

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

# NORMAS SAT DE APLICACIÓN GENERAL

- **Pretratamiento adecuado.**
- Minimizar la **aireación** de las aguas y el efecto *Lisse*, evitando el *cascading*, la corrosión, ambientes oxidantes, etc.
- Recargar a **velocidades lentas.**
- **Recargar** con aguas a **temperaturas mayores** que las aguas del acuífero, etc.
- **Diseño** adecuado estructuras
- Instalación de **dispositivos** de aviso y alarma (profundidad de alerta), etc.

## INCONVENIENTES:

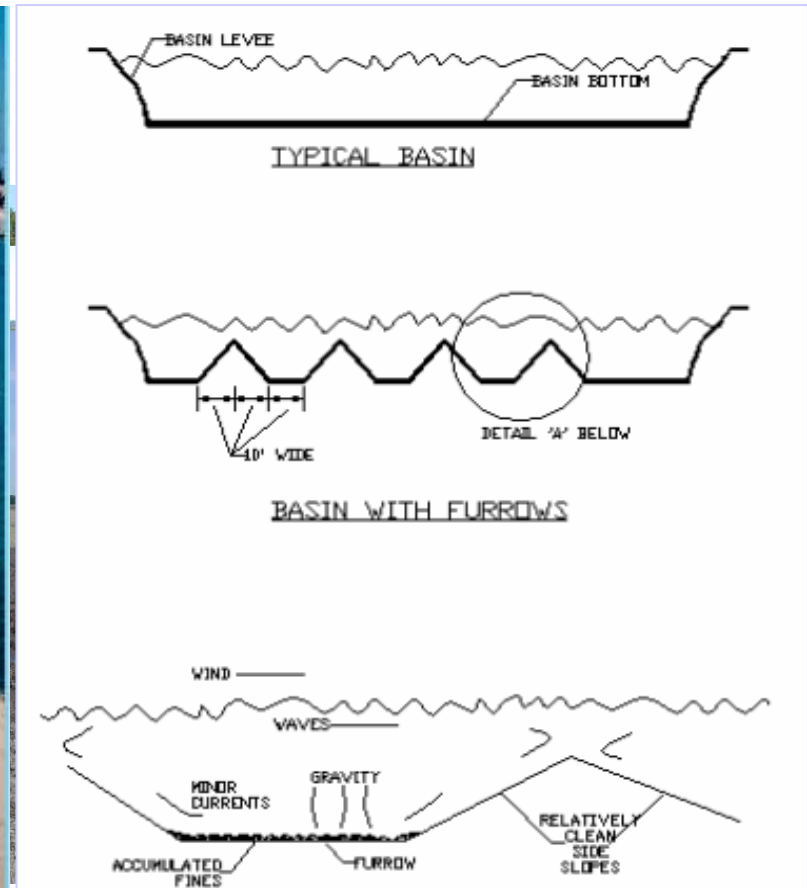
- **Aportes extras de oxígeno:** *Lisse*, precipitación de hierro, etc.
- **Pérdidas de CO<sub>2</sub>** aceleran la precipitación de carbonatos.

## ACTUACIONES CUESTIONABLES:

- Reducción de las **colonias bacterianas, algas** y minimización del **TOC** en el agua de AR.
- **Limpieza de la superficie de infiltración** acompañada de un tratamiento con ácidos.
- **Adición de productos** para controlar:
  - **pH** del medio (calcio)
  - aguas de AR (**cloración, yodación, desinfectantes (DBPs)**)
  - medio receptor sometido a procesos de **colmatación física (polifosfatos, defloculantes)**
  - **costras calcáreas (ácidos)**
  - **colmatación química (cloro)**
  - **inactivación de las bacterias** (agua oxigenada ), etc.

