

SAT-MAR y regadío en el acuífero Los Arenales Castilla y León. España. ¿A dónde vamos y qué hay en el camino?

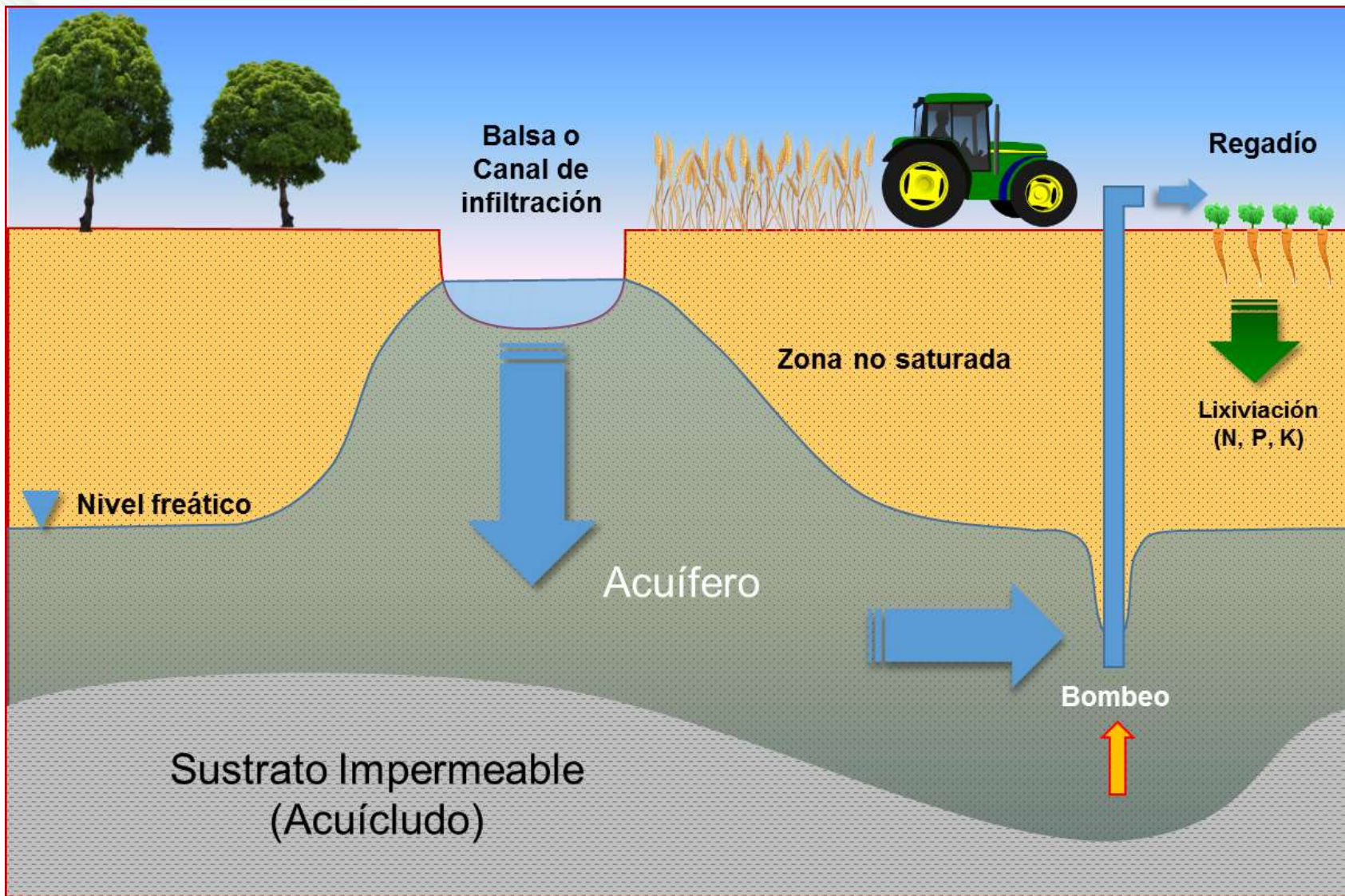
Dr. Enrique Fernández Escalante. Grupo Tragsa - IAH MAR Commission
efernan6@tragsa.es



SECRETARÍA
DE DESARROLLO RURAL



RECARGA EN CANALES Y BALSAS (USO AGRÍCOLA)



PERFIL TIPO DE UN DISPOSITIVO DE RECARGA ARTIFICIAL (CANAL) EN "CONTROL LATERAL" EN UNA ZONA REGABLE



https://es.wikipedia.org/wiki/Recarga_artificial_de_acuíferos

Guidelines

Australian Government Initiative

WATER QUALITY AUSTRALIA

Introduction to water quality | Guidelines | Your water quality planning | Issues affecting water quality | Projects and initiatives | About | Co

Home > Australian Guidelines for Water Recycling

Water Quality

Introduction to water quality

Guidelines

Your water quality planning

Issues affecting water quality

Projects and initiatives

About

Contact

Australian Guidelines for Water Recycling

Water-recycling-guidelines-mar-24.docx

Site

Main site

Was this page helpful?

NSW GOVERNMENT

State Government Victoria

NORTHERN TERRITORY GOVERNMENT

GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA

<https://www.waterquality.gov.au/media/89>

AR-1530
EPA/600/R-12/618 | September 2012

EPA
United States
Environmental Protection
Agency

2012
Guidelines for Water Reuse

USAID
U.S. Agency for International Development

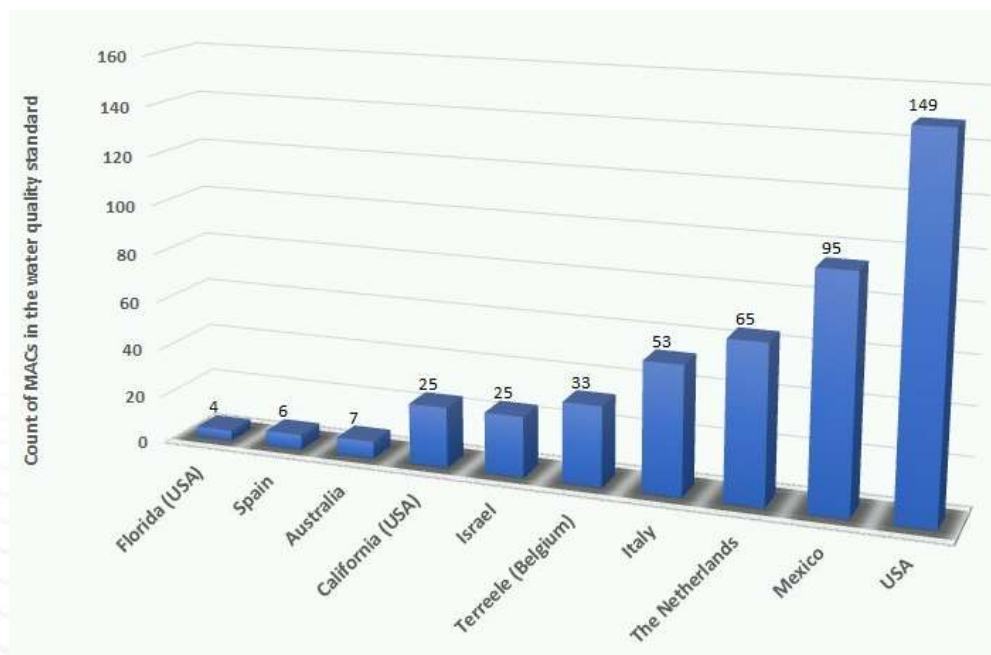
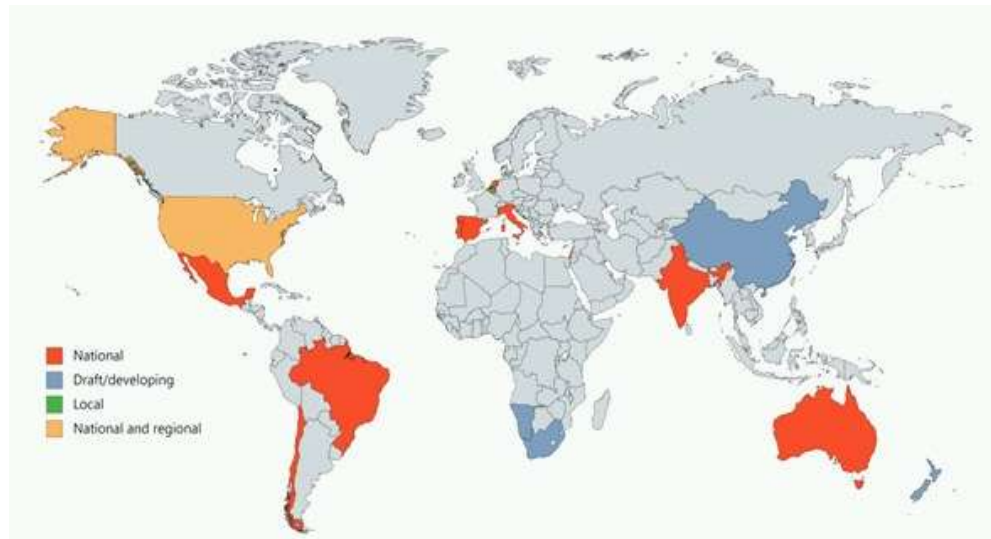
CDM
Smith

