

JORNADAS TÉCNICAS SOBRE LA  
RECARGA ARTIFICIAL  
DE ACUÍFEROS  
Y REUSO DE AGUA



Torre de Ingeniería, UNAM, México D.F.  
9 y 10 de junio de 2011

# PRESENTACIÓN DEL PROYECTO DINA-MAR. ESPAÑA. RESULTADOS EN TRES PLANTAS PILOTO PARA LA GESTIÓN DE LA RECARGA ARTIFICIAL



**FERNÁNDEZ ESCALANTE, Enrique**

Fac. de CC. Geológicas. Univ. Complutense de Madrid

Vocal español del **GT IAH-MAR**

Coordinador de habla hispana de la red de trabajo **MAR-NET**



Universidad  
Complutense  
Madrid



## SUMARIO

- INTRODUCCIÓN
- PRESENTACIÓN DE LOS LABORATORIOS  
EXPERIMENTALES
- TÉCNICAS SAT
- CRITERIOS DE OBRA
- RESULTADOS Y CONCLUSIONES DEL  
PROYECTO **DINA-MAR**



*Depth Investigation of New Activities for  
Managed Aquifer Recharge*

# INTRODUCCIÓN

## LA GESTIÓN HÍDRICA EN ESPAÑA

### TÉCNICAS:



### Convencionales

- ALMACENAMIENTO EN EMBALSES: 53.000 hm<sup>3</sup>
- EXPLOTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS: 6.000 hm<sup>3</sup>/año. 80% regadío
- TRASVASES INTERCUENCAS: -

### No convencionales

- REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE: 450 hm<sup>3</sup>/año
- DESALACIÓN: 1,5 hm<sup>3</sup>/día. Casi 1.000 plantas desaladoras.

### Especiales o alternativas

Consumo:  
>28.000 hm<sup>3</sup>/año.

- 171 l/h/día (2006)
- 156 l/h/día (2009)
- 130 l/h/día (2010)

- GESTIÓN DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS (MAR) 380 hm<sup>3</sup>/año
- #### TÉCNICAS PALIATIVAS

- Disminución de la escorrentía en bosques y en áreas urbanizadas
  - Trampas de escorrentía
- Ahorro / Eficiencia de las conducciones  
Descenso de la evaporación en los embalses  
Descargas submarinas de agua dulce  
Etc.

# dm. dina-MAR

## 5 Fases del proyecto:



**4**  
**SATs**

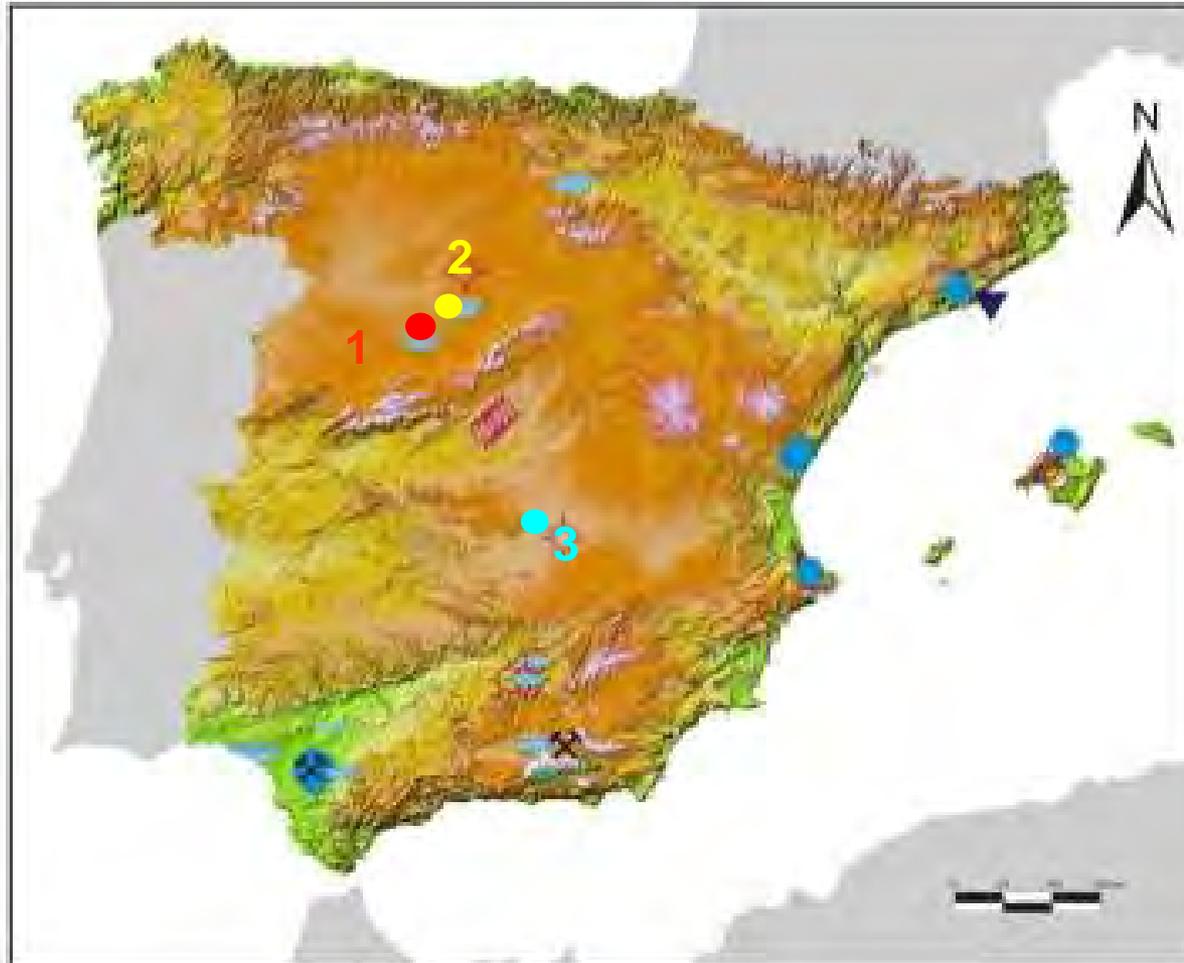
# D&TT. DINA-MAR. Libro de cierre del proyecto





# M.A.R. EN ESPAÑA

- MAR Volumen en España: 380 hm<sup>3</sup>/año (2009, DINA-MAR)



## LEYENDA

-  Pozos
-  Sondeo Profundo
-  ASR
-  Dique retención
-  Canales y zanjas
-  Acequias de careo
-  Escarificación
-  Balsas
-  Mina AR

# MAR y regadío. Santiuste

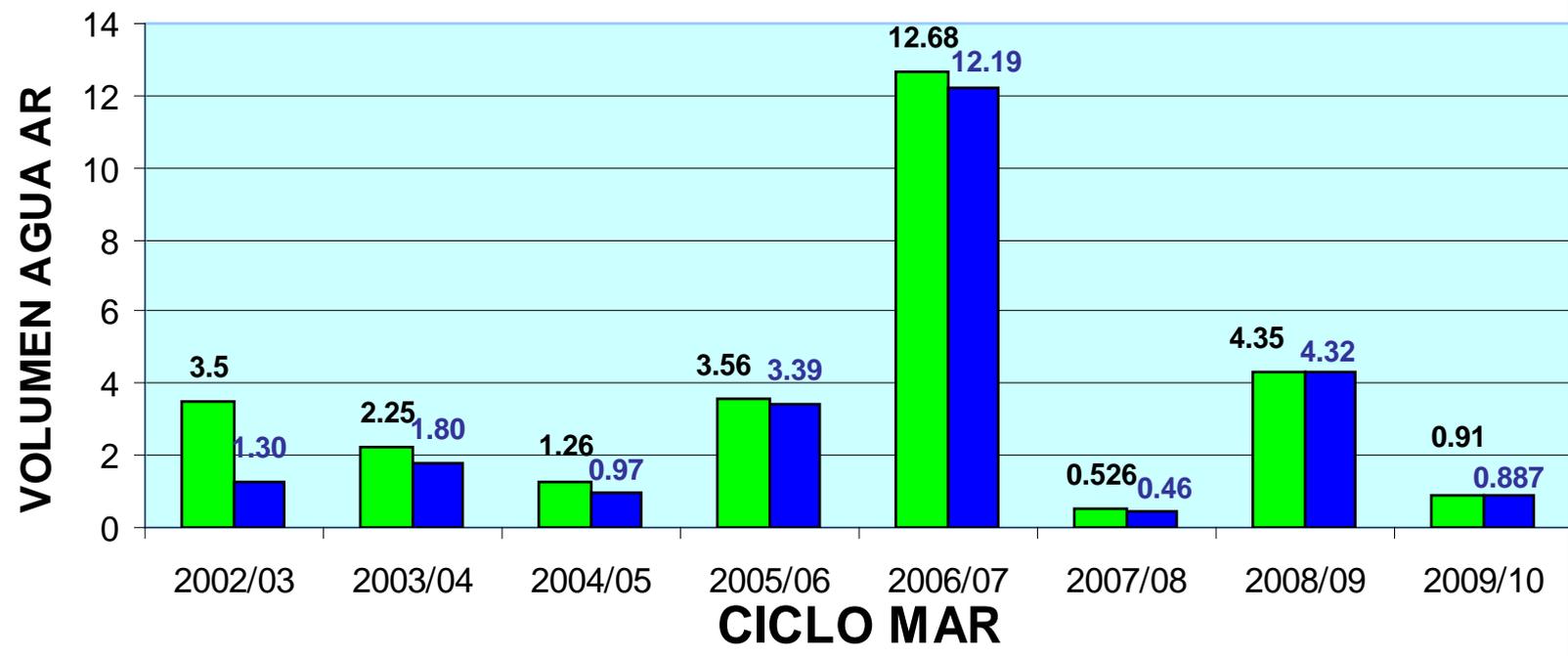


- 8 años de operatividad
- 27 km de canal
- 5 balsas de infiltración
- 3 humedales artificiales
- 3 pozos de infiltración