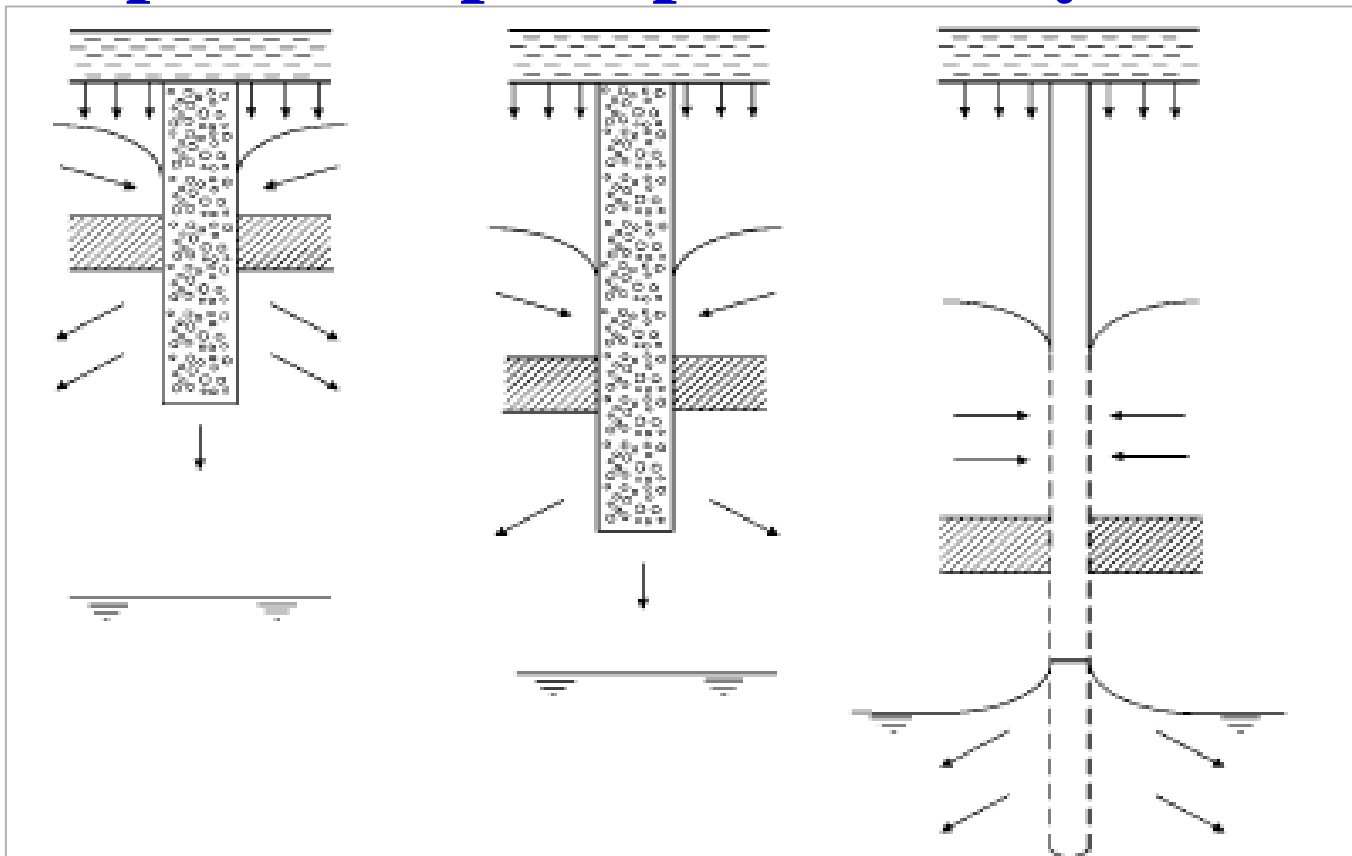
# Impactos/disfunciones en el dispositivo de AR Técnicas S.A.T.