Download: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf>

Directrices europeas inminentes desde reglamento 601/2020

Legislación internacional

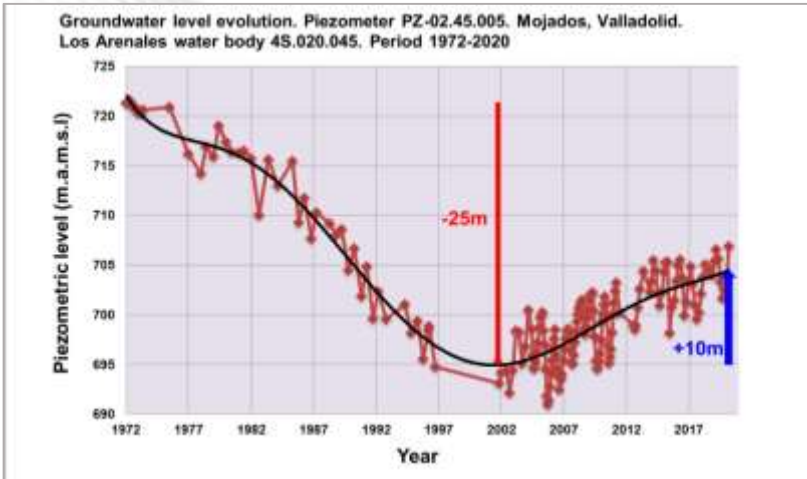
Country	Scope	Soft/hard	Type	Year	MACs	Most used MAR techniques
Arizona (USA)	Regional	Hard	Guidelines	1994		ASR*, basins
Australia	National	Soft	Guidelines	2009	X	ASR, basins
California (USA)	Regional	Hard	Guidelines	2012	X	ASR, SAT-MAR
Chile	National	Soft	Regulation	2013		Multiple
Florida (USA)	Regional	Soft	Guidelines	1999	X	ASR, basins
India	National	Soft	Draft Guidelines	2014		Multiple
Italy	National	Hard	Regulation	2016	X	RBF**
Mexico	National	Hard	Regulation	2003&2009	X	Basins
Portugal	National	Hard	Regulation	2000		Multiple
South Africa	National	Hard	Draft regulation	2004		Basins, ASR
Spain	National	Hard	Regulation	2007	X	SAT-MAR*** (reuse)
The Netherlands	National	Hard	Regulation (under review)	1993	X	SAT-MAR, dunes, ASR
Israel (Shafdan)	Local-National ¹	Hard	Operator rules	From 1966	X	SAT-MAR, basins
Torrele (Belgium)	Local	Hard	Operator rules	2012	X	SAT-MAR, dunes
USA	National	Soft	Regulation	1974&2019	X	ASR, multiple
WFD	International	Soft	Regulation	2000		Basins, ASR
WHO guidelines*	-	Soft	Guidelines	2001		SAT-MAR (reuse)
Windhoek (Namibia)	National	-	Guidelines. Regulation proposal	2004		Basins, interdunal, ASR



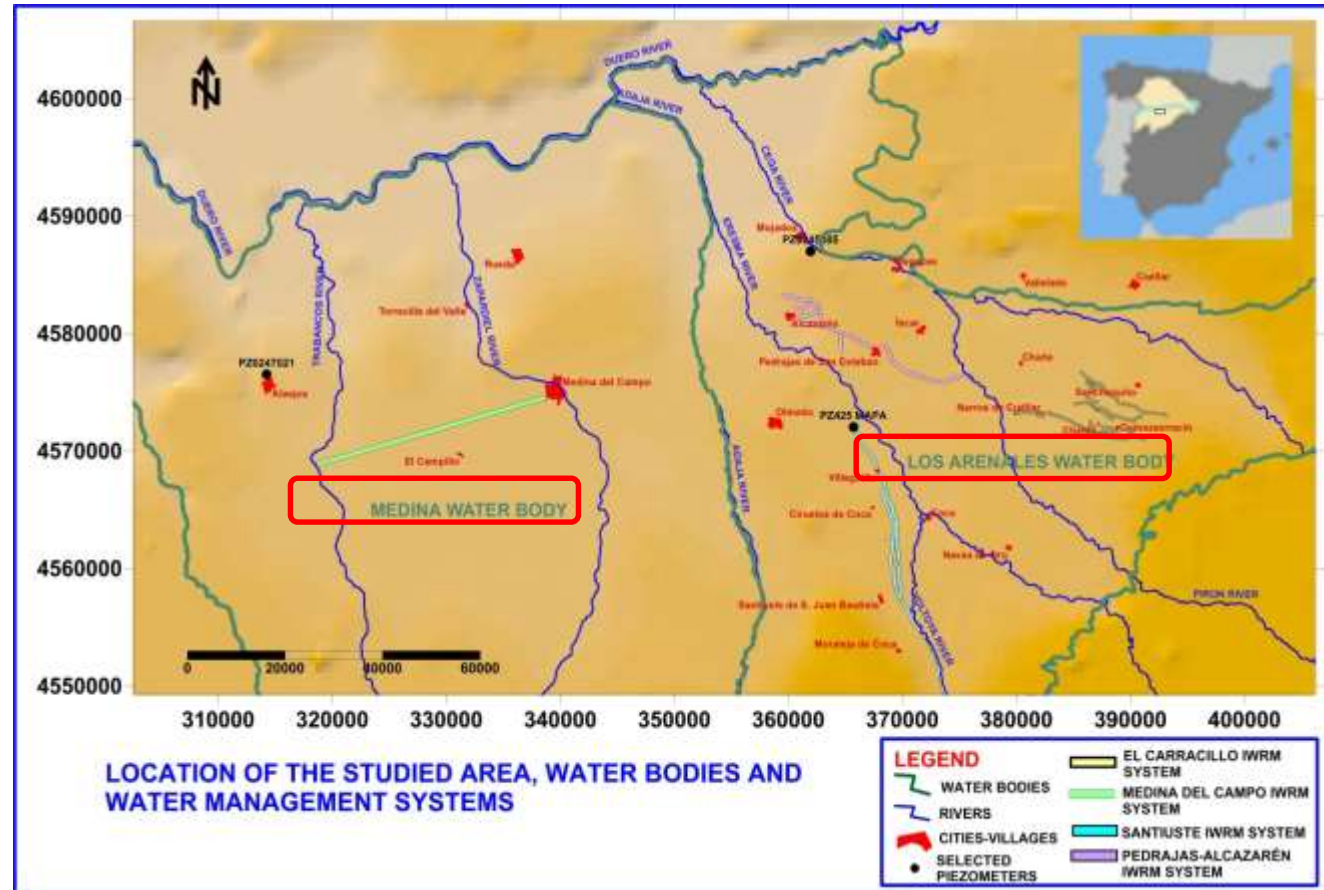
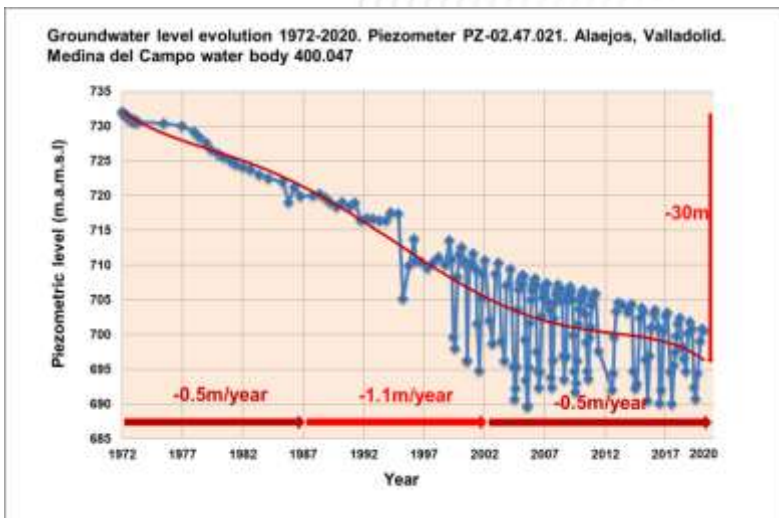
<https://www.acquesotteranee.net/index.php/acque/article/view/462>

Los Arenales

Background y problemática



Los Arenales. 1972 – 2002
 Descenso acumulado GW: 25 m
 Pequeña recuperación por MAR: > -15 m (+10).



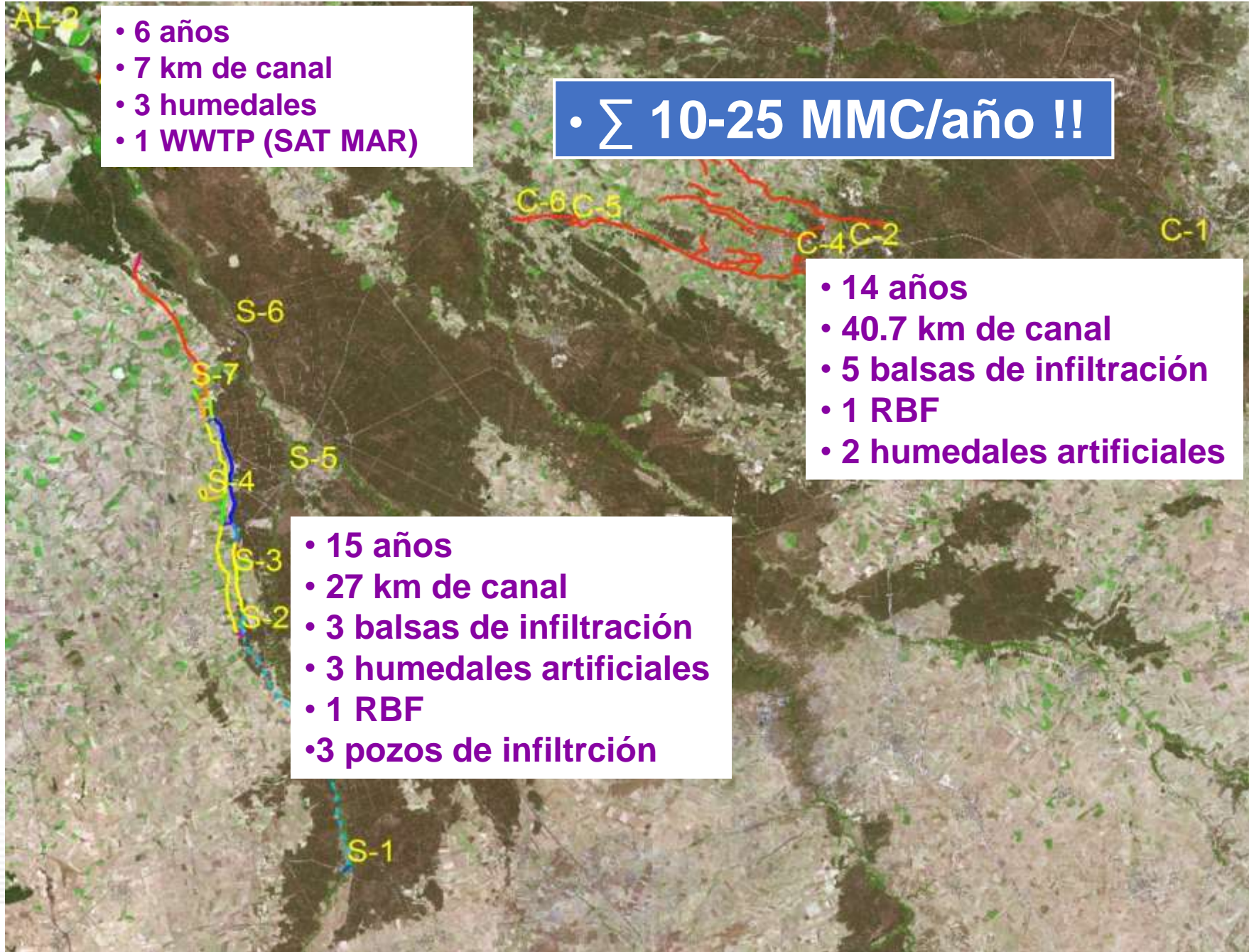
- Acuífero libre (e. hasta 46 m)
- Arenas eólicas (S=15%)
- Extenso
- Regulado
- Monitorizado