Vol. infiltrado	Inicio ciclo	Final ciclo	días efect.	Q deriv (hm3)	Qm caz (l/s)	Vol. inf. Tot. (hm3)
2002/03	05/12/2002	30/04/2003	148	3,5	278	1.30
2003/04	10/10/2003	30/04/2004	175	2,25	149	1.80
2004/05	01/10/2004	30/04/2005	212	1,26	68	0.97
2005/06	15/11/2005	01/04/2006	137	5,11	372	3.56
2006/07	01/10/2006	30/04/2007	212	12,68	692.37	12.19
2007/08	30/05/2008	06/06/2008	8	0,52	794.45	1.849
2008/09	01/11/2008	30/04/2009	181	4,35	278,48	5.225
2009/10	17/02/2010	31/03/2010	43	0,91	249	,27 hasta may

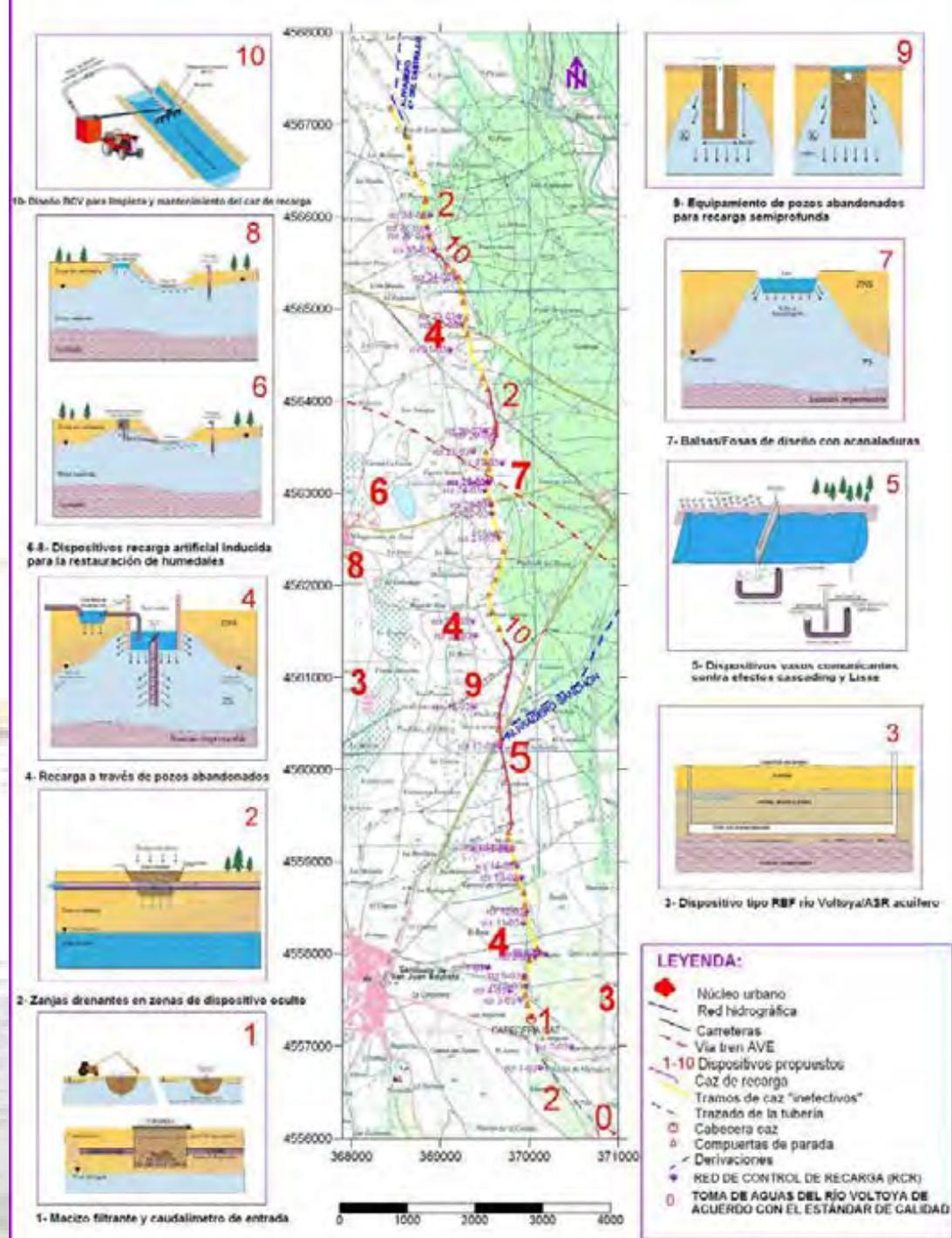
## VOLUMEN DERIVADO VERSUS RECARGADO



# Resultados

## Nuevos dispositivos propuestos

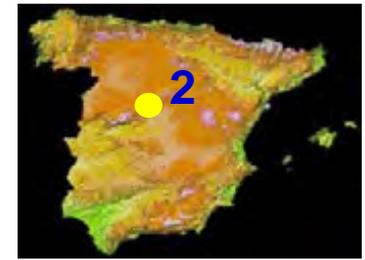
progresando hacia diseños de mayor eficiencia en el marco de la gestión hídrica para el regadío



# MAR y regadío

## El Carracillo

### AZUD DE DERIVACIÓN



- 7 años de operatividad
- 40,7 km de canal
- 3 balsas de infiltración
- 1 RBF
- 1 humedal artificial