- Agua a recargar. Aspectos cuantitativos
- Agua a recargar. Aspectos cualitativos
- Actuaciones en el Medio Receptor

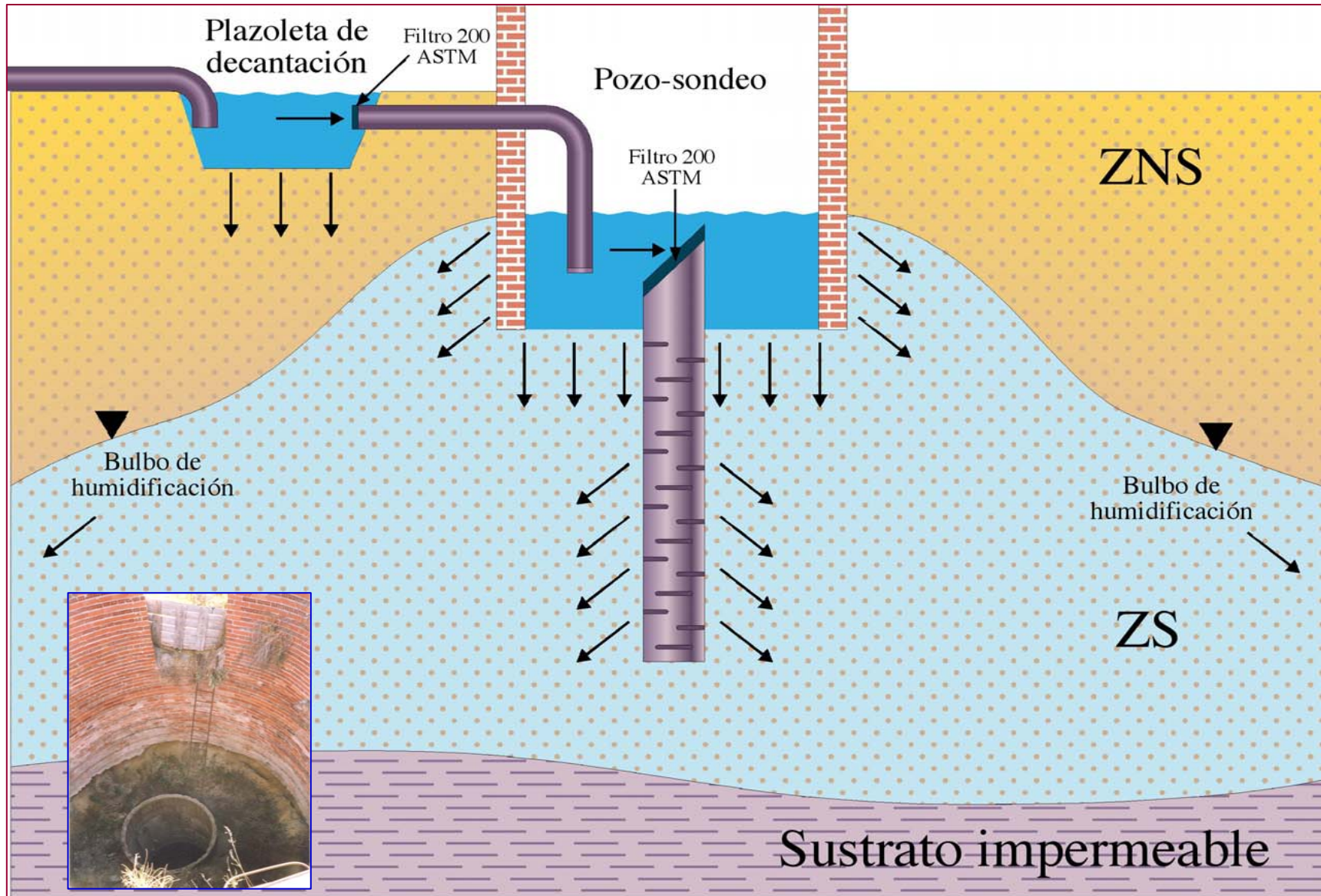


# Agua a recargar. Aspectos cuantitativos

- Recarga selectiva
- Inyección profunda / ASR
- Técnicas de limpieza y mantenimiento específicas para pozos de inyección



# Infiltración por pozos abandonados



*Dispositivo de infiltración a través de pozos de gran diámetro abandonados previamente acondicionados*

## Agua a recargar. Aspectos cualitativos

- *Corrección de la acidez en las aguas de recarga artificial*
- *Estándar de calidad para las aguas de AR...*