Water Exploitation Index (WEI)

Ley de Aguas, Art. 40:

Cada masa de agua con **WEI por encima de 0.80 requiere la intervención de las autoridades del agua**

- ✓ Los Arenales: **1.30**
- ✓ Medina del Campo: **1.65**



- 6 años
- 7 km de canal
- 3 humedales
- 1 WWTP (SAT MAR)

• Σ 10-25 MMC/año !!

- 14 años
- 40.7 km de canal
- 5 balsas de infiltración
- 1 RBF
- 2 humedales artificiales

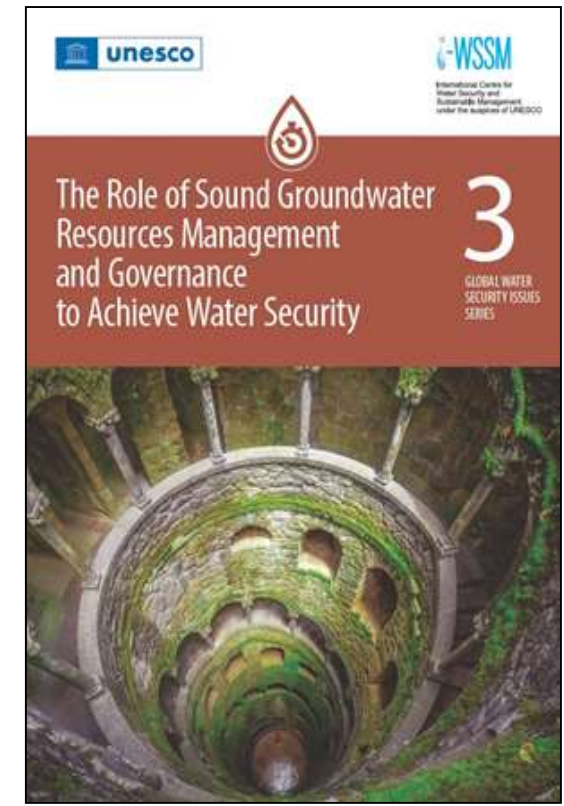
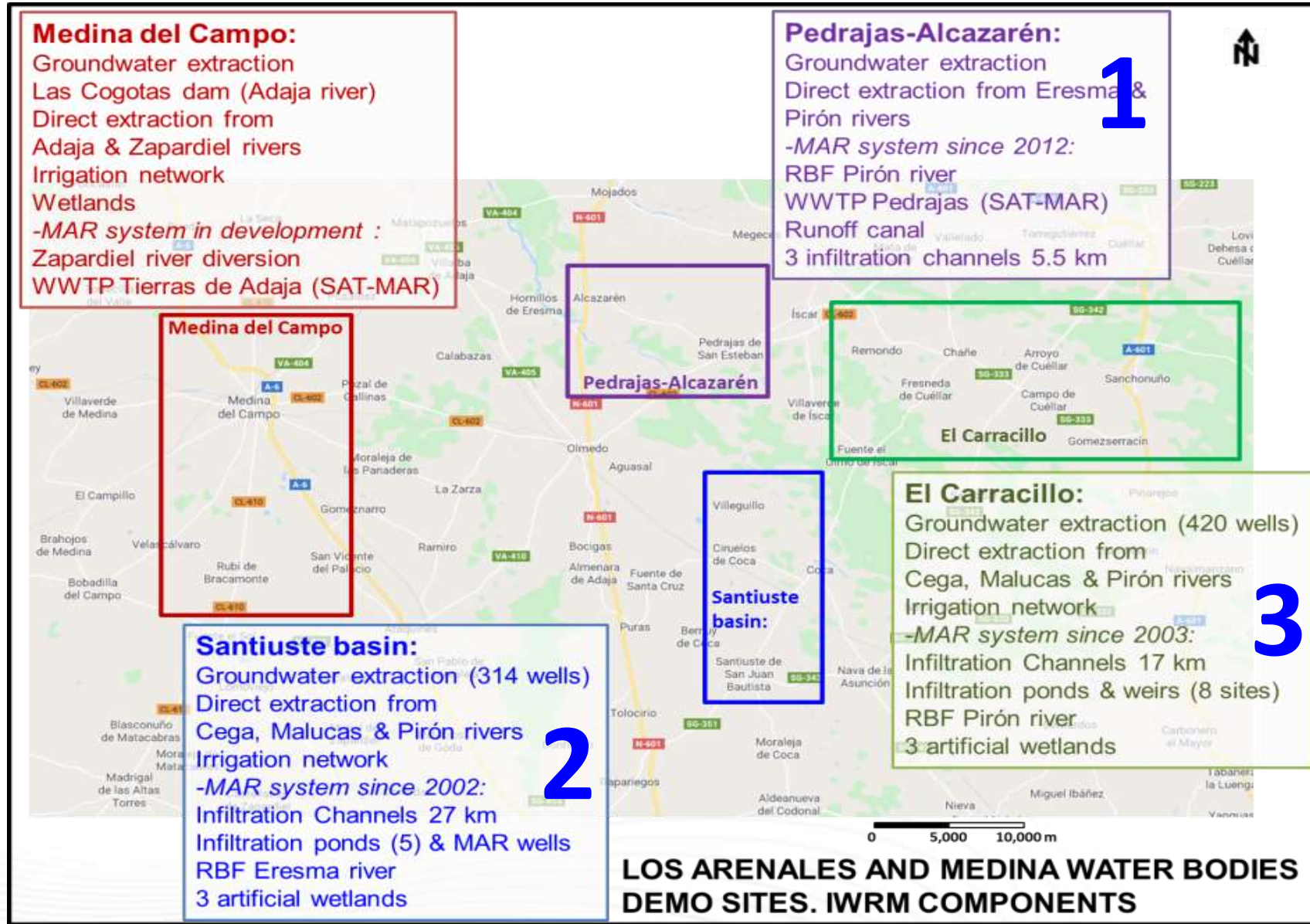
- 15 años
- 27 km de canal
- 3 balsas de infiltración
- 3 humedales artificiales
- 1 RBF
- 3 pozos de infiltración



<https://dinamar.tragsa.es/pdf/dina-mar-2007-2011-libro.pdf>



https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/manejo-recarga-acuiferos-ehl.pdf



<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379093>

- **SAT-MAR en LA MORAÑA. Parado en la actualidad.**
- **Medina del Campo: incipiente**

1- PEDRAJAS-ALCAZARÉN

LOS ARENALES. SAT-MAR DE PEDRAJAS-ALCAZARÉN

Masa de agua Los Arenales:
7.754 km²
96 municipios en Valladolid,
Segovia y Ávila.
46.000 habitantes.