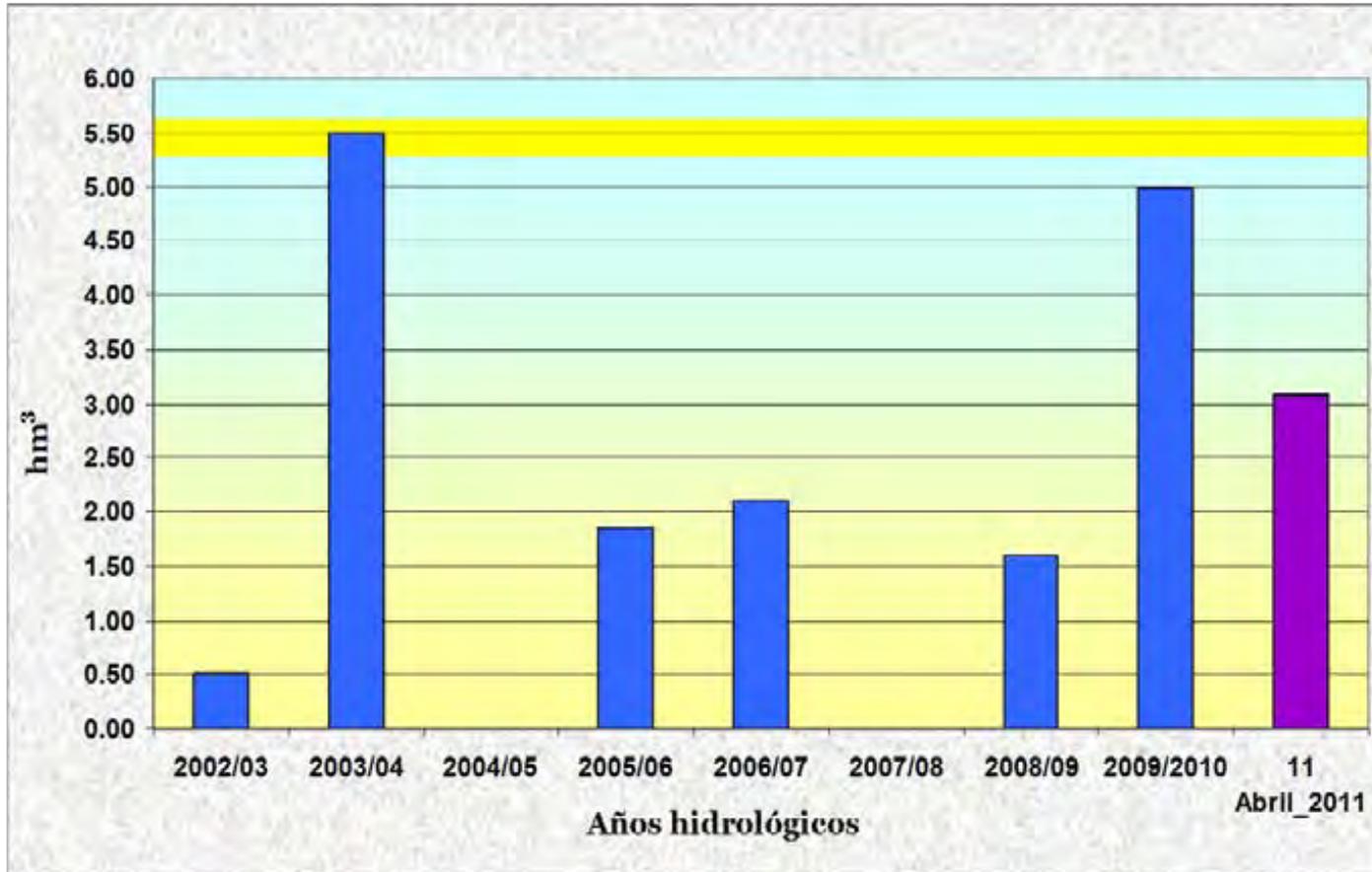


- **Conducción en tubería de poliéster reforzado con fibra de vidrio, de hasta 1200 mm, y 20 km de longitud**
- **Desagües, ventosas, arquetas de salida**
- **Dispositivos de AR combinados: balsas, tuberías drenantes, canales, pozos, ...)**



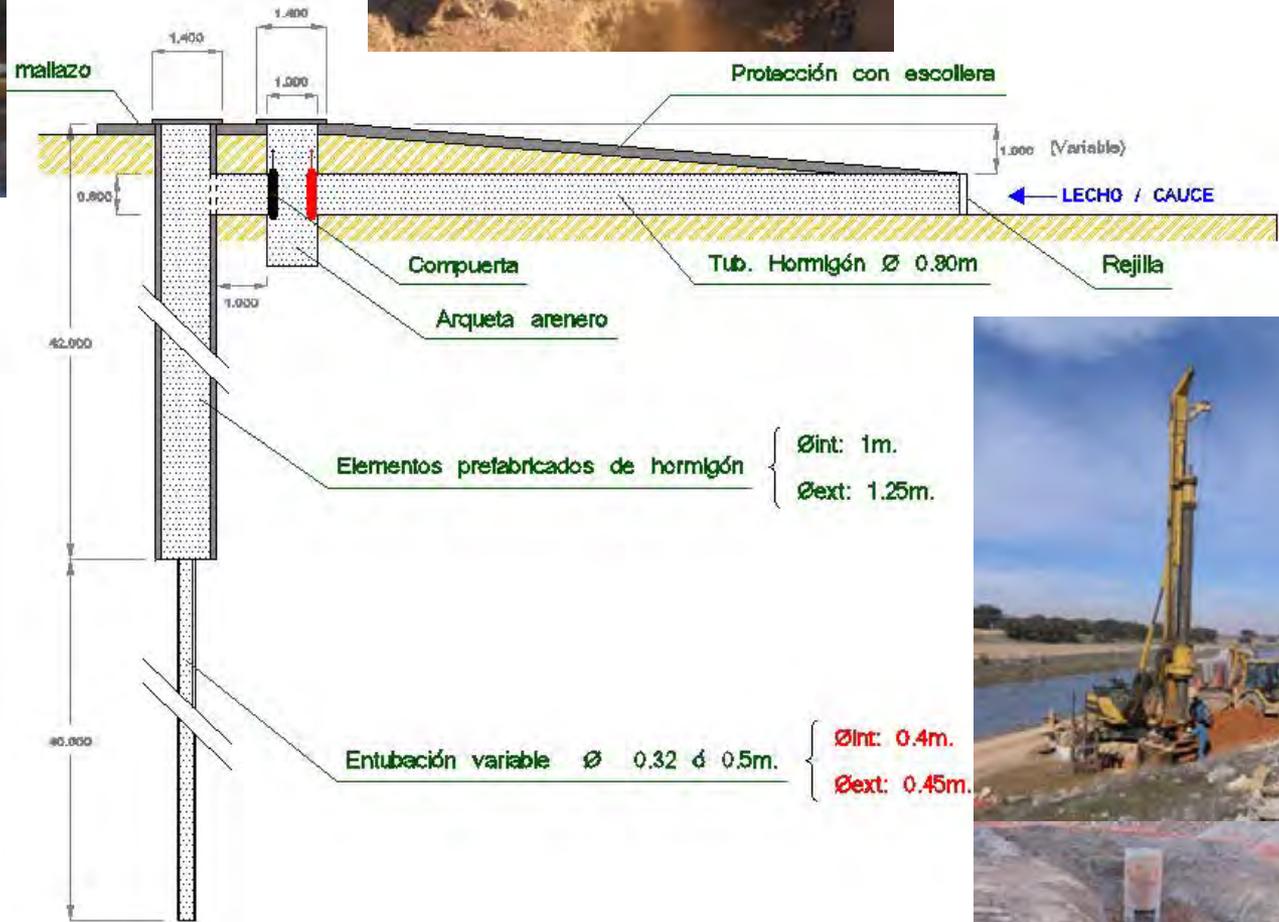
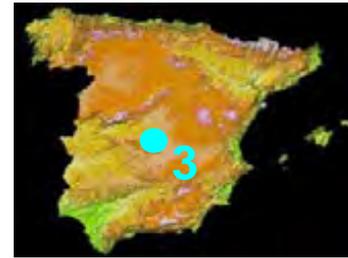
# RECARGAS REALIZADAS

## CAUDALES DERIVADOS DEL CEGA (hm<sup>3</sup>)



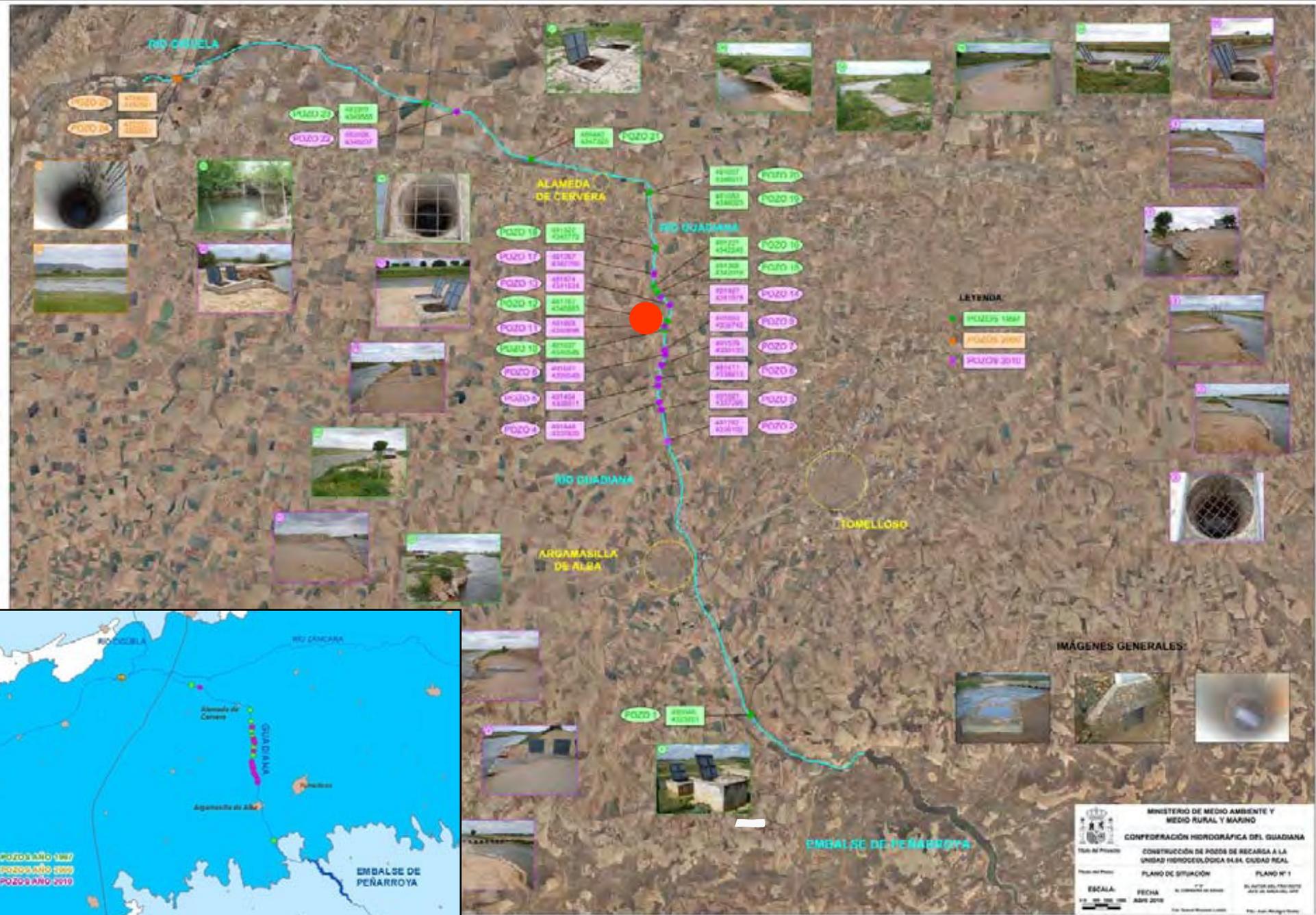
Año	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	11 Abril_2011
hm <sup>3</sup>	0.50	5.50	0	1.85	2.10	0	1.60	5.00	3.08