# Estándar de calidad

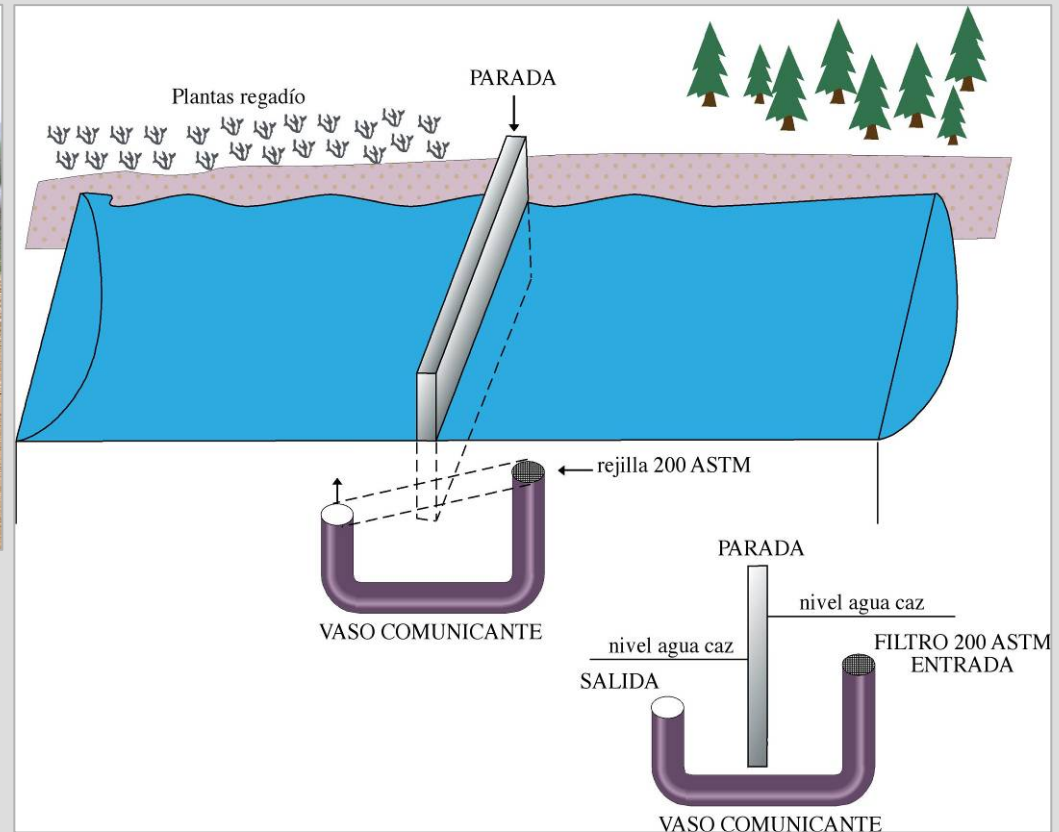
| DETERMINACIONES  | ESTÁNDAR DE CALIDAD                           |
|--|---|
| TSS 5-8 ppm  | TSS < 10 ppm                                  |
| TSD 101,8 ppm  | TSD < 150 ppm                                 |
| COT < 5,5 mg/l   | COT < 10 mg/l                                 |
| COD 1,8-2,8 mg/l                                       | COD < 2 mg/l                                  |
| OD 5,1-8,8-11 mg/l                                     | OD < 8 mg/l                                   |
| [CO <sub>2</sub> ]= 0,5 – 0,9 mg/l                     | [CO <sub>2</sub> ] < 0,50 mg/l                |
| pH = 8   | pH < 7,5-8                                    |
| C = 191 μS/cm  | C < 200 μS/cm                                 |
| T <sup>a</sup> agua = 5,9 °C                           | T <sup>a</sup> agua ≈ T <sup>a</sup> suelo    |
| T <sup>a</sup> suelo = 6,1 °C                          | T <sup>a</sup> agua > T <sup>a</sup> acuífero |
| Alcalinidad= 64 mg/l CQCa                              | Alcalinidad < 200 mg/l CQCa                   |
| [NO <sub>3</sub> ]= 2 mg/l                             | [NO <sub>3</sub> ] < 10 mg/l                  |
| Sobresaturación SiO <sub>2</sub> = 35 mg/l.            | Sobresaturación ≈ 0                           |
| Sobresaturación Ca Mg (CO <sub>2</sub> ) = 37,86 mg/l. | Sobresaturación ≈ 0                           |
| Salinidad  |   |
| H <sub>2</sub> S ≈ 0                                   | Evitar H <sub>2</sub> S                       |
| MFI: 25- 30 s/l <sup>2</sup>                           | MFI < 3-5 s/l <sup>2</sup>                    |
| Bacterias y virus no determinados                      | Bacterias y virus pendiente establecer límite |