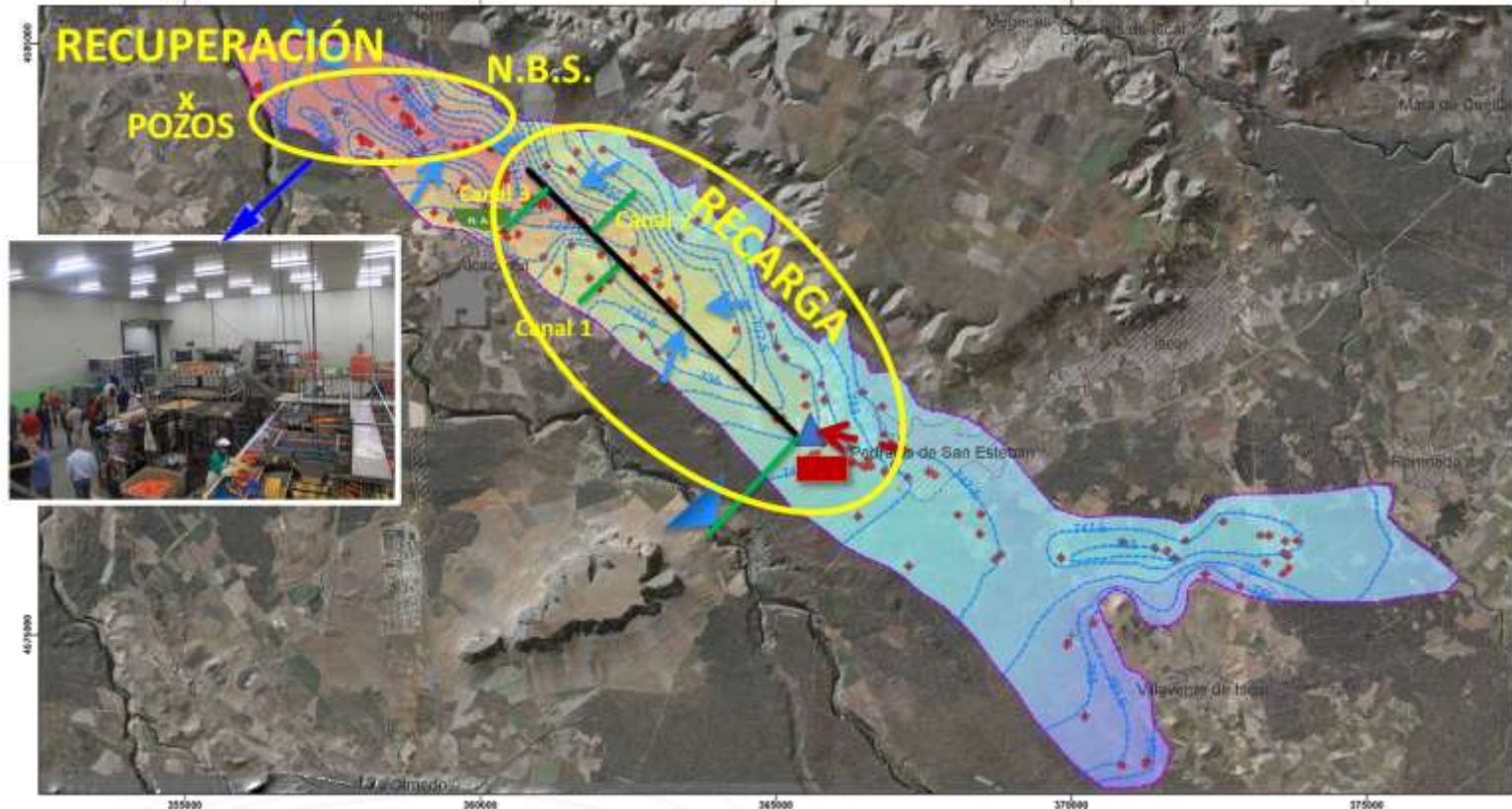


- Desde 2003
- 17 km de canales de infiltración
- 14 puntos de distribución
- 16 balsas de infiltración
- 1 RBF
- 3 humedales artificiales



- Desde 2012
- 1 RBF > SAT-MAR
- 5,5 km de canales

- Since 2002
- 27 km de canales de infiltración
- 5 Balsas de infiltración
- 3 Humedales artificiales
- 1 RBF
- 3 pozos de infiltración



PROBLEMA: Explotación intensiva.

Disminución del nivel freático hasta 15 m en 30 años

SOLUCIÓN: 2012: nueva experiencia MAR para asegurar la sostenibilidad del acuífero, RIEGO Y AGROINDUSTRIA

Extensión del acuífero: 23 x 2,5 km²

Topología

ESQUEMA DEL ÁREA DE ALCAZARÉN



Humedal artificial nº2



Válvula 2 - toma de muestras

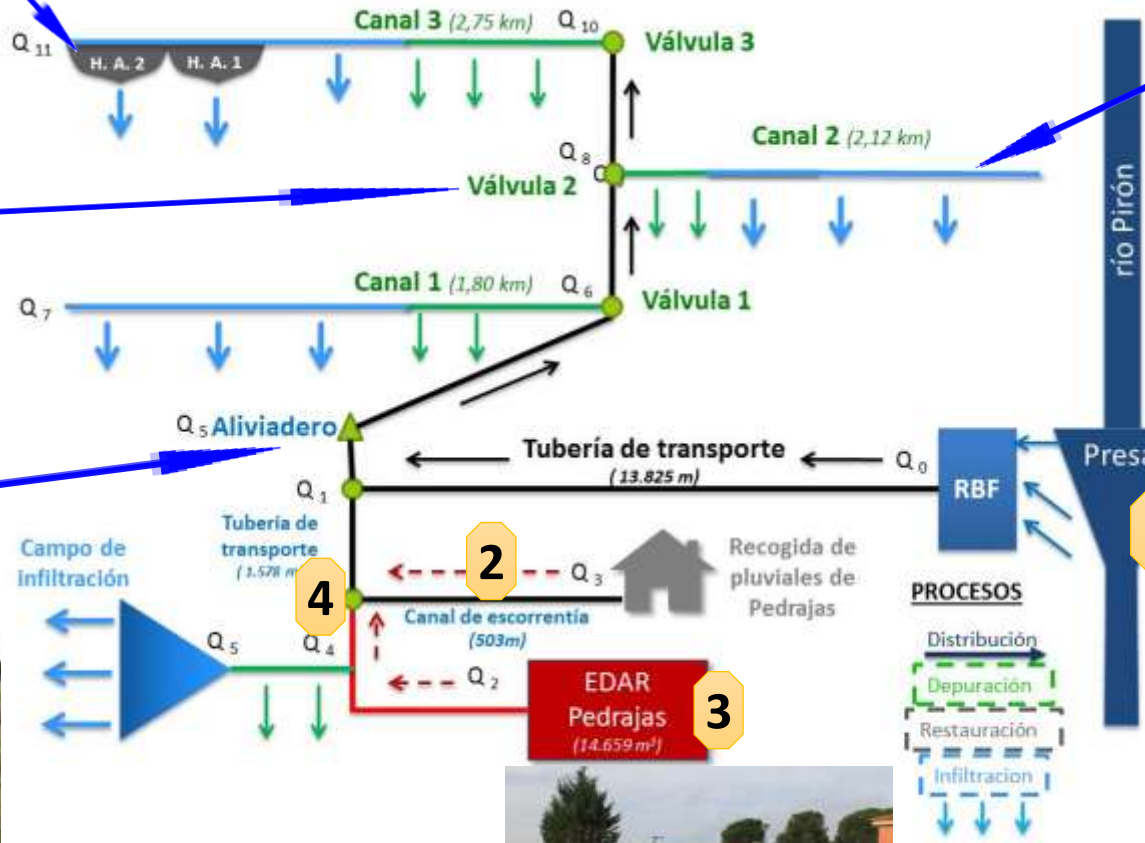


Aliviadero



Punto de conexión

- ✓ 9 años de operatividad
- ✓ 7 km de canales
- ✓ 2 estanques regenerados
- ✓ 1 balsa de infiltración
- ✓ 1 EDAR (SAT - MAR)
- ✓ 1 RBF



Canal de Infiltración nº2



Presas río Pirón



Canal de escorrentía procedente de Pedrajas



EDAR de Pedrajas

DIVERSIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA

Toma de 3 fuentes diferentes:

AGUA PROCEDENTE DEL
RÍO PIRÓN



AGUA DE LLUVIA PROCEDENTE
DE LOS TEJADOS DEL
MUNICIPIO DE PEDRAJAS >
CANAL DE ESCORRENTÍA



AGUA REGENERADA DE LA
EDAR DE PEDRAJAS
(TRATAMIENTO SECUNDARIO
AVANZADO)

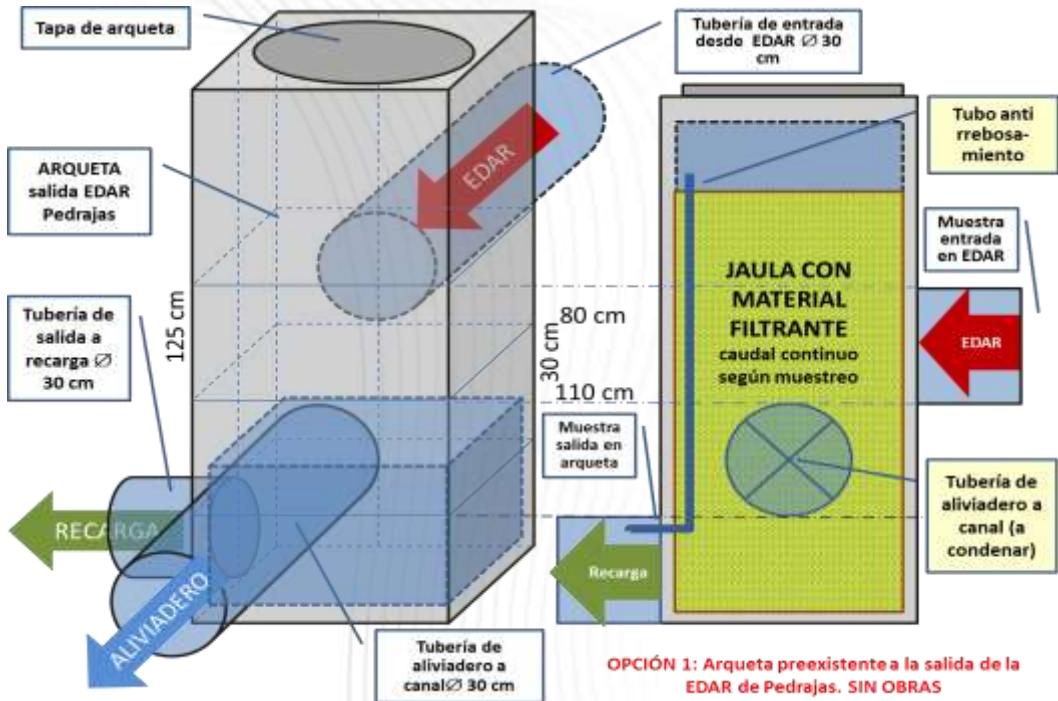


- Operatividad del sistema independientemente de excedentes y concesiones
- Mezclas de aguas: *“Dilution as a solution to pollution”*

Tratamiento in itinere

Ensayos químicos y medidas de purificación en las conducciones (1)

En el marco del **proyecto MARSOL**, se realizaron una serie de ensayos, donde se forzó a pasar el agua regenerada por distintos filtros reactivos inorgánicos y orgánicos.