# Canal del Guadiana



**Características de los pozos de AR**

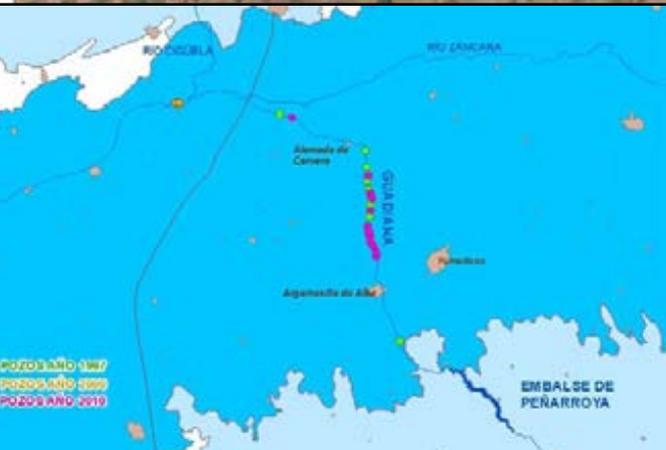
# Canal del Guadiana



**LEYENDA**

- POZOS 1987
- POZOS 1999
- POZOS 2019

**IMÁGENES GENERALES:**

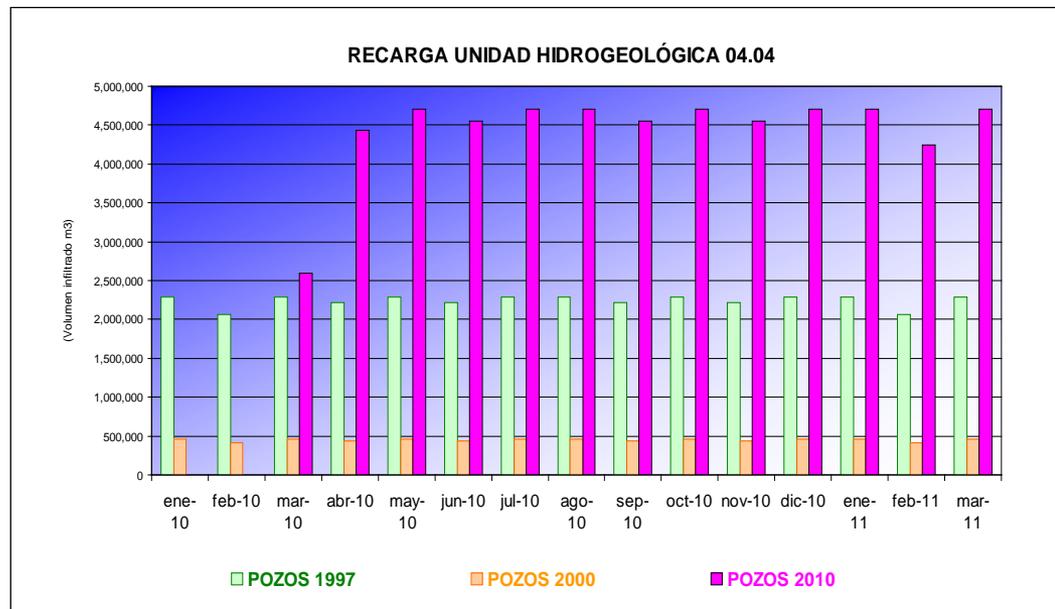



**MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO**  
**CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA**  
 Título del Proyecto: **CONSTRUCCIÓN DE POZOS DE RECARGA A LA UNIDAD HIDROEOLÓGICA ALBA CIUDAD REAL**  
 Plan de Situación: **PLANO DE SITUACIÓN** PLANO N° 1  
 Escala: **1:50.000** FECHA: **2019**  
 El Autor del Proyecto: **April de Ingeniería, S.L.**  
 Calle: **San Mateo, 10 - 13010 - Ciudad Real (CR)**

# Volúmenes recargados (Enero 2010-Marzo 2011)

## TOTAL RECARGA (hm<sup>3</sup>)

	Pozos 1997	Pozos 2000	Pozos 2010	
Enero 2010	2.3	0.5	0.0	
Febrero 2010	2.1	0.4	0.0	
Marzo 2010	2.3	0.5	2.6	
Abril 2010	2.2	0.4	4.4	
Mayo 2010	2.3	0.5	4.7	
Junio 2010	2.2	0.4	4.5	
Julio 2010	2.3	0.5	4.7	
Agosto 2010	2.3	0.5	4.7	
Septiembre 2010	2.2	0.4	4.5	
Octubre 2010	2.3	0.5	4.7	
Noviembre 2010	2.2	0.4	4.5	
Diciembre 2010	2.3	0.5	4.7	
Enero 2011	2.3	0.5	4.7	
Febrero 2011	2.1	0.4	4.2	
Marzo 2011	2.3	0.5	4.7	
<b>TOTALES</b>	<b>33.6</b>	<b>6.7</b>	<b>57.8</b>	<b>98,1hm<sup>3</sup></b>



# CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE TÉCNICAS SAT (Soil & Aquifer Treatment)



## SATs:

1. Mayor impacto: La **colmatación** (*clogging*)
2. Reducción entrada de **aire** en dispositivos de AR
3. Actuaciones en la **morfología** del medio receptor
4. Influencia del **periodo y caudal** de recarga artificial en la tasa de infiltración y efectividad del dispositivo



# CRITERIOS DE OBRA

## Balsas



- La balsa debe localizarse en **materiales apropiados** para favorecer la infiltración.
- Conveniencia de **divisorias hidrogeológicas**??.
- La altura que alcanza el **domo de agua por debajo** depende, en gran medida, de la geometría de la balsa, y puede **maximizarse** empleando **formas cuadradas o circulares** en lugar de balsas estrechas y alargadas.
- Hay que tener en cuenta la situación del **nivel freático** y su **variación** anual en el diseño.
- Importante evitar actuaciones que reduzcan la conductividad hidráulica: **compactación de tierras, creación de canales preferentes**, etc.
- Obra de entrada con **disipador de energía del flujo**. Ejemplo: surtidor situado en la parte inferior de la balsa con una tubería de entrada de polietileno PN 6 de **400 mm** para un caudal de **160 l/s**.
- Sistema de **desagüe**, para situaciones eventuales de avenida.
- **Taludes 2H/1V**. Talud interior de la balsa cubierto con **escollera entre 30 y 60 cm**.
- Altura máxima del **terraplén respecto al fondo de la balsa de 2,00 m**, con una altura de lámina de agua máxima de 1,50 m, resguardo de 0,50 m bajo la coronación.
- **Rampa** con una pendiente de **0,10 m/m** como **acceso** al fondo para **mantenimiento**.

# Criterios de obra. Canales



## DIMENSIONAMIENTO:

- Morfología trapezoidal de **1,00 m. de base, 1,50 m de altura, 4,0 m de anchura en coronación y taludes 1/1.**
- A lo largo del mismo se construyeron las **obras de parada** en hormigón armado, y provistas de tajadera de 1 m de altura para **calado máximo de 1 m y mínimo en cola de tramo de 0,50 m** en situación estática.
- Tomando como valor de cálculo un **calado medio de 0,75 m**, se obtiene un valor del **perímetro mojado de 3,12 m.**

## OBRAS DE FÁBRICA:

- **Obras** de parada en el canal; de paso en cruces de caminos y mixtas.

