritas en el capítulo 3 se llevan a cabo a través del almacenamiento a corto plazo del agua en el perfil del suelo o en acuíferos poco profundos.

### Cuadro 2: Circulación del agua en la cuenca del Nilo en Egipto

La cuenca del Nilo en Egipto sirve como ejemplo de recirculación de agua (3R). Anualmente, la cantidad de agua disponible en Asuán es de 55 km<sup>3</sup> pero el monto de agua utilizada y reutilizada en Egipto (por debajo de Asuán) es probable que se ubique entre 66 y 70 km<sup>3</sup>. Tomando en consideración la eficiencia de conducción del riego, las gotas de agua que ingresan al sistema circulan varias veces.

## Funciones de apoyo para los ecosistemas y la agricultura

Por último, la gestión de las reservas de agua subterránea tiene algunos importantes efectos colaterales beneficiosos. Estos no siempre se tienen en cuenta, pero pueden tener un impacto notable. Las capas freáticas altas contribuyen al mantenimiento de la adecuada humedad del suelo, realizando así un importante aporte a la gestión de las aguas verdes. La gestión de las aguas verdes es la gestión de la humedad del suelo (en oposición a la gestión del agua azul, que es el agua de los ríos, lagos y depósitos).



Figura 3: Pozo abierto para controlar la represa en Vanvasi (India)

Una humedad del suelo garantizada se relaciona directamente con una alta productividad en la agricultura de secano, tanto en regiones áridas como húmedas. La gestión de las aguas verdes tiene un impacto sobre la fertilidad, ya que también se beneficia de una mejor labranza, compostaje y acolchado (*mulching*), y de los procesos biológicos como fijación del nitrógeno, nitrificación y desnitrificación, y oxidación.

## 2.2 Las técnicas 3R

Numerosas técnicas, cuyos principales elementos son las 3R de Recarga, Retención y Reutilización, pueden incrementar la capacidad de almacenamiento a la escala de una subcuenca y mejorar su gestión. Algunas de estas técnicas son antiguas y se han evaluado a lo largo del tiempo, otras son nuevas e innovadoras. El enfoque 3R es necesario tanto en zonas áridas como húmedas. Es importante reconocer que el agua no solo debe ser gestionada cuando es escasa, como en las zonas áridas, sino también cuando es abundante. El modo en que se aborda este hecho puede ser distinto en unas y otras áreas, pero en todos lados se requiere una mejor gestión del agua y de la adaptación al cambio climático.

El enfoque 3R tiene como objetivo diseñar e integrar estas soluciones individuales para toda la cuenca o para la subcuenca en estrecha relación con todas las actividades de planificación locales, incluyendo la planificación espacial y el ordenamiento de la infraestructura local, el desarrollo de la tierra, el riego y las áreas naturales. La esencia del enfoque 3R es ordenar los elementos a escala, para evitar efectuar mejoras e intervenciones aisladas.

En el capítulo 3, se exponen 19 casos en los que se presenta la aplicación de técnicas 3R. Agrupadas según las tres R, los casos ilustran que la recarga, la retención y la reutilización del agua están interconectadas tanto a escala local como a nivel de la cuenca fluvial.

## Recarga

Mediante el agregado de agua a la reserva del subsuelo, la recarga contribuye a la circulación del agua. La recarga puede provenir de la intercepción de agua de lluvia y de escorrentía (recarga natural), del aumento de la infiltración de procesos naturales a través de intervenciones humanas (gestión de la recarga de acuíferos, GRA) o puede ser un subproducto de algún otro factor (por ejemplo, un riego ineficaz o filtraciones en las tuberías de los sistemas de suministro de agua). La recarga a escala, por lo tanto, requiere la gestión de la recarga natural, aplicando la recarga artificial y controlando la recarga accidental.

La recarga se ha realizado a escala en zonas de la India, China, Kenia y Etiopía, si bien es poco común en otras partes de los mismos países y en otras partes del mundo. Allí donde la recarga fue realizada a escala, la degradación de gran alcance ha sido revertida y la masa crítica resultante sentó las bases para la formación de capacidades y las inversiones locales, ya que, como se suele decir, “el éxito genera éxito”.

Existen muchas técnicas para la *gestión de la recarga de acuíferos*, algunas antiguas y evaluadas a lo largo del tiempo; otras, muy innovadoras (ver figura 1 y casos). Estas van desde los sistemas de recolección de agua de lluvia instalados en los techos de las casas, pasando por pequeñas soluciones de almacenamiento y pozos de recarga hasta la captación de agua en la cuenca hidrográfica, como en el riego por crecidas (cuadro). La recarga de agua a pequeña escala funciona mejor si se dirige a satisfacer las necesidades de los hogares locales o de la comunidad. Muchos sistemas son adecuados para su instalación y gestión a pequeña escala (hogares, comunidades) o a través de los responsables de las cuencas hidrográficas o servicios de agua privados o estatales. Las comunidades gestionan algunos de los sistemas de mayores dimensiones. Los sistemas de riego por crecidas (cuadro 3) en el Asia meridional se encuentran entre los sistemas gestionados por agricultores más grandes del mundo.

### Cuadro 3: Riego por crecidas

El riego por crecidas es un tipo de gestión del agua que es exclusiva de los ambientes semiáridos. Se encuentra en el Medio Oriente, norte de África, oeste de Asia, este de África y partes de América Latina. El flujo de agua de las cuencas de captación en las montañas se desvía de los lechos de ríos efímeros (wadis) y se esparce sobre vastas áreas para irrigar la agricultura. Los sistemas de riego por crecidas son muy propensos al riesgo. La incertidumbre proviene tanto de la imprevisible naturaleza de las crecidas, como de los frecuentes cambios en los lechos de los ríos desde los que se desvía el agua. Aquellos cuyo medio de subsistencia y seguridad alimentaria dependen de los flujos de las crecidas se encuentran a menudo en el segmento más pobre de la población rural. Se ha desarrollado una sabiduría local sustancial en la organización de sistemas de riego por crecidas y en la gestión tanto de las aguas de las crecidas como de las pesadas cargas de sedimentos que acarrear.

Tabla 1: Propuesta de clasificación de los sistemas de GRA

Técnica	Nombres utilizados
Conservación de la humedad	Labranza de pretemporada Técnicas de labranza Acolchado ( <i>Mulching</i> ) Terraplenes de tierra Compostaje
Métodos de propagación	Estanques y cuencas de infiltración, Tratamiento de acuíferos en el suelo, Inundaciones controladas
Estructuras en canal	Recarga accidental por riego Estanques de percolación detrás de las represas de contención, Represas subsuperficiales, Pérdidas en las represas y descargas de recarga
Recarga de manantiales, pozos y perforaciones	Manantiales y pozos abiertos, Almacenamiento y recuperación de acuíferos (ARA) Grandes cuencas, A veces se suplementan con dispositivos de inyección
Recogida de agua de lluvia y escorrentía	Recogida de agua de lluvia en los techos Terraplenes de tierra, zanjas, Riego por crecidas
Infiltración inducida de las riberas	Infiltración de las riberas Infiltración interdunas

Fuente: IAH-MAR (2005) e IAH-NCC (2003)

Se encuentra disponible un inventario global de las técnicas de recarga y sus aplicaciones en la página web del Centro Internacional de Evaluación de los Recursos de Aguas Subterráneas (IGRAC, <http://www.igrac.net>).

Asimismo, es importante gestionar la recarga natural. La recarga natural se beneficia del mantenimiento o la construcción de elementos paisajísticos que ralenticen y retengan la escorrentía, tales como terrazas, terraplenes bajos, depresiones y carreteras diseñadas de manera inteligente como así también terraplenes de canales. La recarga natural también se ve favorecida al garantizar que la infiltración pueda tener lugar en áreas descubiertas, al evitar la creación de áreas construidas impermeables. En las zonas agrícolas, la preparación de la tierra ayuda a

absorber una gran parte del agua de lluvia. Al planificar los sistemas de riego, la condición de las reservas en el subsuelo debe ser una consideración primaria, ya que esto permite la captura y reutilización del agua de filtración. Existe también una importante conexión entre la recarga natural y las condiciones de los ríos y arroyos. La capacidad de los ríos de almacenar y amortiguar las inundaciones no se salvaguarda mediante el confinamiento de estos en angostos diques o eliminando toda su grava y arena, sino reduciendo la velocidad de descarga, ampliando las zonas de depósitos superficiales y mejorando la interfaz de filtración con el acuífero (acuíferos comúnmente aluviales). La gestión de las cuencas hidrológicas es necesaria para equilibrar las necesidades de agua de las comunidades locales con aquellas que se encuentran aguas abajo y con el medio ambiente, respetando el volumen y los tiempos de disponibilidad de agua y mitigación de las inundaciones.

### Retención

La retención ralentiza el flujo lateral del agua subterránea. Esto ayuda a estancar el agua subterránea y crear una gran reserva húmeda en el subsuelo. En dichas condiciones, es más fácil conseguir y hacer circular el agua y la retención posibilita que se amplíe la cadena de usos del agua. Con ella, la capa freática de agua subterránea se eleva. La ralentización, o incluso el control de los desagües laterales, afecta a las capas freáticas, a la humedad y a la química del suelo. Esto ha generado la mejora del rendimiento de las áreas agrícolas de secano. Algunas opiniones consideran que en ciertos casos es mejor controlar la humedad del suelo desde el subsuelo que suministrar agua de riego superficial desde el exterior, debido a la menor pérdida por evaporación y un menor desarrollo de costras de sal en la parte superior del suelo.

Una forma elaborada de retención del agua subterránea es el drenaje controlado, a través del cual las capas freáticas se elevan o reducen según los requerimientos estacionales de almacenamiento de agua de inundaciones, de agricultura u otros usos. Los niveles de aguas subterráneas y los de los cursos de agua superficiales tienen una estrecha correspondencia y se necesita de una equilibrada coincidencia de los intereses de los actores para que funcionen.

Las muchas técnicas para la retención del agua subterránea van desde las más simples hasta las más sofisticadas. En la gama de las soluciones de bajo coste, los tapones de cárcavas de tierra en los canales de drenaje pueden retener agua subterránea en vastas áreas, una técnica común en la parte oriental de la India y Bangladesh. Las represas subsuperficiales y las represas de arena tienen este mismo efecto de retención de las aguas subterráneas y creación de un gran depósito, ya que incrementan el nivel de desagüe. En Maharashtra, en el centro de la India, los denominados “embalses KG” tienen persianas (llamadas ‘agujas’) que actúan de la misma manera, estancando el agua y recargando el acuífero aguas arriba. Los sistemas de drenaje subsuperficiales (redes de recolectores y distribuidores equipados con válvulas especiales y salidas de agua que posibilitan la gestión precisa del nivel de agua subterránea) se encuentran en la gama superior.

### Reutilización

La reutilización es el tercer elemento en la gestión de las reservas de agua subterránea. El mayor desafío del enfoque 3R es lograr la mayor circulación de agua posible. La escasez se resuelve no solo gestionando la demanda a través de la reducción de su utilización, sino también manteniendo el agua en circulación activa.

Tres procesos son importantes en la gestión de la reutilización. El primero es la *gestión de la evaporación (no beneficiosa)*. El agua que se evapora “abandona” el sistema y ya no puede circular dentro del mismo. Este es un concepto importante. En algunas zonas, por ejemplo, el riego “eficiente” reduce la recarga reutilizable y da como resultado la evaporación de un porcentaje mayor de agua. Esto genera una menor cantidad de agua disponible para su reutilización y puede poner en jaque el equilibrio hidrológico. Una fuente de evaporación es el suelo, en especial las depresiones y extensiones de humedad. Existe un delicado equilibrio entre el mantenimiento de una buena humedad del suelo (lo que se logra también mediante prácticas agrícolas, árboles umbrosos, etc.) y el evitar las pérdidas por evaporación del suelo. De hecho, en algunas zonas, una reducción de las capas freáticas (de muy altas a moderadas) disminuye dicha evaporación no beneficiosa.

El segundo proceso en la gestión de la reutilización es la *gestión de la calidad del agua*. La posibilidad de reutilización depende de la calidad del agua, con diferentes funciones que plantean distintas exigencias de calidad del agua. La gestión de la calidad del agua es un importante elemento en la gestión de las reservas subterráneas. Implica evitar la mezcla de agua reutilizable con agua de menor calidad e impedir flujos provenientes de aguas arriba o laterales de fuentes de menor calidad. Se requiere un esfuerzo significativo para garantizar que la reutilización reiterada de agua y su circulación frecuente no alteren la calidad del agua más allá de los umbrales seguros. El hecho de que la calidad del agua para consumo deba ser de una calidad superior que la utilizada para riego sugiere la secuencia necesaria de reutilización.

El tercer elemento de optimización de la reutilización es garantizar que el agua no se mueva hacia una zona donde sea *difícil de extraer* y reutilizar. La diferencia entre las reservas subterráneas húmedas y las secas es de gran relevancia en este punto. El agua que se recarga en una reserva subterránea no saturada resulta de difícil extracción y, a pesar de que no se pierde, es difícil hacer que vuelva a circular. Cuando la reserva se encuentra saturada, por otro lado, puede ser fácilmente extraída. Hablamos de reserva húmeda o zona saturada cuando existe una interacción hidrológica intensa entre la recarga y la reutilización, y entre el agua superficial y el agua subterránea. En la zona saturada, la reutilización es inmediata, ya que el agua que se filtra se recolecta y circula de nuevo rápidamente. Un importante desafío en el enfoque 3R es incrementar las “reservas subterráneas húmedas” y gestionar con éxito los problemas existentes. A través del estancamiento del agua subterránea y la ralentización del movimiento lateral, la retención puede crear o ampliar dichas zonas saturadas. Estos matices deben tenerse en cuenta, con el fin de evitar la presunción de que debido a que una cuenca es una unidad hidrológica, todos los procesos relacionados con el agua dentro de dicha cuenca son una unidad inseparable.

Es esencial para todas estas técnicas una comprensión de “lo que se oculta debajo”, o sea, las características de las reservas subterráneas. No todas estas reservas son iguales: son diferentes en tamaño, en interacción hidrológica, en capacidad de almacenamiento y en cuanto a su vulnerabilidad. La caracterización de los sistemas subterráneos en una cuenca requiere el aporte especializado de un hidrogeólogo, quien se encuentra calificado para definir los diferentes acuíferos y las propiedades clave de la cuenca (figura 4).

No existe un enfoque estándar para determinar las *estrategias para las reservas*, ya que las distintas condiciones socioeconómicas y medioambientales plantean diferentes puntos de partida. Sin embargo, son muchos los beneficios que se pueden lograr adaptando el enfoque 3R a las

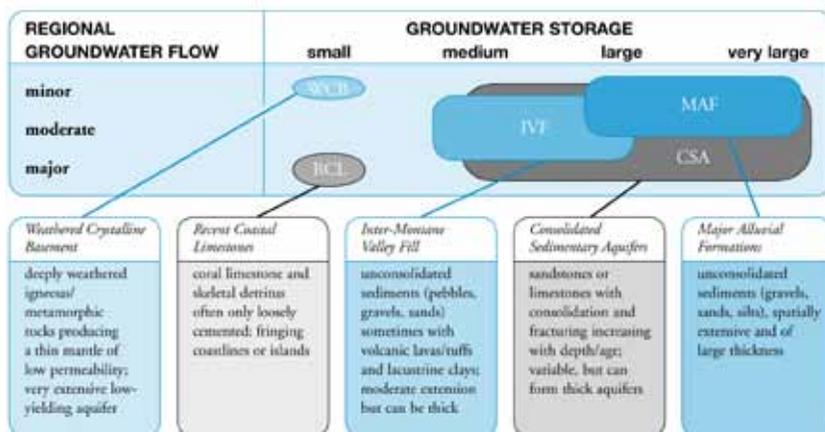


Figura 4: Resumen de las propiedades clave de los tipos de acuíferos (Fuente: Characterization of groundwater systems, GWMAE BN 2; [www.worldbank.org/gwmate](http://www.worldbank.org/gwmate))

oportunidades y preferencias locales, tal como sean identificadas por las diferentes partes que viven sobre la reserva.

## 2.3 Los procesos 3R

### Evaluando las necesidades locales

La gestión de las reservas debe derivarse de una profunda comprensión de los medios de subsistencia y las necesidades locales, sus prioridades y el potencial de la población de la zona (por ejemplo, desde el acceso al agua potable hasta el margen para el desarrollo económico). El enfoque 3R debe implementarse a escala, ser parte integral del desarrollo local y tener en cuenta las oportunidades y limitaciones locales. La disponibilidad de agua segura a través de una mejor gestión de la reserva de agua subterránea tiene diferentes consecuencias para las distintas personas que habitan el área, que deben ser objeto de una adecuada comprensión.

### Evaluación de la viabilidad

Los Mapas de Oportunidad 3R son útiles para las decisiones de inversión en 3R. Los Mapas de Oportunidad 3R se basan en la comprensión de la hidrogeología superficial y los procesos de humedad del suelo (con la ayuda de sensores remotos, cuadro 4) y los pronósticos de cambio climático decenal, preferentemente a una escala reducida para el área específica y sus proyecciones en relación con las precipitaciones y la escorrentía. Los Mapas de Oportunidad 3R son evaluaciones del potencial hidrológico e hidrogeológico e incluyen aspectos como la gobernanza y la financiación, no solo del sistema 3R en particular, sino también en lo referente a las condiciones previas para un rendimiento adecuado del enfoque 3R, incluyendo la utilización de la tierra y los posibles cambios. Así, la evaluación puede conducir a análisis integrales de viabilidad y costes y beneficios.

Otra herramienta útil para las valoraciones de la gestión del agua y del enfoque 3R es la evaluación de riesgo rendimiento-fiabilidad, la cual proporciona una perspectiva de las correlaciones entre los sistemas de gestión del agua y la mitigación del impacto de las condiciones climáticas actuales y futuras. Las evaluaciones de riesgo ayudan a resolver el debate sobre aceptación del riesgo en condiciones de incertidumbre (con y sin enfoque 3R en diferentes circunstancias).

## Información sobre el clima

Tanto para la evaluación de viabilidad del enfoque 3R y para las operaciones de 3R, se dispone de información sobre el clima y el tiempo específica y a medida, que puede y debe ser utilizada. Para una detallada descripción de los tipos de información y su utilización, consulten *Climate Change Adaptation in the Water Sector*, de Ludwig, Kabat, Van Schaik y Van der Valk.

Los análisis de series cronológicas, la hidrología estocástica (sintética) y los análisis de valores extremos pueden utilizarse en los estudios de viabilidad del 3R. La Tabla 2 ofrece una visión general de las herramientas de información climática y las ventajas y desventajas de utilizarlas en la gestión del agua (Ludwig et al., 2009)

Tabla 2: Herramientas de información climática y observaciones sobre su aplicación en la gestión del agua

Herramienta	Comentarios
Análisis de series cronológicas de las variables climáticas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Previsibilidad: la naturaleza y amplitud de la variabilidad climática oscila considerablemente según las escalas espaciales y temporales.</li></ul>
Hidrología estocástica (sintética)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Detección de tendencias: la relación señal/ruido, además de la disponibilidad de registros de observación homogéneos (de largo plazo), determina la identificación de una tendencia</li></ul>
Análisis de los valores extremos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Basados en las series cronológicas de precipitaciones e inundaciones</li></ul>
Escenarios climáticos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Proyecciones climáticas: los primeros 50 años de incertidumbres en las condiciones originales son más importantes que las incertidumbres de las fuerzas externas (emisiones de GEI)</li></ul>
Pronósticos climáticos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Correlaciones entre las temperaturas de la superficie del mar y el ENOS, la ODP, la OAN y el DOI como base para los pronósticos estacionales</li><li>• Interacciones tierra-atmósfera, particularmente la humedad del suelo, como base para los pronósticos estacionales.</li></ul>
Modelos climáticos (MCG/MCR)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Predictibilidad determinada por las condiciones originales y las fuerzas externas</li><li>• Proyecciones sobre escenario modelo: desde modelos de circulación general hasta modelos del Sistema Terrestre</li><li>• Incertidumbre relacionada con la imperfección de los sistemas de modelado: puede cubrirse mediante múltiples modelos.</li></ul>

## Implementación y financiación

Se pueden lograr una gran cantidad de gestiones de las reservas subterráneas con una planificación más considerada y con la utilización de técnicas de relativamente bajo coste. Como lo demuestran los ejemplos de 3R en práctica incluidos en este libro, muchas técnicas tienen períodos de amortización muy breves y algunas pueden llevarse a cabo por iniciativa local o de la comunidad. Dado el impacto del cambio climático a largo plazo, existe también una alta gama de 3R, lo que hace que la puesta en práctica de las aplicaciones 3R sea viable desde el punto de vista financiero. La financiación no puede limitarse a un único sector (gubernamental, sector privado o iniciativas individuales) sino que más bien debe crearse una amplia red que incluya a todos los sectores y considere a quién beneficia más y quién es el mejor posicionado para gestionar y operar los servicios 3R. Una estrategia de implementación y financiación contempla sistemáticamente las diferentes funciones que ofrece la gestión de las reservas subterráneas, identifica los intereses asociados con estas funciones y ayuda a determinar a quién involucrar en los diferentes componentes.

Varios principios están involucrados en la financiación del enfoque 3R:

- Acción e inversión en movilización: tener el conocimiento y los incentivos listos para que las familias, las empresas y las comunidades locales inviertan en recarga, retención y/o reutilización. Estos incentivos pueden provenir de beneficios directos.
- Crear combinaciones con otras inversiones: agregar la gestión de las reservas subterráneas a la planificación de carreteras, la planificación urbanística y los programas de desarrollo del territorio, para lograr una alta rentabilidad.
- Aprovechar oportunidades especiales de inversión, por ejemplo, fondos de adaptación al cambio climático, para impulsar las inversiones de terceros.
- Reconocer y utilizar los grandes intereses involucrados en el agua y las infraestructuras. En caso de extracción de arena y grava, por ejemplo, existen grandes sumas de dinero invertidas en las concesiones mineras, que pueden utilizarse para invertir en la recogida de agua de lluvia, la gestión de las reservas subterráneas y la retención de agua.

### Cuadro 4: Utilización de nueva información satelital

Una nueva generación de técnicas satelitales (como el equilibrio de la energía superficial) posibilitan evaluar la humedad del suelo, los patrones de cultivo y los rendimientos estimados de los cultivos, en series cronológicas y con gran precisión. Posibilitan además, que se realice un reconocimiento de las áreas e intervenciones más prometedoras. Con la ayuda del sensor remoto, se puede elaborar un equilibrio hídrico basado en el mismo grupo de datos y la misma metodología (en oposición a partes de diferentes cálculos) para evaluar la evaporación de todos los tipos de utilización de tierras. La combinación de esta información con los datos sobre los caudales de cursos de agua y precipitaciones permite la elaboración de un equilibrio hídrico. Esta innovadora técnica permite estimar la utilización neta de agua subterránea como resto del equilibrio hídrico. Se puede utilizar para obtener una estimación fiable de la eliminación de agua subterránea neta sin identificar las características de cada pozo. Los datos pueden también utilizarse para la calibración de los modelos de simulación de agua subterránea, basados en estudios hidrogeológicos que incluyan: perforación, evaluación de bombeo, geofísica, hidroquímica y métodos isotópicos, para caracterizar a los acuíferos y a los sistemas de flujo subterráneos. Utilizando la luz infrarroja del espectro, los satélites permiten controlar las precipitaciones a tiempo real y a escala mundial, incluso en zonas alejadas de una estación meteorológica. Esto posibilita la identificación de zonas de potencial elevado o escaso para la recogida de agua de lluvia y la gestión de la escorrentía.

## Gestión institucional y social

También es importante integrar el desarrollo del enfoque 3R en la planificación de la cuenca fluvial. Está comúnmente aceptado que las cuencas fluviales son la base para la planificación de recursos hídricos. Esto constituye no solo los fundamentos de la Directiva Marco Europea, sino que también es central en el continente africano, donde el Consejo Ministerial Africano sobre el Agua (AMCOW, por sus siglas en inglés) ha reconocido a las Organizaciones de Cuencas de Ríos y Lagos como los elementos constructivos para promover la gestión de los recursos hídricos, incluyendo el agua subterránea. La perspectiva de los medios de subsistencia también es importante: ¿qué significa el enfoque 3R y la gestión de las reservas subterráneas para las vidas de las mujeres, los hombres y los niños? La perspectiva de género también es significativa, ya que las mujeres tradicionalmente se han hecho cargo de la provisión de agua en el hogar. En muchas zonas, el cuidado del ganado también pertenece predominantemente al ámbito femenino y el papel de la mujer en la agricultura de los pequeños productores está aumentando en muchas partes del mundo. La participación de las mujeres en el enfoque 3R contribuiría notablemente a su éxito.