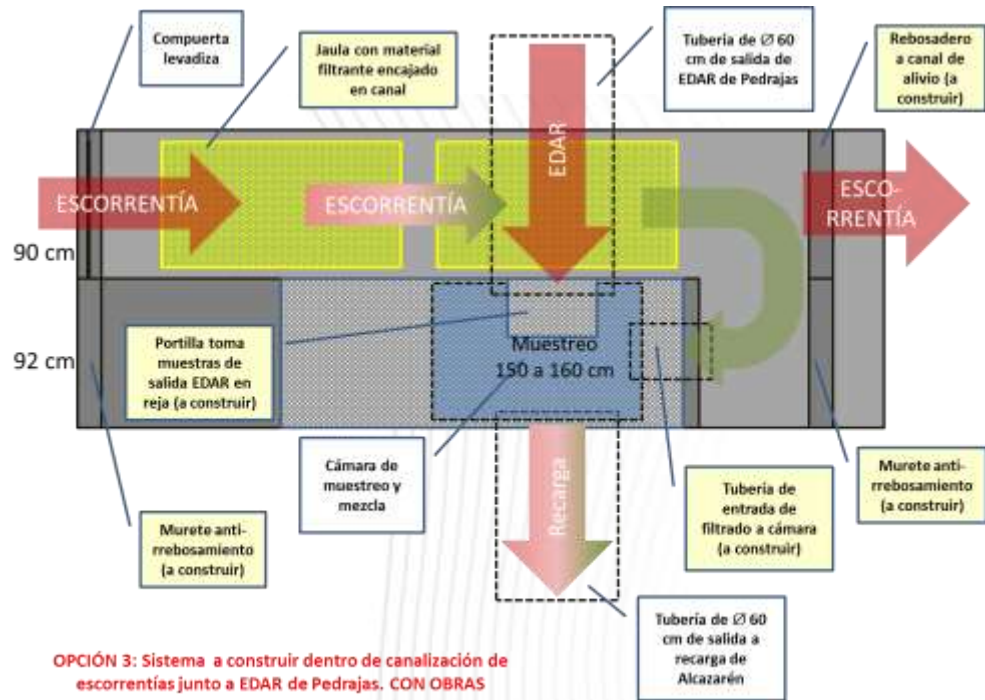


- ✓ **Objetivo:** Mejorar la calidad del agua de recarga y monitorear la evolución de las diferentes mezclas de agua.
- ✓ **Primera etapa:** FEB 2016, se realizaron **modificaciones** en el filtro-caja anterior a la salida de la EDAR.
- ✓ Se insertó un **filtro de grava** en el interior de la caja para mejorar el proceso de filtración.

Debido a la **fricción** y los problemas ocasionados se construyó una **nueva construcción** a 100 m de la tubería de salida (**punto de convergencia** del canal de escorrentía, el río y la EDAR) (segunda etapa).



ENSAYOS Y MEDIDAS DE PURIFICACIÓN EN LAS CONDUCCIONES (*in itinere*)



CALENDARIO DE FILTROS

Nº campaña	fecha	Tipo de filtro
1	15-mar-2016	12-20 Ø grava silíceas
2	20-abr-2016	20-40 Ø grava calcárea
3	09-jun-2016	6-12 Ø grava silíceas+ DBP 50 Cl ₂
4	29-jun-2016	Corteza de pino+ geotextiles
5	14-jul-2016	Corteza de pino+ geotextiles + DBP 50 H ₂ O ₂
6	27-jul-2016	Corteza de pino+ geotextiles + DBP 100 Cl ₂

17 parámetros analizados en laboratorio:

- Temperatura in situ
- O₂ (OTD)
- Conductividad
- DBO₅
- DQO
- STD
- ph
- SS
- Turbidez (NTU)
- COD
- Fases N (total, Kjeldahl, nitratos, nitritos, amonio)
- Nematodos
- *E. coli*.
- ...



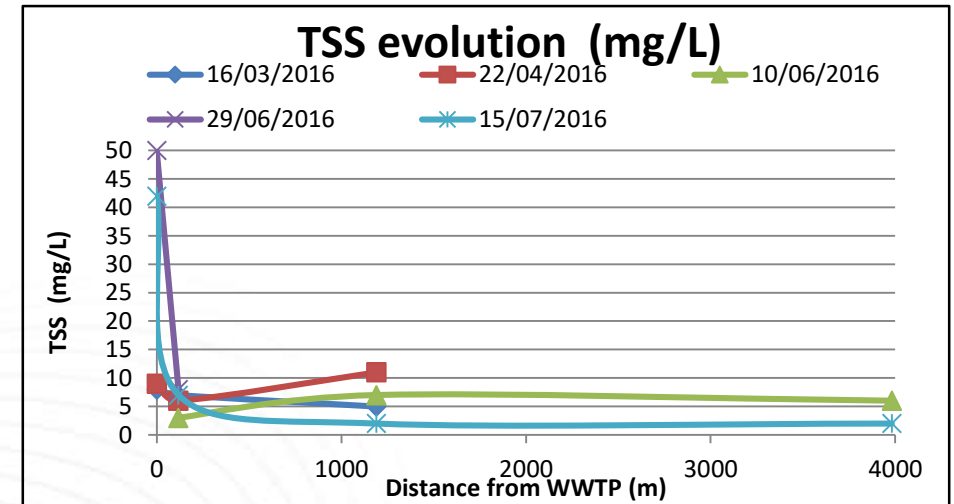
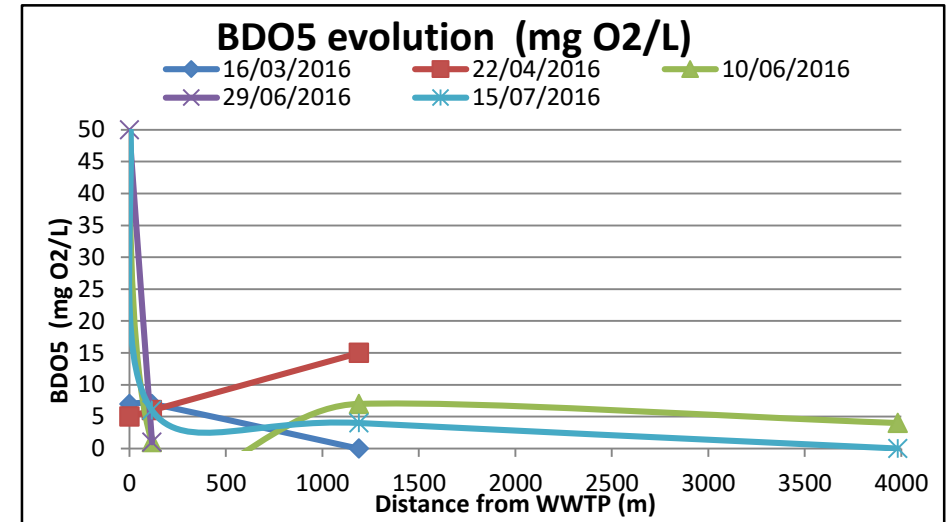
Resultados (1)

Evolución de la calidad del agua regenerada

DBO₅: El efecto de los filtros es **claramente positivo**. Hay un descenso general a lo largo de la tubería (a excepción del filtro de grava calcárea donde aumenta considerablemente). Las diferentes campañas DBP resultan efectivas con una disminución progresiva de este parámetro.

DQO: tiene un comportamiento paralelo.

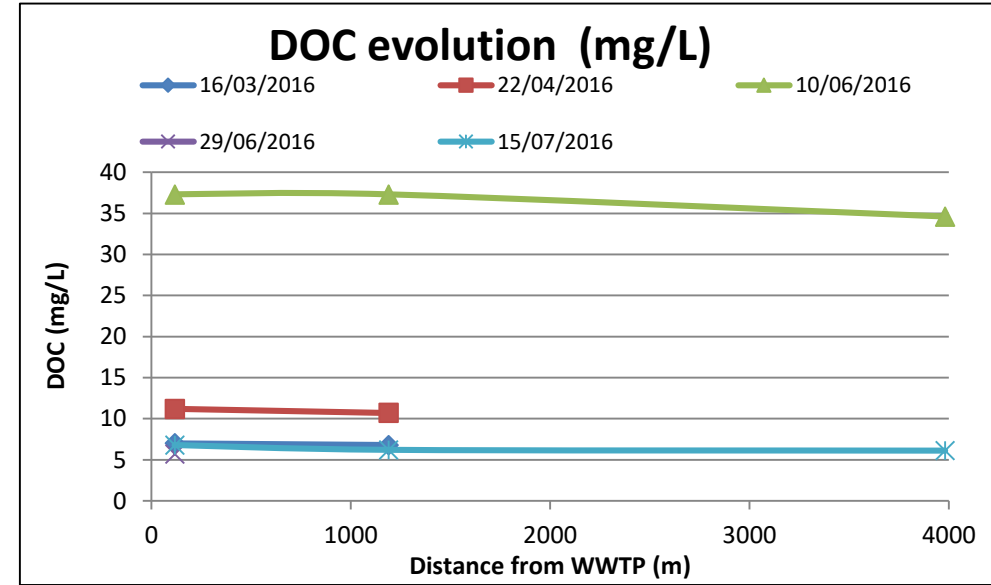
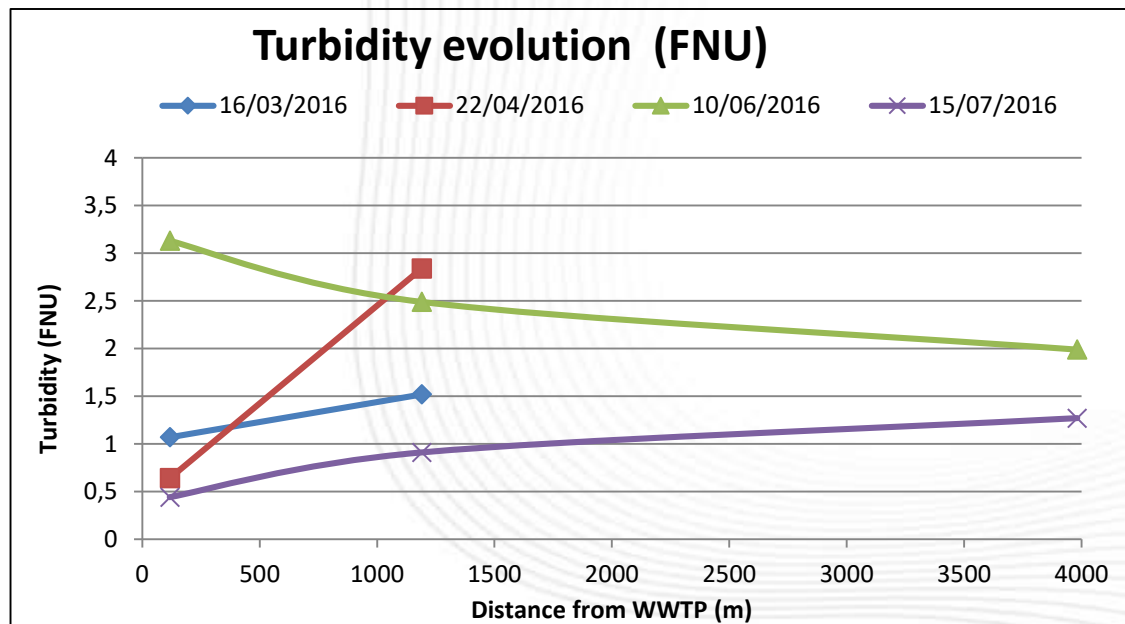
TSS y TSD: para el total de sólidos suspendidos y la evolución de los sólidos disueltos se observa una **tendencia general a disminuir**, excepto en la segunda campaña, utilizando la grava calcárea como filtro, donde aumenta.