# Zanjas de infiltración



- El diseño de las zanjas requiere conocer la pendiente de la ladera, la edafología (tipo de suelo y contenido en materia orgánica), la intensidad de la precipitación, el periodo de retorno, el coeficiente de escorrentía, la tasa de infiltración del suelo, además de las características hidrogeológicas del sustrato.
  - Parámetros más importantes a tener en cuenta en el diseño e implantación:
    - $V_{ai}$  = Volumen de aportación zona de impluvio.
    - $V_{cz}$  = Volumen de captura zona de zanjas.
    - $V_{in}$  = Volumen de infiltración de la zanja
    - $V_{ai}$  = Volumen de aportación zona de impluvio. (m<sup>3</sup>)
    - $P$  = Precipitación (máxima en 1 hora)
    - $S$  = superficie de impluvio
    - $e$  = coeficiente de escorrentía
    - $V_{cz}$  = Volumen de captación de las zanjas. (m<sup>3</sup>/h)
    - $b$  = Base de la zanja en metros
    - $h$  = Altura de la zanja en metros
    - $L$  = Largo de la zanja en metros
    - $V_{cz}$  = Volumen de infiltración (m<sup>3</sup>/h)
    - $b$  = Base de la zanja en metros
    - $v$  = Velocidad de infiltración de la zanja en metros
    - $L$  = Largo de la zanja en metros
    - $d$  = distanciamiento entre zanjas de infiltración

# Diques y represas



## **DIQUES EN EL BARRANCO DE LANA MAYOR (HUESCA)**

- Construido para la reducción de la cubierta vegetal de la zona (condicionada por la meteorología, los pastos y el relieve de la cuenca), reducir la erosión y regular grandes avenidas.
- 14 diques de gravedad, de mampostería hidráulica, de planta recta, con paramento aguas abajo inclinado y uno de ellos con troneras; y un dique, también de gravedad, de hormigón armado, de planta recta, con paramento aguas arriba y aguas abajo verticales.
- Evaluación previa de las zonas más favorables para obtener un máximo volumen de vaso con el mínimo volumen de obra. Estudio de la cimentación necesaria tanto en los estribos como en el fondo del barranco.
- Otro factor importante es la accesibilidad a la obra.

### **Diques de mampostería hidráulica**

- Son de gravedad de planta recta . La anchura de coronación varía entre 0,5 a 2,5 m.
- Vertederos trapezoidales con taludes 1/1, capaces de evacuar el caudal calculado para un periodo de retorno de 50 años.
- Cimentación: Excavación hasta la roca basal para evitar problemas de tubificación. Zapatas cimentadas entre 0,7 a 1,5 m según el alzado de los diques.
- Para evitar el aumento de la presión hidrostática en los diques, éstos disponen de 2 a 4 filas de mechinales con un diámetro de 200 mm separados entre 1 y 1,5 m y con una inclinación del 3%, colocados al tresbolillo.
- Las alas de los diques están empotradas con una profundidad mínima de 1m, y están escalonadas ajustándose al terreno.



# Pozos de AR



- EJEMPLOS DE DISEÑOS CONSTRUCTIVOS DE POZOS DE RECARGA ARTIFICIAL. BATERÍA DEL CANAL DEL GUADIANA, CIUDAD REAL.
- Los pozos de recarga artificial que hay en la cuenca del río Guadiana se realizaron en distintas etapas bien a percusión o bien mediante rotopercusión (figura 2-68).
- Los pozos captan el agua directamente del río a través de una tubería de hormigón de 0,80 m de diámetro que está protegido por una escollera. Posteriormente el agua pasa por una compuerta al decantador, y es filtrada durante su paso por una arqueta arenoso, para que el agua sea finalmente introducida en el pozo.
- El pozo consta de unos elementos prefabricados de hormigón con unos diámetros exteriores de 1,25 m e interiores de 1 m. A continuación se encuentra la entubación con un diámetro variable entre 0,32 a 0,5 m en la tercera etapa, aunque la entubación de los pozos anteriores se realizó con un diámetro exterior de 0,45 m y uno interior de 0,4 m. La profundidad varía de 40 a 90 m. En la figura 2-69 se muestra un esquema constructivo de un pozo para MAR

# Sondeos



## ELEVADA COMPLEJIDAD Y VARIABILIDAD DE DISEÑOS Y EQUIPAMIENTO

- Proyecto Water Campus en Scottsdale (Arizona, EEUU)
- La ciudad de Scottsdale está situada en el estado de Arizona, EEUU. Esta zona está caracterizada por un clima desértico, por lo que el abastecimiento y suministro de agua es una de sus principales prioridades, tanto para abastecimiento y ocio, al tratarse de un núcleo turístico internacional para la práctica del golf.
- El 60 % del suministro de agua de la ciudad proviene del Central Arizona Project (CAP), que consiste en una ordenación y uso racional del río Colorado. Otro 20 % del suministro proviene de aguas subterráneas. El resto se obtiene a partir del Salt River Project (SRP) que, al igual que el CAP, regula las aguas superficiales del Salt River (río Salado) y del río Verde.
- Sin embargo, la ciudad de Scottsdale ha desarrollado el proyecto *Water Campus*, que consiste en una planta que trata aguas residuales mediante microfiltración y ósmosis inversa. El agua tratada se utiliza para el regadío, aunque en invierno se aprovecha la menor demanda de agua para recargar artificialmente el acuífero a través de sondeos (ASR). Esta planta presenta un nivel tan alto de automatización que solo precisa de 10 trabajadores para su funcionamiento.
- Los pozos de inyección tienen diseño telescópico y constan, en principio, de una perforación de 18" (457.2 mm) hasta aproximadamente los 20 Ft (6.09 m). La tubería de revestimiento instalada a modo de emboquille es de acero con bajo contenido en carbono y tiene un diámetro de 12" (304.8 mm). El relleno entre la perforación y la tubería de revestimiento consta de un sellamiento elástico.
- A partir de los 20 Ft (6.09 m) hasta el final del pozo, la perforación es de 11" (279.4 mm). Desde los 20 Ft (6.09 m) hasta los 460 Ft (140.21 m), el anular entre la tubería y la perforación con una lechada de bentonita.
- Entre los 460 Ft (140,21 m) hasta los 480 Ft (146,30 m) la lechada vuelve a ser de cemento puro, aunque luego, hasta la profundidad de 580 Ft (176,78 m) se vuelve a utilizar la lechada de bentonita.
- La entubación es de PVC roscada de 5" (127 mm) de diámetro. El espacio anular entre la tubería del pozo y el revestimiento es relleno por una lechada de cemento puro.
- Entre los 580 (176,78 m) y los 590 Ft (179,83 m), el relleno del anular consiste en pellets de bentonita.
- Entre los 590 Ft (179,83 m) hasta el final de la perforación, a unos 814 Ft (248,11 m), se encuentra la formación objetivo y el espacio anular está relleno con un filtro de grava silíceo.
- Entre las profundidades de 670 Ft (204.22 m) y 770 Ft (234.69 m), la tubería utilizada no es ciega, sino ranurada de 0,40" de luz (1,02 cm) a 0,80" (2,03 cm) hasta una profundidad de 690 Ft (210.31 m). El final del pozo consiste en una tubería ciega con un tapón de fondo a los 780 Ft (237,74 m).

# IAH- MAR Working Group

IAH - International Association of Hydrogeologists - Windows Internet Explorer

http://www.iah.org/recharge/

IAH - International Association of Hydrogeologists

International Association of Hydrogeologists  
**THE WORLDWIDE GROUNDWATER ORGANISATION**

CONFERENCES WORKSHOPS MEETINGS RESEARCH REFERENCES REPORTS CONTACTS LINKS HOME

**Welcome to IAH-MAR Managed Aquifer Recharge**

**IAH-MAR is a forum for information on the work within the international groundwater community on the management and enhancement of aquifer recharge, a vital tool in the sustainable management of the world's underground water resources.**

**Sister sites in :-**

- Spanish (<http://www.dina-mar.es/>)
- Chinese (<http://china-mar.ujn.edu.cn>)

**ISMAR7: The 7th Annual International Symposium on Managed Aquifer Recharge, Abu Dhabi, October 9-13 2010, IAH-ASCE/EWRI-UNESCO**

Hosts and organisers : **Environment Agency - Abu Dhabi** and **Schlumberger Water Services**

IAH HOME

Management of Aquifer Recharge for Sustainability

Proceedings of ISMAR6 2007 (62.9MB)

Recharge systems for protecting and enhancing groundwater resources

Internet 100%

<http://www.iah.org/recharge>



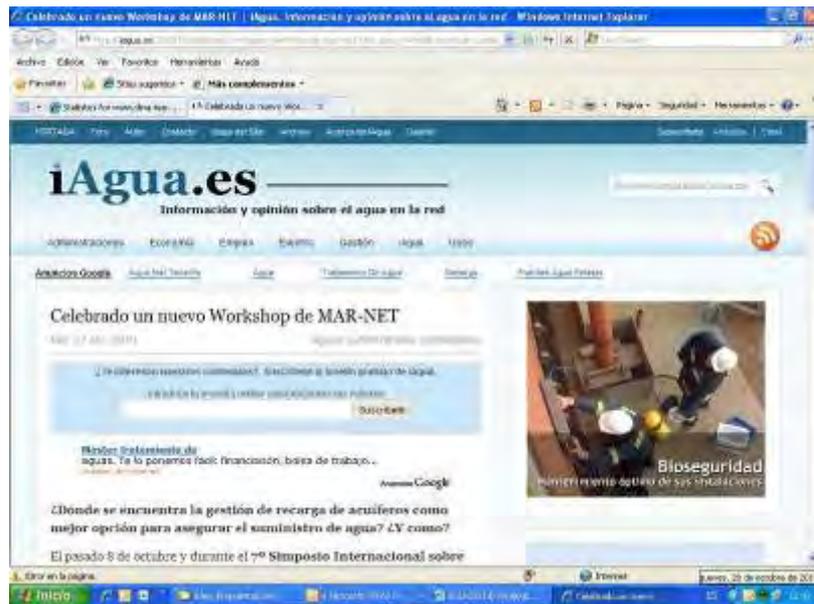
# MAR-NET



## FUNCIONES DE LA RED DE TRABAJO

- **Apoyo técnico y asesoramiento** a la investigación...
- Recopilación y difusión de resultados de investigaciones y experiencias.
- **Formación** y aumento de capacidades.
- Contactar con medios de **financiación**.
- Contribución al logro de los **Millenium Development Goals (MDG) de la ONU** en materia de abastecimiento de agua.
- Revisar el progreso del estado de la técnica en materia de MAR y difundir su efectividad mediante **proyectos demostrativos** que permitan el desarrollo de capacidades.

