

TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE SUELO Y ACUÍFERO (S.A.T.) OBTENIDAS DE Y APLICADAS AL DISPOSITIVO DE RECARGA ARTIFICIAL DE LA CUBETA DE SANTIUSTE (SEGOVIA)

FERNÁNDEZ ESCALANTE, A. Enrique. GRUPO TRAGSA I+D+i, MADRID

PALABRAS CLAVE

SAT, Soil Aquifer Treatment, técnicas de tratamiento de suelo y acuífero, recarga artificial de acuíferos, MAR, Santiuste.

RESUMEN

Tras cinco años de operatividad del dispositivo de recarga artificial de la Cubeta de Santiuste (Segovia, Valladolid) se han ido estudiando qué deficiencias presentaba y cómo podrían aplicarse mejoras con objeto de incrementar la tasa de infiltración con escasa entrada de aire en el acuífero, deduciendo que la mejor solución es la aplicación de técnicas de tratamiento de suelo y acuífero o SATs (Soil Aquifer Treatment) específicas. En la actualidad hay más de 100 técnicas SAT en la literatura hidrogeológica específica, y su elección, adaptación y aplicación requiere una importante componente de investigación y de obra, ya que cada una presenta una finalidad concreta. En general pueden clasificarse en actuaciones sobre el agua de recarga artificial, sobre el medio receptor o sobre las estructuras de obra. En este artículo se presenta brevemente el estado del arte y se describen las técnicas SAT emanadas y/o aplicadas en la *Cubeta*, así como propuestas para el futuro.

1. INTRODUCCIÓN

Las alternativas de actuación para mejorar la efectividad de los dispositivos de recarga artificial de acuíferos (AR) constituyen un amplio abanico, si bien su aplicación debe contar con un basamento técnico sólido y fiable. Gran parte de estas técnicas pueden ser incluidas en ese conjunto designado “Técnicas de Tratamiento de Suelo y Acuífero” o SAT (*Soil Aquifer Treatment*) y pueden inferir bien en el medio receptor (caracterización de ambientes), en los dispositivos de recarga artificial (estructuras de obra) o en el agua a recargar (especialmente en cuanto a su pretratamiento se refiere).

La aplicación de estas técnicas se prolonga además hacia etapas posteriores, en las que sea preciso llevar a cabo operaciones de limpieza y mantenimiento y un seguimiento de la evolución del acuífero y de la efectividad de las actuaciones.

Desde la puesta en funcionamiento del canal de recarga artificial de Santiuste se están ensayando diversas técnicas SAT, obteniendo conclusiones operativas sobre las medidas más oportunas a aplicar en este escenario u otros análogos. En este artículo se presentan las más destacables.

2. OBJETIVOS

Analizando los distintos impactos que han sido detectados en el sistema de recarga artificial durante los primeros ciclos de recarga artificial de acuíferos (en adelante AR), por ejemplo el efecto *Lisse* producido por la sobrepresión del aire que penetra a los poros del acuífero, la oxigenación de las aguas de recarga artificial, la colmatación de los dispositivos, etc., se ha detectado la necesidad de minimizar estos impactos. Una posible solución es la adopción de técnicas de tratamiento de suelo y acuífero (SAT) y el diseño de prototipos encaminados a tres argumentos básicos: minimizar impactos ambientales, proponer mejoras para el dispositivo de AR actual y extraer normas prácticas extrapolables a sistemas análogos.

El principal objetivo de este artículo es presentar una serie de aspectos procedimentales a aplicar en los dispositivos de AR, en gran parte basados en experiencias de todo el mundo, y en especial, en la Cubeta de Santiuste, que permitan el diseño y gestión de dispositivos de la manera más efectiva posible.

3. MÉTODOS Y MATERIALES

Los materiales empleados para el desarrollo de esta tarea no son otros que, una extensa recopilación documental mediante consultas periódicas a Internet y a bibliotecas, y la experiencia obtenida en campo tras la fase de obra, puesta en marcha y funcionamiento del dispositivo de recarga descrito a lo largo de cinco años de recarga artificial (AR).