## Base de conocimiento e información compartida

El enfoque 3R aún se encuentra en su fase inicial y se beneficiará significativamente si se comparte la información existente y se intercambian las buenas prácticas y las lecciones aprendidas. El desarrollo de un centro de conocimiento e información compartidos se considerará en un futuro próximo. Se encuentra en desarrollo una página web ([3rwater.org](http://3rwater.org)) que servirá como punto focal para la comunicación. El hecho de compartir la información también apoyará la formulación de una agenda de investigación y desarrollo para perfeccionar el enfoque 3R y abordar el desarrollo de tecnología para la evaluación y puesta a prueba.

## Bibliografía

Dillon, P., Pavelic, P., Page, D., Beringen H. and Ward J. (2009). Managed Aquifer Recharge: An Introduction, Waterlines Report No 13, Feb 2009. <http://www.nwc.gov.au/www/html/996-mar--an-introduction---report-no-13--feb-2009.asp>.

Environment Protection and Heritage Council, National Health and Medical Research Council and Natural Resource Management Ministerial Council (2009) Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (Phase 2) Managed Aquifer Recharge. National Water Quality Management Strategy. (<http://www.ephc.gov.au/taxonomy/term/39>).

Grey, D., and C. Sadoff. (2006). Presentación en las series de seminarios "Global Issues", 25 de enero de 2006. The Global Water Challenge: Poverty, Growth & International Relations. Banco Mundial.

IAH-MAR (2005). *Strategies for Managed Aquifer Recharge (MAR) in semi-arid areas*, (editado por Ian Gale). ([http://www.iah.org/recharge/downloads/MAR\\_strategies.pdf](http://www.iah.org/recharge/downloads/MAR_strategies.pdf)).

IAH-NCC (2003). *Management of Aquifer Recharge and Sub Surface Storage - Making Better Use of our Largest Reservoir*, (editado por Jan Piet Heederik' y Albert Tuinhof), IAH-NCC publicación No. 4. ([http://www.iah.org/recharge/MAR\\_reports.htm](http://www.iah.org/recharge/MAR_reports.htm)).

Lawrence, P. and F. van Steenbergen (2005). Improving community spate irrigation. Wallingford: HR Wallingford y MetaMeta. <http://www.spate-irrigation.org/guide/guidehome.htm>

Ludwig, F., P. Kabat, H. van Schaik, y M.R. van der Valk (2009). Climate Change Adaptation in the Water Sector, Earthscan, Londres; ISBN 978-1-84407-652-9.

### 3. Casos

Este capítulo presenta ejemplos de la gestión de las reservas de agua subterránea puestos en práctica en una gran cantidad de regiones. En cada uno de los casos, las tres R se utilizan de diferentes maneras, según las prioridades y los potenciales locales. En algunos casos, se utilizan técnicas indígenas evaluadas a lo largo del tiempo, a veces, con modificaciones. En otros casos, se presentan métodos totalmente nuevos. El énfasis puede estar en la recarga, la retención (incluyendo la utilización del almacenamiento superficial local) y la reutilización, o una combinación de ellas (ver tabla). Muchos de los casos muestran que la aplicación sistemática del enfoque 3R puede mejorar y optimizar la función de reserva subterránea para regiones enteras, no solo para lugares aislados.

No	Caso	Recarga	Retención	Reutilización
1	Estaques de infiltración en dunas, Atlantis (Sudáfrica)	<input type="checkbox"/>		
2	Infiltración a pequeña escala de las riberas: utilización del almacenamiento de sedimentos fluviales, Bangladesh e India	<input type="checkbox"/>		
3	Recarga artificial de agua subterránea y zonas de protección en regiones áridas, Represa de Wadi Wala (Jordania)	<input type="checkbox"/>		
4	Suministro de agua potable en regiones con aguas subterráneas saladas, Chaco(Paraguay)	<input type="checkbox"/>		
5	Represas de almacenamiento en la arena, Kitui (Kenia)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	Utilización de las inundaciones para el riego y la recarga, Yemen	<input type="checkbox"/>		
7	Desviación de las inundaciones breves para la infiltración de las cuencas en zonas extremadamente áridas, Níger	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	Búsqueda de alternativas para la extracción de arena de los lechos ribereños, India y Sri Lanka	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	Estanques subsuperficiales: interceptación del caudal de agua subterránea para almacenamiento, Brasil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	Retención del agua en zonas muy húmedas, Bengala del Norte (India)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	Creación de un “banco de agua” con excedentes de agua superficial, Namibia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	Estanques de retención de agua superficial de gran altitud, Perú		<input type="checkbox"/>	
13	Recogida de agua de lluvia en las regiones secas, África subsahariana	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	Recogida de agua de manantial, Tanzania		<input type="checkbox"/>	

No	Caso	Recarga	Retención	Reutilización
15	Recogida de agua de lluvia en zonas afectadas por la sal, Senegal		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	Múltiples aspectos del agua de lluvia, Nepal		<input type="checkbox"/>	
17	Drenaje controlado, Países Bajos		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	Utilización conjunta de las aguas subterráneas y superficiales en el riego de gran escala, Marruecos	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
19	Optimización de la infraestructura de carreteras para la recarga, la retención y la reutilización, Kenia, China y Brasil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

# Estanques de infiltración en dunas

## Atlantis (Sudáfrica)

Las dunas de arena son elementos orográficos favorables para almacenar agua, debido a su alta permeabilidad y su -por lo general- gran capacidad de almacenamiento. La infiltración de dunas se utiliza ampliamente a diferentes escalas y con diferentes fines, incluyendo el suministro de agua potable, la mejora de la calidad del agua a través de la filtración, para mantener una reserva estratégica y como una barrera contra la intrusión de agua subterránea salina.



*Figura 1: Estanque de infiltración en dunas en Atlantis (Sudáfrica).*

### Descripción

En Atlantis (Sudáfrica), la infiltración de dunas se utiliza para el suministro de agua potable y la protección de reservas de agua dulce subterránea contra la intrusión de agua subterránea salina. La ciudad de Atlantis, ubicada 50 km al norte de Ciudad del Cabo, junto con la costa oeste semiárida de Sudáfrica, tiene más de 100. 000 habitantes. El consumo de agua sin restricciones es de aproximadamente 7 MCM/año (en 2000).

La mayor parte del promedio de los 450 mm de precipitaciones anuales se da entre abril y septiembre. Debido a que los suelos son mayoritariamente arenosos, entre un 15 % y un 30 % del agua de lluvia recarga la reserva subterránea. En las áreas de dunas desnudas, los porcentajes de recargas son los más altos. Desde su establecimiento en 1976, la ciudad ha dependido del agua subterránea para el abastecimiento hídrico. Sin embargo, las fuentes de agua subterránea son limitadas. Para aumentar las provisiones de agua subterránea, poco tiempo después comenzó a aplicarse la recarga artificial (figura 1).

Al ser un desarrollo nuevo, la ciudad se planificó con áreas residenciales e industriales totalmente separadas. Este hecho contribuyó al éxito de la operación de recarga artificial, ya que fue posible desviar las aguas pluviales (para infiltración en la cuenca) y los flujos de aguas residuales de calidad inferior del área industrial, que se encauzaron hacia una planta de tratamiento de aguas residuales (figura 2).

## Técnicas utilizadas

Para mejorar la recarga natural de precipitaciones en las aguas subterráneas, se construyeron estanques de infiltración en las formaciones de dunas con alta permeabilidad. Se excavaron estanques o se formaron a través de diques de contención que conservaban el agua de recarga hasta que se hubiera infiltrado a través del fondo de la cuenca.

En la zona de Atlantis, la escorrentía superficial por lo general es escasa en condiciones naturales, debido a la alta capacidad de infiltración del suelo. Se advirtió que se generarían altos volúmenes de agua de lluvia tras la urbanización y el consecuente endurecimiento de la superficie del suelo. Sin embargo, la escorrentía de agua de lluvia se consideró una fuente de agua valiosa para aumentar las provisiones de agua dulce en la región y en consecuencia, se construyó un sistema de recolección de agua de lluvia. Como una fuente de agua adicional, las aguas residuales domésticas tratadas se recargan al acuífero junto con las aguas pluviales.

## Resultados e impactos

El sistema de recarga artificial en Atlantis es un esquema de tamaño medio que necesita de una gestión profesional, servicio brindado por el Departamento de Aguas de la alcaldía de Ciudad del Cabo. Los siguientes puntos describen algunas de las experiencias clave en el mantenimiento y la operación del sistema en los últimos 20 años:

- El mantenimiento de la estructura de recarga es importante. El fondo del estanque debe inspeccionarse y tratarse de manera regular para minimizar las obstrucciones con el fin de contener los porcentajes de infiltración y mantener la evaporación de las aguas abiertas a un nivel mínimo;
- Se ha comprobado que la obstrucción de las perforaciones de extracción ocasionadas por el hierro, debido a un bombeo excesivo, son un problema de notables dimensiones y gravedad. Desde 1999 hasta 2002, se examinaron y recuperaron las perforaciones utilizando técnicas de tratamiento especiales;
- La gestión de la calidad del agua y, en particular, la salinidad, han representado otro gran desafío. Las acciones de gestión para controlar la salinidad en el suministro de agua de Atlantis han incluido el lanzamiento de una inspección química detallada de las fuentes de salinidad, el control regular y el establecimiento de un sistema contra todo tipo de derrames no controlados;

- Algunas industrias han comenzado acciones de concienciación y mejores prácticas medioambientales. Una mayor comprensión de las amenazas de contaminación permiten a estas industrias mejorar sus procedimientos operativos para proteger sus recursos hídricos.

Algunas ventajas y desventajas genéricas de la infiltración de dunas son:

Ventajas	Desventajas
- Los caudales previstos pueden adaptarse mediante la construcción de cuencas de paisaje.	- No adecuado para rellenos sanitarios o zonas con ondulaciones.
- El caudal intermitente de agua de inundaciones se puede almacenar para ser luego infiltrado.	- Riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en presencia de suelos muy porosos (la cuenca debe declararse área protegida)
- Las obstrucciones pueden mitigarse con el uso de técnicas de construcción de cuencas adecuadas o procesos operativos.	- El almacenaje de agua de la superficie puede fomentar la aparición de vectores de enfermedad relacionados con la superficie del agua y en consecuencia, aumentar el riesgo de enfermedades como la malaria.
- Puesto que las cuencas de infiltración cuentan con un sistema de toma, es posible suspender la toma durante períodos en que la fuente de agua es de mala calidad.	
- Se integran en el paisaje del sitio de emplazamiento.	

## Conclusión final

Los habitantes de Atlantis (> 100.000) tienen acceso al agua de buena calidad para el consumo en una región semiárida con pocos recursos hídricos superficiales y precipitaciones escasas. Habida cuenta del patrón de precipitaciones cada vez más irregular en el África meridional, este método de captura del agua en las dunas se considera el más apropiado para afrontar la demanda creciente y adaptarla al cambio climático.

La recarga artificial a través de los estanques de infiltración puede aplicarse prácticamente en todos lados, siempre y cuando exista un suministro de agua dulce limpia disponible al menos parte del año, el fondo del estanque sea permeable, y el acuífero que se recarga se encuentre en la superficie o cerca de la superficie.

Además de las precipitaciones naturales, los estanques de infiltración pueden también recibir agua de lluvia y aguas residuales domésticas tratadas. Los estanques, sin embargo, requieren una amplia área superficial y, por lo tanto, únicamente resultan adecuados donde existe un lugar considerable para su instalación. Debido a que los estanques de infiltración son muy vulnerables a la contaminación, deben estar ubicados en un área protegida.



Figura 2: Mapa del esquema de recarga artificial de Atlantis (Fuente: Tredoux G. 2002).

## Bibliografía

Asano, T. (1985). *Artificial Recharge of Groundwater*. Butterworth Publishers. Stoneham, EEUU.

Gale, I. (2005). *Strategies for Managed Aquifer Recharge (MAR) in semi-arid areas*. IAH – MAR, UNESCO IHP. Paris, Francia.

Tredoux G., and Cavé L.C. (2002). *Atlantis Aquifer: A status report on 20 years of groundwater management at Atlantis*. ENV-S-C 2002-069. CSIR

Tredoux G., and Cavé L.C. (2002). Long-term stormwater and wastewater infiltration into a sandy aquifer, South Africa. Management of Aquifer Recharge for Sustainability. Proceedings of ISAR-4, Adelaide, Australia del Sur.

IAH-NCC (2003). Management of Aquifer Recharge, Making Better Use of Our Largest Reservoir; (NCC-IAH publicación no.4), disponible en <http://www.iah.org>

# Infiltración a pequeña escala en las riberas: utilizando el almacenamiento de sedimentos de los ríos

## Bangladesh e India

Cuando los ríos o arroyos fluyen, el agua se almacena en los sedimentos de los ríos, en los lechos y en las riberas. Este almacenamiento y el caudal subterráneo naturales pueden utilizarse efectivamente a través de sistemas de infiltración de las riberas (RBI; por sus siglas en inglés). Estos sistemas y procesos se ejemplifican con un caso de Bangladesh, donde los recursos hídricos contienen una alta concentración de arsénico; y un caso de Maharashtra donde el agua tiene altos niveles de flúor. Otros nombres utilizados para esta técnica son infiltración inducida de las orillas o sistemas de infiltración de agua superficial.

### Descripción

La infiltración de las riberas por lo general utiliza una galería, un pozo o una línea de pozos (perforados) a una corta distancia del río. La extracción de agua subterránea de las perforaciones o de galerías baja los niveles de la capa freática adyacente al río, incrementando la infiltración natural del agua de río en el acuífero. Durante el flujo de agua subterránea del lecho del río hacia el pozo, los contaminantes y los patógenos se eliminan a través de procesos físicos, químicos y biológicos.



Figura 3: Pozo de infiltración en las orillas del río en Bangladesh, para un suministro de agua libre de arsénico

Un ejemplo de una aplicación exitosa en un área húmeda es la infiltración en las orillas en Chapai Nawabganj (Bangladesh), donde el agua sin arsénico se extrae de un pozo cerca del río (figura 1). El pozo excavado en Maharashtra (figura 2) muestra la infiltración de las riberas en una región seca desde el que se bombea agua libre de flúor durante todo el año para abastecer a una comunidad cercana.

### Técnicas utilizadas

Los esquemas de infiltración de las riberas se instalan por lo general cerca de los ríos que se encuentran conectados hidráulicamente al acuífero a través de sedimentos permeables, tales como arena y grava. Un criterio de diseño importante para la infiltración de las orillas de los ríos es la garantía de un recorrido mínimo de 30 a 60 días del agua desde el río hasta el punto de extracción, para obtener una purificación satisfactoria.

En la figura 1, se muestra un diseño típico de una infiltración de las orillas de un río. El principal componente es el dispositivo de extracción, que por lo general es un pozo perforado o excavado a mano, con filtros verticales u horizontales, según el espesor del acuífero.

Cuando los sedimentos permeables son finos, las galerías de infiltración pueden instalarse en la base del acuífero para permitir una recarga mayor de la que hubiera sido posible de otro modo.

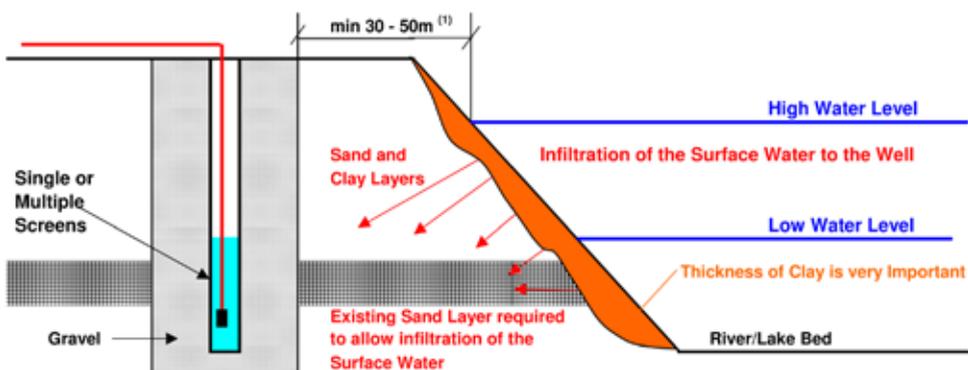
Un enfoque típico para el diseño de un sistema de infiltración a pequeña escala en las orillas de los ríos es el siguiente:

- perforación de pozos de observación poco profundos para comprobar la calidad del agua, flujo del agua subterránea y el tipo/profundidad de los sedimentos (incluyendo el espesor de la capa de arcilla a lo largo de la ribera);
- perforación de un pozo de producción para una prueba de descarga constante (72 horas) durante la cual se observan los niveles de agua subterránea en los pozos de inspección;
- evaluación de la prueba y cálculos con un modelo de agua subterránea (simple) para diseñar los pozos de extracción, estimar la capacidad de almacenamiento del acuífero y verificar el tiempo de recorrido del agua de 60 días.



Figura 4: Pozo de infiltración en las riberas en Maharashtra

Algunos esquemas más grande de infiltración de las riberas se suplementan con estanques de infiltración o pozos de recarga para mejorar la calidad del agua e incrementar la recarga (figura 1). Se puede aplicar un depósito artificial al lecho del río, creando un entorno reducido para prevenir la contaminación de agua infiltrada por el material orgánico.



**NOTE**

1. This distance is required to avoid contamination at the abstraction point. It depends on the grading of the various sand/clay layers

Figure 5: Diseño típico de RBI

Muchos esquemas de infiltración de los lechos de los ríos son operativos, y van desde grandes esquemas para el suministro de agua potable a ciudades como Budapest y Berlín, a pequeños esquemas para el abastecimiento local de agua, que consisten en unos pocos pozos a lo largo de la orilla del río. Cuando es necesario, durante los períodos de baja descarga del río, los esquemas de reducidas dimensiones pueden utilizar agua subterránea del almacenamiento natural.

## Resultados e impactos

La infiltración en las orillas de los ríos proporciona agua potable sin tratamientos caros y es una solución rentable comparada con el tratamiento de aguas superficiales o la conducción de agua desde largas distancias (cuadro). Para la infiltración en las riberas de pequeña escala, existe la ventaja adicional de que la capacidad de almacenamiento de los sedimentos alrededor del lecho del río proporciona una fuente de agua durante el período seco, cuando no hay caudal en el río.

La mejora en la calidad del agua (comparada con la utilización directa del agua superficial) es la principal ventaja de los esquemas de infiltración en las riberas. También, los efectos de las puntas piezométricas son limitados, comparados con la extracción de agua subterránea.

Si el acuífero se extiende por debajo del río, el abastecimiento de agua será más seguro durante el período de caudal limitado. Esto es particularmente importante para los sistemas más pequeños que suministran agua potable a pueblos o ciudades pequeñas. Las desventajas son que la superficie del lecho del río puede necesitar ser rastrillada en los períodos de bajos niveles de agua. Si la obstrucción del lecho del río o lago es excesiva, incrementa la resistencia del agua del río dentro de los sedimentos. La contaminación a largo plazo del agua de río con contaminantes orgánicos persistentes (como pesticidas y fármacos) puede contaminar el agua subterránea y, por lo tanto, esta es actualmente la mayor amenaza para los sistemas de RBI. Por lo tanto, la supervisión de la calidad del agua y de la calidad del agua extraída deben ser una parte integral de la rutina operativa.

## Conclusión final

La infiltración de las orillas de los ríos a pequeña escala es un medio rentable para abastecer agua más segura con una alta calidad durante todas las épocas del año en comparación con la utilización de agua superficial. El almacenamiento de agua superficial de ríos y lagos en acuíferos adyacentes también evita las pérdidas por evaporación de un recurso que está siendo cada vez más escaso tanto en tiempo como en espacio.

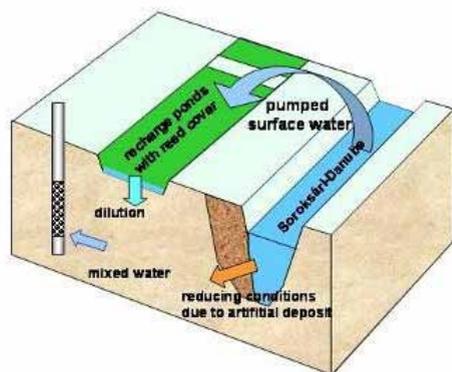


Figure 5: RBI con estanques de recarga

## Mwingi (Kenia): infiltración local de las orillas del río frente a la conducción desde largas distancias

La ciudad de Mwingi se encuentra ubicada a lo largo del río efímero Tyaa en la semiárida provincia oriental de Kenia (precipitaciones de 600 mm/año). La principal fuente hídrica es el agua subterránea obtenida de los pozos (temporales) excavados en el lecho del río. La alcaldía construyó un pozo excavado permanente a lo largo del lecho del río en 1983, desde el que se bombea el agua hacia la ciudad. La capacidad se incrementó en 1993 con un nuevo pozo (3 m de diámetro). El agua abastecía a 300 casas y a un número de puntos públicos expendedores de agua a una tarifa fija de 480 Ksh al mes. Se planeó una extensión mayor pero nunca se llevó a cabo debido a la construcción de un sistema de provisión de agua totalmente nuevo.

Luego, se construyó un nuevo sistema en 1998, que traía agua de la represa de Kimbere (a 60 km de distancia). El agua se bombea hacia un depósito de 2 700 m<sup>3</sup> y se distribuye por gravedad. El nuevo sistema se puso en funcionamiento con un operador regional (TARDA) que cobra Ksh 170/m<sup>3</sup> para las 300 conexiones hogareñas y Ksh 2,5 cada 20 litros para siete kioscos del pueblo. También se cobraba un recargo por el contador de agua. Desde su construcción, el nuevo sistema estuvo fuera de funcionamiento de manera periódica por períodos indefinidos, que a veces llegaban a durar un mes. Durante estos períodos, los proveedores de agua (utilizando burros) la distribuyen desde los pozos temporales en el lecho del río a un precio de Ksh 10 - 20/m<sup>3</sup>.

Existe un gran descontento entre las instituciones locales y los consumidores acerca del alto coste y el bajo nivel de servicios del nuevo sistema. Ellos preferirían reinstalar y ampliar el viejo sistema, que gestionaba la alcaldía y proporcionaba agua de buena calidad a un coste accesible.

## Lecturas adicionales

IAH-NCC (2003) *Management of Aquifer Recharge, Making Better Use of Our Largest Reservoir*; (publicación NCC-IAH no.4). Disponible en [www.iah.org](http://www.iah.org)

IAH (2005), *Strategies for Management Aquifer Recharge (MAR) in semi-arid areas* (Comisión IAH-MAR; editado por Ian Gale). Disponible en [www.iah.org](http://www.iah.org)

# Recarga artificial de agua subterránea y zonas de protección en regiones áridas

## Represa de Wadi Wala (Jordania)

Jordania es un país con una extrema escasez de agua y con una disponibilidad de recursos hídricos de aproximadamente 135 m<sup>3</sup> anuales por persona. Los principales factores que han llevado a esta situación son el alto índice de crecimiento demográfico y la llegada de refugiados de los países vecinos, afectados por las guerras y la inestabilidad civil.

En Jordania, las precipitaciones se producen únicamente en una temporada húmeda corta (habitualmente, de noviembre a marzo) y se concentran en la parte más occidental del país (figura 1). Desde fines de la década de 1960, el Gobierno de Jordania ha construido varias represas para almacenar el agua superficial durante el período húmedo y utilizarla principalmente en el período seco. Hasta hace muy poco tiempo, la mayoría de estas represas se utilizaban para riego. Sin embargo, en años recientes, el Gobierno ha construido una cantidad de grandes represas con el fin de hacer una utilización cada vez mayor del agua superficial para consumo humano. Dos de estas represas se ubican en la parte centro-occidental del país y se completaron en 2003: la represa de Wadi Mujib, con una capacidad máxima de almacenamiento de 31,2 millones de metros cúbicos (MCM) (rendimiento seguro: 16,6 MCM/año) y la represa de Wadi Wala con una capacidad máxima de almacenamiento de 9,3 MCM (rendimiento seguro: 17,7 MCM/año).