# MAR-NET Workshop. Abu Dhabi, oct. 2010



Presentación de proyectos...

# El proyecto DINA-MAR

*Depth Investigation of new Activities for Managed Aquifer Recharge*

## RESULTADOS POR CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Cerca del 16 % del territorio español (excluidas las Islas Canarias) son zonas MAR

BASIN	Total basin (km2)	% Sup.
DUERO	21565	32.3
TAJO	10186	15.2
EBRO	8686	13.0
JUCAR	7892	11.8
GUADIANA	5184	7.8
GUADALQUIVIR	4878	7.3
SEGURA	2283	3.4
NORTE	1953	2.9
PIRINEO	1746	2.6
SUR	1458	2.2
BALEARES	1023	1.5
<b>TOTAL</b>	<b>66854</b>	<b>100.0</b>



**Cuencas más adecuadas:**

Duero  
Baleares  
Júcar  
Tajo



Mapas disponibles en:  
[www.dina-mar.es](http://www.dina-mar.es)

# POTENCIAL DE LA TÉCNICA MAR EN ESPAÑA

Volumen de agua almacenado en España:

53.198 hm<sup>3</sup> en 2.745 km<sup>2</sup> (enero de 2005)

**16 % del territorio es apropiado para MAR (67.000 km<sup>2</sup>)**

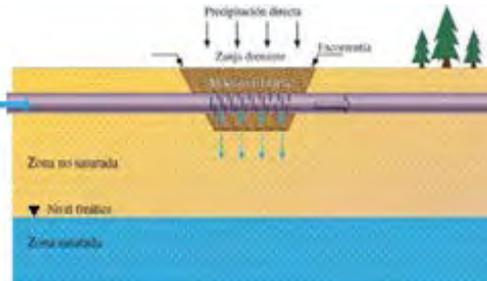
¿Cuánto agua podría almacenarse en las zonas MAR?

- Capacidad de almacenamiento medio estimado: **134.000 hm<sup>3</sup> (2 hm<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>)**

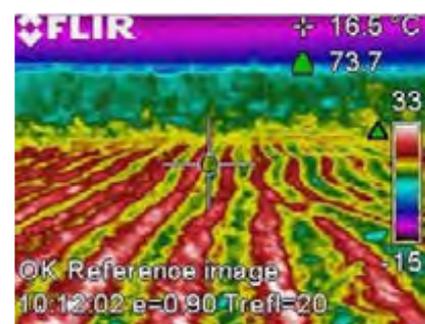
**MÁS DEL DOBLE DEL VOLUMEN ALMACENADO EN EMBALSES**



# SATs APLICADAS A LA AGRO-HIDROLOGÍA



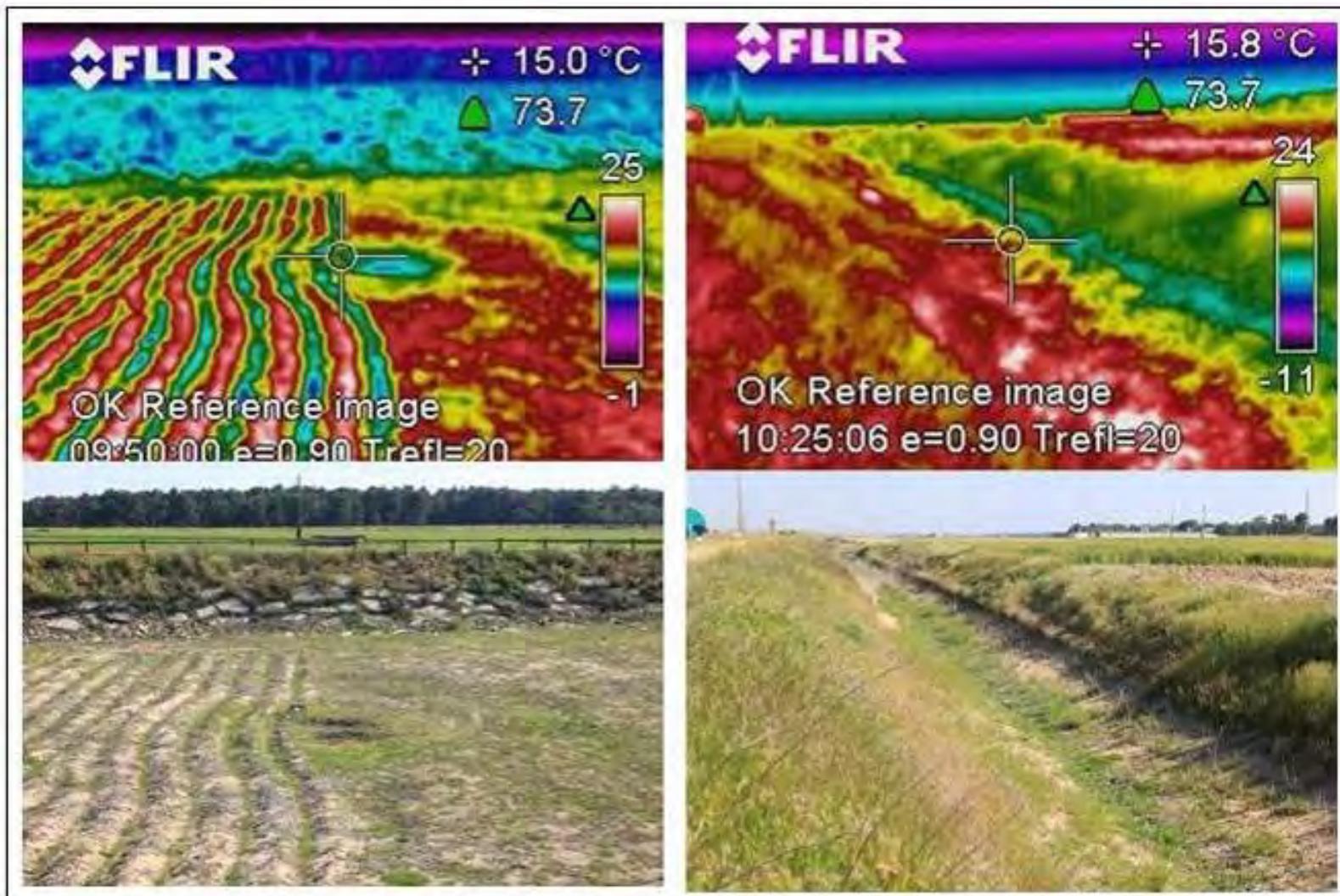
- Los caballones en el fondo de las balsas incrementan la tasa de infiltración hasta en un 25%
- Los sistemas de vasos comunicantes en canales y las válvulas en el equipamiento de pozos disminuye el TOD hasta en 2 ppm.
- La técnica SAT más efectiva es el pretratamiento del agua de recarga.
- Es esencial regular el caudal y la presencia de finos en el agua de AR.
- Mayor efectividad con distancias entre caballones de 80 cm
- Nivel colmatante entre 40 y 60 cm aparte del nivel superficial
- Etc.