La metodología se apoya en las siguientes técnicas:

- Técnicas de identificación y seguimiento de impactos ambientales.
- Seguimiento de las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs). Se han llevado a cabo consultas periódicas en Internet, para conocer experiencias y metodologías “nuevas.”
- Aplicación de la técnica de escenarios comparados. A partir del análisis de los resultados obtenidos y del seguimiento de otras actuaciones de recarga artificial con información accesible (tanto en el ámbito nacional como internacional), se propone un decálogo de normas técnicas y prácticas para ser aplicadas en escenarios análogos.

4. ESTADO DE LA CUESTIÓN. CONCEPTOS PREVIOS Y REGLAS DE USO COMÚN EN LAS OPERACIONES DE AR

En cumplimiento de los objetivos se considera procedente comentar el “estado del arte” en la actualidad y definir los conceptos y nociones en las que se apoyan las normas técnicas.

AGUA A RECARGAR. ASPECTOS CUANTITATIVOS

Además de la disponibilidad de agua para la recarga artificial existe otro parámetro de gestión importante que es el “*safe yield*”. Se trata de una técnica en la que las extracciones del acuífero deben igualar la recarga total en el mismo (Pérez-Paricio et al., 2001). Esta técnica es de obligado cumplimiento en determinados lugares, como es el caso de Phoenix (USA), si bien minimiza la capacidad de regulación del acuífero a medio y largo plazo.

AGUA A RECARGAR. ASPECTOS CUALITATIVOS

Entrando en las distintas líneas de investigación llevadas a cabo, la mayoría de los autores coinciden en que el pretratamiento de las aguas es la medida más efectiva para lograr altas tasas de infiltración (Leenheer, 2002; De los Cobos, 2002, etc.).

El pretratamiento del agua de recarga suele ser complicado y costoso. Son deseables tasas por debajo de 2 ó 3 mg/l de materia en suspensión, así como la eliminación de los nutrientes y materia orgánica del agua, para conseguir la mayor vida útil del pozo (Bouwer, 2002 y MIMAM, 2002). Este objetivo se lleva a cabo de diversas maneras, tales como la filtración para la reducción de la turbidez, Total de Sólidos en Suspensión (TSS) y Carbono Orgánico Total (COT), factores que condicionan en gran medida la colmatación química y biológica (*bioclogging*). Otra técnica SAT clásica es la adición de *desinfectantes* o *DBPs* (*Disinfection By Products*). A este respecto hay experiencias de todo el mundo, mediante cloración, microfiltración; iodación, ozonificación y radiaciones ultravioleta; aditivos para el control del pH; la combinación de distintas técnicas de forma simultánea; control de la temperatura del agua, *intervención en los gases disueltos, etc.*, originando casos positivos y negativos.

En las siguientes tablas se presentan los estándares de calidad para los parámetros más influyentes que han sido establecidos en distintos países, de acuerdo con los antecedentes consultados. En la tabla de distinguen los distintos tipos de colmatación y los sistemas de AR empleados en distintos países, con mención de la fuente de información (Tabla 1):

CONCEPTO		VALOR UMBRAL	COMENTARIOS
COLMATACIÓN FÍSICA	Sistema Profundo	⁹ [TSS] < 2 mg/l ^{1,9} [TSS] < 0,1 mg/l ² MFI < 3-5 s/l ² ^{1,3} Turbidez < 1 NTU ¹¹ [TSS] < 3-4 mg/l	Si K > 40 m/día Si 4 m/día < K < 40 m/día
	Sistema superficial	^{1, 3, 9, 12, 13} [TSS] < 10 mg/l Turbidez < 5 NTU	
COLMATACIÓN BIOLÓGICA	Sistema Profundo	⁴ pH > 7,2 (Bacteria de hierro) ^{4, 11, 12, 13} Evitar CO ₂	