Ambas represas se ubican en la parte occidental de la cuenca hidrológica de agua superficial, cerca del mar Muerto. La represa de Wadi Mujib se ubica en una zona en la cual las condiciones geológicas y las instalaciones técnicas garantizan que no se producirán infiltraciones hacia el agua subterránea. La represa de Wadi Wala, sin embargo, se ha construido en una zona en la que el agua superficial almacenada se puede infiltrar en el principal acuífero utilizado en Jordania, el denominado acuífero A7/B2. El agua subterránea recargada artificialmente en la represa de Wala luego se extrae en la zona de aguas abajo, en el campo de pozos Wala/Heidan, a unos 8 km al oeste de la represa. Este campo de captación abarca aproximadamente 40 pozos y se ha utilizado desde principios de la década de 1980. Desde 1992, el volumen extraído de los pozos ha sido de alrededor de 12 MCM/año, con variaciones de entre 8 y 14 MCM/año.

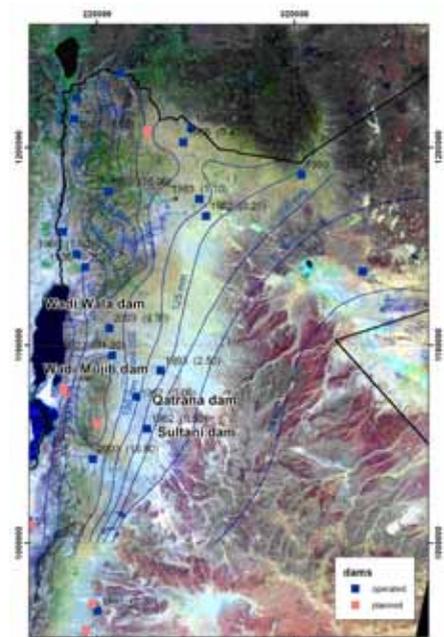


Figura 1: Ubicación de las represas de Wadi Wala y Mujib con capacidades de almacenamiento máximas (MCM) y distribución promedio de las precipitaciones.

Hay muchos pozos que controlan el nivel de las aguas ubicados corriente abajo de la represa y en las cercanías del campo de captación. Estos muestran que en el área inmediata a la represa, ubicada corriente abajo, los niveles se han elevado entre 25 y 40 m después de la puesta en marcha de la represa (figura 2). Incluso en el campo de captación de Wala/Heidan, los niveles de aguas subterráneas han subido entre 16 m en las márgenes y 35 m en la parte central del campo de captación.

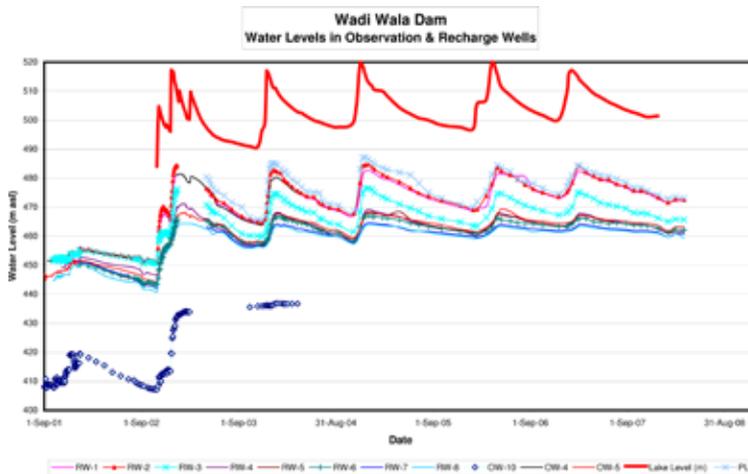


Figura 2: Gráficos de supervisión del nivel del lago y de los niveles subterráneos en el área corriente abajo de la represa Wadi Wala (distancia máxima de los pozos de control desde el depósito: 2 km)

## Técnicas utilizadas

Tras seis años de operación, la recarga subterránea artificial en la represa de Wadi Wala ha demostrado ser efectiva hasta ahora. Los pozos de inyección, instalados durante la construcción de la represa, hasta ahora no se han utilizado. Mientras tanto, se han acumulado considerables cantidades de sedimentos en el fondo del depósito (figura 3), lo que ha provocado un bloqueo de la cañería de extracción inferior y del desagüe de fondo. Actualmente, el agua solo puede liberarse por la cañería de extracción inferior. Cuando el depósito quedó seco, durante el verano de 2008, se observó que una fina capa de sedimentos también cubría las paredes laterales del depósito. Los datos de supervisión del nivel del agua a largo plazo muestran que la acumulación de sedimentos no ha provocado (o al menos de momento) una disminución significativa en la recarga artificial de agua subterránea. Por lo tanto, se supone que la recarga subterránea artificial actual en la represa de Wadi Wala se produce principalmente en dirección lateral y luego sigue fracturas verticales. A largo plazo, sin embargo, se prevé que la recarga se reduzca, debido a la acumulación de sedimentos y a la saturación, y se deberán utilizar los pozos de inyección. Esto puede también traer aparejados cambios en la composición hidroquímica en el depósito, tal como se observó en la represa de Wadi Mujib.

Por lo tanto, es importante que, durante la fase de diseño y construcción de las represas, el problema de la acumulación de sedimentos por aportes sedimentarios y desprendimientos de tierras sea afrontado de manera adecuada, especialmente en lo relativo a los estanques destinados a la recarga artificial de agua subterránea. El aporte sedimentario en los depósitos puede reducirse mediante la instalación de grandes cuencas de amortiguación en la zona de aguas arriba, que requieren ser



Figura 3: La acumulación de sedimentos en el fondo de la represa de Wadi Wala provocó la obstrucción del desagüe del fondo y la cañería de desagüe inferior.

vaciadas de manera regular. Es importante mencionar que los intentos anteriores del Gobierno de Jordania de gestionar las represas de recarga artificial en la zona llana de Qatrana y Sultani al este de los embalses de Mujib y Wala (figura 1) no tuvieron éxito, debido a problemas de sedimentación.

En el marco de un proyecto de cooperación técnica entre Jordania y Alemania, se han creado zonas de protección de las aguas superficiales tanto para los embalses de Wadi Wala como de Mujib (Margane *et ál.*, 2008 y 2009). Entre los criterios más importantes, se utilizó el ángulo de la pendiente para la delimitación de la zona de protección 2 (Margane *et ál.*, 2007). En las líneas directrices al respecto, la zona 2 se define como una zona de reserva subterránea de 500 m alrededor de la zona 1, y la zona 1 se identifica como una zona de reserva subterránea de 100 m alrededor de un depósito. La zona 2 se mide desde el nivel de agua más alto posible si la pendiente dentro de la zona es inferior a  $2^\circ$ . Si la pendiente excede los  $2^\circ$ , a los 500 m, la zona 2 se definirá hasta el punto en el que la pendiente sea inferior a  $2^\circ$ . En el área de aguas abajo, la zona 2 alcanza un máximo de 5 km que sigue el curso de los principales wadis que desembocan en la zona 1. En la figura 4, se puede apreciar la zona de protección para el embalse de Wadi Wala. Las principales consecuencias de la definición de la zona de protección para las represas son que el Gobierno de Jordania deberá establecer sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales para los pueblos cercanos a los embalses. En el caso del embalse de Wadi Wala, deben considerarse la protección del depósito, así como la zona entre la instalación de recarga artificial y la instalación de extracción del agua subterránea y el campo de captación Wala/Heidan (figura 5), ya que la contaminación también puede producirse a lo largo de este recorrido del caudal. Los principales riesgos para el agua subterránea en esta área tienen relación con las prácticas agrícolas, concretamente, la utilización abundante y frecuente de fertilizantes y pesticidas orgánicos y químicos sin tratar. Luego del establecimiento de ambas represas, las áreas cultivadas se expandieron, especialmente cerca de las represas y aguas abajo. Por lo tanto, es importante que se aborden los problemas de la protección de la superficie y de las aguas subterráneas al seleccionar y diseñar los sitios para los embalses. Únicamente de este modo la protección de los recursos hídricos puede ser efectiva.



Figura 4: Zonas de protección del agua superficial para el embalse de Wadi Wala (según las líneas directrices de Jordania, la zona 2 para los principales wadis cubre una zona de reserva de agua subterránea de 350 m a ambos lados del centro del wadi)



Figura 5: Ubicación de los embalses de Wadi Wala y Wala/Heidan. Campo de captación con red de abastecimiento de agua (las áreas verdes entre el depósito y el campo de captación indican áreas de riego)

## Bibliografía

Margane, A., Borgstedt, A., Hamdan, I., Subah, A. y Hajali, Z. (2009): Delineation of Surface Water Protection Zones for the Wala Dam. – Proyecto de cooperación técnica ‘Groundwater Resources Management’, Informe técnico N.º 12, preparado por BGR & MWI, archivo BGR N.º 0128313, 126 p.; Amán.

Margane, A., Subah, A., Hajali, Z., Almomani, T., Koz, A. (2008): Delineation of Surface Water Protection Zones for the Mujib Dam. – Proyecto de cooperación técnica ‘Groundwater Resources Management’, Informe técnico N.º 10, preparado por BGR & MWI, archivo BGR N.º 0128312, 132 p.; Amán.

Margane, A. & Subah, A. (2007): Guideline for the Delineation of Surface Water Protection Areas. – Proyecto de cooperación técnica ‘Groundwater Resources Management’, Informe técnico N.º 6, preparado por BGR & MWI, archivo BGR N.º 0126943, 117 p.; 1 CD; Amán.

# Suministro de agua potable en regiones con aguas subterráneas saladas

## Chaco (Paraguay)

### Introducción

Las áreas con aguas subterráneas salinas se encuentran entre las de más difícil abordaje en términos de provisión de agua potable. La recogida de agua de lluvia y la cuidadosa gestión de las lentes de agua dulce subterránea brindan una alternativa importantísima en dichos lugares. Un ejemplo de una vasta región con agua subterránea salina es la llanura chaqueña en Paraguay.

### Descripción

El Chaco (con una superficie de 240 000 km<sup>2</sup>) abarca dos tercios del Paraguay (figura 1). El área se encuentra escasamente poblada y su nivel de desarrollo es bajo. Los recursos de agua potable son limitados. Gran parte de sus aguas subterráneas son salinas, y no existen ríos ni lagos perennes. El Chaco es un gran cono de deyección de los depósitos de sedimentos provenientes de los Andes. El área del Chaco Central y Occidental hasta el río Pilcomayo cubre el antiguo delta del río Pilcomayo. Está compuesto por sedimentos granulosos de tamaño medio a muy fino (arena, limo, arcilla y todas las transiciones) con acuíferos y acuitardos que se alternan. La arena fina, el limo y la arcilla se intercambian tanto lateral como verticalmente. Siguiendo la leve inclinación del viejo delta, el agua subterránea fluye lentamente de oeste a este, a una velocidad de entre 0,6 y 1,8 m/año (Junker, 1996). En la parte central del Chaco, la capa freática más superficial se encuentra a una profundidad de entre 3 a 15 m. El agua subterránea en el área oscila entre salobre y

extremadamente salada, con una conductividad eléctrica de hasta 60 000 ppm (a 25 °C) (Echeverría, 1989; Godoy, 1990). Las precipitaciones anuales medias son de entre 800 y 900 mm, llegando hasta los 1 600 mm en un año pico. La mayor parte de las lluvias tiene lugar entre noviembre y marzo, cuando la evaporación también se encuentra en su pico máximo.



Figura 1: Ubicación del Chaco en el Paraguay

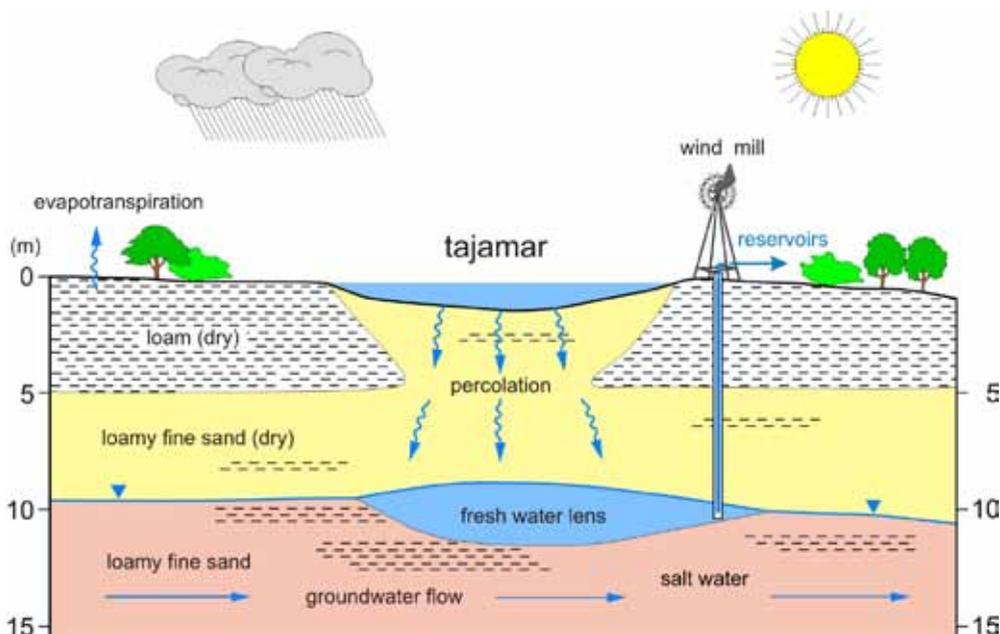


Figura 2: Formación de lentes de agua dulce como resultado de la infiltración de agua de lluvia

## Técnicas utilizadas

La utilización de agua de lluvia durante la temporada de precipitaciones es fundamental para garantizar la provisión de agua doméstica. Con este fin, se utilizan dos métodos en la región del Chaco:

- i. Recogida de agua de lluvia. El agua de lluvia se recoge de los techos y se almacena en cisternas subterráneas. El agua se eleva mediante bombas manuales o se bombea hacia tanques ubicados en altura mediante bombas eléctricas (Keller, 1995). Si los conductos y cisternas se mantienen limpios, la calidad del agua será buena.
- ii. El almacenamiento de agua superficial y la recarga artificial de agua subterránea se realiza mediante los tajamares. Algunos tajamares recogen escorrentía de una vasta área y la almacenan en un depósito superficial. Otros tajamares son depresiones realizadas por el hombre (figura 2) que, junto con las depresiones naturales, alimentan las lentes de agua dulce locales. Estas lentes de agua dulce flotan por encima del acuífero salino. Se forman cuando se cumplen las siguientes condiciones:
  - La depresión está alimentada por una amplia área de cuenca;
  - Se dan precipitaciones pluviales muy intensas (más de 35 mm), de manera tal que el agua pueda acumularse en las depresiones o *tajamares*;
  - El suelo arenoso en la depresión o tajamar facilita la percolación del agua;
  - La zona no saturada es arenosa y altamente permeable, de manera tal que se encuentra disponible una reserva subterránea con capacidad de almacenamiento suficiente;
  - La capa freática se encuentra al menos a 4 metros de profundidad, lo que evita la evaporación;

- Hay únicamente un caudal de agua subterránea de muy baja velocidad, y por lo tanto, la lente de agua dulce no sufre intromisiones ni se mezcla con el agua subterránea salina que la rodea.

Los sistemas de tajamares se gestionan de manera comunitaria. Proporcionan una fuente de agua en condiciones muy difíciles, y sirven como herramienta de adaptación al cambio climático, ya que se benefician de las lluvias de gran intensidad. El agua se bombea hacia un depósito a través de un molino, como se muestra en la figura 3. Para evitar la contaminación ocasionada por los animales, los tajamares deben estar cercados. El coste general de los tajamares fue de aproximadamente 20 000 euros, para abastecer a una comunidad de 400 personas (60 casas). Este coste incluyó la estructura de recarga, un molino de viento, cinco cisternas y caños, los costes de las tuberías y de la mano de obra. Este monto habitualmente se encuentra dentro de la capacidad de gasto de la comunidad local. Los tajamares pueden ser planificados y *construidos* por la comunidad local de manera autónoma, por lo tanto, se desarrollará el sentido de propiedad y se dará un proceso de transferencia de conocimiento. Esto es indispensable para garantizar que los sistemas de provisión de agua se operarán y se mantendrán en el futuro.



Figura 3: Un molino de viento bombea agua hacia un depósito

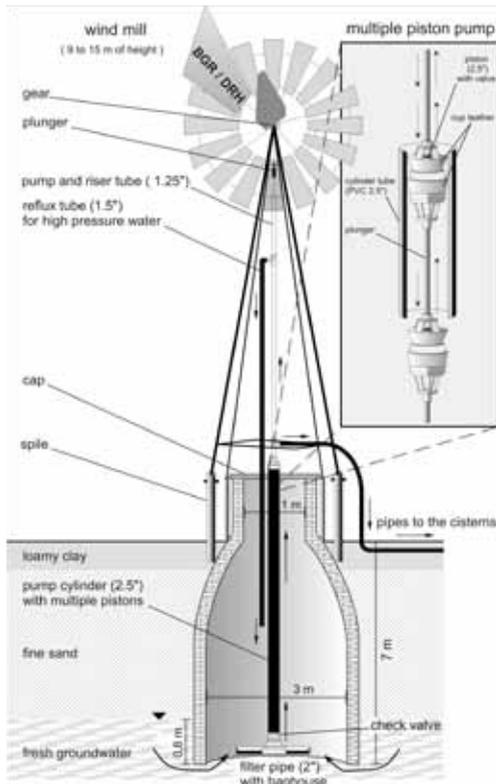


Figura 4: Vista esquemática de un molino de viento

## Bibliografía

Godoy, E.V. (1990). Características hidrogeológicas e hidroquímicas de la region oeste del Chaco Paraguayo. – Dpto. Abast. Agua para el Chaco: 107 S., 27 Abb., 7 Taf.; Filadelfia, Paraguay (DRH).

Junker, M. (1996). Determinación de las características hidrogeológicas y evaluación de al recarga de aqua subterránea en el area del Tajamar Serenidad, Filadelfia. - Info. Téc. No. 14, Coop. Hidrol. Parag.-Alem.: 57 S., 3 Abb., 3 Taf.; Filadelfia, Paraguay (BGR/DRH).

Keller, S. (1995). Posibilidades de desarrollo del Chaco Paraguayo por el control del consumo del aqua subterránea y el aprovechamiento de las precipitaciones. – Info. Téc. No. 14, coop. Hidrol. Parag.-Alem., 25 S., 8 Abb.; BGR/DRH, Filadelfia, Paraguay.

Hoyer, M. von, Junker, M., Centurion, C., Irrazabal-Soza, D., Larroza, F.A., Farina-Larroza, S. and J.L. Paredes-Rolon. (2000). Sustained Water Supply by Artificial Groundwater Recharge in the Chaco of Paraguay.- SH1 (2000), Sonderheft ZAG p. 207-215

# Represas de almacenamiento en la arena en Kitui

## Kenia

### Introducción

La implementación a gran escala de las intervenciones de recarga del agua subterránea tiene muchos beneficios con respecto a los sistemas individuales. Los volúmenes almacenados de agua subterránea por lo general son mayores, y se evita el daño ecológico ocasionado por una fuente de agua única y mucho más grande. Los beneficios sociales también son numerosos, como se pudo observar en el Distrito de Kitui (Kenia), en el que se construyeron más de 750 represas de almacenamiento en la arena.



Figura 1: Una típica represa de almacenamiento en la arena durante la temporada seca en el Distrito de Kitui

### Descripción

El Distrito de Kitui está ubicado 150 km al este de Nairobi. El tamaño del distrito es de aproximadamente 20 000 km<sup>2</sup>, incluyendo los 6 400 km<sup>2</sup> deshabitados del Parque Nacional de Tsavo. El área es semiárida y las precipitaciones se concentran en dos estaciones húmedas. Las lluvias generalmente caen en forma de escasas e intensas tormentas y son muy impredecibles

y variables. La mayoría de los ríos son estacionales, únicamente presentan caudal durante la temporada húmeda. Durante la temporada seca, las fuentes de agua superficiales son escasas o ausentes. Las distancias a pie hacia las pocas fuentes de agua aumentan a medida que el período seco se prolonga. La respuesta a estos problemas fue la construcción de represas de almacenamiento en la arena.

En estrecha colaboración con las comunidades locales, la ONG keniana SASOL tomó la iniciativa en la década de 1990 de garantizar la disponibilidad de agua en las comunidades rurales del Distrito de Kitui a través de la construcción de represas de almacenamiento en la arena. En la década siguiente, se construyeron más de 750 represas, que abastecieron satisfactoriamente a las comunidades con agua para uso doméstico y riego a pequeña escala.

Estas represas se construyeron en el lecho del río para incrementar el espesor de la capa natural de arena en el lecho, ampliando de este modo la capacidad de almacenamiento del acuífero presente. Además, la represa de almacenamiento en la arena obstruye el flujo subterráneo a través del lecho del río, evitando la pérdida de agua de las cuencas hidrológicas. La construcción de una represa de almacenamiento en la arena genera grandes volúmenes de agua que se conservan en el lecho del río, garantizando una mejor calidad del agua y una mayor disponibilidad (que habitualmente dura toda la estación seca).

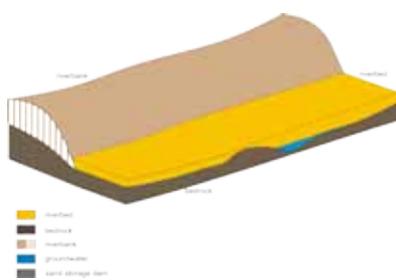


Figura 2: Lecho del río sin una represa de almacenamiento en la arena (Hoogmoed, 2009)

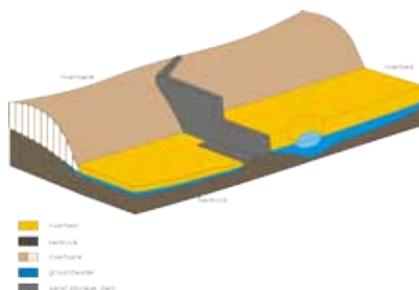


Figura 3: Lecho del río con una represa de almacenamiento de arena durante la estación seca. La disponibilidad de agua es considerablemente mayor en comparación con un río sin represas de almacenamiento en la arena (Hoogmoed, 2009)

## Técnicas utilizadas

El primer paso en la construcción de una represa de almacenamiento en la arena es la selección del sitio. Lo que sigue son indicaciones generales para que el lecho de un río sea apropiado como sitio de construcción:

- el lecho del río debe tener un ancho aproximado de 20 metros y contener arena gruesa;
- las orillas del río deben ser escarpadas a ambos lados y tener una altura de aproximadamente entre 1 m a 1,5 m;
- las orillas deben estar formadas principalmente por material arcilloso o afloraciones rocosas;

- la presencia de agua subterránea (visibles mediante perforaciones de pala en los lechos de los ríos) unos pocos meses después de que las lluvias han cesado es una buena señal (por ejemplo, aguas abajo de esta ubicación se encuentra una barrera natural para el flujo y una capa (semi) impermeable evita las filtraciones a los acuíferos más profundos).

La selección de los sitios es una parte muy importante del proceso de implementación y se aconseja que se consulte a un experto en la materia.

Cuando se selecciona un sitio apropiado, el diseño se realiza sobre la base de un perfil de corte transversal, caudal máximo del río y producción de agua requerida. Luego, puede comenzar la construcción propiamente dicha. Tras la construcción, puede tardar entre 1 y 10 estaciones húmedas para que el estanque de almacenamiento en la arena se llene completamente con sedimentos y agua, según las características de la cuenca de captación aguas arriba. Si una represa de almacenamiento en la arena está correctamente construida, requiere poco o nulo mantenimiento. Sin embargo, si se observan grietas o puntos débiles en la represa, un ingeniero técnico y un albañil deberán inspeccionar toda la estructura de la presa y realizar los trabajos de reparación antes de la siguiente temporada de lluvias para evitar un daño mayor. Por otro lado, el área aguas arriba del estanque debe mantenerse limpia, eliminando los excrementos de animales, animales muertos, piedras y árboles o sus partes, para prevenir daños y evitar la contaminación del agua.