Resultados (2)

COD: Este es el único parámetro con una **tendencia general a disminuir**. El mayor descenso se observa en el filtro de menor diámetro y por tanto de mayor selectividad.

Evidentemente, la adición de cloruro también influye de manera positiva en su descenso. Y éste es más pronunciado con la adición de H_2O_2 .



Turbidez (NTU): En contra de lo que se pueda pensar, la evolución de la turbidez experimenta un **ascenso!!**, excepto en la 3ª campaña, donde el uso del filtro constituido por arena y gravilla provoca el efecto esperado.

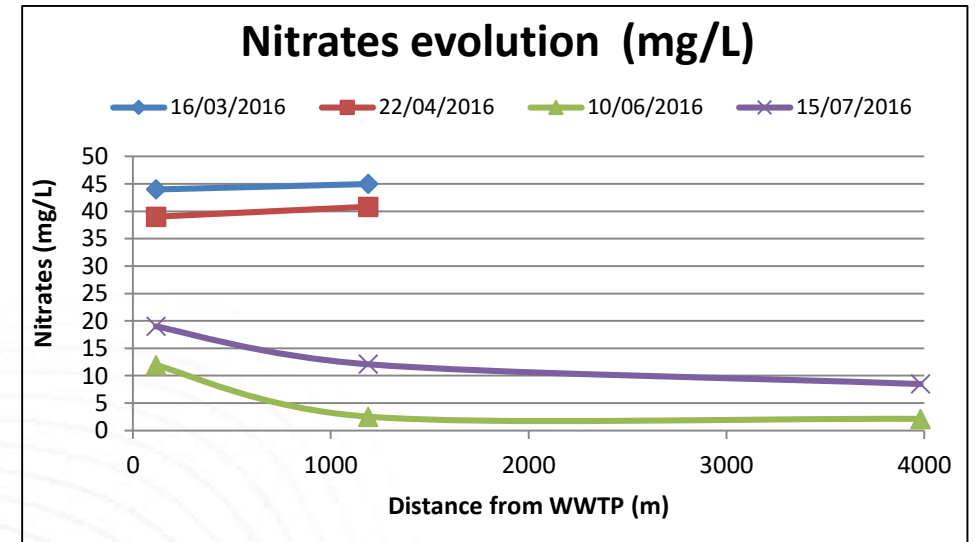
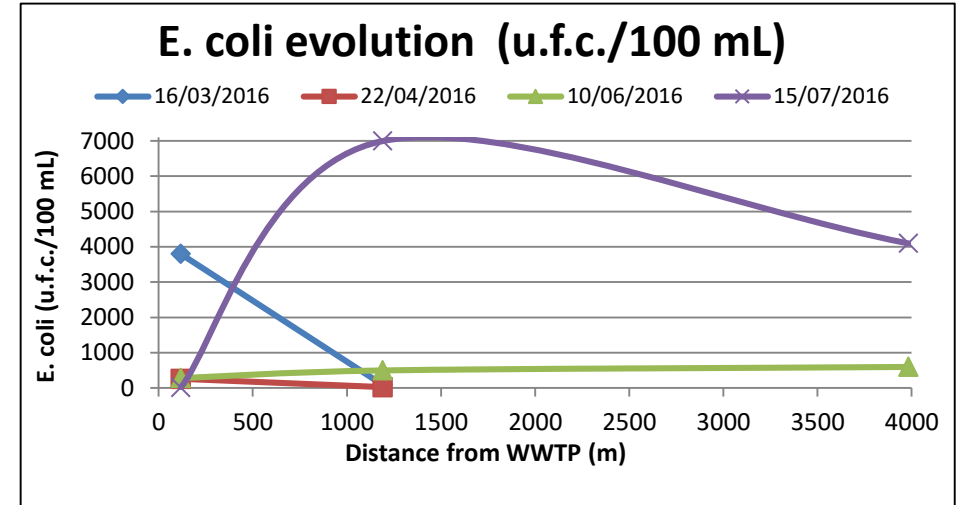
Incluso la adición de peróxido de hidrógeno no consigue disminuir la turbidez (*puede deberse a un alto componente inorgánico o condiciones ambientales –lluvia-*).

Resultados (3)

E. coli: Se observa un claro descenso durante la primavera.

Una vez que comienza el verano, este tipo de bacterias resurgen con cierta intensidad a lo largo del circuito.

Fueron eliminados *in itinere* por la acción desinfectante del cloruro.



Nitrógeno: La evolución de la mayoría de las fases del nitrógeno no parecen seguir ningún patrón, a excepción de los **nitratos**, que tienden a la baja, **especialmente** en los ensayos donde se aplicaron **desinfectantes y filtros reactivos**.

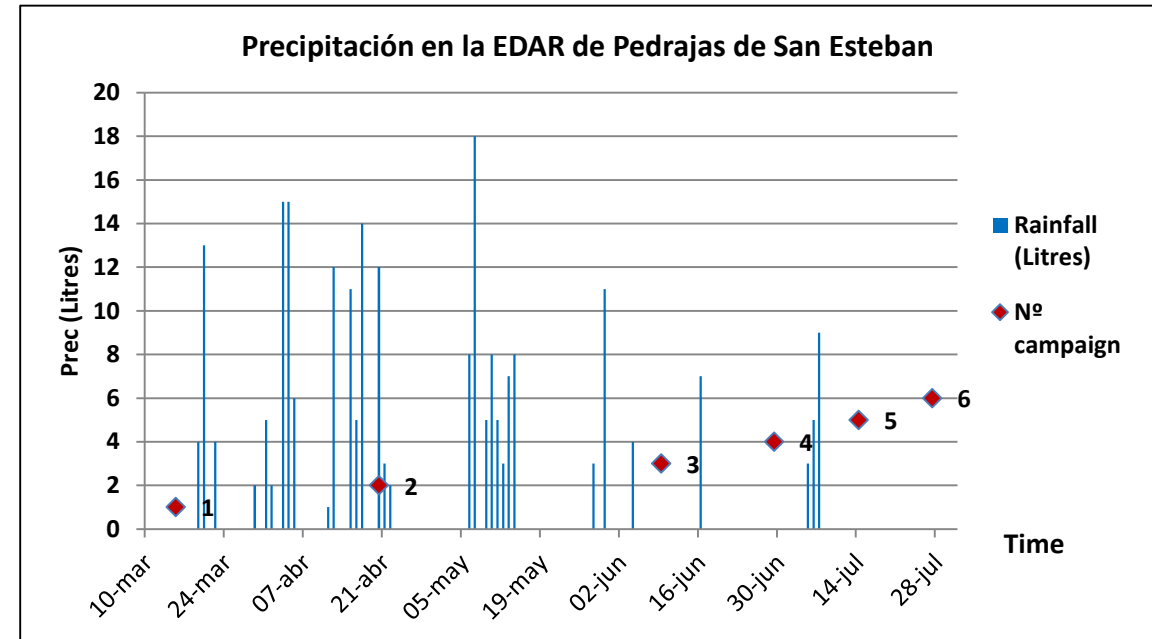
Resultados (4)

Debido al **escaso tiempo de interacción** (factor limitante del estudio) del agua con los filtros de grava calcárea o silíceo, no se han observado importantes diferencias en la composición química del agua, **pero sí patrones e indicios que nos permiten afirmar el efecto positivo de los filtros.**



-El **uso de geotextiles** también retiene cierta cantidad de sólidos en suspensión (SS) teniendo una influencia poco apreciable en la composición de agua regenerada.

CUIDADO CON LA LLUVIA Y LA DILUCIÓN EN LOS RESULTADOS!



-No se observó **cloruro residual** en el agua regenerada (atribuible a la presencia de materia orgánica en algunos tramos de la tubería).