		^{4,13} COD < 2 mg/l ⁴ Eh > 10 mV	Según normas suizas
	Sistema superficial	TOC < 10 mg/l	
COLMATACIÓN QUÍMICA		⁶ [Fe ²⁺] _{GW} < 0,2 mg/l ⁸ Índice Ryznar > 7 ^{8, 11, 13} pH < 7,5 ⁸ Bajo [Ca ²⁺] y [Mg ²⁺] ⁸ TSD < 150 mg/l ⁸ [Cl] < 500 mg/l ¹¹ [Fe total] 0,02-0,1.	Más importante para la extracción que para la recarga de pozos. Los índices de saturación de minerales son esenciales.
CORROSIÓN		⁸ OD < 2 mg/l ⁸ Índice Ryznar < 9 ⁸ pH > 7 ⁸ CO ₂ < 0,50 mg/l ⁸ [TSS] < 1,000 mg/l ⁸ Evitar H ₂ S	Aplicable a pozos y tuberías.

Tabla 1. Standards de calidad establecidos por distintos autores para los principales parámetros del agua de recarga. Basado en y modificado de Pérez-Paricio, 2000a.

1 Normas Holandesas (Peters, pers. comm.); 2 Olsthoorn (1995); 3 Normas Alemanas (Schottler, pers. comm.); 4 Degalier (1987); 5 van der Kooij & Hijnen (1990); 6 Lucas et al, (1995); 7 Hills et al, (1989); 8 Ford (1990); 9 Pyne (1995); 10 Hurni; 11 Rinck Pfeiffer (2002); 12 Normas NWQG de Australia (Nacional Water Quality Guidelines), CSIRO, Moran et al, 2001; 13 Standard Guidelines for artificial recharge (EWRI-ASCE, 2001 b). (En Pyne, 2002)

ACTUACIONES EN EL MEDIO RECEPTOR

Además de la composición de las aguas es preciso conocer la del suelo y acuífero, para prever los resultados de la interacción entre las aguas de recarga y el medio receptor, y diseñar una actuación específica para cada caso (Leenheer, 2002).

Las técnicas SAT más habituales están encaminadas a extraer o minimizar ciertos contaminantes de las estructuras de AR, especialmente compuestos orgánicos y nitrogenados y reducir la colmatación física, biológica y química mediante actuaciones preventivas o bien curativas.

Entre las técnicas SAT halladas en la bibliografía aplicadas y probadas en distintos lugares del mundo, cabe destacar la implantación de sistemas duales en el espacio que permiten la utilización de una parte del dispositivo mientras la otra es sometida a procesos de limpieza y regeneración; el control de la distancia entre los pozos de inyección y de extracción; el ataque a la calcita mediante ácidos y control del pH del acuífero; control de la concentración en COD (carbono orgánico disuelto); acondicionamiento de la superficie del medio receptor mediante caballones, etc.

Dentro de las técnicas “curativas” cabe destacar los dispositivos específicos para reducir la colmatación. Este tipo de vehículos, conocidos como “Basin Cleaning Vehicles” (BCV), presentan un diseño determinado en función de la zona a limpiar.

Su funcionamiento es en continuo y su finalidad extraer los materiales que causan o contribuyen a formar procesos colmatantes (Fig. 1).

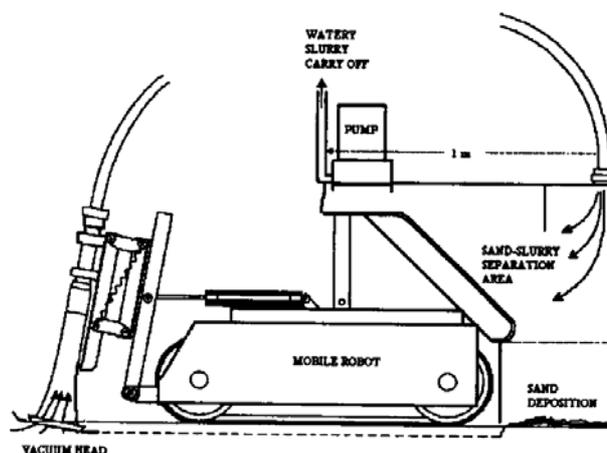


Figura 1. Diseño esquemático del dispositivo BCV operativo en los campos de dunas de Ámsterdam. Se trata de un robot móvil para la extracción de finos diseñado por Storm van Leeuwen Inc., Winterswijk, Holanda. (Tomado de Van Duijvenbode & Olsthoorn, 1998).