Las comunidades participan en la elección de los sitios y en la construcción de las represas de almacenamiento en la arena a través de grupos de gestión de las presas, proporcionando conocimiento, mano de obra y materia prima. Tras la construcción, estos grupos garantizan el mantenimiento de las represas y el resguardo de la calidad del agua, fomentando así que lo sientan de su propiedad y contribuyan a su sostenibilidad.

## Resultados e impactos

En el Distrito de Kitui, la implementación de las represas de almacenamiento en la arena ha generado una disponibilidad de agua de mejor calidad a poca distancia de los hogares. Puesto que se necesita menos tiempo para la provisión de agua, ha incrementado significativamente la escolaridad y se ha invertido más tiempo en otras actividades generadoras de ingresos, como las industrias caseras (tejido de canastos, costura). Además del agua potable para consumo, las represas de almacenamiento en la arena proporcionan agua suficiente para desarrollar el riego a pequeña escala (huertos familiares, cultivos comerciales o viveros de árboles) y actividades industriales (fabricación de ladrillos). Tras la introducción de las represas de almacenamiento en la arena, el porcentaje de hogares que padecían problemas de desnutrición disminuyó de un 32 % a un 0 % y los ingresos han aumentado de manera significativa.

Tabla 1: Medición de los impactos sociales y económicos de las represas de arena en la región de Kitui, (Kenia), (según Thomas, 1999).

Categorías de vulnerabilidad	Indicadores de vulnerabilidad	Antes de la construcción de la represa	Después de la construcción de la represa
Agricultura	# de cultivos comerciales	15	3
	% cultivos irrigados	37	68
Aspectos especiales	Recogida de agua doméstica (minutos)	140	90
	Recogida de agua para el ganado (minutos)	110	50
Género	Distancia a pie de las mujeres en promedio (km)	3	1
Economía	Ingresos (US\$/year)	230	350
Salud	% de hogares padecen desnutrición	32	0

En el Distrito de Kitui, las represas de almacenamiento en la arena se han implementado a gran escala y con frecuencia, en cascada. Los beneficios hidrológicos de la implementación en cascada son la reducción en las pérdidas de agua debido a la filtración de una represa de almacenamiento en la arena (ya que la represa aguas abajo obstruirá aún más el caudal hacia abajo), y los niveles de agua subterránea se elevan mucho más en comparación con la implementación de sistemas individuales (garantizando una mayor disponibilidad de agua y generando vegetación en una zona más grande). Debido a la construcción de numerosas represas de almacenamiento en la arena (en cascada), las comunidades no dependen de una única fuente de agua, limitando así el impacto medioambiental. Por otro lado, la implementación de represas de almacenamiento en la arena (y otras técnicas de recogida de agua) a gran escala permite a las comunidades compartir experiencias y conocimiento, lo que promueve la participación comunitaria.



*Figura 4: Extracción de agua subterránea del lecho del río mediante una perforación de pala en el Distrito de Kitui*

## Conclusión final

La implementación de las represas de almacenamiento en la arena demostró ser exitosa al garantizar la disponibilidad de agua para las comunidades rurales del Distrito de Kitui, no solo para su uso doméstico sino también con propósitos de riego a pequeña escala. La ampliación a escala de la tecnología a través de la realización de una gran cantidad de estructuras tiene muchos beneficios con respecto a la implementación de una única intervención, en relación con la disponibilidad de agua y los beneficios socioeconómicos. Las represas de almacenamiento en la arena son un medio sostenible para dar respuesta a los crecientes retos que plantea la provisión de agua en áreas semiáridas, debido a las precipitaciones cada vez más impredecibles y más intensas consecuencia del cambio climático.

## Difusión fuera de las fronteras del país

La implementación exitosa de las represas de almacenamiento en la arena a tan gran escala como en el Distrito de Kitui (Kenia) ha inspirado muchos nuevos proyectos. Actualmente, se están realizando represas de almacenamiento en la arena en todo el distrito y fuera de las fronteras del país, para abastecer de agua a las comunidades rurales, también como respuesta de adaptación al cambio climático. Un ejemplo es la construcción de represas de almacenamiento en la arena en Mozambique, que comenzó con una visita de intercambio de conocimientos en Kitui.

Otro buen ejemplo es el proyecto piloto en la zona de Borana (Etiopía meridional). Aquí, se hizo hincapié en la utilización óptima de los recursos hídricos disponibles en las cuencas de captación para ampliar su capacidad de retención de agua. Con este objetivo, 10 ONG recibieron formación por parte de la ONG keniana SASOL, la Fundación Rain y Acacia Water sobre la implementación de represas de almacenamiento en la arena. AFD (*Action For Development*, una ONG etíope) creó represas de almacenamiento en la arena para beneficiar a las comunidades que viven cerca de las orillas de los ríos. Para las comunidades que viven lejos de los ríos, el agua de escorrentía superficial se recogió en tanques subterráneos de captación de agua. La combinación de la aplicación de muchas técnicas de recogida de agua dentro de una cuenca, y de este modo, el logro de la utilización óptima de los recursos naturales, demostró ser un gran éxito. Además de las represas de almacenamiento en la arena construidas en la zona de Borana como parte del proyecto, los cursos de formación y talleres tuvieron como resultado muchos proyectos derivados asumidos por las ONG participantes, para los que se encontró apoyo de la comunidad y financiación del proyecto para comenzar con la implementación de las represas de almacenamiento en la arena en otras regiones de Etiopía.

## Bibliografía

Borst, L., Haas, S.A. (2006), Hydrology of Sand Storage Dams, A case study in the Kiindu catchment, Kitui District, Kenya. Master thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam

Gijsbertsen C. (2007). A study to upscaling of the principle and sediment transport processes behind sand storage dams, Kitui District, Kenya. Vrije Universiteit, Amsterdam.

Hoogmoed, M. (2007). Analyses of impacts of a sand storage dam on groundwater flow and storage. Vrije Universiteit, Amsterdam

Hoogmoed, M. (2009). *Why build sand storage dams? An introduction to the concept*. Presentación en Etiopía para ONG

Jansen J. (2007). The influence of sand dams on rainfall-runoff response and water availability in the semi arid Kiindu catchment, Kitui District, Kenya. Vrije Universiteit, Amsterdam

Lasage, Aerts, Mutiso, de Vries (2008). *Potential for community based adaptation to droughts: Sand dams in Kitui, Kenya*. Physics and Chemistry of the Earth 33 (2008). Pág. 67-73

Nissen-Petersen (2006). *Water from dry riverbeds*. Danish International Development Assistance (Danida)

Nzomo Munyao, J. Muinde Munywoki J., Ikuthu Kitema M., Ngui Kithuku D., Mutinda Munguti J., Mutiso S. (2004). *Kitui sand dams: Construction and operation*. Sasol Foundation, Kenya.

Orient Quilis, Hoogmoed, Etsen, Foppen, de Vries (2009). *Measuring and modelling hydrological processes of sand-storage dams on different spatial scales*. Physics and Chemistry of the Earth 34 (2009). Pp. 289–298

RAIN and Acacia Water (2009). *A practical guide to sand dam implementation: Water supply through local structures as adaptation to climate change*.

Thomas. 1999. *Where there is no water – a story of community water development and sand storage dams in Kitui district Kenya*. SASOL

[www.sanddam.org](http://www.sanddam.org)

Africa Interactive (2009). Video: Sand dam training in Southern Ethiopia. Obtenido de: <http://www.thewaterchannel.tv/>



# Utilización de las inundaciones para el riego y la recarga

## Yemen

### Introducción

Los acuíferos de escasa profundidad a menudo son el mejor lugar para almacenar el agua de las crecidas. En comparación con los depósitos superficiales, el coste de almacenar agua de crecidas en los acuíferos de escasa profundidad y en el perfil del suelo es mínimo. La evaporación es muy pequeña y el agua puede ser reutilizada inmediatamente o en el tiempo que se desee, sin pérdidas durante la conducción del agua. La capacidad para almacenar aguas de crecidas varía, obviamente, de un acuífero a otro.

También existe un segundo aspecto a considerar en la relación entre crecidas y almacenamiento subterráneo. Si existe un intenso desarrollo de las aguas subterráneas, aumentará la capacidad efectiva de almacenamiento de las crecidas, ya que las capas superiores ya no estarán saturadas. En consecuencia, no habrá crecidas, o si ocurren, lo harán más tarde en la estación de crecidas y de manera menos frecuente.



*Figura 1: Riego por crecidas en Tihama*

### Descripción

Uno de los mejores ejemplos de la combinación de almacenamiento del agua de las crecidas, recarga y agricultura son los denominados sistemas de riego por crecidas. Estos sistemas tienen

una larga historia en las zonas áridas de Pakistán, Irán, el norte de África, Sudán y Yemen. Van en aumento en el Cuerno de África y en otras partes de este continente. El riego por crecidas es la adaptación por excelencia a los fenómenos climáticos extremos.

La característica principal del riego por crecidas es la utilización de inundaciones de corta duración que se originan en fenómenos episódicos de lluvia en cuencas de zonas montañosas. Las crecidas (que pueden durar desde unas pocas horas hasta varios días) se desbordan de los ríos secos y se esparcen suavemente sobre la tierra. El agua se utiliza para agricultura, mientras que la humedad del suelo se preserva cuidadosamente, ya que las crecidas por lo general se producen antes de la temporada de cultivos. El agua de crecidas también se utiliza para rellenar estanques, para mejorar las tierras de pastoreo y las arboledas, y para la recarga. Los sistemas de irrigación por crecidas cuentan a su alrededor con algunas de las organizaciones sociales más espectaculares. Necesitan de la construcción local de estructuras de desviación que resistan las inundaciones repentinas y que puedan guiar grandes volúmenes de agua suavemente por vastas áreas, mitigando así la erosión.

En Yemen, las áreas regadas por crecidas ubicadas sobre el Mar Rojo (la Tihama) y sobre las costas del océano Índico son los graneros del país (ver figura 1). Se trata de una región agrícola especialmente productiva. La alta productividad de agua proviene de la utilización combinada de agua de crecidas y agua subterránea, y los caudales de las riadas son la principal fuente de recarga. El agua subterránea en las llanuras costeras de Yemen es, en su mayoría, de buena calidad; y por lo tanto, se puede reutilizar fácilmente. El resultado ha sido que los sistemas de riego por crecidas sostienen no solo amplias áreas de cultivos básicos y un importante número de cabezas de ganado, sino que también han posibilitado el crecimiento de grandes superficies de hortaliza de alto valor, como huertos de plátano y mango. Se ha llegado incluso a un punto en que la utilización excesiva del agua subterránea ha comenzado a ser un problema real.

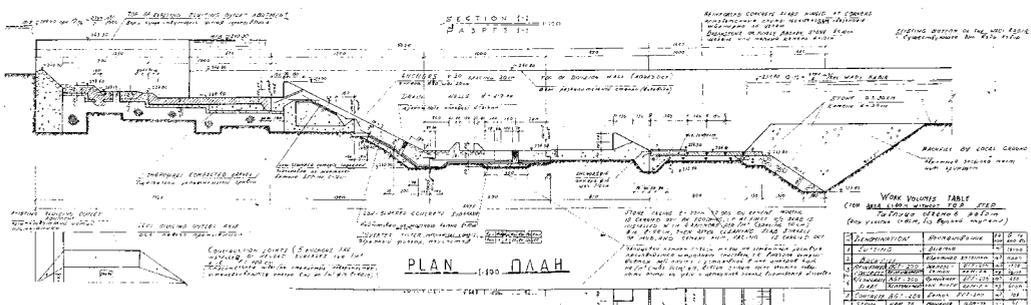


Figura 2: El embalse de Ras Al Wadi con orificios de desagüe

## Técnicas utilizadas

La mayor parte de la recarga en el riego por crecidas se produce a través de los lechos de los ríos. La recarga proveniente de los canales de inundación y de los campos de cultivo también es importante, pero es menos significativa. Existen muchas maneras de promover la recarga efectiva. Una es mantener el lecho del río cubierto. La presencia de grandes rocas y piedras reducirá la velocidad de las crecidas y mejorará la reposición del agua subterránea. Una segunda acción es construir estructuras que ralenticen el agua. Estas, por lo general, son estructuras de desviación de las

crecidas, pero en algunos wadis en Yemen, como el Wadi Hadramaut, los agricultores incluso han construido embalses bajos sobre el wadi, específicamente para incrementar la recarga.

Desde 1980, se han construido una cantidad de estructuras permanentes de desviación en cemento armado sobre los principales ríos efímeros de las costas de Yemen. Estas estructuras se construyeron para desviar los caudales de las crecidas hacia las tierras, pero algunas de ellas (por ejemplo, en Wadi Maur o Wadi Siham) también han bloqueado involuntariamente el caudal subsuperficial. Estos embalses-obstáculo se incrustaron en el lecho de piedra o en las capas de arcilla bajo el río. Al hacerlo, generaron el efecto indeseado de incrementar los niveles de agua subterránea aguas arriba de los embalses, y al mismo tiempo ocasionaron dificultades para los usuarios aguas abajo.

En Wadi Tuban se utilizó un diseño de los embalses de obstrucción mucho mejor, ya que se realizaron aberturas, llamadas “orificios de desagüe”, en la estructura principal del embalse. Estos orificios de desagüe permiten que el caudal subsuperficial pase a través del embalse. De estos orificios emergen flujos importantes que permiten que sigan funcionando los pozos ubicados aguas abajo. Gracias a los orificios de desagüe, también es posible construir una estructura relativamente liviana. Los embalses de Wadi Tuban son relativamente *ligeros*, lo que implica un ahorro sustancial de los costes. Si no hubiera drenaje subterráneo, los embalses deberían ser mucho más pesados para evitar que *se fueran flotando*.



Figura 3: Agua fluyendo de los orificios de desagüe

Además de estas modernas estructuras, las tradicionales construcciones (terraplenes y deflectores de tierra y grava) también funcionan adecuadamente. Las estructuras tradicionales se construyen por lo general a un coste equivalente a una fracción de las estructuras modernas. Mientras que un sistema realizado con obras de toma de cemento armado modernas pueden costar entre 500 y 1 800 euros por ha, las estructuras tradicionales pueden costar menos de 250 euros por ha. En muchas áreas, estas últimas funcionan mejor, brindan más opciones para desviar el agua de las crecidas, no generan complicaciones con el derecho al agua y, debido a su capacidad para abrirse paso en crecidas altas, están mejor preparados para mantener las grandes crecidas cargadas de lodo (y potencialmente peligrosas) fuera del área de influencia. Las crecidas más pequeñas, sin embargo, pueden utilizarse para tal fin.

## Bibliografía

Van Steenberghe, F., P. Lawrence, A. Mehari Haile, M. Salman and J. M. Faurès, 2010. *Guidelines on Spate Irrigation*. Rome: FAO.

[www.spate-irrigation.org](http://www.spate-irrigation.org)



# Desviación de las inundaciones breves para la infiltración de las cuencas en zonas extremadamente áridas

## Níger

### Introducción

La recarga de agua subterránea mediante la desviación controlada de las inundaciones puede resguardar y mejorar las condiciones de vida, incluso en regiones extremadamente áridas. Las necesidades de agua de los hogares, para el ganado y para el riego local pueden satisfacerse con estructuras de desviación de bajo coste y cuencas de infiltración en sitios cuidadosamente seleccionados. Esto posibilita que los pueblos se establezcan incluso en regiones con las condiciones climáticas más delicadas.

### Descripción

The oasis of Iférouane is situated in the Aïr El oasis de Iferuán, se encuentra en las montañas de Air, en el centro del desierto del Sáhara. Se ubica 1 000 km al norte de Niamey, la capital de Níger (figura 1). Con menos de 50 mm de precipitaciones anuales, Iferuán es sumamente árido. En algunos períodos, incluso, este escaso promedio no se alcanza. Por ejemplo, en el período 1940 - 1975 las precipitaciones anuales en esta parte del Sahel no superaron los 20 mm.

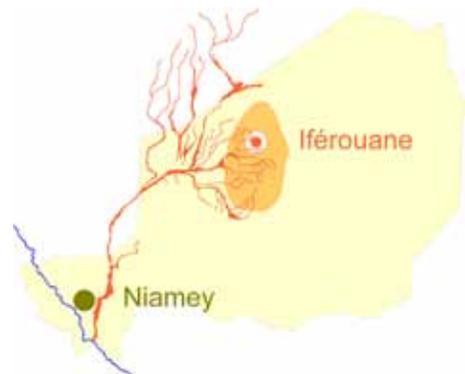


Figura 1: Ubicación de Iferuán en Níger

La demanda de agua en el oasis con fines humanos y agrícolas se satisface a través de pozos abiertos tradicionales. Estos están excavados en sedimentos del Cuaternario del valle del río que están intercalados con material margoso. Los pozos llegan hasta una profundidad de 20 m. A los 10 m por debajo de los sedimentos del Cuaternario, también hay un zócalo de granito/gneis que contiene agua. La conductividad hidráulica de la parte arenosa del sistema del acuífero oscila entre 3 a 5 m/día.

Hasta 1975, esta reserva de agua subterránea únicamente se recargaba a través de la infiltración ocasional de agua superficial a través del lecho arenoso del río local Kori Tamgak durante períodos cortos de crecida. En 1974, tras una consecución de años extremadamente secos, la capa freática bajó y muchos pozos se secaron. En consecuencia, solo un cuarto de los huertos pudieron regarse y el resto tuvo que ser abandonado. Esto puso en riesgo la supervivencia misma del oasis.

## Técnicas utilizadas

Se llevaron a cabo diversas inspecciones hidrogeológicas, incluyendo las mediciones de escorrentía, el control del agua subterránea, las pruebas de infiltración del suelo y los modelos numéricos, con el fin de identificar el método más adecuado para la mejora de las condiciones locales del subsuelo.

Entre los distintos escenarios, la recarga subterránea artificial mediante la desviación del agua de crecida ocasional del Kori Tamgak

hacia una cuenca de infiltración se consideró la medida más razonable. Esta cuenca de infiltración fue creada aguas arriba del oasis en un área en la cual las pruebas de infiltración mostraron la presencia de material arenoso y grava altamente permeables. También se descubrió que los afloramientos rocosos podían proporcionar material de construcción para las obras de desviación de las crecidas.

Se construyó una barrera sobre el río efímero en 1975. Las obras de desviación constan de un zócalo de tierra, un canal de desviación, muros de protección y micro espigones contra la erosión provocada por las crecidas (figura 2). Las crecidas bajas del Kori Tamgak -por debajo del nivel del zócalo- se desvían hacia la cuenca de infiltración, mientras se permite que el ocasional caudal alto (que generaría daños y sedimentación en la cuenca de infiltración) pase por encima del zócalo y siga el lecho del río original (figura 3).



Figura 2: Construcción de las obras de desviación

## Impacto

En consecuencia, las capas freáticas comenzaron a subir inmediatamente después de la construcción de las obras de desviación. Tras una precipitación relativamente “alta” de aproximadamente 60 mm en 1976, la infiltración adicional ocasionó un notable aumento del nivel de la capa freática. Durante este año, el 13 % de la descarga de las crecidas del Kori Tamgak, de 5,7 millones de m<sup>3</sup> se dirigió hacia la reserva de agua subterránea a través de la cuenca de infiltración. En el diagrama, se muestra el aumento del nivel de las aguas subterráneas en el pozo contiguo a la base de infiltración.

Durante los últimos 30 años, la situación del agua subterránea ha mejorado continuamente y ha creado mejores condiciones de vida y un desarrollo agrícola sostenido. Mientras que en



Figura 3: Vista esquemática del área tras la construcción de la barrera

1974 únicamente vivían en Iferuán 100 personas, la población ascendió de 1 000 personas en 1984 hasta 3 000 habitantes permanentes (Paschen, 2004). Actualmente, las hortalizas cultivadas en Iferuán se exportan a otros mercados.

45 inspecciones hidrogeológicas y de ingeniería/geológicas han permitido el desarrollo de un concepto viable de una barrera con un umbral bajo y una cuenca de infiltración. La decisión de implementar la cuenca de infiltración en las condiciones extremadamente secas del oasis se fundamentó con modelos de cálculo, prediciendo los efectos futuros sobre la capa freática. Mediante la utilización efectiva de la reserva subterránea, la vida en Iferuán pasó de ser una mera supervivencia a una situación de crecimiento y desarrollo.



Figura 4: Flujo de crecida ingresando en la cuenca de infiltración

## Bibliografía

GKW (1974). Technische Hilfe für République du Niger: Projets d'infrastructure à l'investissement humain / Arbeitsintensive Infrastrukturvorhaben, (Gesellschaft für Klär-anlagen und Wasserversorgung mbH), Mannheim.

Böckh, E., Kleine Bornhorst, A., Schmidt, G. (1975). Arbeitsintensive Infrastruktur-Vorhaben in Niger, Iférouane und Timia im Aïr / Niger, BGR, Hannover, Archive no. 67 668 and no. 67 669.

Böckh, E., Schmidt, G. (1984). Arbeitsintensive Infrastruktur-Vorhaben in Niger, BGR, Hannover, Archivo no. 96 429.

Schmidt, G. (2002). Methoden der Grundwasser-Ressourcen Quantifizierung – Iférouane, BGR, Hannover, Archivo no. 122 069.

Paschen, H. (2004). Trockenmauern in den Oasen des Aïr Gebirges, Bischwiller, Francia.



# Búsqueda de alternativas para la extracción de arena en los lechos de los ríos

## India y Sri Lanka



*Figura 1. Erosión de los márgenes del río Kelani debido a la extracción de arena. Una cañería de abastecimiento doméstico de agua bajo la carretera se dañó y la provisión de agua a la ciudad se vio afectada durante varios días (Foto: Badra Kamaladasa, Departamento de Riego de Sri Lanka).*

## Introducción

La arena es un recurso valioso y un insumo de primera necesidad en la industria de la construcción. Con la rápida urbanización, la demanda de arena en muchas áreas incrementó su recolección. La arena de los ríos por lo general es de alta calidad y, por lo tanto, se recoge de manera intensiva durante los períodos de bajo caudal. En el proceso de extracción de arena y grava, sin embargo, el lecho del río se excava hasta que quedan expuestas las capas de arcilla o material rocoso. Al quitar la arena y la grava, la capacidad del río de contener las crecidas desaparece, y se altera la interacción hidrológica entre las aguas superficiales y el agua subterránea. En consecuencia, los pozos ya no se recargan y las crecidas no son absorbidas por el lecho del río. La pendiente hidráulica incrementada en las tierras adyacentes disminuye los niveles de las aguas subterráneas y los pozos quedan

secos. La función de reserva subterránea se deteriora y las estas áreas se hacen más vulnerables a los fenómenos climáticos extremos. También se producen otros efectos: al bajar el lecho del río, las tomas de riego pueden quedar secas, los cimientos de los puentes se vuelven inestables y los caudales inferiores se reducen, generando la intrusión de agua salina y el agotamiento de los pozos y de las áreas naturales debido a la disminución de las capas freáticas (Gunarathne y Jayasooriya, 2005; Piyadasa y Naverathna, 2006). Es imperativo pues encontrar alternativas a la extracción descontrolada de arena y grava de los ríos cercanos a ciudades en rápido desarrollo.

## Descripción

Kerala es un área muy afectada por la extracción de arena (Hemalatha et al., 2006) La extracción de arena desregulada en el segundo río más grande del Estado, el río Bharathapuzha, con una longitud de 209 km, provocó la pérdida de una gran cantidad de material de su lecho. Esto ocasionó que se secaran los pozos en las márgenes del río, y que durante parte del año el agua potable deba ser transportada hacia esta región. La ausencia de una masa de arena en el río capaz de almacenar el agua alta originó picos de crecidas



Figura 2. Fosa de arena de 10 metros en el lecho del río Uttara Pinakini, Karnataka, 2003 (Hemalatha, A.C. et al. 2005).

mayores durante las precipitaciones e intrusión de sal a través de las aguas de mar provenientes del océano Índico. Se perdió la función de la reserva de agua subterránea en el Bharathapuzha así como la capacidad de respuesta a los fenómenos climáticos extremos, ya sean inundaciones o largos períodos de sequía.

La administración local ha anunciado numerosas medidas para frenar la extracción de arena:

- restricción del horario en el que se recolecta la arena, entre las 6.00 y las 15.00 h;
- prohibición de estacionar las furgonetas a una distancia mínima de 25 m de la orilla;
- permiso para extraer arena únicamente de áreas designadas;
- especificación de una carga máxima extraída por día por licencia.