*Estándar de calidad para las aguas de recarga artificial en el caso concreto de la Cubeta de Santiuste y otros escenarios análogos.*

*Datos basados en datos bibliográficos y en experiencias propias obtenidas en campo, laboratorio y gabinete*

# Actuaciones en el medio receptor 1

- Dispositivos de filtración y decantación / **minimizar la evapotranspiración**
- Dispositivos para minimizar el efecto *Lisse*



*Dispositivos de vasos comunicantes propuestos para evitar el efecto “cascading.”*



# Actuaciones en el medio receptor 2

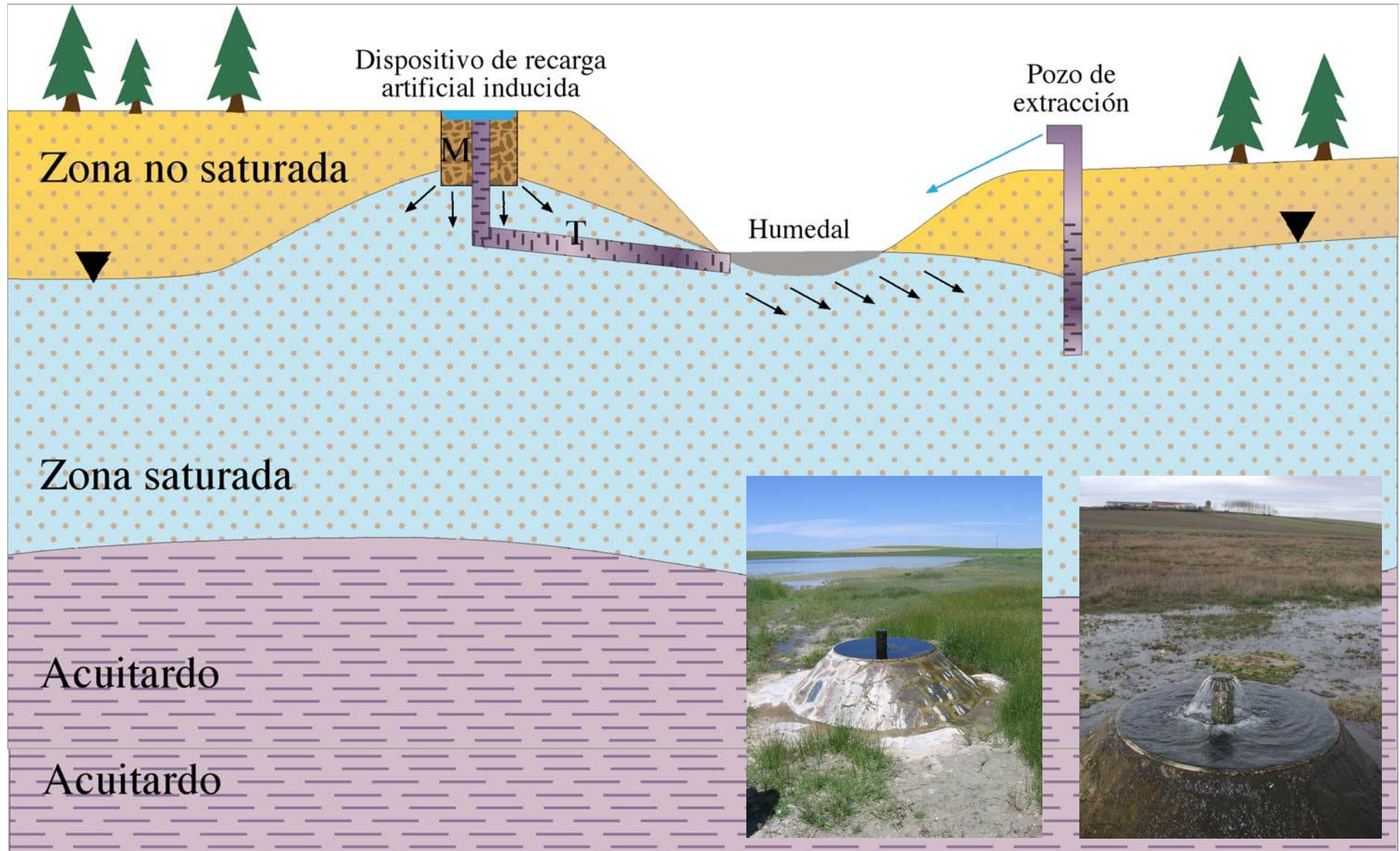
- Limpieza y mantenimiento de los dispositivos
- Diseño de un BCV específico