Como reglas de aplicación general a las técnicas SAT para todos los métodos y dispositivos de AR cabe destacar las siguientes:

- Tratamiento adecuado de las aguas de recarga y/o empleo de aguas de buena calidad para este fin (Pérez-Paricio et al., 2001).
- Minimizar la aireación de las aguas y el efecto *Lisse*.
- Recargar a velocidades lentas de las aguas, evitando el batido de las mismas, el *cascading*, etc. (Pérez-Paricio, 2000).
- Minimizar la corrosión de las estructuras y oxigenación de las aguas, controlando las condiciones oxidantes, recargando con aguas a temperaturas mayores que las aguas del acuífero, etc.
- Control de ciertos parámetros evitando una concentración superior a la fijada en el estándar de calidad aplicable según la legislación del país donde se lleven a cabo las operaciones. En algunos parámetros hay *quórum* a nivel mundial, por ejemplo el agua de recarga deberá tener menos de 10 ppm de turbidez o sólidos en suspensión (TSS).
- Diseño adecuado de las estructuras con dispositivos de aviso y alarma al sobrepasar la profundidad de alerta.

Y los siguientes **inconvenientes**:

- Los aportes extras de oxígeno, además de minimizar la tasa de infiltración, aceleran la precipitación de hierro, mientras que las pérdidas de CO₂ aceleran la precipitación de carbonatos en el medio receptor.

Algunas actuaciones son **cuestionables** según distintos autores y no generalizables para las distintas situaciones. Por ejemplo la reducción de colonias bacterianas, nutrientes y algas mediante el empleo de productos químicos, la limpieza de la superficie de infiltración y costras calcáreas con ácidos, etc.

5. IMPACTOS Y DISFUNCIONES DETECTADOS EN LA CUBETA DE SANTIUSTE TRAS CINCO CICLOS DE RECARGA ARTIFICIAL

Tras cinco ciclos de recarga artificial superficial en la Cubeta, se ha detectado que están operando varios impactos ambientales negativos en el dispositivo que pueden ser corregidos. Siguiendo el orden propuesto hasta ahora cabe destacar:

Como consideraciones cuantitativas del agua de AR es preciso controlar en continuo el caudal entrante al dispositivo y el circulante por el río Voltoya, cumpliendo el parámetro *Safe Yield*.

En cuanto a la calidad de las aguas de AR, cumplen en general los estándares de calidad precisos en TSS, TSD, COD y COT; ahora bien, estas concentraciones podrían haber sido sobrepasadas en casos puntuales, especialmente tras fuertes precipitaciones, detectándose valores de turbidez de hasta 23 mg/l en el río Eresma en el año 2003. Ante esta observación sería recomendable llevar a cabo operaciones de pretratamiento de las aguas y controlar su gestión, cerrando el dispositivo de entrada cuando las aguas del río sobrepasen este valor.

El oxígeno y anhídrido carbónico disueltos [OD (=DO)] y [CO₂] en las aguas de recarga artificial provocan afecciones de distintas tipologías. Las medidas realizadas a lo largo del dispositivo de recarga manifiestan una concentración creciente de oxígeno a medida que avanza el agua a lo largo del dispositivo. También se observa una mayor concentración con mayor caudal de entrada. Esta aireación aumenta por el “batido de las aguas” y el efecto “cascading” inherente al funcionamiento del dispositivo (Fig. 2).

La medición del almacenamiento en el acuífero ha permitido también detectar la aparición de un importante efecto Lisse, que ha llegado a alcanzar hasta el 30% de aire atrapado en el acuífero.

La temperatura del agua se encuentra entre los límites precisos, si bien se ha demostrado que durante los ciclos de helada disminuye considerablemente la velocidad de infiltración. De este modo resulta preciso encontrar procedimientos apropiados para aumentar la efectividad de la recarga durante los ciclos de helada.