Sin embargo, lograr el cumplimiento de estas reglas resultó difícil. La voluntad política es limitada y el lobby del sector de la construcción es fuerte. Hay mucho dinero en juego en la extracción de arena y los jornaleros que se emplean en esta actividad pueden cobrar hasta 15 euros por día. El precio de una carga de camión varía entre 15 y 50 euros, pero puede llegar hasta 90 euros durante la temporada de los monzones, ya que es más difícil excavar para recoger la arena.

## Qué se puede hacer

Existen algunas prácticas que pueden evitar los daños causados por la extracción de arena. Algunos de ellos pueden incluso revertir la tendencia de la disminución del agua subterránea y pueden estimular la recarga del agua subterránea.

- En general, la extracción de arena y de grava debe estar regulada, incluso puede estar bajo el control de una junta de producción central. En Sri Lanka, por ejemplo, la Mesa Ejecutiva sobre Inspección Geológica y Minas (*Geological Survey & Mines Bureau, GSMB*) controla el mercado pero evita dominarlo por completo. Suministrar arena suficiente al sector de la construcción evita que la mafia de la arena controle los precios de este material.
- Con respecto a la extracción de arena a pequeña escala, se pueden formar pequeños comités que gestionen la recolección sostenible del lecho del río. Cada río cuenta con una zona de erosión, transporte y sedimentación de manera que puedan identificarse las áreas adecuadas para las prácticas de extracción de arena. Si se recogen cantidades limitadas de arena, se repondrán en los siguientes episodios de crecidas. También se ha propuesto la utilización de represas en la arena para la recolección de arena. Si la capa superior de arena se rastrella suavemente y no se excavan fosos (que llenarían la represa de arena con arcillas finas en las inundaciones subsiguientes), las represas de arena continuarían funcionando y se podría recoger una determinada cantidad de arena todos los años;
- Las grandes operaciones comerciales debe utilizar fuentes alternativas seguras, como por ejemplo, recursos alejados de las riberas, desiertos, canteras, yacimientos de roca y viejos yacimientos de arena alejados de los ríos. Debe sin embargo estudiarse el impacto medioambiental de dichas fuentes seguras;
- Además de la extracción de arena, las fosas en la arena pueden tener una segunda vida útil como estanques de recarga. Si se encuentran ubicados estratégicamente y abastecidos por cursos de agua o caudales efímeros, estas fosas pueden rellenarse con escorrentía y recargar el agua subterránea. Sin embargo, se deben tomar precauciones para que dichos estanques no se llenen de sedimentos finos, dificultando que las aguas pluviales y de escorrentía se filtren. También se debe evitar que las fosas en la arena se conviertan en vertederos sin recubrimiento con efectos negativos en la calidad del agua subterránea.

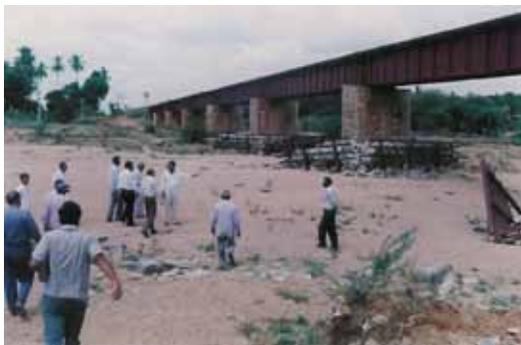


Figura 3. Los cimientos de este puente ferroviario deben repararse frecuentemente debido a la extracción de arena sobre el río Uttara Pinakini en Gauribidanur taluk, Karnataka, 2002. (Hemalatha, A.C. et al. 2005).



Figura 4. Protesta pública contra la actividad de extracción de arena en la ciudad de Gauridanur, 2002. (Hemalatha, A.C. et al. 2005).

El dinero involucrado en la extracción de arena es considerable, por lo tanto puede financiar una mejor gestión de las reservas subterráneas. Existen muchos tipos diferentes de arena, con distintas características y usos, tanto para la construcción o en otras aplicaciones. La tabla a continuación brinda una orientación acerca de los precios internacionales de la arena. Esto representa tanto una oportunidad como una amenaza.

Arena Mineral	Contenido Mineral (%)	Uso Industrial	Producción Mundial (Toneladas métricas)	Precio (Euros/tonelada)
Sílice	95	Producción de vidrio	126 000 000	22
Circón	1 - 50	Abrasivos y aislamiento	1 240 000	635
Ilmenita	10 - 60	Producción de titanio	4 800 000	58
Rutilo	5 - 25	Producción de titanio	360 000	385

## Bibliografía

Gunaratne, L.H.P. and K.A.S.P. Jayasooriya (2005). River sand mining in Sri Lanka: trade-off between private profitability and environmental costs.

Hemalatha, A.C., M.G. Chandrakanth and N. Nagaraj (2005). Effect of sand mining on groundwater depletion in Karnataka; en: V Conferencia Internacional sobre I+D de la Mesa Ejecutiva Central de Riego y Energía, Bangalore, 15-18 de febrero de 2005.

Navaratne, C. (2009). Negative impacts of unregulated, illegal river sand mining on livelihood, human well being, domestic water supply sectors and agriculture; NetWater, presentación en el 5.º Foro Mundial del Agua, Estambul, Turquía.

Piyadasa, R.U.K. and C.M. Naverathna (2006) River Sand Mining in Southern Sri Lanka and its Effect on Environment. Informe consultado en junio de 2009, from: <http://www.riversymposium.com/index.php?element=PIYADASA>

Sayami, M. and N.K. Tamrakar (2007) Status of sand mining and quality in northern Kathmandu, Central Nepal; en: Bulletin of the Department of Geology, Vol. 10, pp. 89-98.

# Estanques subsuperficiales: interceptación del caudal de agua subterránea para almacenamiento

## Brasil

Los estanques subterráneos (estanques subsuperficiales o de aguas subterráneas) son represas que atraviesan la cubierta aluvial para interceptar el caudal de agua subterránea fuera del área y generar así un almacenamiento local, que se encuentre disponible en los períodos de sequía (figuras 1 y 2). Allí donde la geología y los caudales subterráneos lo permiten, los estanques subsuperficiales constituyen una manera eficiente y rentable de interceptar y almacenar el agua subterránea para su utilización durante los períodos secos. Estos estanques se encuentran en muchos países, en diferentes tamaños y cantidades. En este caso, un ejemplo en Brasil ilustra algunas características generales de la construcción y el funcionamiento de los estanques subsuperficiales.

### Descripción

En la década de 1990, se construyeron aproximadamente 500 estanques subsuperficiales en la “cubierta aluvial” en el Estado de Pernambuco, al noreste de Brasil. El programa consistió en:

- la construcción de pequeñas estructuras (de hasta 3 m de profundidad) en el marco de los “Programas gubernamentales de emergencia ante las sequías y generadores de empleo”, en los sitios seleccionados por comités municipales sin asesoría técnica ni seguimiento. Se excavaron manualmente, incorporando membranas plásticas y grandes pozos en forma de anillos diametrales de cemento armado;
- la construcción de estructuras de tamaño similar por iniciativa de las ONG locales con la asesoría de expertos, y se rellenaron con arcilla compactada y sin un pozo para la extracción de agua;
- la ubicación de represas mucho más grandes (de hasta 10 m de profundidad) según criterios técnicos y construidos para brindar apoyo a la agricultura de riego a pequeña escala. Para estas represas, se utilizaron excavadoras mecánicas y se incorporaron membranas plásticas impermeables, grandes pozos diametrales mejorados y supervisión técnica.

### Técnicas utilizadas

Las represas subsuperficiales son barreras impermeables (arcilla, albañilería o cemento armado) que obstruyen el caudal subsuperficial. El agua subterránea se puede extraer a través de pozos, perforaciones o un colector de drenaje (figura 1). Las represas pequeñas comunes tienen una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 10 000 m<sup>3</sup> (promedio de 4 m de profundidad, 50 m de ancho y 500 m de largo). Las represas de mayor tamaño (por ejemplo, en Yemen) pueden

tener 5 – 10 m de profundidad, un ancho de 200 – 500 m o más, y pueden almacenar 100 000 – 1 000 000 de m<sup>3</sup>.

Cuando se construye una represa subsuperficial, es importante que sus cimientos se realicen sobre un lecho rocoso impermeable. Muchas represas construidas en cascada incrementan el volumen total de agua subterránea almacenada y limitan los efectos de la filtración. En las zonas rurales, la participación comunitaria es fundamental para obtener los máximos beneficios socioeconómicos. Por ejemplo, la mano de obra comunitaria reduce y mejora la eficiencia, la aceptación y la vida útil de las represas (figura 3).

## Resultados e impactos

En 2002, un equipo del Banco Mundial evaluó la utilización y el rendimiento de las represas subsuperficiales. La evaluación de 150 represas mostró lo siguiente:

- 50 % de las represas estudiadas en Brasil tienen una utilización multipropósito activa para el suministro de agua potable, provisión de agua para el ganado y riego a pequeña escala;
- aproximadamente un tercio no se encuentra activa, debido a problemas de ubicación o construcción;
- más del 10 % funcionaban bien, pero el agua subterránea almacenada no se utilizaba debido a la disponibilidad de una fuente de agua superficial segura, lo que resalta la importancia de involucrar a las comunidades en dichos proyectos para debatir sus necesidades.

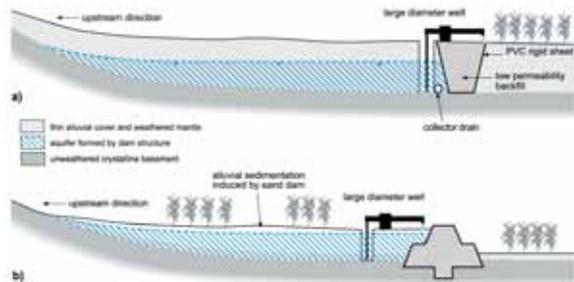


Figure 1: Typical design of subsurface dam (Source: GWMATE)

Los costes de inversión para las represas subsuperficiales dependen de su tamaño y pueden variar entre 3 500 – 7 000 euros para represas pequeñas y hasta 70 000 euros para represas grandes de hasta 100 000 m<sup>3</sup>- 1 000 000 m<sup>3</sup>. El coste de inversión por m<sup>3</sup> de volumen de almacenamiento se encuentra en el orden de los 0,35 –1,4 euro/m<sup>3</sup>.

La evaluación en Brasil proporcionó algunos puntos clave para la construcción de represas con éxito:

- adecuada selección de los sitios para garantizar un suficiente potencial de almacenamiento;
- seguridad de que existe una suficiente profundidad para alcanzar un lecho rocoso relativamente impermeable;
- disponibilidad de un tipo de suelo con suficiente capacidad de filtración;
- evitar un tipo de suelos que pueda generar una salinización de las aguas subterráneas;
- diseño y construcción apropiados para evitar capas de extracción de baja producción;
- abordar el asunto de la propiedad de la tierra.

## Conclusión final

Las represas subsuperficiales son una manera rentable de almacenar agua con diversas finalidades durante los períodos secos. Las principales ventajas son:

- las pérdidas por evaporación son mucho menores que aquellas de una fuente de agua al aire libre;
- se evita la reproducción de insectos, como los mosquitos, y parásitos como los esquistosomiasis o bilharziasis;
- se reduce considerablemente la contaminación, tanto de origen animal como humana, del agua almacenada, sobre todo porque se utilizan un pozo y una bomba manual para extraer agua de manera higiénica y controlada.

Las represas subsuperficiales pueden proporcionar agua para el riego en la temporada seca, con el fin de generar ingresos además de suministrar agua para uso doméstico.

Algunos factores esenciales para el éxito de las represas pequeñas son el factor humano (la participación y la propiedad comunitaria), la selección del sitio apropiado y la utilización de técnicas de construcción de bajo empleo de tecnología y materiales que se encuentren disponibles a nivel local. A través de manuales y guías específicas, se fomenta la participación activa de la comunidad y de la mano de obra local (figura 3).

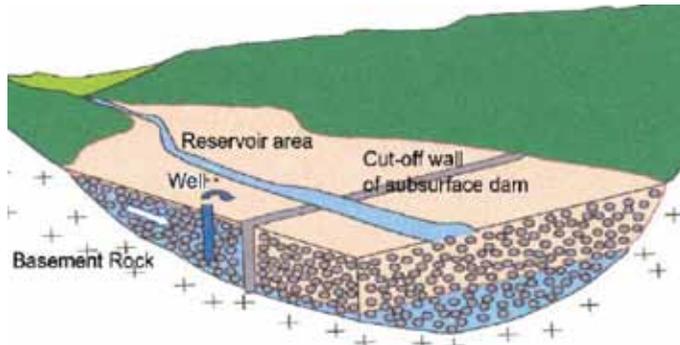


Figura 2. Diagrama conceptual de una represa subsuperficial (Fuente: *Vétérinaires sans Frontières*, 2006)

# **SubSurface Dams :** **a simple, safe and affordable** **technology for pastoralists**



**A manual on SubSurface Dams construction  
based on an experience of Vétérinaires Sans Frontières  
in Turkana District (Kenya)**

**September 2006**



Figura 3. Ejemplo de un manual de represas subsuperficiales (Fuente: Vétérinaires sans Frontières, 2006)

## **Bibliografía**

GWMATE/Banco Mundial (2004). *Brasil, Kenia: Subsurface Dams to Augment Groundwater Storage in Basement Terrain for Human Subsistence* GWMATE Serie de perfiles de casos de GWMATE número 5 ([www.worldbank.org/gwmate](http://www.worldbank.org/gwmate)).

Vétérinaires sans Frontières / Belgium Development Cooperation (2006) *Subsurface Dams a simple, safe and affordable technology* (un manual para la construcción de represas subsuperficiales en Turkana District, Kenia).

# Retención del agua en zonas muy húmedas

## Bengala del Norte (India)

### Introducción

A veces, se suele presuponer que allí donde el agua es abundante, su gestión no es necesaria. Esta presunción no es correcta. La gestión del agua en zonas húmedas es tan importante como en cualquier otro lado. En las zonas húmedas, la principal estación de cultivos por lo general depende completamente de la lluvia. El arribo tardío de las lluvias, o períodos inusuales de sequía durante la estación más importante, pueden causar estragos en la estación agrícola. El cambio climático puede volver más impredecible la temporada húmeda, o puede demorar su llegada y por ello, la retención de agua puede proporcionar una adaptación a dicho cambio climático. La gestión del agua subterránea es importante en las regiones húmedas, ya que garantiza la humedad del suelo y aporta riego adicional.

### Descripción

En la región de Terai, en Bengala del Norte (India), se llevaron a cabo un cierto número de intervenciones para recargar y retener agua subterránea. El Terai es una vasta región que bordea la región del Himalaya, extendiéndose desde Nepal hasta Assam. Las precipitaciones anuales se encuentran en el rango de los 2 200 mm y los 3 500 mm, y en gran parte se concentra en un período de cinco meses. Los suelos por lo general son de textura gruesa debido a la cercanía con el Himalaya. Los suelos margosos se desarrollan únicamente en las capas superiores y se cultiva principalmente (mediante agricultura de secano) el arrozal *amon*.



Figura 1. Cárcavas causando estragos en la humedad del suelo

Una consecuencia del suelo de textura gruesa es que el exceso de agua de lluvia se absorbe relativamente rápido, desapareciendo en algunos días, particularmente en la primera parte del período de los monzones, cuando los suelos no están completamente anegados. Muchas de las zonas más deprimidas se encuentran inundadas solo de manera temporal y se drenan grandes volúmenes de agua a través de cárcavas y como flujos laminares.

A través de la mejora de los patrones de drenaje, se puede reducir la escorrentía, se puede retener el agua y se estimula la recarga, al tiempo que se evita la socavación. Esto se realiza a través de



Figura 2: La construcción de un tapón de cárcavas para retener las aguas subterráneas

acciones paisajísticas que interrumpen la velocidad de la escorrentía, esparcen el agua sobre una superficie mayor y evitan el drenaje superficial profundo. Estas medidas 3R responden a tres objetivos:

- i. Reducen la velocidad del flujo laminar y de la escorrentía. Esto evita la pérdida de la capa superior fértil del suelo y el socavamiento profundo de las cárcavas de drenaje;
- ii. Retienen la capa freática en la parte superior, mejorando la fiabilidad de los arrozales de secano. Esta es la diferencia fundamental con las mejoras en las cuencas en las áreas secas. En las cuencas hidrográficas húmedas, el objetivo es evitar un sobredrenaje de las cárcavas, ralentizar la escorrentía y retener agua subterránea en los niveles superiores, mientras que en las cuencas hidrográficas secas, la infiltración de la escorrentía es un objetivo central.

## Técnicas utilizadas

El principal repertorio de medidas consta de cuatro elementos:

- i. Taponamiento de cárcavas: esto se realiza mediante el bloqueo de las cárcavas con terraplenes de tierra o mediante la construcción de pequeños embalses de desbordamiento en drenajes naturales. Los tapones de cárcavas obstaculizan el agua de escorrentía y hacen que se esparzan. Evitan que las capas freáticas locales bajen debido a cárcavas profundas en los suelos arenosos con drenaje libre;
- ii. Terraplenes escalonados o terraplenes barrera: se utilizan en zonas en las que la eliminación y la retención controlada de grandes cantidades de flujo laminar resultan de primordial importancia. Se construyen en serie y sirven para esparcir el agua o retrasar el flujo laminar y evitar la formación de cárcavas y el descenso de la capa freática y su agotamiento. Mientras que la pendiente natural del terreno en Bengala del Norte es de entre un 2 % y un 4 %, los

terraplenes escalonados tienen una inclinación de entre 0,2 % y 0,4 %. Esto posibilita que el agua se elimine a una velocidad que no genera erosión. Los terraplenes escalonados se ubican con una ligera inclinación respecto a las líneas del terreno. La altura de los terraplenes es relativa a la pendiente del terreno y al área que se inundará. La zona del embalse no debe tener una profundidad mayor a 15 cm. En relación a la pendiente del terreno en la zona, en general, los terraplenes se realizan habitualmente a una altura de 60 cm. Su pendiente hacia arriba es por lo general de 2 : 1 y hacia abajo de 1 : 1. Los terraplenes, en última instancia, también canalizan el flujo laminar a los canales de desviación y los drenajes;

- iii. Terraplenes de tierra: construir terraplenes de tierra evita que el agua brote de un terreno al otro, y que, en cambio, llene una cuenca de tierra antes de que se desmorone directamente en la siguiente cuenca de tierra. Estos terraplenes por lo general son de 60 cm de alto, con una pendiente de 1 : 1 a ambos lados. Como otras estructuras realizadas en el suelo, se construyen preferentemente en medio de la estación seca, para permitir que los terraplenes se asienten bien gracias al impacto del movimiento humano y de ganado, y que estén suficientemente fuertes antes de que comience el nuevo período de monzones.
- iv. Terraplenes de protección: contruidos a lo largo de ríos y cárcavas. Los terraplenes de protección tienen dos funciones: en primer lugar, evitar las inundaciones descontroladas desde los cursos de agua y, en segundo lugar, evitar que el agua se acumule en ríos y cárcavas demasiado rápido y en grandes cantidades.

## Impacto

El impacto de estas medidas de retención de agua puede ser muy significativo. Se realizó una evaluación de numerosos sitios en los que se llevaron a cabo mejoras de gestión del agua (Kundo y Soppe, 2002), y estos sugieren retornos muy altos en relación a inversiones modestas de 70 euros/ha:

- La intensidad promedio de los cultivos en cada sitio aumentó más del 40 %;
- La disponibilidad de humedad en el suelo durante los períodos secos habituales en la época de monzones aumentó de 2 días a casi 11 días, debido al estricto control de la capa freática. Las intervenciones también redujeron la erosión del suelo y, por ende, aumentaron gradualmente la capacidad de retención del agua, al incrementar el contenido orgánico de los suelos, entre otros;
- En promedio, el valor bruto de la producción aumentó más de cuatro veces, alcanzando los 280 euros/ha tras las medidas de recarga y retención.
- El valor de la tierra aumentó de 480 euros/ha a 910 euros/ha.



*Figura 3. Planificación de la gestión de la reserva subterránea de agua en Bengala del Norte (India)*

## Bibliografía

Despande, R.S. and B.K. Dey. (1999). In response to nature's challenges: an assessment of the soil conservation projects of NBTDP. Jalpaiguri: North Bengal Terai Development Project.

Kundu, N and G. Soppe. (2002). *Water resources assessment: Terai region of West Bengal*. Nueva Delhi: Jawahar Publishers.

Mahapatra, N. (2002). *Wet Watershed Management Guide. Water Harvesting and Soil Conservation in High Rainfall Areas*. Jalpaiguri: North Bengal Terai Development Project.

# Creación de un “banco de agua” con excedentes de agua superficial

## Namibia

### Introducción

Mediante el almacenamiento de agua superficial en acuíferos, se puede crear un “banco de agua” a través de la combinación de tres elementos: recarga, retención y reutilización. El exceso de agua de los depósitos superficiales se almacena en los acuíferos, creando así un puente entre los años con precipitaciones abundantes (cuando existe un excedente para almacenamiento) y los años de sequía, haciendo que el sistema de abastecimiento de agua sea resiliente a la variabilidad del clima y, a largo plazo, al cambio climático.

### Descripción

Windhoek, la capital de Namibia, tiene aproximadamente 270 000 habitantes (2005). Como consecuencia del rápido crecimiento previsto (3,25 %), debido a la afluencia desde las zonas rurales, el suministro de agua escaseará.

La disponibilidad de agua anual actual para la ciudad (22,3 MCM, incluyendo 1,3 MCM para riego) se basa en:

- el abastecimiento de agua en grandes cantidades (represa Von Bach, represa Swakoppoort, represa Omatako), ubicadas respectivamente a 50 km, 100 km y 200 km de Windhoek, lo que totaliza unos 17 MCM por año;
- la extracción de agua subterránea de 50 pozos en la región de Windhoek, aproximadamente 3,8 MCM (excediendo el rendimiento seguro del acuífero);
- las fuentes menores, que incluyen agua superficial tratada de la pequeña represa local de Goreangab, aguas residuales recuperadas y suministros de agua subterránea de emergencia desde la mina de Berg Aukas (420 km de Windhoek).

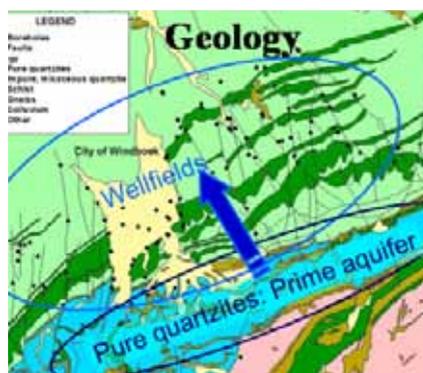


Figura 1. Características geológicas y zonas destinadas a la recarga artificial

En el sur de Windhoek se sitúa el acuífero que lleva el mismo nombre, formado por cuarcitas altamente fracturadas. La cantidad de agua almacenada en esta reserva es de 35 MCM, menor que su capacidad, debido a rebasamientos en el pasado. Mediante la inyección de agua superficial tratada desde las represas antes mencionadas durante los períodos de excedentes, la cantidad podría incrementar a 66 MCM. El agua subterránea podría luego utilizarse durante los períodos de sequía para crear un sistema de suministro de agua seguro. El almacenamiento de más agua en la reserva subterránea también solucionaría las grandes pérdidas por evaporación de las represas (actualmente, en torno al 70 %).

## Técnicas utilizadas

NamWater, la empresa pública de abastecimiento de agua, junto con la Alcaldía de Windhoek, están implementando la siguiente estrategia para poder hacer frente a la demanda futura:

- la recarga artificial (RA) del acuífero de Windhoek, que utiliza el excedente de agua de las represas del área central, ver arriba;
- utilización conjunta del agua, con un suministro basado en el agua superficial durante los períodos de amplio abastecimiento, mientras que el agua subterránea se utiliza como un sistema de respaldo durante las sequías;
- implementación de mediciones de la demanda de agua, que disminuirían la demanda ilimitada de agua en aproximadamente un 30 %, así como también el incremento anual del consumo a menos de un 2,5 %.