- **Otros procedimientos de descolmatación:**
  - Dejar secar la instalación de AR (dual)
  - Permitir el crecimiento de vegetación
  - Escarificación / extracción de la parte colmatada
  - Tratamiento / retirada a vertedero



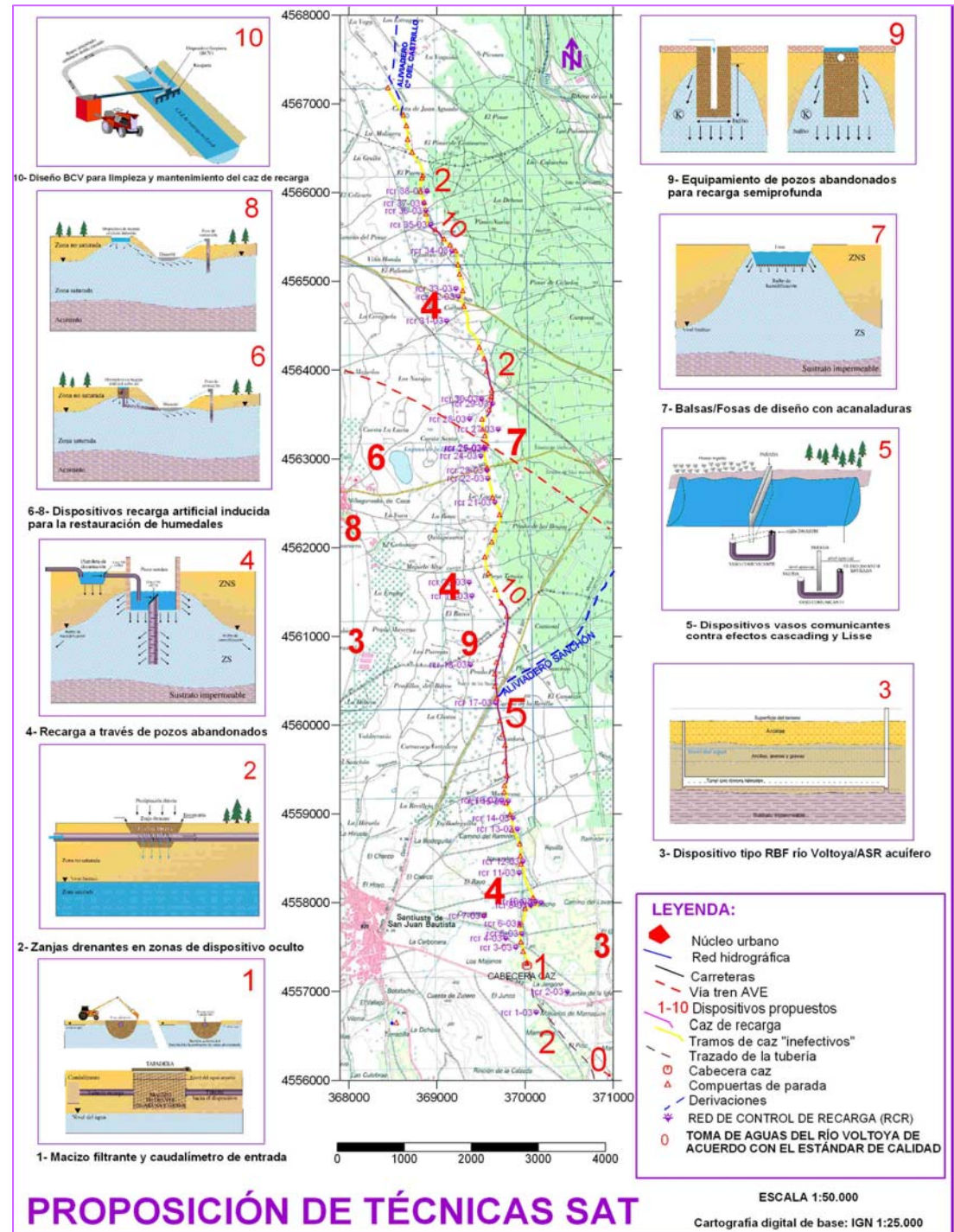
## Actuaciones en el medio receptor 3:

### Dispositivos específicos de recarga artificial “inducida” en la *Cubeta de Santiuste* para la regeneración hídrica de humedales



# Actuaciones en el medio receptor 4

- Creación de un **sistema integrado**



## 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*): Cl, I, O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, rayos UV, etc.
- Limpieza **vegetación** durante AR/ plantación específica en periodo estival.
- **BCVs**.
- **Evitar aireación** aguas AR: vasos comunicantes, estructuras exentas, 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**, "*anammox*", riego seleccionando profundidad emplazamiento bomba.
- **Evitar la salinización natural:** recarga puntual y barreras en zonas salinas.



## 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**.

# Conclusiones

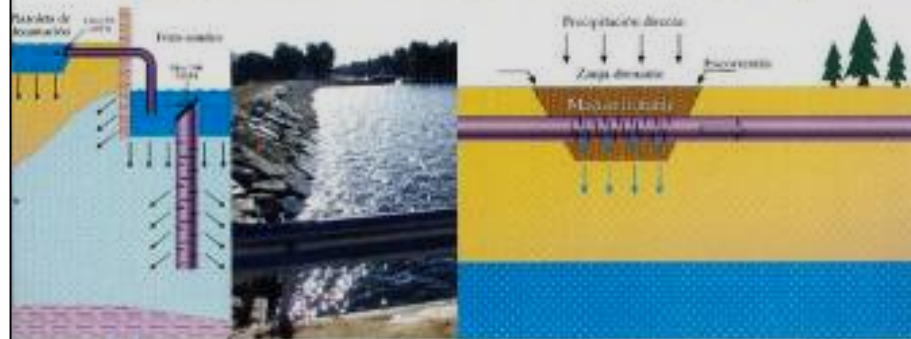
- El **diseño** de los dispositivos y la elección de las técnicas **SAT** más idóneas dependen de las condiciones específicas del **suelo**, el **funcionamiento hidrogeológico de acuífero**, la **climatología** y la **calidad del agua de AR**.
- La **regla de oro en MAR** es empezar con cautela, aprender sobre la marcha y expandir las estructuras según la experiencia y las necesidades.
- Resulta preciso contar con **plantas piloto o tramos de “caz” experimentales**, donde puedan ser ensayadas nuevas tecnologías, dispositivos, técnicas SAT, etc.
- La alternativa más recomendable es la creación de un **sistema integrado**
- Cualquier **planificación SAT** debe tener **carácter integral y flexible** ante los cambios.

# Agradecimientos

- Seguimiento en el marco del proyecto de I+D+i DINA-MAR (*Depth Investigations New Areas for Managed Aquifer Recharge*)
- C.P. 00-13-253 del Grupo Tragsa



# TÉCNICA DE TRATAMIENTO DE SUELO Y ACUÍFERO (SAT) APLICADAS A LA GESTIÓN DE LA RECARGA ARTIFICIAL



A. Enrique Fernández Escalante