La sobresaturación de las aguas de recarga en sílice y calcita también sobrepasa la concentración recomendable.



Figura 2. Presencia de procesos tipo cascading en la cabecera del dispositivo de AR.

Se han detectado varios impactos ambientales que afectan al medio receptor. Cabe destacar la colmatación de dispositivos como consecuencia de un diseño inapropiado; afecciones en los taludes del dispositivo con frecuentes desprendimientos de arena; problemas de mantenimiento, etc. Algunas propuestas genéricas se presentan en las figuras 3 y 4, que corresponden a dispositivos de pretratamiento a intercalar en el circuito de AR y para reducir la aireación de las aguas evitando el efecto “cascading” al sobrepasar las paradas intercaladas en el canal.

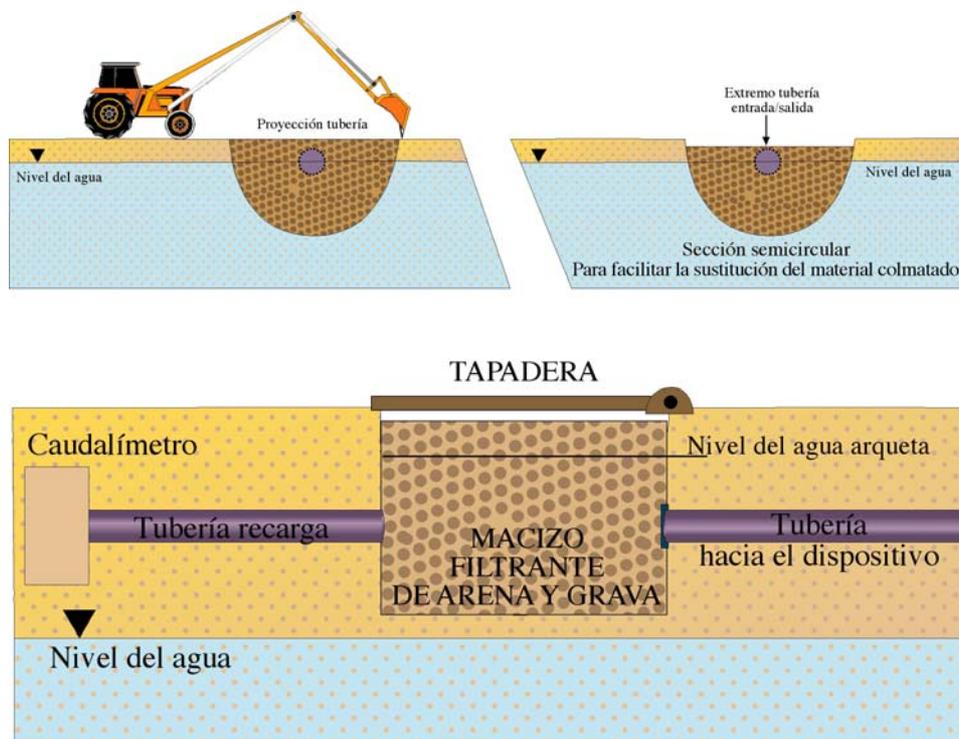


Fig. 3. Diseño de los dispositivos de filtración propuestos para ser intercalados en el circuito de las aguas de recarga artificial (AR).