El proyecto del banco de agua del acuífero de Windhoek comenzó en 2004 y la implementación completa del programa llevará 15 años. Durante las fases iniciales del proyecto, se instalaron cuatro perforaciones de inyección. Según el plan del proyecto, se llevarán a cabo cinco perforaciones de exploración, diez pozos de inyección y nueve pozos de inspección. A largo plazo, el agua superficial tratada se mezclará a un índice de 3 : 1 con las aguas residuales recuperadas de la Planta de Recuperación de Aguas de Goreangab, mediante la utilización de técnicas de tratamiento avanzadas.

## Impacto

El coste para el esquema de 15 años de recarga artificial del acuífero de Windhoek asciende a 19,8 millones de euros. El programa no se amortiza de manera autónoma y no es financieramente viable. Sin embargo, brinda un suministro de agua seguro a Windhoek, además de otros muchos beneficios:

- no reclama los recursos hídricos escasos del país, sino que, por el contrario, mejora la eficiencia de las fuentes existentes;
- se pueden reducir significativamente otros esquemas planificados de aumento de la demanda;
- las mediciones de la demanda son más viables, ya que las pequeñas reservas pueden depositarse a través de inyecciones en el banco de agua;
- se pueden postergar las obras de mejora de la infraestructura de almacenamiento;
- los impactos medioambientales son mínimos en comparación con otras alternativas.

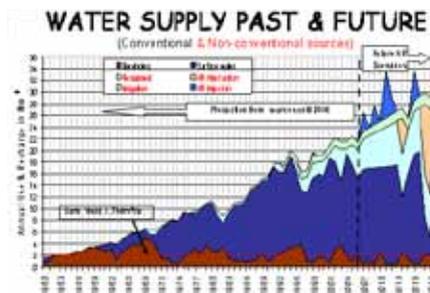


Figura 2. Cantidades históricas y futuras propuestas de producción anual de agua para Windhoek

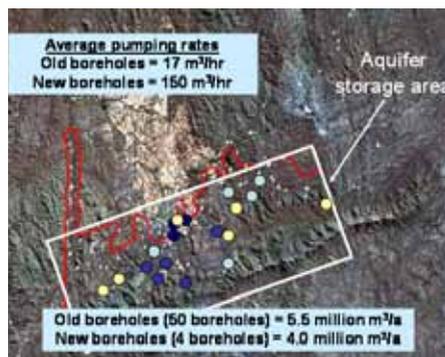


Figura 3. Ubicación de los sitios de recarga artificial del acuífero artificial de Windhoek y de los pozos utilizados para el abastecimiento de agua



Figura 4. Perforación de un pozo profundo de gran diámetro

# Estanques de retención de agua superficial a gran altitud

## Cuenca del Ocoña (Perú)

### Introducción

El cambio climático puede generar el desarrollo de nuevos enfoques de gestión del agua. La retención de la escorrentía del agua de lluvia aumentará la disponibilidad de agua durante el año y mejorará las condiciones de vida. En regiones con una estación seca definida, la retención de la escorrentía de agua de lluvia durante la temporada húmeda puede implicar una gran diferencia en la agricultura local y los medios de subsistencia de la población rural. Es importante salvaguardar los intereses de los usuarios de la tierra y del agua en toda la cuenca.

### Descripción

En las cuencas de captación de altura de la Cuenca del Ocoña, de Perú, el flujo de los cursos de agua se explotan intensivamente y no hay otros recursos hídricos disponibles en la estación seca. Aquí, las reservas de retención de escala media ubicadas en la zona captación se utilizan para incrementar la disponibilidad de agua durante el año para la agricultura local.



*Figura 1. Una represa de retención en el lago Palcachoa, cerca del glaciar Coropuna*

La cuenca del río Ocoña se encuentra en los Andes sudoccidentales en el sur de Perú, y forma una barrera fértil entre los desiertos de Sechura y Atacama. Los límites superiores de las cuencas de captación están delimitados por la cadena montañosa del Huanzo, que contiene varios glaciares de gran altitud, como el Coropuna (6 445 m), Solimana (6 095 m) y Firura (5 500 m). La población de la cuenca del río Ocoña es de aproximadamente 70 000 personas, que viven principalmente en estado de pobreza o extrema pobreza (con menos de 2 dólares o 1,25 dólares por día, WB - Programa de Comparación Internacional 2008). En muchas cuencas de captación de altura, como Armas-Chichas y Churunga, las actividades agrícolas se sostienen a través de sistemas de riego que utilizan agua de deshielo complementada con agua de lluvia. Los recursos hídricos subterráneos son inadecuados o se encuentran actualmente sin explotar.

Según el Tyndall Centre for Climate Change Research, Perú será uno de los tres países que sufrirá más el cambio climático, debido a la gran dependencia de los glaciares como fuente de agua que tiene el país. El efecto más importante del cambio climático en la cuenca del río Ocoña es el retroceso de los glaciares. La consiguiente reducción del caudal de base durante la temporada seca

afecta gravemente el potencial agrícola de la región. La escorrentía de agua de lluvia durante la temporada húmeda y el caudal de base en exceso pueden ser retenidos mediante represas ubicadas en sitios estratégicos en la cuenca. El agua almacenada puede luego ser utilizada en la temporada seca para suplementar el abastecimiento de agua para riego en la región.

## Técnicas utilizadas

La cuenca del río Ocoña contiene tres subcuencas. Hay comisiones de usuarios activas en cada subcuenca, con excepción de la subcuenca de Arma, que tiene un coordinador en la comisión de riego. Estas comisiones han formado la Plataforma para la Gestión Integral del Agua para la cuenca del Ocoña, que tiene como objetivo coordinar la gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca.

Las comisiones de usuarios coordinan las acciones para generar almacenamiento de agua superficial y así incrementar la disponibilidad de recursos hídricos durante la temporada seca. La represa Palcacocha, de tamaño medio, se ha construido en la cuenca de captación de Churunga, cerca del glaciar Coropuna. Detrás de la represa, se ha formado un lago artificial y el agua de este lago puede liberarse en un curso de agua que lleve a un punto de toma para los tres principales sistemas de riego de esta subcuenca.

Se planeó la construcción de una represa de almacenamiento más grande en la parte superior del río Arma en la subcuenca de Arma-Chichas (proyecto Arma). El agua de esta represa será conducida por gravedad a través de una serie de canales hasta una subcuenca cercana para ser utilizada en agricultura. Debido a la elevada altura de las represas, la evaporación es relativamente escasa.

## Impacto

A pesar de que los impactos de la represa Palcacocha todavía deben evaluarse cuidadosamente, la escorrentía de agua de lluvia ya se recoge en la represa, desde la cual se alimentan luego los sistemas de riego en la cuenca. Existe una fuerte sospecha de que el lago detrás de la represa también recarga agua subterránea.

La disponibilidad de agua durante el año para agricultura de riego en la cuenca de Ocoña está siendo gravemente amenazada por el retroceso del glaciar, debido al cambio climático y la consecuente disminución del flujo de base. Al capturar y retener los recursos hídricos en exceso a una altura elevada en la cuenca de captación a través de la construcción de represas, el agua puede ser distribuida de forma más uniforme a lo largo del año y en toda la región.

El enfoque integrado de la cuenca del Ocoña garantiza que todas las actividades orientadas a la mejora de la disponibilidad de agua en la cuenca estén cuidadosamente coordinadas. También salvaguarda la utilización de agua para todos los usuarios aguas arriba, sin ocasionar efectos colaterales negativos ni comprometer a los usuarios aguas abajo.

## Bibliografía

ADAPTS (2008). Desk study Ocoña Basin.

ADAPTS (2009). Mission report Churunga and Arma-Chichas catchments.

AEDES (2005). Population and Livelihood Census.

Tyndall Centre for Climate Change Research ([www.tyndall.ac.uk](http://www.tyndall.ac.uk))



# Recogida de agua de lluvia en regiones secas

## África subsahariana

Muchas regiones del África subsahariana, como Burkina Faso, Mali y Senegal se encuentran gravemente afectadas por la escasez de agua. A menudo, el agua subterránea está contaminada (debido a la presencia de capas geológicas) o se encuentra a demasiada profundidad para constituir una fuente de agua viable. Las mujeres y los niños, en particular, invierten muchas horas al día en buscar agua, caminando largas distancias o formando fila en los pozos, que con frecuencia tienen una capacidad limitada, están agotados o incluso no funcionan. Esto reduce su tiempo para actividades agrícolas, económicas, educativas y sociales. En algunas regiones, las personas no tienen acceso a los pozos y recogen agua al modo tradicional, es decir, de un estanque abierto, que habitualmente también lo utiliza su ganado.

Los problemas de salud causados por la escasez y la contaminación del agua afectan a muchas personas en todo el mundo, para no mencionar el trabajo que requiere la búsqueda de esta agua. Una percepción general equivocada es que la mayoría de las regiones en el África subsahariana reciben muy escasas precipitaciones, mientras que en realidad, sus lluvias pueden ser suficientes para satisfacer la demanda anual de agua. El desafío reside en cómo afrontar la larga estación seca con el sustento de períodos de precipitaciones cortos e intensos, cuando la mayor parte del agua se pierde a través de la escorrentía. Si la lluvia pudiera almacenarse, se contaría con suficiente agua disponible para consumo humano, y para muchas otras aplicaciones, como cría de ganado, agricultura y otras actividades sostenibles.

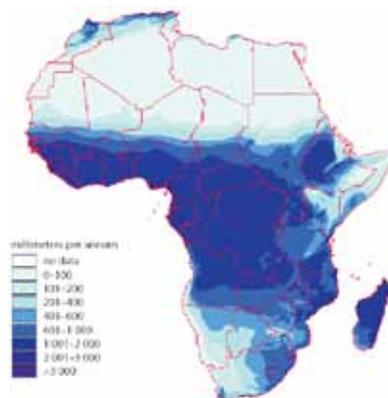


Figura 1. Precipitaciones totales anuales en África (fuente: PNUMA)

### El potencial de la recogida de agua de lluvia

En regiones en las que no se encuentran disponibles otras fuentes de agua o resultan poco fiables, la recogida de agua puede constituir una simple y efectiva opción para un abastecimiento de agua seguro y suficiente. Un ejemplo del potencial de la recogida de agua de lluvia a nivel doméstico se brinda en el cuadro a continuación.

La recogida de agua de lluvia puede proporcionar suficiente agua, especialmente en regiones en las que las fuentes de agua son inexistentes o escasas, y reduce además, la presión sobre los recursos hídricos subterráneos. La familia que vive en Tonka no solo se beneficia del agua en sí misma, sino también del hecho de que se encuentra disponible en la puerta de su casa, reduciéndose así el tiempo y el trabajo diario de ir a buscar agua. Especialmente, las mujeres y las niñas tendrían

tiempo para invertir en otras actividades, como frecuentar grupos de mujeres o ir a la escuela. El cálculo ofrecido es únicamente para un hogar, mientras que también hay familias que viven en conjuntos mayores, lo que incrementa el tamaño del techo, y por lo tanto, el potencial de recogida de agua de lluvia.

Superficie del techo = 30 m<sup>2</sup>  
Precipitaciones anuales = 650 mm  
Tamaño del grupo familiar = 10 personas

Agua por persona durante el período seco de siete meses = 7,4 litros por día

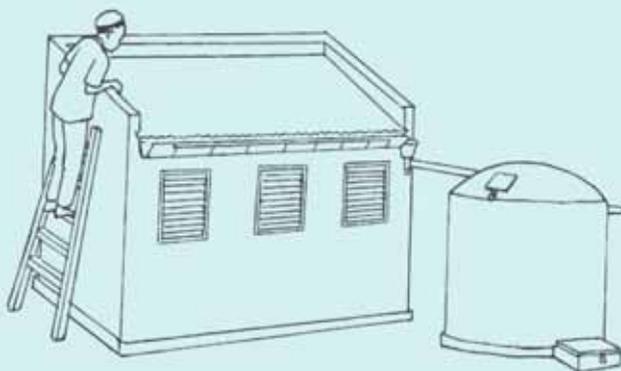
En la aldea de Tonka, en la región de Koulikoro(Mali), un hogar de 10 personas invierte de tres a cuatro horas por día para buscar agua desde un pozo distante, que a menudo no funciona debido al agotamiento de las napas subterráneas. Utilizan principalmente agua de un estanque abierto, formado durante la estación lluviosa, que también utilizan los animales. ¿Cómo se podría beneficiar esta familia de la recogida de agua de lluvia?

Las precipitaciones anuales son de aproximadamente 650 mm (el período de lluvias se extiende desde mayo a octubre) y su superficie de techo es de unos 30 m<sup>2</sup>.

Potencial de recogida de agua =  $0.8^1 \times (30 \text{ m}^2 \times 650 \text{ mm}) / 1000 = \mathbf{15\ 600 \text{ litros por año}}$

Con una temporada seca promedio de siete meses,  $15\ 600 / (7 \times 30) = 74$  litros de agua disponible por día. La familia está formada por 10 personas, lo que implica que cada miembro del grupo familiar podría tener 7,4 litros de agua por día proveniente de la recogida de agua de lluvia.

Diversos estudios han demostrado que el agua de lluvia recogida de los techos de chapa resulta muy apta para el consumo humano si se llevan a cabo operaciones adecuadas de gestión y mantenimiento. Si el agua se necesita para otros propósitos, como la cría de ganado, cocina o jardinería, la calidad del agua no es tan problemática. En este caso, la familia podría tener un tanque de recogida de agua para consumo humano y un estanque adicional para captación de la escorrentía superficial con otros propósitos.



<sup>1</sup> aquí, el coeficiente de escorrentía de un techo de chapa es de aproximadamente el 80%, tomando en consideración un 20 % de pérdida de agua



*Figuras 2 y 3 Beneficiarias frente a su tanque beben el agua en la aldea de Sébi Kotane, Senegal*

## ¡Hágalo fácil!

Los sistemas de recogida de agua son descentralizados, lo que significa que se gestionan y operan completamente a nivel doméstico, dándole a la gente una gran independencia. Los hogares son responsables del mantenimiento, la gestión y la conservación de su propia fuente de agua. Como la gente invierte en su propio sistema, con dinero, materiales y/o mano de obra, el sentido de propiedad local es alto, incrementando así la sostenibilidad del sistema. Hay muchas maneras de almacenar agua a diferentes escalas. La recogida de agua de los techos a nivel doméstico es una opción que proporciona agua sin movernos de casa.

Los sistemas de recogida de agua de lluvia son simples y directos: el agua de lluvia se recoge en un techo (preferentemente) de chapa y se conduce a través de un sistema de canaleta y filtro hacia una estructura de almacenamiento o se infiltra en el subsuelo para recarga. Si el agua se utiliza para consumo humano, el sistema de cañerías hacia la estructura de almacenamiento deberá estar equipado con un sistema de primer chorro y filtros, para evitar que la contaminación (como suciedad o escombros del techo) entre al sistema de almacenamiento. Un sistema de primer chorro contribuirá a desviar los primeros milímetros que son los que contienen una mayor potencial contaminación. Diversos estudios han demostrado que un sistema de primer chorro adecuadamente operado y mantenido es a menudo suficiente para proporcionar agua potable de calidad. En la instalación de almacenamiento, es importante que no entre luz en el sistema, porque esto podría generar el desarrollo de bacterias. También debe estar protegido de las personas y animales que pudieran ingresar al sistema. Se sabe que el agua almacenada en un sistema cerrado promueve la eliminación de las bacterias y mejora la calidad del agua.

La recogida de agua de lluvia también puede utilizarse para riego, cría de ganado y recarga de agua subterránea. Para estos usos, no se aplican los estándares de alta calidad del agua, y se pueden utilizar otras técnicas (a menudo más económicas). Según las necesidades de agua y el potencial de recogida de agua de lluvia, se puede realizar un plan integrado para el mejor uso de las precipitaciones.

## Algunos resultados e impactos de la recogida del agua de lluvia

- fuente de agua en la puerta de casa;
- mejor calidad y cantidad de agua respecto a fuentes existentes;
- mayor índice de escolaridad en los niños, especialmente las niñas, debido al tiempo ahorrado en buscar agua. Además, los niños están más sanos y son capaces de participar en clases debido a la disponibilidad de agua segura y suficiente;
- más tiempo para actividades agrícolas, económicas, educativas y sociales, no solo a través del tiempo ahorrado en la búsqueda de agua, sino también porque existe una menor incidencia de enfermedades relacionadas con el agua, especialmente entre los niños.

## Recoger, almacenar y utilizar

Existe un gran potencial para la recogida de agua de lluvia en el África subsahariana, especialmente en las regiones donde otras fuentes de agua son insuficientes, no se encuentran disponibles y/o no son fiables. La única tarea es recoger el agua de lluvia, almacenarla y utilizarla. Los desafíos consisten en multiplicar los éxitos ya logrados, proporcionar opciones de almacenamiento de bajo coste y duraderas, y llegar a las personas que aún dependen de fuentes de agua poco seguras.

## Bibliografía

RAIN Foundation - [www.rainfoundation.org](http://www.rainfoundation.org)

# Recogida de agua de manantiales

## Tanzania

### Introducción

Con una descarga constante y agua de buena calidad, los manantiales son una fuente de agua segura y, por lo general, se encuentran entre las opciones preferidas. Un manantial puede ser captado y el agua puede ser conducida a zonas con un acceso difícil a una fuente de agua de calidad. En Tanzania, dicho sistema se construyó para abastecer a la comunidad de Kwemakamem, que anteriormente utilizaba el agua poco segura y frecuentemente de baja calidad de los ríos (estacionales).

Tras una grave epidemia de cólera a fines de la década de 1980, se inició un proyecto que descubrió que los manantiales en el valle de Dindira tienen suficiente descarga como para abastecer de agua a las comunidades aguas abajo (incluyendo la aldea de Kwemakame). Para capturar el agua de manantial, se cavaron nueve zanjas (3 x 15 x 1,5 metros) pendiente arriba de la ubicación del manantial y se hicieron herméticas a los lados. Al conectarse al mismo acuífero que el manantial, el fondo de las zanjas luego permitió que se descargara en un tanque de almacenamiento cubierto y posteriormente en el sistema de distribución de agua. El sistema de distribución abasteció 27 puntos de agua, y brindó el servicio a 90 personas en cada caso, sumando un total de 2 430 personas.

Sin embargo, con el correr de los años, surgieron dos principales problemas relativos a la seguridad del agua:

- i. disminución de los niveles de agua subterránea a causa del cambio climático y la deforestación, que resultó en una recarga inferior de agua subterránea;
- ii. aumento del consumo de agua a medida que los usuarios consumen más agua del grifo para el riego.

### Técnicas utilizadas

Para superar estos problemas, se creó la Oficina de Agua de la Cuenca de Pangani (PBWO, por sus siglas en inglés), y se tomaron medidas para incrementar el rendimiento de la toma a través de la ampliación de la recarga de agua subterránea. Las medidas consistieron en la desviación y recogida de la escorrentía del agua superficial en una pequeña represa desde la que el agua se recargaba hacia el subsuelo a través de una fosa de recarga aguas arribas desde la toma del manantial. Además, al recoger esta escorrentía superficial rápida e infiltrarla en el acuífero permeable del manantial, se evitan los picos de descargas de agua superficiales. Las medidas eventualmente garantizan una descarga del manantial de alta calidad aumentada y continua, haciendo que las comunidades dependientes sean menos vulnerables a los efectos del cambio climático. Por último, el PBWO desempeña un papel importante, al brindar y compartir conocimiento entre proyectos similares, supervisando las consecuencias de los proyectos y los efectos en los usuarios ubicados aguas abajo y optimizando la utilización de los recursos, al tiempo que se salvaguardan su disponibilidad y sostenibilidad a largo plazo.

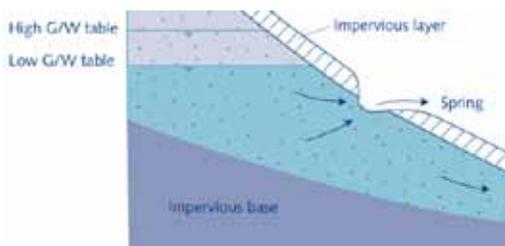


Figura 1. Ejemplo de un manantial de depresión artesiano (Wijk-Sijbesma et ál., 2002).

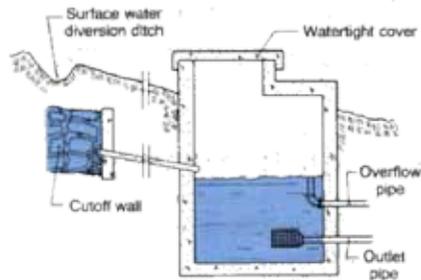


Figura 2. Vista del corte de un manantial de concentración (Jennings, 1996)

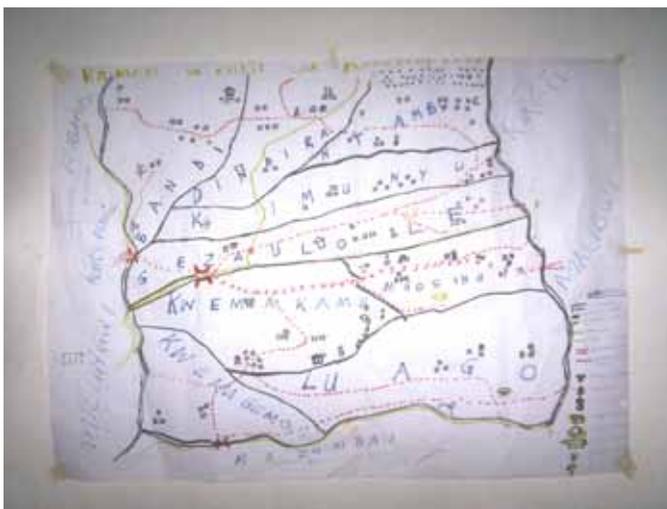


Figura 3. Plano de la aldea de Kwemakame y de las comunidades aledañas (Fuente: Chamavita)

## Bibliografía

Rolf, H. (2008). Chamavita spring water schemes, Usambara Mountains, Tanzania. Mission report 01-11-2008 – 17-11-2008. Aqua4All, Nieuwegein. Projectnr. So6041

Bolt, E. and Heeger, J. (1990). The Kwemakame drinking water project in Tanzania. Universidad agrícola de Wageningen, Países Bajos.

## Lecturas adicionales

Wijk-Sijbesma, C.A. van and Smet, J.E.M. (2002). Small community water supplies: technology, people and partnership. *Technical paper series / IRC*; no. 40.

Jennings G.D. (1996). Protecting water supply springs. North Carolina Cooperative Extension Service. (<http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/publicat/wqwm/ag473-15.html>)

Oxfam. Technical Brief on Spring Protection. ([http://www.oxfam.org.uk/resources/downloads/emerg\\_manuals/draft\\_oxfam\\_tech\\_brief\\_springprotect.pdf](http://www.oxfam.org.uk/resources/downloads/emerg_manuals/draft_oxfam_tech_brief_springprotect.pdf))

# Recogida de agua de lluvia en zonas afectadas por la sal

## Senegal

Casi la mitad de la población de Senegal se considera pobre, y el Gobierno ha establecido como objetivo central de su política nacional la reducción de la pobreza. El agua se considera esencial en la lucha contra la pobreza y, por ende, es un área prioritaria en su agenda. Durante años, el Gobierno ha estado trabajando en el abastecimiento de agua suficiente para cubrir las necesidades básicas, mediante la construcción de infraestructuras hídricas como pozos, torres de agua, represas, estanques, etc. Sin embargo, se sabe que muchas regiones de Senegal tienen aguas subterráneas con alto contenido salino o que las napas subterráneas muy profundas son inviables para excavar pozos. La desalinización es una técnica efectiva para purificar el agua subterránea, pero tiene altos requerimientos tecnológicos, económicos y no resulta accesible para la población promedio.



Figura 1. Extracción de sal en Senegal

## Estanques de sal en Senegal

En Senegal, las regiones como Casamance y Sine Salum son conocidas por sus aguas subterráneas de alto contenido salino. Debido al agotamiento de los recursos de aguas dulces, el agua subterránea está siendo cada vez más afectada por el agua salina que se introduce desde el mar. El agua subterránea salina afecta la salud de las personas, tiene un impacto negativo sobre el sabor y también daña los materiales de hierro utilizados para realizar los pozos.



Figura 2. Un hangar construido por la organización asociada CCF, ya que no se contaba con techos disponibles para una recogida de agua de lluvia de los techos.