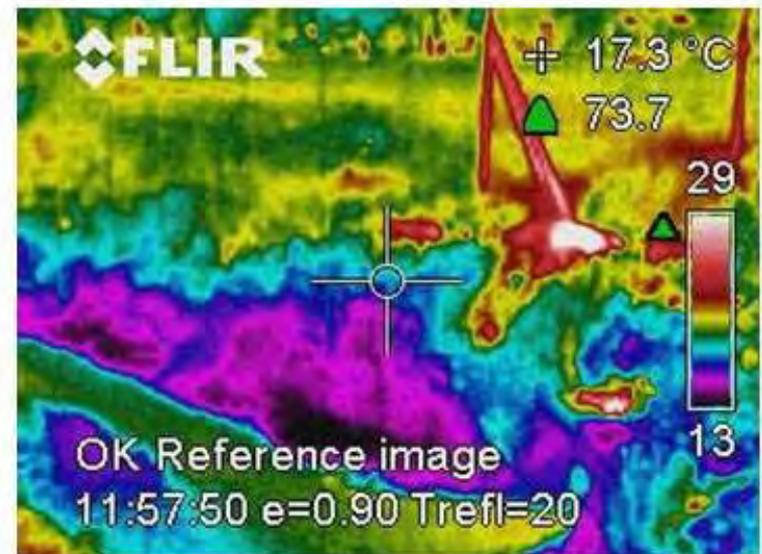
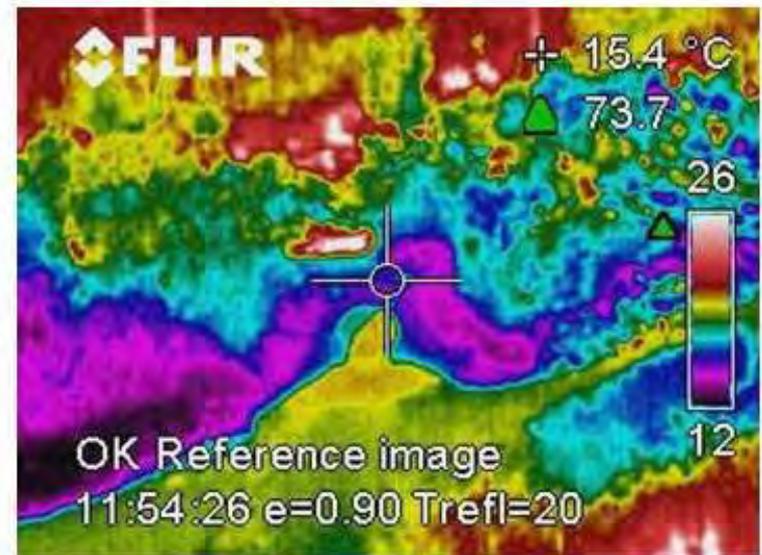
# TERMOGRAFÍAS APLICADAS A LAS TÉCNICAS SAT

- Línea de acción iniciada en **mayo de 2010**.
- Permite detectar, mediante la **distribución de la temperatura en las balsas, canales y perfiles** realizados en su fondo, zonas preferenciales de generación de **colmatación**, especialmente en caballones y canales.





- Las **variaciones térmicas** en los surcos se deben, bien a diferencias de altura, de vegetación, o a la aparición en superficie de **procesos orgánicos y físicos**.
- En las **paredes** de los canales se detectan tonalidades diferentes que concentran procesos colmatantes alrededor.



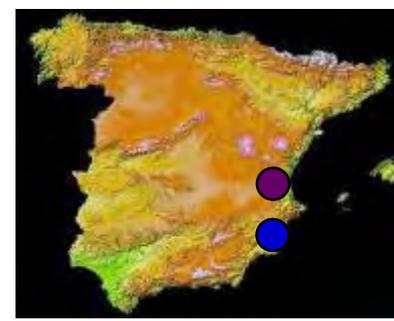
- Las aguas de depuradora que pasan al canal de AR tienen una composición diferente y una temperatura. La termografía ayuda a estudiar los procesos de miscibilidad, islas de frío...



# MAR EN LA GESTIÓN FORESTAL

## TÉCNICAS PALIATIVAS

### REDUCCIÓN DE LA ESCORRENTÍA Y MAR EN ÁREAS FORESTALES



- **Influencia positiva de los bosques en las masas de agua subterránea** en la cabecera de las cuencas.
- La creación de infraestructuras encadenadas a lo largo de la cabecera de las cuencas y cauces, así como la **reforestación** conllevan un **incremento de la recarga de sus acuíferos**, lo que favorece la calidad de los ecosistemas.
- En dos áreas estudiadas, **los bosques** han incrementado la tasa de infiltración (volumen) en torno a un **20%** en el subsuelo respecto a áreas deforestadas.

# MAR EN ÁREAS URBANAS

## Nuevos diseños arquitectónicos

Trampas de escorrentía



Depósitos y estanques de infiltración



Superficies permeables



### Buenas prácticas en las ciudades:

- **Minimizar la escorrentía superficial** en las ciudades.
- **Drenar hacia áreas verdes** en lugar de derivar el agua a las depuradoras.
- **Almacenar agua para su uso posterior**: aljibes y cisternas para riego, lavadoras...
- Mantener **limpia la ciudad** regularmente.
- **Concienciación sobre las fuentes de contaminación**: hospitales, etc. mediante *workshops*, etc.
- **Minimizar** el uso de **agroquímicos** en parques.
- **Educación** relativa a los agentes implicados **en el diseño y mantenimiento de las ciudades**.

**Objetivos clave**



**Fracturar la escorrentía superficial**  
**Mayor uso de dispositivos MAR en áreas urbanas**  
**Romper el efecto "Isla de calor" en las ciudades**

# MAR EN ÁREAS URBANAS

## Nuevos diseños arquitectónicos (3)

# SUDS. Sustainable Urban

## Drainage Systems



## Regla de las tres eses:

- **Slow it down**
- **Spread it off**
- **Soak it in**



### LA GESTIÓN DE RECARGA DE ACUÍFEROS EN HIDROGEOLOGÍA URBANA.

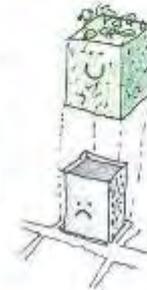
#### SUDS: SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE

##### Definición

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible son sistemas que recuperan el ciclo natural del agua en la ciudad.



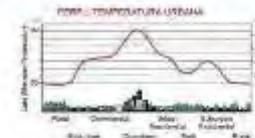
Dispositivos de drenaje



El ciclo urbano del agua

##### Problemática

La implantación de edificaciones y urbanizaciones suponen un impacto negativo en el territorio. La progresiva impermeabilización del terreno provoca profundas alteraciones hidrológicas y supone grandes inversiones en infraestructuras de canalización y depuración del agua recogida.



El ciclo natural del agua consta de varias fases: evaporación, condensación, precipitación e infiltración. Todas ellas son de vital importancia para que el agua mantenga los niveles de vida estables y permita el desarrollo de un territorio sano. El ciclo urbano del agua, por su parte, ha abandonado las trazas originales del lugar y provoca problemas económicos y medioambientales de difícil solución.

##### Efecto isla de calor:

La impermeabilización de las superficies urbanas: calles, aceras, aparcamientos, cubiertas... provoca un incremento de la temperatura de hasta 6 °C en el centro de las ciudades.

##### Concentración de escorrentías:

Las superficies urbanas impermeables provocan una rápida concentración del agua precipitada en breves lapsos de tiempo, obteniéndose como resultado inundaciones y avenidas altamente contaminadas y difícilmente absorbibles por las redes urbanas de saneamiento y alcantarillado.



##### Clasificación

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible deben entenderse como componentes de una red de gestión y no como elementos aislados capaces de resolver el tratamiento del agua de modo individualizado.

Dicha red de Gestión comprende actuaciones de prevención, gestión en origen, gestión en el transporte y gestión en el tratamiento previa a la infiltración definitiva, y conlleva a la siguiente clasificación:

# D&TT. Rutas hidrogeológicas

## Los Caminitos de agua



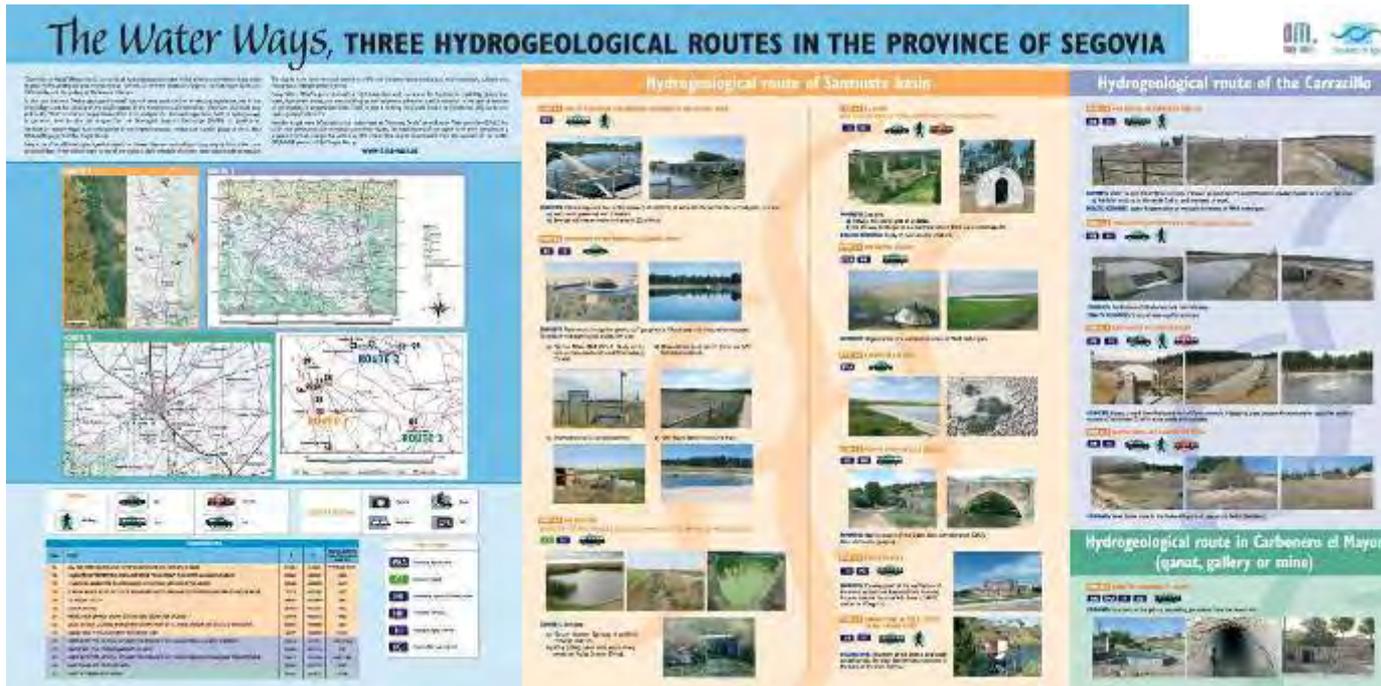
**The Water Ways, THREE HYDROGEOLOGICAL ROUTES IN THE PROVINCE OF SEGOVIA**