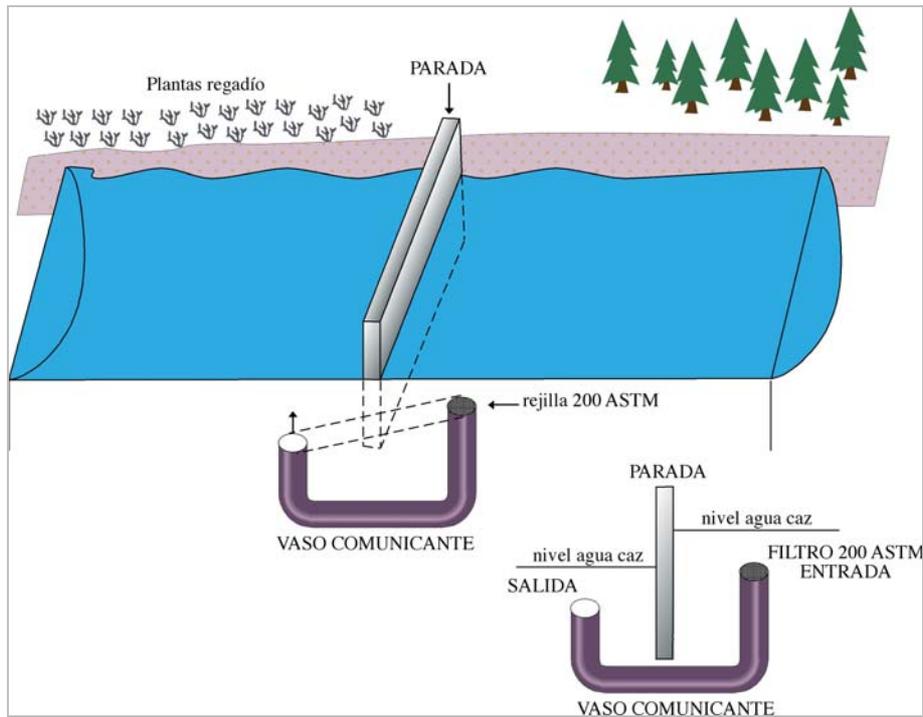


Figura 4. Dispositivos de vasos comunicantes propuestos para evitar el efecto "cascading" en las paradas del canal.

La explicación detallada de las propuestas genéricas puede ser consultada en la bibliografía específica (Fdez. Escalante, 2005 y 2006).

6. RESULTADOS

A partir de la descripción y análisis de las distintas tipologías de impactos negativos y problemas encontrados en los dispositivos y experiencias de AR se proponen varios binomios "problema-solución" a aplicar en las operaciones de recarga artificial (AR) en función de las circunstancias, basados especialmente en el empleo de técnicas SAT.

En las figuras 5 y 6 se presenta un esquema de las principales técnicas a aplicar en cada caso concreto, con objeto de obtener mayores tasas de infiltración en los dispositivos de recarga artificial. El esquema ha sido dividido en las líneas de acción consideradas, que son los relativos al agua de recarga artificial en cuanto a cantidad se refiere, en cuanto a calidad, las actuaciones sobre el medio receptor [incluyendo el diseño de dispositivos (in situ)], y por último, las técnicas y parámetros de gestión para el Programa de Vigilancia y Control y para la elaboración de Códigos de Buenas Prácticas ex situ.



Medio receptor (suelo y acuífero)

- **Pretratamiento** del agua de recarga.
- **Secado natural** del lecho y agrietamiento.
- **Criotratamiento**
- Empleo de **sistemas duales** que permitan la limpieza de uno mientras el otro está operativo.
- **Bombeo inverso** en pozos cercanos al caz.
- **Alternancia de bombeo normal e inverso** (*Wash in- Wash out*).
- **Lavado inverso** (*backwashing*) en geotextiles, membranas y filtros.
- Empleo de técnicas de **limpieza tipo jet**.
- Técnicas de **regeneración** en pozos de recarga **mecánicas** (cepillado y arañado de paredes y fondo) y **químicas** (empleo de aditivos químicos).
- Técnicas de **limpieza** con la mayor cadencia posible.
- **Bombeo diario del pozo de inyección**.

Criterios / códigos de gestión / buenas prácticas

- **Parámetros de gestión y técnicas ex situ**
- Elección del **periodo y lugar** más idóneos
- Inicio ciclos AR "suaves"
- Control **caudal de entrada** y su **velocidad**.
- **Seguimiento** del **quimismo** de las aguas durante el ciclo de recarga.
- Empleo de **dispositivos de no afección** a fauna y personas.
- Adoptar con prontitud las **MTD**
- **Programa de Vigilancia y Control**
- Protocolo específico de **control de la colmatación**.
- Protocolos de los **aspectos hidromecánicos** correctos en el espacio y tiempo.
- **Sistema integral**- todos los elementos están interrelacionados.
- **Código de Buenas Prácticas SAT**
- Limitación en el **abonado**.
- **Intervención agricultores** en gestión.
- Instalación **depuradoras** y minimizar vertido efluentes.
- **Perimetro de protección**.
- Regulación del **uso público**.