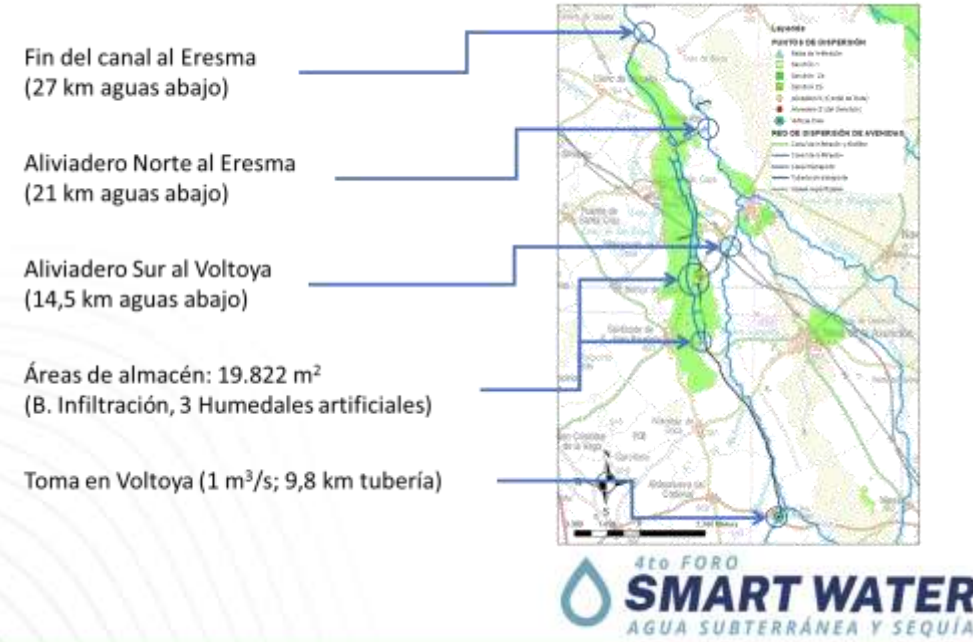
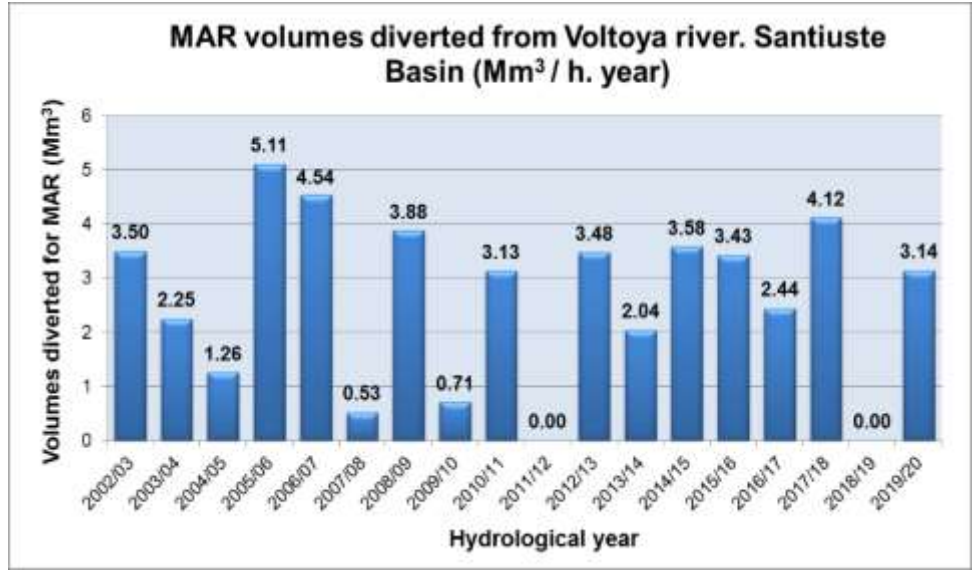
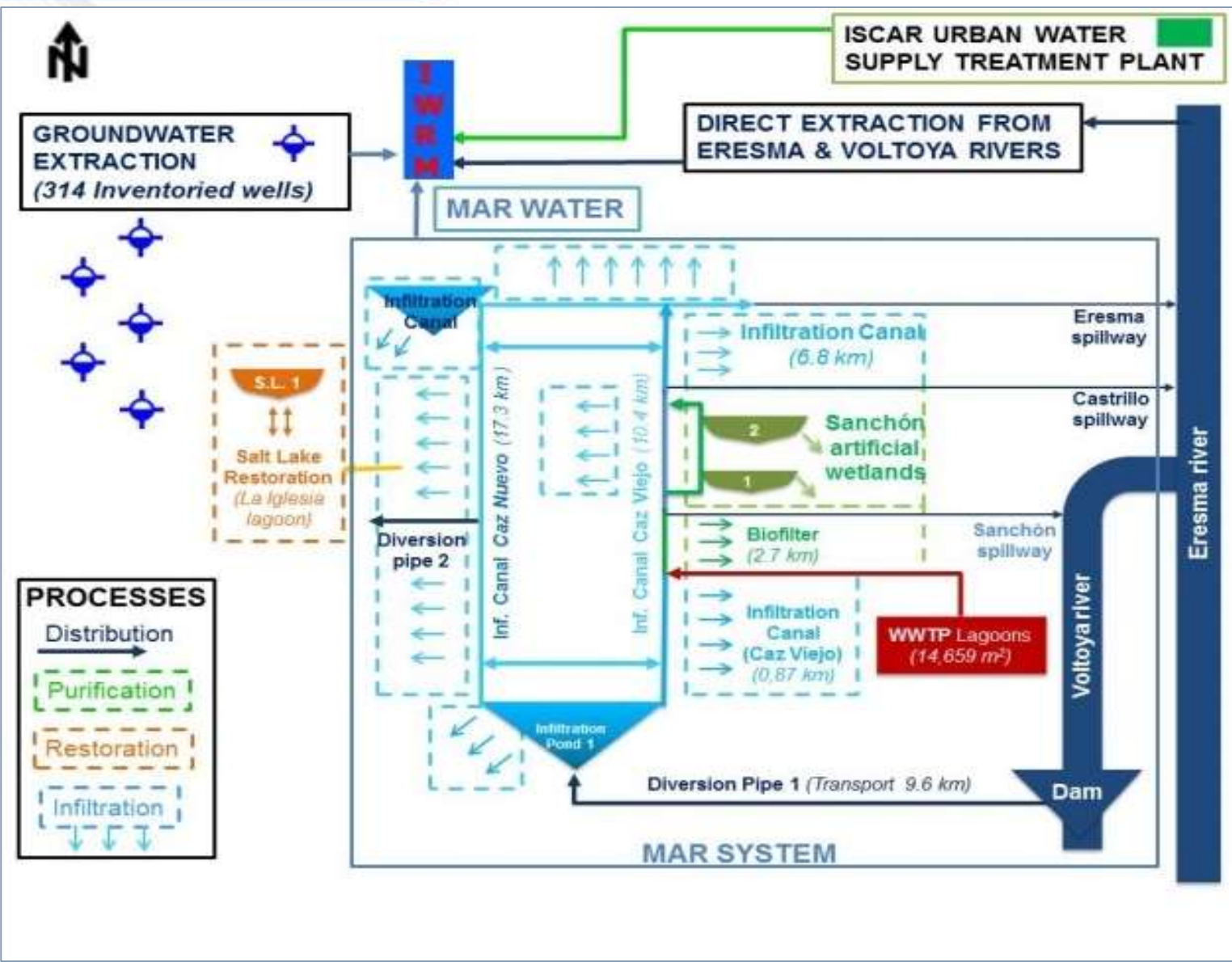
CONCLUSIONES 1

- Todos los **filtros** tuvieron cierto efecto sobre la calidad del agua, resultando más **positivos** aquellos medios filtrantes con **menor tamaño de poro**.
- El tratamiento con **desinfectantes** reduce la acumulación progresiva de **COT** y la **colmatación del medio receptor**.
- La incorporación de una **capa reactiva** antes de la recarga con aguas regeneradas **tiene un buen efecto en la reducción de contaminantes** por degradación biológica.
- Después de varias semanas de funcionamiento el material de la **capa reactiva** seguía activa > tecnología **útil para su aplicación a largo plazo**.
- El tratamiento *in itinere* mejora la calidad del agua al mismo tiempo que puede **recargar el acuífero**.
- La **diversificación del agua en origen** mejora la calidad del agua si se mezcla con criterio y se controla su calidad y es una **oportunidad para disminuir la dependencia de las concesiones/ condiciones climáticas**.
- La incorporación de **fuentes de agua no convencionales** en la gestión integrada es primordial para **garantizar la sostenibilidad del recurso y los regadíos**, que son el motor económico de la zona.
- **Actuaciones físicas y bioquímicas en SAT-MAR** son una **forma natural, pasiva y económica de reducir la presencia de ciertos contaminantes** y de **reutilizar las aguas con seguridad (economía circular)**.



2- SANTIUSTE

ESQUEMA TOPOLÓGICO DE SANTIUSTE



SATs...

PRE-TRATAMIENTO DEL AGUA PARA MAR

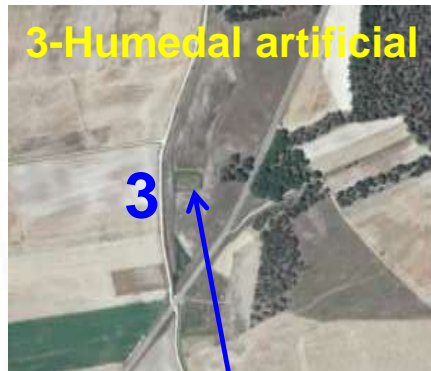


- DISEÑO ESPECÍFICO DE PRESA DERIVACIÓN
- FILTRADO EN CABECERA
- FILTROS INTERMEDIOS
- CONTROL DEL pH (piedra caliza /ácida)
- MEZCLA CON AGUAS REGENERADAS (EDAR)



TRATAMIENTO DEL AGUA PARA RECARGA GESTIONADA ESTRUCTURAS "TRIPLEX":