Una opción para el abastecimiento seguro es la recogida de agua de lluvia (RWH, por sus siglas en inglés), que tiene un coste relativamente bajo, es apropiada al contexto y sostenible. Desde 2007, la fundación RAIN (siglas en inglés para Red de Implementación de la Recogida del Agua de Lluvia) ha estado trabajando con Caritas Kaolack y el Centro Regional para el Abastecimiento y la Higiene del Agua (CREPA) en Senegal, en las islas de Sine Salum, para construir sistemas de recogida de agua de lluvia de diversos tamaños a niveles doméstico y comunitario (centros de salud y escuelas).

El objetivo es proporcionar suficiente agua potable para, al menos, tres o cuatro meses con el fin de superar el período crítico de sequía. Hasta ahora, los proyectos implementados tuvieron como resultado más disponibilidad de tiempo, agua más segura y de mejor sabor y una disminución de los riesgos para la salud. A continuación, un resumen de los sistemas de recogida de agua de lluvia construido a través del programa RAIN en Senegal. Hasta ahora, 2 229 m<sup>3</sup> de capacidad de almacenamiento para RWH se han construido en Senegal, abasteciendo a más de 7 500 personas con agua segura y suficiente para superar, al menos, el período seco crítico.

Capacidad de almacenamiento RWH (litros)	Cantidad de sistemas de RWH construidos a través del programa RAIN		
	2007	2008	2009
10 000	40	34	65
12 000		39	
15 000		7	26
16 000		1	

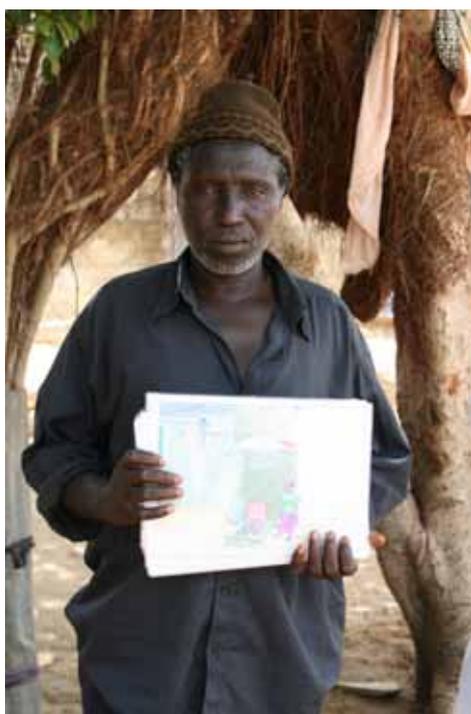
### Agua para la Isla Diogane

En las islas de Salum, el acceso al agua potable constituye un desafío dada la alta concentración de sal en el agua subterránea. Esta situación ha mejorado para los residentes de la isla Diogane, gracias al apoyo recibido de la ONG senegalesa Caritas Kaolack. Actualmente, más de 50 hogares cuentan con sus propios sistemas de RWH (recolección del agua de lluvia), que varían en tamaño entre 10 m<sup>3</sup> y 15 m<sup>3</sup> y recolectan agua de lluvia de los techos de las casas. Esto ayuda a brindarle a la gente la cantidad suficiente de agua potable durante varios meses del año, especialmente durante la estación seca.



Figura 3. Un tanque de recogida de agua de lluvia en mantenimiento en la aldea de Diogane

Las personas que se benefician de los sistemas de RWH participan y contribuyen durante todo el proyecto, tanto en especie como con dinero, totalizando aproximadamente entre un 5 y un 10 % del coste de inversión total. El coste de inversión total en herramientas (esto excluye la supervisión, la comunicación y los gastos generales) es de alrededor de 600 euros. El período de vida útil promedio de un tanque de recogida de agua de lluvia es de entre 15 y 20 años, lo que da como resultado 40 euros por año para financiar un sistema de recogida de agua de lluvia. Así como se trata de una opción de bajo coste, efectiva y sostenible para el abastecimiento de agua en zonas afectadas por la sal de Senegal, el desafío es difundir esta tecnología hacia otras regiones que sufren de problemas de calidad o cantidad de agua.



Figuras 4 y 5 Beneficiario en la aldea de Simal, Senegal, exhibe los dibujos que se utilizan durante el curso de formación (foto: RAIN)

## Concienciación sobre la calidad del agua

La organización asociada de RAIN, Caritas Kaolack, se concentra principalmente en los problemas de calidad del agua en relación a la recogida de agua de lluvia (RWH, por sus siglas en inglés). En cada aldea en la que se implementan sistemas de RWH, se proporciona una formación detallada sobre medidas preventivas durante la recogida y extracción del agua, dentro y alrededor del tanque de RWH. También se concentra en la higiene y la utilización del agua en el hogar, como la limpieza del bidón, el tiempo de reacción necesario del producto de limpieza antes del consumo y el almacenamiento adecuado. Tras la formación, cada beneficiario recibe al menos dos visitas para garantizar que las habilidades de operación y gestión se están aplicando de manera efectiva. Esto da como resultado una mejor comprensión de la operación y gestión de los sistemas de RWH y las prácticas de higiene, lo que genera un asesoramiento más personalizado para los futuros usuarios de los sistemas de RWH. Se ha demostrado que la formación garantiza la operación y gestión efectivas y duraderas de los sistemas de RWH.

RAIN, Caritas Kaolack y CREPA Senegal se encuentran actualmente promoviendo la RWH con el Gobierno nacional, como una opción efectiva para el abastecimiento de agua en regiones específicas de Senegal para la integración en políticas y planes sobre el agua, como así también, para reconocer el agua de lluvia como una opción para la provisión de agua segura y suficiente. RAIN se encuentra en el proceso de crear un Centro de Capacidad de Recolección de Agua de Lluvia (RHCC, por sus siglas en inglés) en Senegal, para trabajar específicamente en la difusión, además de coordinar la implementación y los conocimientos compartidos a nivel nacional.

## Bibliografía

RAIN foundation - [www.rainfoundation.org](http://www.rainfoundation.org)

Caritas Kaolack - <http://didier.krumm.free.fr/caritas-kaolack/index.htm>

CREPA Senegal - [www.reseaucrepa.org](http://www.reseaucrepa.org)

# Múltiples aspectos del agua de lluvia

## Nepal

Nepal tiene una gran riqueza de recursos hídricos, aunque sin embargo, el acceso al agua no siempre está garantizado. Particularmente, las comunidades rurales que viven en regiones montañosas tienden a sufrir la escasez de agua, debido a las dificultades del terreno. Las mujeres y los niños invierten muchas horas por día en la búsqueda de agua, principalmente de manantiales naturales ubicados montaña abajo, que tienden a desaparecer en las zonas inferiores durante el período seco. Junto con las necesidades domésticas de agua, la agricultura a pequeña escala, los huertos y la cría de ganado son otras actividades de consumo de agua que dependen mayoritariamente de la disponibilidad de este recurso durante la temporada de lluvias. Estas actividades están sufriendo la falta de lluvias invernales durante los últimos años en Nepal.

Otro factor que controla los estándares de vida en el Nepal rural es la utilización de madera como combustible para cocinar y para la calefacción, lo que lleva a graves problemas de salud debidos a la contaminación atmosférica en los hogares. Tanto la demanda de madera para combustible como los recursos hídricos reducidos han ocasionado una reducción de las áreas de bosques en Nepal. Junto a esto, la recolección de madera para fuego es otra actividad que requiere mucho tiempo, una vez más, principalmente para las mujeres y los niños.



Figura 1. Tanques de recogida de agua de lluvia en Bubeyrakhe, Nepal

En muchas regiones de Nepal, especialmente en las zonas más altas de las montañas, la recogida de agua de lluvia es la única opción viable para tener un suministro de agua suficiente, ya que el abastecimiento de agua por cañerías es muy caro en este tipo de terreno. Muchas ONG en Nepal han tomado conciencia acerca de este potencial para la recogida de agua y, pese a que hubo algunas dudas iniciales para utilizar el agua de lluvia como agua para consumo humano, se han implementado diversos proyectos a gran escala. La recogida del agua de los techos es la más común en Nepal.

BSP-Nepal, una ONG, en colaboración con SNV- Netherlands Development Organization, inició e implementó plantas de biogás a nivel hogareño mediante la utilización de estiércol y heces humanas para producir biogás. Este programa mejoró eficientemente los estándares de salud y redujo la deforestación, ya que la madera no se utiliza más para cocinar. Se ahorró un tiempo significativo para las mujeres, ya que no tienen que salir a recoger leña (sin olvidar el trabajo que implica cargar la leña hasta sus hogares en un terreno montañoso). El programa de biogás ha llevado a la implementación exitosa de más de 205 000 plantas de biogás en 75 distritos y la formación específica de más de 60 empresas constructoras para la realización de plantas de

biogás y sistemas de recogida de agua de lluvia. El éxito del programa fue la comercialización de la implementación de las plantas de biogás, a través de la cooperación con empresas de construcción privadas de Nepal, además de establecer un modelo financiero atractivo. Este modelo consta en un 30 % de subsidio gubernamental, un 60 % de préstamos del usuario a través de institutos de microfinanciación, y un 10 % de contribución directa del usuario a través de dinero en efectivo y en especie.

Propietario de un tanque de recogida de agua de lluvia de 14 m<sup>3</sup> y de un tanque de 6 m<sup>3</sup> de biogás en Sarangkot, distrito de Palpa, Nepal

*Cuando BSP-Nepal vino a mi casa para convencerme de que participara en un proyecto con biogás y recogida de agua de lluvia, inmediatamente percibí su potencial. Como BSP-Nepal podía únicamente asistir la financiación de un tanque de 6,5 m<sup>3</sup>, mi familia financió el dinero restante para tener un tanque más grande de 14 m<sup>3</sup>. El agua se utiliza para el funcionamiento del tanque de biogás, y mi esposa ahora puede cocinar en un horno de gas! También pude construir este invernadero para tomates, que utilizamos para el consumo propio y también vendemos en el mercado cercano. Además, ahora estoy ahorrando dinero para poder tener otro tanque de recogida de lluvia, y así ampliar mi producción e incrementar los ingresos familiares.*



Figura 2. Propietario de un tanque de recogida de agua de lluvia y un tanque de biogás en Sarangkot, distrito de Palpa (Nepal)

Sin embargo, para hacer funcionar la planta de biogás, se necesita agua, la cual es escasa o difícil de encontrar en áreas montañosas. Actualmente, BSP-Nepal está combinando plantas de biogás con tanques de recogida de agua de lluvia en las regiones en las que no son viables otras fuentes de agua, posibilitando la utilización de agua para la producción de biogás, el consumo (y otros pequeños usos domésticos) y riego. Las empresas constructoras reciben una formación intensiva sobre la implementación de tanques de recogida de agua de lluvia (principalmente, tanques de 6,5 a 10 m<sup>3</sup>) y su trabajo se supervisa y evalúa de manera habitual. Para que la recogida de agua de lluvia sea una solución más atractiva desde el punto de vista financiero para las poblaciones rurales pobres, BSP-Nepal actualmente está buscando también opciones de microfinanciación para la recogida de agua de lluvia.

La ONG Internacional Helvetas está implementando sistemas de recogida de agua de lluvia en tres regiones de Nepal. Sus proyectos representan una combinación de saneamiento con abastecimiento de agua a través de la recogida de agua de lluvia. Las personas que tienen acceso a un saneamiento mejorado son todavía pocas, especialmente en las zonas rurales de Nepal. Para abordar este problema, Helvetas combinó los proyectos de suministro de agua con el saneamiento.

## Ganga Chand

Dueño de un tanque de recogida de agua de lluvia de 6,5 m<sup>3</sup> en Bubeyrakhe, distrito de Dailek (Nepal)

*Antes tenía que caminar muchas veces al día, subiendo y bajando la montaña, para recoger agua del manantial con un gran bidón. Ahora, simplemente salgo de mi casa y tengo la cantidad de agua que necesito en mi propio tanque. Estoy muy orgulloso y feliz. Mi marido ahora está trabajando como albañil pagado en un proyecto de recogida de agua de lluvia de Helvetas Nepal en una aldea cercana, gracias a la formación que ha recibido en la realización de tanques de agua de lluvia durante la construcción de tanques en nuestra aldea. Los tanques de recogida de agua de lluvia han significado un gran cambio para mí y mi familia.*



Figura 3. Propietaria de un tanque de recogida de agua de lluvia en Bubeyrakhe, Distrito de Dailek (Nepal) (foto: RAIN)

Para avanzar hacia un enfoque más integrado de los recursos hídricos, Helvetas Nepal ha desarrollado un Programa de Gestión de los Recursos Hídricos (WARM-P, por sus siglas en inglés), que se basa en 30 años de experiencias en agua y saneamiento para abordar el conflicto fuente, el suministro de agua y sus múltiples usos y gestión a nivel de la aldea. Debido al hecho de que las fuentes de agua existentes a menudo se encuentran sobreexplotadas y no son bien gestionadas dentro y entre las comunidades, Helvetas sintió la necesidad de facilitar a las comunidades la organización y la preparación de planes de gestión de los recursos hídricos para múltiples usos del agua a nivel de la aldea. Así, WARM-P no solo apoyó a las comunidades en el abastecimiento de agua y saneamiento, sino también en la preparación e implementación de un Plan Maestro de Uso del Agua (WUMP, por sus siglas en inglés) por parte de las comunidades. El WUMP es una herramienta para guiar un plan integrado, y para realizar un mapa de todos los recursos hídricos disponibles y potenciales en una región. El WUMP tiene un fuerte componente social y técnico, basado tanto en las necesidades y circunstancias locales de una aldea, como en los factores físicos que controlan los recursos hídricos disponibles para utilizarlo al máximo. La recogida de agua de lluvia es una de las opciones para el suministro de agua en el WUMP y, por lo tanto, este Plan Maestro puede verse como un primer paso hacia la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos a nivel de la aldea.

La demanda de sistemas de recogida de agua de lluvia está creciendo, debido a los éxitos logrados por las ONG en todo el país. Desde el comienzo de 2009, el Gobierno de Nepal ha reconocido el agua de lluvia como un importante recurso hídrico para utilización doméstica y productiva, así como para la recarga del subsuelo.

## Bibliografía

BSP-Nepal - [www.bspnepal.org.np](http://www.bspnepal.org.np)

Helvetas-Nepal - [www.helvetasnepal.org.np](http://www.helvetasnepal.org.np)

RAIN Foundation - [www.rainfoundation.org](http://www.rainfoundation.org)

# Drenaje controlado

## Países Bajos

Durante mucho tiempo, el drenaje se ha considerado la eliminación del agua en exceso para mejorar el desarrollo de los cultivos. Una definición más reciente lo considera desde una perspectiva más amplia, como la gestión de las reservas subterráneas para múltiples funciones:

*‘El drenaje es el proceso de eliminación del agua superficial en exceso y la gestión de las capas freáticas de poca profundidad, mediante la retención y la eliminación del agua, y de la gestión de la calidad del agua para alcanzar una combinación óptima de beneficios económicos y sociales, preservando al mismo tiempo las funciones ecológicas clave’ (Banco Mundial, 2004).*

Desde esta perspectiva, el drenaje puede cumplir numerosas funciones: mejor salud pública, menor daño a las carreteras y otras infraestructuras, mejores condiciones de vida (menor daño a las casas, ecología y agricultura más ricas). Los beneficios del drenaje -si se efectúa bien- pueden ser grandes.

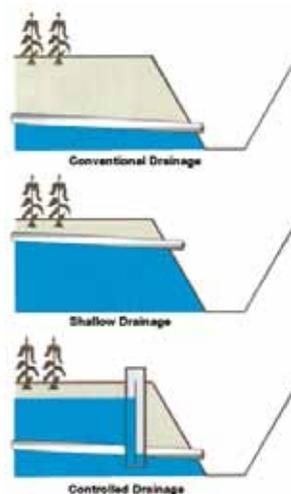


Figura 1. Diversos sistemas de drenaje por cañerías

Un aspecto fundamental del concepto de la gestión integrada del drenaje es el drenaje controlado. En el drenaje convencional, las capas freáticas se ubican a una cierta profundidad, pero en el drenaje controlado, estas fluctúan, dependiendo de los requisitos del cultivo o de sus diferentes funciones. El drenaje controlado –que se utiliza en países tan diversos como Bangladesh, China, República Checa, Egipto y los Países Bajos– posibilitan llevar a cabo una gestión de precisión de las reservas subterráneas.

## Técnicas utilizadas

Históricamente, en los Países Bajos, el objetivo exclusivo del drenaje ha sido el rápido escurrimiento de los suelos y del agua superficial. Esto facilita la preparación oportuna del terreno y la siembra mediante tractores y maquinaria agrícola pesada, para minimizar las reducciones de rendimiento que se producen cuando las raíces están sumergidas en una zona totalmente saturada y desprovista de oxígeno (anaerobiosis). Estas prácticas de “drenaje convencional” (figura 1) permiten a los agricultores eliminar rápidamente los excesos de agua de lluvia desde las parcelas hacia las zanjas, canales y ríos; pero también ocasionan excesos de agua corriente abajo en los períodos de grandes precipitaciones y escasez y sequías en períodos de menores precipitaciones.

En años recientes, los escurridores han introducido nuevos sistemas de *drenaje controlado* que se están popularizando cada vez más entre los agricultores. Junto con un sistema escurridor, un agricultor desarrolló un sistema recolector de drenajes y tuberías (la “tubería Van Iersel”) con la que

los productores pueden regular la capa freática por parcela drenada. El control mejorado sobre la capa freática permite a los agricultores drenar hasta las profundidades necesarias durante el período de siembra y de cosecha, pero a su vez, retener agua durante los períodos más secos. Los resultados preliminares de la aplicación en campo con los agricultores en las provincias del sur de los Países Bajos muestran que el método del drenaje controlado redujo los picos de descargas y permitió una mejor dispersión del agua subterránea bajo las parcelas (una capa freática más uniforme). Además, los drenajes recolectores reemplazan las zanjas, lo que permite a los agricultores unir las parcelas rellenando las zanjas, incrementando así el área de cultivo y reduciendo el tiempo de trabajo, por ejemplo, conduciendo hacia adelante y hacia atrás en pequeñas parcelas.



Figura 2. Pozo de tubo recolector

## Impacto

Para instalar este novedoso sistema de drenaje, los drenajes de campo se encuentran a mayor profundidad y con una mayor frecuencia (un espaciado de entre 6 y 8 m) y debajo del nivel de la capa freática. Estos terminan en un drenaje recolector (un tubo con un diámetro mayor que los drenajes) que a continuación se conecta con una gran cañería o pozo (figura 2). El nivel del agua subterránea en los drenajes se puede manipular subiendo o bajando el tubo de salida en la cañería recolectora.

Al tener los drenajes ubicados a mayor profundidad y con una mayor frecuencia, los niveles de las aguas subterráneas son más uniformes y permiten una dispersión más rápida de las lluvias de gran intensidad. Esto significa que se puede mantener un nivel promedio de aguas subterráneas más alto, pero que es más probable que se eviten los picos de niveles de aguas subterráneas, permitiendo a los agricultores mejores cultivos en el inestable clima marítimo moderado de los Países Bajos (siembra/cosecha, y también se evita la anaerobiosis).

Además, al mantener una capa freática uniforme, se establece un menor contacto con la capa de cultivo saturada de fósforo. Esto reduce la cantidad de fósforo que llega a los drenajes. Al mismo tiempo, debido al extenso recorrido del agua a través del suelo hacia los drenajes sumergidos debajo de la capa freática, puede producirse una mayor desnitrificación, reduciendo la cantidad de nitrógeno que llega a los drenajes. Estos últimos fenómenos, sin embargo, requieren de mayores investigaciones y resultados en los Países Bajos.

En algunos estados de los EE.UU., por otro lado, el drenaje controlado se ha reconocido como una buena práctica para reducir el transporte y la liberación de nitrógeno y fósforo en las aguas superficiales delicadas.

## Drenaje agrícola: experiencias de la República Checa

Al estar ubicada en una zona de clima moderado, la **República Checa** no necesita aplicar el drenaje como una medida correctiva tras el riego. Sin embargo, los primeros sistemas de drenaje se construyeron en suelos arcillosos-margosos en regiones de cultivo de la remolacha azucarera, en los que las altas precipitaciones o el deshielo ocasionaban anegamiento. Un mayor drenaje de los suelos minerales agrícolas tuvo lugar a gran escala durante casi todo el siglo XX, afectando principalmente a aquellas áreas propensas al anegamiento (que abarcan un cuarto del terreno agrícola del país). En la década de 1970, se inició el uso del sistema de drenaje por tubos de barro para controlar el agua del suelo de dos formas: drenaje, riego o retención del agua. Muchos sistemas de control de dos vías se construyeron en la zona central de las marismas del Elba y en Moravia del sur.

El *drenaje controlado* en el último sitio mencionado aún está funcionando parcialmente. (Adaptado de Z. Kulhavý et ál., 2007).

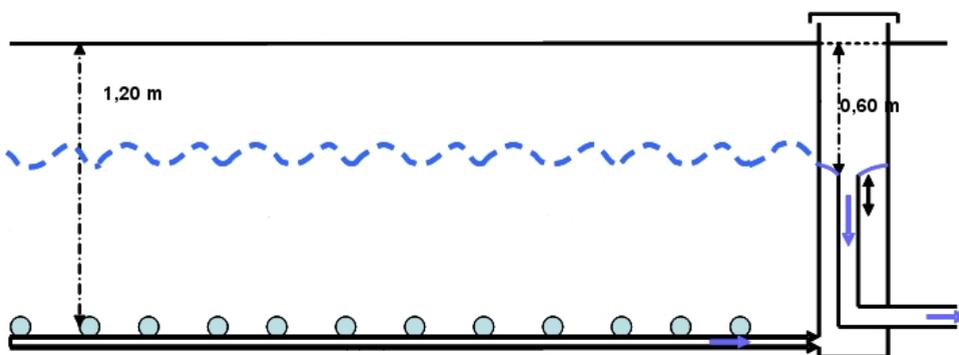


Figura 3. Drenaje controlado: drenaje profundo, drenaje recolector y tubería de cañería ajustable en pozo

## Bibliografía

Abdel-Dayem, S., Abdel-Gawad, S. and H. Fahmy. (2007). Drainage in Egypt: A story of determination, continuity and success. *Irrigation and Drainage*. Volumen 56: S101-S111.

Dayem-Safwat, A., Hoevenaars, J., Mollinga, P., Scheumann, W., Sloopweg, R. and F. van Steenberg (2004). Reclaiming drainage: towards an integrated approach. World Bank Agricultural Sector Technical Paper 1. Washington: Banco Mundial.

Dayem-Safwat, A. and F. van Steenberg (2007). Making the case for Integrated Water Resources Management: Drainage in Egypt. In: *Water International*, Volume 32, Number 5, Pg. 674-685, Supplemental Issue 2007.

Evans, R., Wayne Skaggs, R. and J. Wendell Gilliam. (1995). Controlled versus conventional drainage effects on water quality. *Irrigation and Drainage Engineering*, julio/agosto 1995, 217-276.

Steenbergen, F van. 2004. Groundwater development and policies in Pakistan. In: M. Brentwood and S. Robar. *Managing common pool groundwater resources: an international perspective*. Londres: Praeger.

Wang Shaoli, Wang Xiugui, Larry C. Brown, Qu Xingye. 2007. Current status and prospects of agricultural drainage in China. *Irrigation and Drainage*. Volumen 56: S47-S58.

Z. Kulhavý, F. Doležal, P. Fucík, F. Kulhavý, T. Kvítek, R. Muzikár, M. Soukup, V. Svihla. (2007). Management of agricultural drainage systems in the Czech Republic. *Irrigation and Drainage*. Volumen 56: S141-S149.

Entrevistas y documentos internos proporcionados por:

Lodewijk Stuyt (ALTERRA), Jacques Peerboom (Waterschap Peel en Maasvallei) y Ad van Iersel

Website de la Universidad de Minnesota:

<http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/dc774o.html>

# Utilización conjunta de las aguas subterráneas y superficiales en el riego de gran escala

## Marruecos

En muchos sistemas de riego de gran escala, existe ahora una *realidad conjunta*, en la que una gran (y a veces, incluso la mayor) parte del agua en la explotación proviene del subsuelo, y no de fuentes superficiales directas. Hay una alta densidad de pozos en los sistemas de irrigación superficial, en gran medida alimentados por agua de filtración, que luego se utiliza y reutiliza: un ejemplo de extensión de la cadena del agua.