Agua de recarga (cantidad)

- **Almacenamiento** temporal en reservorios superficiales.
- Control **velocidad circulación** aguas recarga.
- Evitar operaciones durante **ciclos de helada**.
- Empleo de **cámaras termostáticas**.
- **Criterios selectivos origen**.
- **Limpieza y mantenimiento**.
- Empleo **BCVs**.

Agua de recarga (calidad)

- **Preselección**: Criterios selectivos origen aguas de recarga. **Filtración y decantación** aguas AR, etc. (membranas, líneas de fangos, filtros, empaques, etc.).
- Trampas de **escorrentía** y estructuras de decantación y remanso.
- **Dispositivos** anticorrosión.
- **Diseño** y preservación **taludes** (mampostería, gaviones, etc.).
- **Diseño fondo** en acanaladuras o *furrows*, empleo geotextiles.
- **Limitación altura lámina de agua**. **Pretratamiento tipo DBPs** (*Disinfection by Products*): Cl₂, I₂, O₃, H₂O₂, rayos UV, etc.
- Limpieza **vegetación** durante AR/ plantación específica en periodo estival.
- **BCVs**.
- **Evitar aireación** aguas AR, vasos comunicantes, estructuras eventas, velocidad aguas, **Desaireación** por piezómetros, aumento distancia puntos inyección-extracción, etc.
- **Sistemas duales**: Secado de algas, secado natural del lecho, criotratamiento, agrietamiento cake, escarificación de la parte colmatada y limpieza/reemplazamiento.
- **Aislamiento** con la atmósfera/**luz solar**.
- **Medaka**.
- **Lechos filtrantes y aditivos químicos** para la eliminación de costras calcáreas (ácidos, hidróxido sódico, quelantes, polifosfatos, defloculantes, etc.
- Evitar efecto reciclaje.
- **Desnitrificación**, "anamox", riego seleccionando profundidad emplazamiento bomba.
- **Evitar la salinización natural**: recarga puntual y barreras en zonas salinas.

Figuras 5 y 6. Síntesis. Principales actuaciones SAT que pueden ser llevadas a cabo para alcanzar la máxima efectividad en los dispositivos de AR.

7. CONCLUSIONES

El estado de la cuestión y el análisis de la legislación han confirmado la necesidad de elaborar un estándar de calidad para las aguas de recarga artificial en el estado español, máxime si esta técnica cobra vigor en el futuro. Recientemente ha surgido un borrador de RD que regula hasta siete parámetros para dispositivos superficiales y “pozos de inyección”, si bien es preciso regular más parámetros y llevar a cabo una Reglamentación Técnico Sanitaria (RTS) relativa al estándar de calidad de las aguas de AR dependiendo del tipo de acuífero y del dispositivo.

Los resultados obtenidos tienen una componente puramente práctica y aplicada, si bien los prototipos requieren un grado de desarrollo de ingeniería posterior que permitan llevar a la práctica los diseños, cumpliendo con los criterios objetivo, que básicamente son: minimizar las pérdidas (evapotranspiración, colmatación, etc.), facilitar las labores de descolmatación, reducir los costes en el transporte, almacenamiento y bombeo, permitir funcionar en óptimo (punto óptimo de recarga o tasa de infiltración más efectiva) incluso en situaciones climatológicas adversas (congelación del suelo o avenidas) y que tengan una vida útil suficientemente alta para obtener una alta rentabilidad.