Overview of the project and its objectives, including the role of the IAH-UNESCO-MAR and MAR-NET networks.

**Hydrogeological route of Salamanca basin**

**Hydrogeological route of the Carrizillo**

**Hydrogeological route in Carbenosa de Mayor (sanat, gallery or mine)**



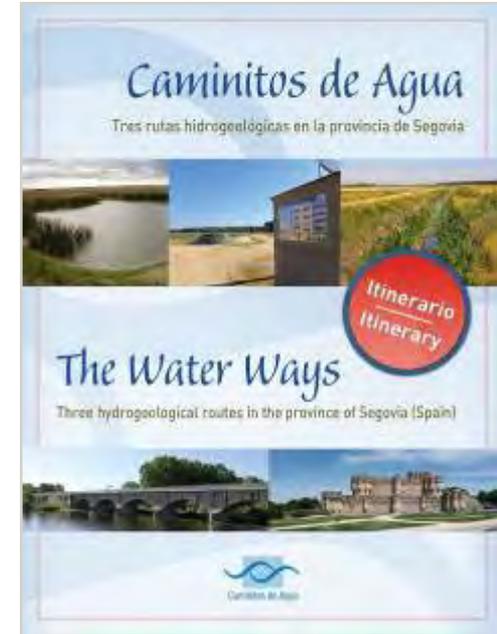
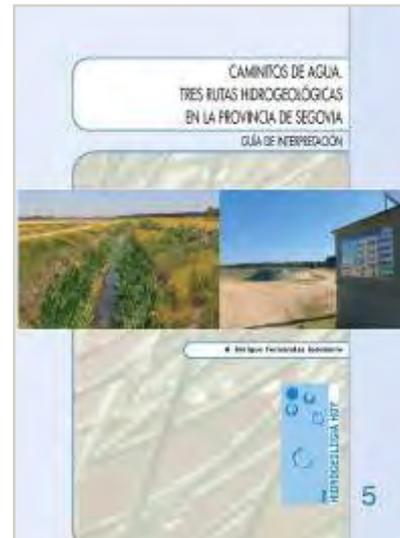
**Caminitos de Agua**

Tres rutas hidrogeológicas en la provincia de Segovia

**Itinerario Itinerary**

**The Water Ways**

Three hydrogeological routes in the province of Segovia (Spain)

- “Demonstration site”
- IAH-UNESCO-MAR
- MAR-NET

# IGRAC

## International Groundwater resources Assessment Centre

### Proyecto 100\$



#### 40 Groundwater and artificial recharge



#### Sand dam

##### Sand dam, Kitui, Kenya

In Kitui, Kenya, 'sand dams' are placed across a bed of intermittent small rivers, consisting of a 1.5-2 m high impermeable barrier. In fact, this barrier is built from stone or concrete, placed on a firm impermeable layer of rock or clay. During periods of high flow, sand and gravel accumulate here, giving the dam its name.

Runoff water infiltrates these highly permeable deposits and the bordering riverbanks, creating an artificial aquifer, which can store up to 35 % of its total volume as groundwater. Water is captured through a scope hole, hand-dug well or tube well, supplying water to nearby villagers in the dry season.

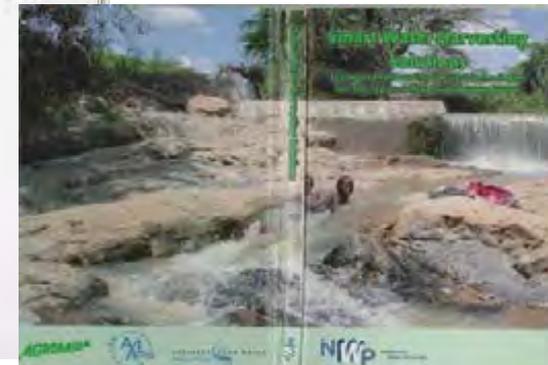
##### Applying conditions:

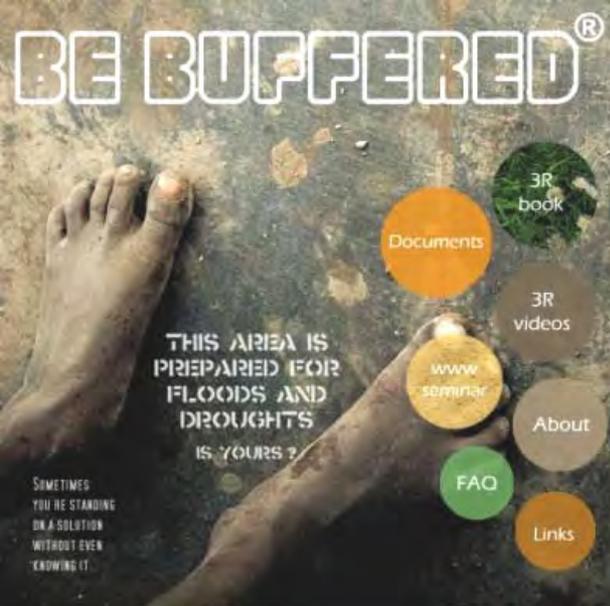
- Intermittent rivers in regions with semi-arid climates and erratic but intensive rainfall.
- Sandy riverbeds experiencing high sediment loads after heavy rain storms.
- River valleys with gradients between 1% and 2% are favourable.
- The dam location should be chosen carefully to ensure the highest storage capacity and convenience at minimum cost.

##### Advantages:

- Clean, good quality water due to the filtering effect of sand.
- Underground storage means limited evaporation, less chance of pollution and no breeding of surface water disease vectors.
- During a period of serious drought, some dams still provide water.
- Water is also stored in the riverbanks. Through the increased base flow from the banks, the riverbed can be recharged during the dry season.
- Low maintenance (costs) and long life.

▲ Sand dam in dry season in Kitui district, Kenya (photo: Garst & Haas).  
Sand dam overflowing in wet season in Kitui district, Kenya (photo: M. Hoogmoed).





# Proyecto 3R:

Recharge  
Retention  
Reuse

Managing the Water Buffer for Development  
and Climate Change Adaptation

Groundwater Recharge, Retention, Reuse and Rainwater Storage

Actividades en Kenia, Paraguay, Yemen, Níger, India. Sri Lanka, Brasil, Namibia, Perú, Tanzania, Senegal, Nepal, Holanda., Marruecos, China...



<http://www.bebuffered.com/>

# Resumen y conclusiones

1. La técnica M.A.R. está infrautilizada en España. Hay tres dispositivos de “gran envergadura”, cuando un 16% de España es susceptible.
2. El análisis económico refrenda su efectividad y buena adecuación a la realidad hídrica española del siglo XXI.
3. La técnica constituye una *driving force* y es adecuada para fines medioambientales y paliativa de los efectos del cambio climático.
4. Interesantes posibilidades para su mayor implantación en esquemas de gestión hídrica integral, especialmente en reutilización.
5. Cada Estado debería facilitar los mecanismos de participación pública y mejorar el nivel de información y formación general, así como promover nuevas experiencias, si bien la responsabilidad es compartida.
6. Tras las reglas de las tres erres y eses... Idea-fuerza de las tres Tes...

The key is  
the storage!

# Coordenadas y agradecimientos

[aefernand@geo.ucm.es](mailto:aefernand@geo.ucm.es)

[www.dina-mar.es](http://www.dina-mar.es)



Universidad  
Complutense  
Madrid



Muchas gracias  
*09JUN2011*



JORNADAS TÉCNICAS SOBRE LA  
RECARGA ARTIFICIAL  
DE ACUÍFEROS  
Y REUSO DE AGUA

Torre de Ingeniería, UNAM, México D.F.  
9 y 10 de junio de 2011