### Descripción

En los sistemas conjuntos, el agua proviene de fuentes superficiales y de la gestión del agua subterránea. En muchos de los megasistemas de riego de la India, la mayor parte del agua proviene de dichos pozos de escasa profundidad (Shah, 2009), y lo mismo sucede en Pakistán (Van Steenberg, 2007). Un ejemplo ilustrativo de cómo el uso intensivo de las reservas de agua subterránea permitieron vivir de manera confortable durante un período de tiempo se puede ver durante la sequía de Pakistán, en el período 1999 - 2003. Durante este período, el desagüe desde los principales depósitos disminuyó en un 20 %. Sin embargo, contrariamente a lo que se pueda prever, no hubo una reducción en la producción agrícola, sino un modesto incremento. La explicación reside en la utilización más intensa del agua subterránea: en la provincia de Punjab se incrementó de un 42 % a más del 50 % de los suministros agrícolas. En la provincia de Sind, se desarrollaron muchos pozos nuevos y, en consecuencia, desapareció una gran área anegada por el agua. Mientras que esta área cubría 2,2 millones de ha, se redujo hasta menos de medio millón de ha tras tres años de sequía. El uso conjunto de agua superficial y subterránea en los sistemas de riego a gran escala no solo permitió superar la sequía, sino que también planteó un escenario para un sistema de gestión de los recursos más productivos. La variación climática impredecible trajo consigo una mejor utilización de los recursos y una mayor productividad.

El sistema de Tadla, en Marruecos, es otro ejemplo de un sistema de riego conjunto. El esquema de riego de Tadla se ubica 200 km al sudeste de Casablanca, en Marruecos. Cubre una superficie irrigada de aproximadamente 100 000 ha y está gestionada por la autoridad de desarrollo agrícola regional de Tadla (ORMVAT). Anualmente, entre 323 (2001/02) y 1 003 millones de m<sup>3</sup> (1991/92) de agua superficial se desvían del esquema. El esquema de riego de Tadla es un importante generador de productos agrícolas básicos a escala nacional, incluyendo leche y carne. La utilización del agua subterránea en Tadla empezó a prosperar a partir de 1980, cuando se liberalizaron los patrones de cultivo. Las agencias de riego estatal controlaban las elecciones previas de los cultivos, el abastecimiento de insumos y el marketing y los cultivos eran homogéneos. Bajo el nuevo régimen, se permitió a los agricultores elegir sus propios cultivos. Los insumos de riego provistos por las



*Figura 1. Utilización de agua subterránea y agua superficial para riego en Marruecos*

agencias de riego de ORMVA se orientaban más bien por la demanda, si bien en tiempos de sequía se aplicaban muchas restricciones. Sin embargo, el acceso al agua subterránea que permitió el establecimiento de un sistema diversificado también permitió elevar el valor de los sistemas agrícolas e introducir nuevos cultivos hortícolas. Otro ejemplo paradigmático es el aumento de la agricultura orientada a la industria láctea, basada en el cultivo de alfalfa, que tiene la mayor productividad de agua de todos. Curiosamente, a medida que la productividad de agua aumentaba, el área cultivada también se amplió. Los recursos hídricos superficiales en Tadla disminuyeron por las reducidas precipitaciones, particularmente en el período entre 1980 - 1992. La calidad del riego superficial también se encontraba bajo presión: la capacidad de los depósitos se redujo por el impacto de la sedimentación, las redes de canales estaban quedando obsoletas y las técnicas ineficientes de riego llevaron a una importante pérdida de recursos hídricos.

## Técnicas utilizadas

La agricultura de riego en las llanuras de Tadla se caracteriza ahora por un entorno de utilización conjunta. Los agricultores utilizan los recursos de agua subterránea además de los recursos de aguas superficiales. Existen entre 8 000 y 9 000 pozos en las áreas de riego superficiales, y un pozo tiene una descarga típica de 15 l/s. En la zona fuera del perímetro regado, hay más de 4 500 sitios de bombeo, de los cuales más de 1 300 pozos extraen mediante bombeo del acuífero del Eoceno (Hammani, 2007). Los niveles de bombeo varían notablemente de un año a otro, debido a las grandes oscilaciones en las precipitaciones, pero se estiman en el orden de 140 mm<sup>3</sup>, o de un 15 % a un 50 % del suministro de agua de la explotación agrícola. Todo esto indica la importancia de la reserva de agua subterránea tanto para el incremento de la producción como para la mitigación

de la sequía. Hay algunas desventajas respecto del sistema combinado. En primer lugar, existe una preocupación acerca de que la utilización del agua subterránea pueda haber superado el suministro sostenible. El agua solía extraerse desde una escasa profundidad y constaba principalmente de filtración acumulada del sistema de riego superficial, pero ahora se explota cada vez más el acuífero profundo del Eoceno. En segundo lugar, hay cuestiones de equidad y hay un conflicto de propiedad: los agricultores más grandes poseen un pozo propio y el resto de los agricultores obtienen agua adicional comprándola a los dueños del pozo, o de suministros de riego superficial no oficiales. En tercer lugar, no existe una gobernanza del agua subterránea. Por lo general, la extracción del agua subterránea únicamente es posible con autorización oficial, pero casi todos los agricultores instalan sus pozos sin permiso. La actual falta de regulación crea un vacío y un ángulo muerto en la implementación de políticas.

La realidad de Tadla es representativa de muchos sistemas de riego de gran escala. La utilización de la reserva de agua subterránea ubicada debajo de los sistemas de riego superficiales ha acabado con los problemas de drenaje y han facilitado un avance hacia una agricultura de mayor valor. Esto ha ayudado a superar los períodos secos, las rachas de sequía y también las deficiencias en la infraestructura de riego.

A pesar de que la utilización conjunta es moneda corriente, la *gestión* conjunta no lo es. Aún queda mucho camino por recorrer a través de mejoras en la coordinación entre los suministros de riego superficial y la gestión de las reservas subterráneas, a saber:

- Al planear los nuevos sistemas de riego, se debe tener en cuenta la condición del acuífero subterráneo. Las características de las reservas subterráneas tienen un gran impacto en el alcance y la facilidad de reutilización del agua de filtración y por ende, en la eficiencia general del sistema y la capacidad para enfrentarse a las sequías;
- En general, se debería apreciar la alta eficacia, productividad y resiliencia de los sistemas conjuntos. A veces, el agua se desvía de los sistemas conjuntos que están funcionando bien hacia nuevas áreas, donde el ámbito de aplicación para la reutilización es menor y, en consecuencia, los suministros de riego se utilizan solo una vez y luego, se pierden definitivamente;
- En los grandes sistemas de riego, la distribución del agua superficial debe estar articulada con la utilización del agua subterránea. En partes del área de influencia donde hay un uso intenso, las tarifas del riego con agua superficial se podrían incrementar para mantener el equilibrio ideal entre la recarga y reutilización del agua subterránea poco profunda. En otras áreas en las que el alcance del uso conjunto es menor (por ejemplo, en áreas con agua subterránea salina) se podrían reducir las tarifas de riego;
- En zonas con agua subterránea salina, puede ser sensato reducir los suministros superficiales e invertir en drenaje por otra razón. Evitar la sobreutilización del agua de riego superficial (como es actualmente el caso en algunos sistemas) creará más espacio de almacenamiento en las capas superiores. Esto permitirá la formación de una lente de agua dulce sobre agua salada, alimentada por la filtración y el agua de lluvia, que luego podría utilizarse como una fuente de agua para consumo humano. Pese a que están lejos de ser sistemas perfectos, dichas fuentes resultan mucho mejores que la utilización de agua de riego superficial altamente contaminada, como actualmente es la realidad en muchos de estos sistemas;

- Se pueden considerar medidas especiales para incrementar la recarga de la reserva de agua subterránea en sistemas de riego de gran escala. Los elevados caudales de los ríos durante el período monzónico pueden ser encauzados parcialmente a través de los canales de riego y de drenaje, para poder reponer la reserva de agua subterránea;
- En la gestión conjunta, se debe prestar más atención a la calidad del agua. El uso intenso y repetido del agua afectará su calidad y se deberá tener cuidado de que las cargas de salinidad y contaminación sean limitadas.

## Bibliografía

El Haouari, N. y F. van Steenberg. (2009). The blind spot in water governance: conjunctive groundwater use in MENA countries. Ponencia en la 11.ª Reunión del Mediterráneo, RCSAS, Montecatini, 26-28 marzo de 2009.

Gohar, S. y F. van Steenberg. (2007). Groundwater Management in Pakistan. In: John Briscoe, *Pakistan's Water Economy*. Anexo 12. Karachi: Oxford University Press

Hammani, A., Kuper, M., Bouarfa, S., Debarh, A., Badraoui, M. and Bellouti, A. (2004). Evolution de l'utilisation conjointe des eaux de surface et des eaux souterraines dans le périmètre irrigué du Tadla (Maroc). Seminario INCO-Wademed, 19-21 de abril de 2004, Rabat.

Kuper M., Le Gal PY., Sraïri M.T., Moulin C.H. y L. Puillet (2005). Increasing irrigation water productivity through supply chain management of agro food products: the case of dairy farming in the Tadla irrigation scheme (Morocco). In: M.S. Bachta (ed.) *Les instruments économiques et la modernisation des périmètres irrigués. Actes du Séminaire Euro Méditerranéen. 21-22 novembre 2005, Sousse, Tunisie.*

Shah, T. (2009). Taming the anarchy: groundwater governance in South Asia. Washington: RFF Press.

# Optimización de la infraestructura de carreteras para la recarga, la retención y la reutilización

Kenia, China y Brasil



Figura 1: Estanque Charco (Source: Nissen-Petersen, E, 2006)

## Introducción

Las carreteras y vías férreas y sus terraplenes son elementos paisajísticos fundamentales que tienen importantes efectos de almacenamiento y retención, planeados o no. Existe una inversión sustancial en el desarrollo y la recuperación de las carreteras: a menudo es la partida que concentra los mayores gastos en los presupuestos públicos. Cada vez más, las infraestructuras también comienzan a ser objeto de inversiones privadas. Vincular la gestión de las reservas subterráneas con el desarrollo de las carreteras posibilita el logro de la recarga de aguas subterráneas a escala y la adaptación de grandes áreas a los efectos del cambio climático.

Durante las fuertes lluvias, el aspecto secundario de muchas carreteras se vuelve evidente:

interceptan la escorrentía superficial y generan cursos de agua en sus superficies relativamente compactas. La ubicación de la carretera en relación con las líneas del terreno, la altura del terraplén, la pendiente longitudinal y lateral, el material de la superficie y el subdrenaje son todos factores importantes en la determinación de cómo se retiene y se genera el agua en torno a la infraestructura de las carreteras. Mientras que esto puede ocasionar daño a las carreteras y cárcavas en los campos aledaños, el drenaje adecuado de las carreteras puede constituir una valiosa fuente de agua que puede aplicarse directamente a la tierra o destinarse a infiltración. Los siguientes ejemplos resumen cómo la efectiva utilización del drenaje de las carreteras puede aplicarse para el almacenamiento y la recarga.



Figura 2: Pozo murrum, Kenia (Fuente: Nissen-Petersen, E, 2006)

## Descripción

En Kenia, se excavan pozos de préstamo durante la construcción de carreteras. El *murrum* (figura 2), o suelo laterítico, que se encuentra en el fondo de dichos pozos a menudo es impermeable y se utiliza para pavimentar carreteras de tierra. Los pozos de *murrum* también se pueden utilizar como estanques de almacenamiento. Se puede excavar un canal desde la carretera hacia el pozo, preferentemente con una inclinación de un 3 % para evitar el socavamiento. Las secciones críticas del pozo pueden revestirse con una mezcla de arcilla y limo para evitar una filtración excesiva. Otra medida importante es la creación de un vertedero empedrado para evitar cualquier tipo de derrumbe del pozo debido a la presión del agua. La altura correcta puede calcularse elevando gradualmente el vertedero. La utilización de pozos de préstamo para almacenamiento es rentable, ya que todo lo que queda por hacer es cavar el canal hacia el estanque.

Un tipo de estanque de almacenamiento más elaborado es el denominado *estanque charco* (figura 1). La construcción del *estanque charco* requiere un mayor trabajo manual, pero en este tipo de estanques se reducen la filtración y la evaporación. Habitualmente se utilizan numerosos diseños, aunque se prefiere la forma de *calabaza* ya que proporciona un almacenamiento máximo con una cantidad



Figure 3: Puente irlandés (Fuente: Nissen-Petersen, E, 2006)

de trabajo mínima, y debido a que las presiones internas y externas se distribuyen de manera uniforme. En los suelos arenosos, la forma de *calabaza* puede revestirse fácilmente con arcilla para evitar pérdidas por infiltración.

En el municipio de Datong, en la provincia de Sichuán (China), se construyeron en un período de 15 años más de 50 000 tanques de recogida de agua de lluvia en miniatura, y también más de 300 estanques para facilitar el riego en períodos secos. Estos tanques de recogida de agua de lluvia subterráneos y cilíndricos se realizan únicamente con una pequeña abertura sobre el suelo para conservar la mayor parte de tierra para cultivos, que es limitada. Se construyen a lo largo de las carreteras, caminos y límites territoriales, y utilizan sus flujos de drenaje respectivos. Por lo general, los tanques tienen un volumen de 30 m<sup>3</sup>. Tienen un espesor de 25 cm y están hechos con roca caliza, ladrillos y arena. Estos materiales y su pequeña abertura, evitan la pérdida de agua una vez que esta haya ingresado al tanque. Los tanques tienen dos cañerías: una pequeña para riego y una más grande para eliminar los sedimentos dentro de los tanques. Cada 3 o 5 años los tanques se limpian de manera manual. Antes de la toma, se construye un recolector de sedimentos. El mayor almacenamiento ha facilitado el cultivo de la caña de azúcar, de tabaco y de moras, y los consiguientes rendimientos por hectárea de, más de mayores ingresos rurales.

En Brasil, 520 estanques de filtración han sido construidos por la empresa Autovías a lo largo de las autovías en el marco de su iniciativa Vía de las Aguas. Autovías es un gran operador del sector privado de carreteras en Brasil. Los estanques de infiltración recogen la escorrentía de la carretera y permiten que esta se infiltre y se reponga la reserva de agua subterránea. La capacidad promedio de los estanques es de 4 000 m<sup>3</sup>. El suelo en el estanque también funciona como un filtro y elimina algunos de los contaminantes. La iniciativa Vía de las Aguas trajo como resultado un incremento de la recarga subterránea de un 25 % a un 31 %, la escorrentía superficial disminuyó de un 65 % a un 57 % y la evaporación aumentó de un 10 % a un 12 %.

## Técnicas utilizadas

Cuando se utiliza la escorrentía de la carretera, la calidad del agua es una preocupación fundamental. En algunas áreas, la escorrentía de las carreteras contiene cantidades considerables de carburantes y otros contaminantes. La recarga del subsuelo con esta agua ocasionaría más daños que beneficios. En este caso, la escorrentía se drena, de manera tal que no esté en contacto con el agua del subsuelo más superficial. También el sellador utilizado en la superficie de las carreteras y en los estacionamientos requiere atención, ya que puede contener alquitrán, que podría ser cancerígeno.

Existen muchas otras relaciones entre la planificación de carreteras y la gestión de la reserva de agua subterránea, como el diseño del subdrenaje de manera que se maximice la retención, la utilización de puentes irlandeses (figura 3) o de calzadas bajas como estanques subsuperficiales, y la mejora de la recarga del agua subterránea a partir de superficies permeables (ver resumen).

## Conclusión

Al promover una mejor gestión de las reservas de agua subterránea y del cambio climático, el tamaño de la adaptación y su impacto son importantes. No se trata de medidas útiles aisladas, sino que el desafío es mejorar la capacidad de almacenamiento a una gran escala geográfica. Esto requiere una sólida relación con los procesos de planificación regional, como la construcción y reforma de la principal infraestructura de carreteras.

**Terraplenes de carretera** La posición de los terraplenes de las carreteras a lo largo de las líneas del terreno y la altura de los terraplenes pueden establecerse de manera tal que se retenga escorrentía superficial y flujo laminar, provocando así su infiltración.

**Drenaje de carretera** El drenaje de las carreteras puede ser una fuente importante de agua (se suministra directamente a la tierra, se almacena en estanques superficiales o se recarga a través de estanques de infiltración). Sin embargo, la calidad de las aguas de drenaje es importante y existen ejemplos en los que se eliminan mejor el agua contaminada a través de los drenajes alineados o estanques de evaporación. La calidad del agua de recarga también puede ser tratada por filtración del suelo o sistemas de primer rubor.

**Recarga por carreteras en regiones con aguas subterráneas saladas** De manera similar, en áreas con capas freáticas salinas altas, el drenaje de carreteras (incluyendo la escorrentía superficial interceptada por los terraplenes de la carretera) pueden sumar una cantidad considerable de agua. En zonas con una alta recarga de agua subterránea salina, los terraplenes altos y los drenajes revestidos puede eliminar una gran parte de la escorrentía para evitar que se agregue a las capas freáticas salinas.

**Superficies de las carreteras** Las superficies permeables en vez de impermeables permitirán un aumento de la recarga de agua subterránea en la reserva y también evitarán las inundaciones agudas provenientes de áreas de densa acumulación. En los casos de recarga, no obstante, la calidad del agua es una inquietud importante. La superficie de las carreteras en sí puede contener, por ejemplo, un sellador de alquitrán, que posee hidrocarburos aromáticos policíclicos cancerígenos con demostrada tendencia de desarrollar cáncer. La calidad del agua también debe contemplar la contaminación por carburantes y agentes similares. Es posible mejorar parcialmente la calidad del agua mediante celdas de infiltración. La disposición de finas capas de suelo por debajo del pavimento evitará que los contaminantes alcancen la reserva. Las carreteras permeables deben someterse a limpiezas cada cuatro años (según la intensidad de uso) para evitar así las obstrucciones, mientras que la capa de suelo dura entre 50 y 100 años.

**Alcantarillas y pasajes subterráneos** El tamaño de las instalaciones de subdrenaje determina la velocidad en la que se elimina el agua en exceso. Esta puede ser manipulada limitando el tamaño de los conductos o instalando una compuerta. Al hacer esto, las grandes áreas pueden dividirse en compartimentos para ralentizar y retener la escorrentía superficial, para que esta se infiltre y se eviten los picos de crecidas extraordinarias del área más extensa. Se deben tomar precauciones, sin embargo, porque el drenaje transversal también puede ocasionar inundaciones locales y anegamientos.

**Puentes irlandeses** Los puentes irlandeses (conocidos también como calzadas bajas) suelen ser contruidos sobre ríos efímeros. Pueden utilizarse con el fin de aumentar los caudales aguas arriba en el lecho del río y los terrenos adyacentes, con lo cual obran efectivamente como una represa subsuperficial. Se debe tener la precaución de retener solamente el agua subterránea sin bloquear enteramente el caudal subsuperficial, ya que esto afectará negativamente los niveles de caudal aguas abajo.

## Bibliografía

Boogaard, F., Bruins, G. and Wentink, R. (2006). Wadi's: aanbevelingen voor ontwerp, aanleg en beheer. Stichting RIONED.

OHL Brasil, 2007. Programa via de las aguas, desarrollado por la concesionaria autovias.  
[http://www.wbcds.org/web/e3/partnerships/7Oct\\_WCF\\_BusinessNightSchoolPartnerships\\_ViadelasAguas.pdf](http://www.wbcds.org/web/e3/partnerships/7Oct_WCF_BusinessNightSchoolPartnerships_ViadelasAguas.pdf)

Oosterhuis, M. and Foekema E. 2003. Bodembelasting van metalen in infiltratievoorzieningen is gering. H2O. Volume 21; pp 24-26.

Nissen-Petersen, E. (2006). Water from Roads. ASAL Consultants Ltd. for Danida in Kenia (Danish International Development Assistance). [www.waterforaridland.com](http://www.waterforaridland.com)

Wu Yang; Tang Ya and Chengmin Huang. (2009). Harvesting of rainwater and brooklets water to increase mountain agricultural productivity: A case study from a dry valley of southwestern China. Natural Resources Forum, 33, 1, 39 -48.

## 4. Conclusión

El cambio climático es indiscutible y en muchas regiones del mundo está calando hondo en las vidas de las personas que experimentan sus consecuencias. En las regiones más pobres del planeta, el cambio climático aumenta peligrosamente la precariedad de los medios de subsistencia, que ya proviene de larga data y que se ve exacerbada por la degradación de los recursos: contaminación, erosión y utilización insensata.

El enfoque 3R puede colaborar en mayor medida a los objetivos del desarrollo mediante la prevención de sufrimientos innecesarios por las oscilaciones del cambio climático o por la escasez y degradación del agua en general. El enfoque 3R trata acerca de las reservas de agua subterránea y su potencial, a través de su correcta gestión, para mejorar las vidas de las personas que viven en sus cercanías.

Los casos muestran que la óptima utilización de los recursos de agua a través de la recarga, retención y reutilización brinda opciones para hacer frente a la variabilidad climática. El enfoque 3R es incluso más pertinente en condiciones de cambio climático. Aun sin considerar las condiciones climáticas futuras, indudablemente, existe una necesidad urgente de contar con una mayor seguridad en lo referido al agua. Numerosas medidas sencillas pueden mejorar considerablemente la situación en el terreno ya que requieren inversiones relativamente pequeñas y aportan beneficios inmediatos y a largo plazo. Las aplicaciones del enfoque 3R se encuentran entre las acciones más rentables que mejoran el acceso al agua e incrementan la productividad de las tierras de cultivo y de las zonas de pastoreo. Habida cuenta de los escenarios de cambio climático, se están tornando cada vez más útiles y deberían incorporarse de manera creciente en los conceptos de planificación, diseño y operación, ya que crearán resiliencia contra los azares del cambio climático.

Algunos de los ejemplos incluso van más lejos que los enfoques de resultados garantizados o resiliencia. Como se demostró con las respuestas a la sequía en Marruecos, Namibia y Pakistán, en algunos casos, la variabilidad climática y el cambio climático pueden incluso ejercer presión hacia una mejor gestión de los recursos.

Para maximizar los beneficios, la reserva de agua subterránea debe mejorarse en las zonas de más extensión: cuencas, subcuencas, provincias y municipios. La implementación del enfoque 3R en la cuenca ocasionará un cambio real y sostenible autónomamente. Como parte de la GIRH, posee el potencial para introducirse en los ámbitos de la planificación territorial, la sostenibilidad de los ecosistemas, el diseño de la infraestructura y el desarrollo regional. Alentará y fortalecerá las organizaciones de la cuenca fluvial que son centrales en la gestión de los recursos hídricos y ampliará su cooperación exitosa con otros actores, incluyendo los usuarios del agua y las comunidades. Estos beneficios se aplican tanto en las zonas áridas como en las húmedas.

A pesar de su disponibilidad, las técnicas para fortalecer la gestión sostenible del agua no siempre se aplican (a saber: técnicas de análisis como la hidrogeología aplicada y una nueva generación de sensores remotos que posibilitan el registro de las precipitaciones, de la humedad del suelo y

la elaboración de balances hídricos). La información climática a medida y específica de cada lugar también está disponible, o puede obtenerse a través de evaluaciones regionales. El análisis de los costes y beneficios para las nuevas infraestructuras de 3R puede luego basarse en la experiencia de las aplicaciones 3R existentes y acoplarse con los pronósticos acerca de la temperatura superficial de los océanos, las precipitaciones y la escorrentía.

Las técnicas para implementar el enfoque 3R ya existen, pero de manera subyacente a su utilización encontramos una larga retahíla de oportunidades perdidas. Los estudios de caso resaltan los aspectos prácticos de la recarga, la retención, la reutilización y el almacenamiento de las aguas pluviales y demuestran claramente que el enfoque 3R no es un sueño lejano. Debe aplicarse aquí y ahora, a escala regional y local.

Creemos que es necesario un nuevo enfoque de la gestión de los recursos hídricos: un enfoque basado en hacer un uso óptimo de la reserva de agua subterránea, considerando las condiciones locales y de toda la cuenca, promoviendo la inversión individual y privada, e integrando todas las opciones de manera coherente para el desarrollo. El equilibrio de todas las funciones naturales y socioeconómicas garantizará el grado más alto de bienestar y alivio para las naciones en desarrollo en todo el mundo.

BE BUFFERED

VECES  
TE ENCUENTRAS  
SOBRE UNA SOLUCIÓN  
SIN DARTE  
CUENTA ...