De acuerdo con Bouwer, 2002, la regla de oro en recarga artificial es empezar con cautela, aprender sobre la marcha y expandir las estructuras de acuerdo con lo aprendido y según las necesidades. Dada la alta complejidad de ejecución de las operaciones de AR, resulta preciso contar con plantas piloto, tramos de canal o balsas experimentales, donde puedan ser ensayadas nuevas tecnologías, dispositivos, etc. para “empezar con cautela.”

La aplicación de las actuaciones más recomendables en cada caso conlleva la interacción de impactos medioambientales de signo contrario, de modo que las actuaciones apropiadas para un fin determinado son negativas para otros procesos. Por ejemplo el aislamiento de las aguas para que no se oxigenen impide que la luz solar ataque a los virus presentes, pero si ésta incide se generan algas cuyo ataque con compuestos químicos puede provocar sinergismos, etc. De este modo la alternativa más recomendable es la creación de un sistema integrado en el que la evaluación de los impactos de signo positivo sobrepase a la de los de signo negativo.

De este modo, se concluye en que cualquier planificación de las actuaciones debe tener carácter integral y flexible ante los cambios que, con toda seguridad, se van a producir en el medio.

8. AGRADECIMIENTOS

Las actuaciones de mejora llevadas a cabo han sido posibles gracias al proyecto de I+D+i DINA-MAR, financiado por el Grupo tragsa, CP 00/13.053.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Bouwer, H. (1999). "Artificial recharge of groundwater: Systems, design, and management." In: Mays LW (Ed.) Hydraulic design handbook. McGraw-Hill, New York, pp 24.1–24.44
- Bouwer, H. (2002). "Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering." *Hidrogeology Journal*, volume 10, nº 2, abril 2002.
- De los Cobos, G. (2002). "The aquifer recharge system of Geneva, Switzerland: a 20 year successful experience." *Management of Aquifer Recharge for Sustainability*, Dillon, P.J. (ed). Proceedings of the 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Adelaide, South Australia 22-26 September 2002. Balkema Publishers-AIH, The Netherlands.
- Fernández Escalante, A.E. (2005). "Recarga artificial de acuíferos en cuencas fluviales. Aspectos cualitativos y medioambientales. Criterios técnicos derivados de la experiencia en la Cubeta de Santiuste (Segovia)". Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Fernández Escalante, A.E., (2006). Técnicas de tratamiento de suelo y acuífero (S.A.T.) aplicadas a la gestión de la recarga artificial. Serie Hidrogeología Hoy. Título cuarto. Diciembre de 2006. Editado por Grafinat.
- Leenheer, J (2002). "Processes Controlling Attenuation of dissolved Organic Matter in the Subsurface." US. Geological Survey Artificial Recharge Workshop Proceedings, April 2-4, 2002, Sacramento, California. US. Geological Survey Open-File Report 02-89. April 2002.
- MIMAM. (2002). "Estudio del sistema de utilización conjunta de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de las cuencas del Cega-Pirón y del Adaja-Eresma." MIMAM-PROINTEC.
- Pérez-Paricio, A. (2000). "Integrated modelling of clogging of artificial recharge systems." Tesis Doctoral. Universidad Politécnic de Cataluña.
- Pérez-Paricio, A., Benet, I., Ayora, C., Saaltink, M. y Carrera, J. (2001). "CLOG: A code to address the clogging of Artificial Recharge systems." Simposio international: Computer Methods for Engineering in Porous Media, Flow and Transport, 28/9 al 1/10 de 1998. Giens (Francia). Ed.: J.M. Crolet.
- Pyne, D. (2002). "Water quality changes during aquifer storage recovery (ASR)." *Management of Aquifer Recharge for Sustainability*, Dillon, P.J. (ed). Proceedings of the 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Adelaide, South Australia 22-26 September 2002. Balkema Publishers-AIH, The Netherlands.
- Van Duijvenbode, S.W. & Olsthoorn, T.N. (2002). "A pilot study of deep-well recharge by Amsterdam Water Suply." *Management of Aquifer Recharge for Sustainability*, Dillon, P.J. (ed). Proceedings of the 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Adelaide, South Australia 22-26 September 2002. Balkema Publishers-AIH, The Netherlands.