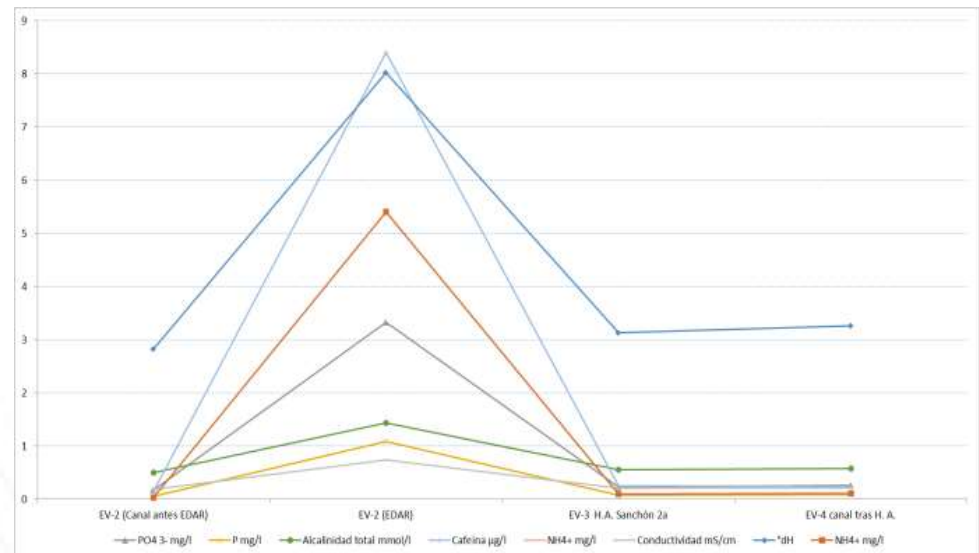
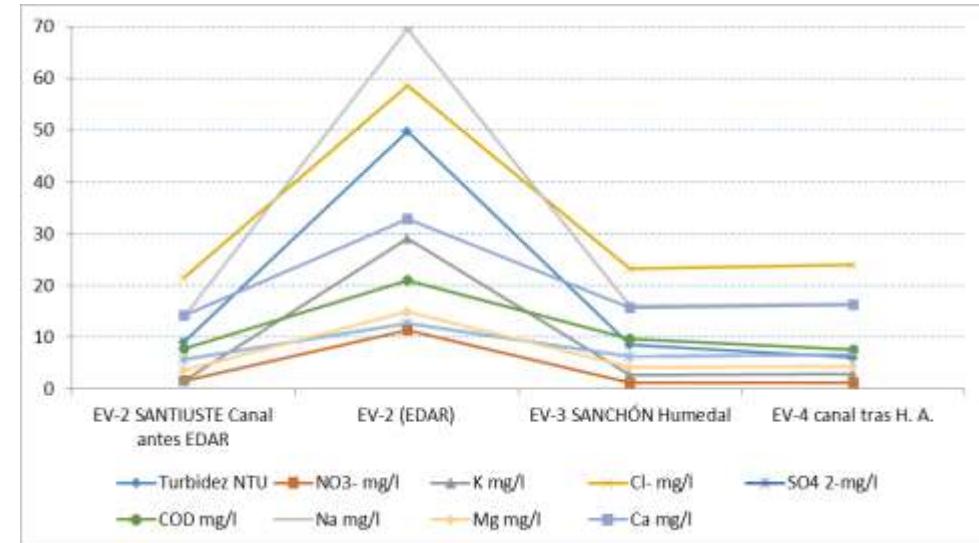
DEPURADORA DE LAGUNAJE - CANAL (BIOFILTRO) - HUMEDAL ARTIFICIAL



La EDAR de lagunaje (1) vierte el agua tratada en el canal, que conserva la vegetación natural en este tramo, funcionando como un biofiltro verde (2), hasta dos humedales artificiales (3).

Una vez tratada, el agua vuelve al canal MAR.

- **Longitud de infiltración:** 1.129 m.
- **Longitud de depuración:** 1.577 m.
- **Condiciones lóxicas:** Calado bajo, velocidad flujo media y desarrollo vegetal en todo el cauce (**corredores biológicos**).
- **Recuperación por dilución “in itinere” y fijación por plantas:** fitoplancton, fitobentos, **macrófitos** (musgos, algas filamentosas, carófitos) y **helófitos** (*Typha, Phragmites*).
- **3 parámetros con disminución significativa en el canal** (Cu, Turbidez y Carbono Orgánico Disuelto) respecto a los humedales.
- **4 parámetros con menor concentración en Humedales** (Fe, P, Fosfatos y Amonio) que en canal.



DEPURACIÓN EN HUMEDALES ARTIFICIALES

TRATAMIENTO

Estación	pH	POR [mV]	OD [ppm]	CE [uS/cm]	STD [ppm]	Salinidad [PSU]	UNT	Tª [°C]
EV-2 (Canal antes EDAR)	7	247	3,62	197	99	0,11	8,2	6,11
EDAR (efluente)	7	60	0,65	720	359	0,4	57,4	7,12
EV-2b (CANAL)	8	103,2	4,72	207	104	0,11	11,1	6,36
EV-3 (H. A. Sanchón 2-a)	8	180	4,2	237	118	0,13	8,4	6,8

3 Humedales artificiales: Sanchón 1 (1.664 m²), Sanchón 2-a (2.418 m²) y Sanchón 2-b (15.740 m²).

Infiltración muy reducida por margas en casi todo el vaso.

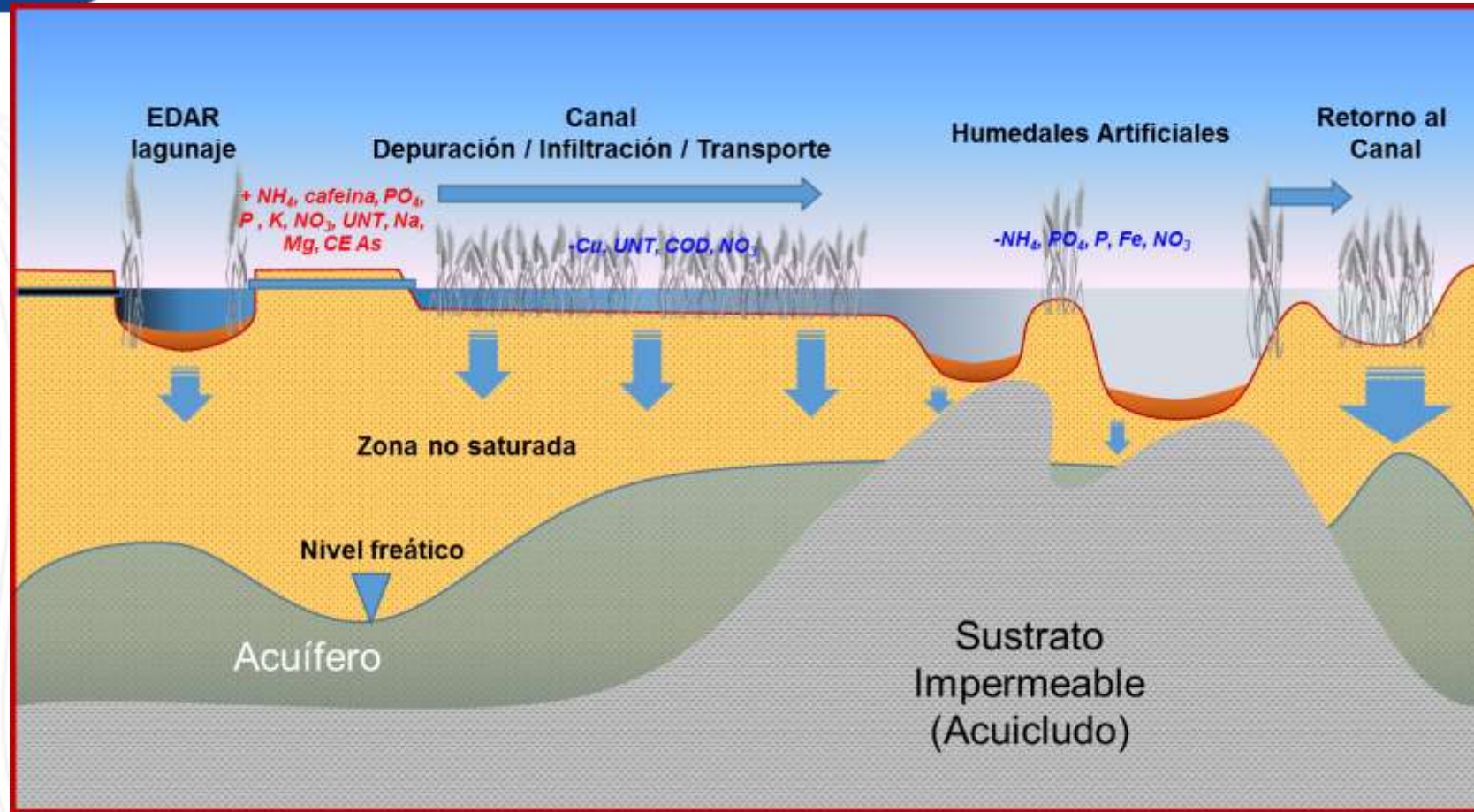
Condiciones lénticas: Calado medio, velocidad flujo muy baja, separación en columna de agua y vegetación freatófila en riberas.

Aumentan Potencial Redox (RH), Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Totales Disueltos (STD) y la temperatura (Tª).

Disminuyen la turbidez (UNT) y el oxígeno disuelto (OD).

Sedimentación en fondo y **autodepuración** biológica en la columna.

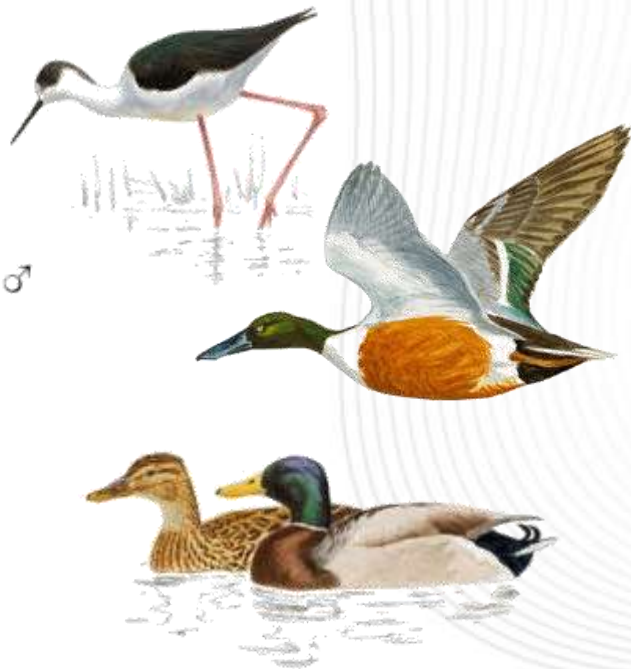
POST-TRATAMIENTO DEL AGUA PARA RECARGA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS POR LAGUNAJE Y HUMEDALES ARTIFICIALES



- Tres parámetros con disminución significativa en el canal (Cu, Turbidez y Carbono Orgánico Disuelto) respecto a los humedales
- Cuatro parámetros con menor concentración en humedales (Fe, P, Fosfatos y Amonio) que en el canal.

RESTAURACIÓN AMBIENTAL

- Hasta 25 especies de aves en 3 muestreos
- Media de 12,6 especies
- Azulón, cigüeñuela y pato cuchara presente en todos los inventarios.



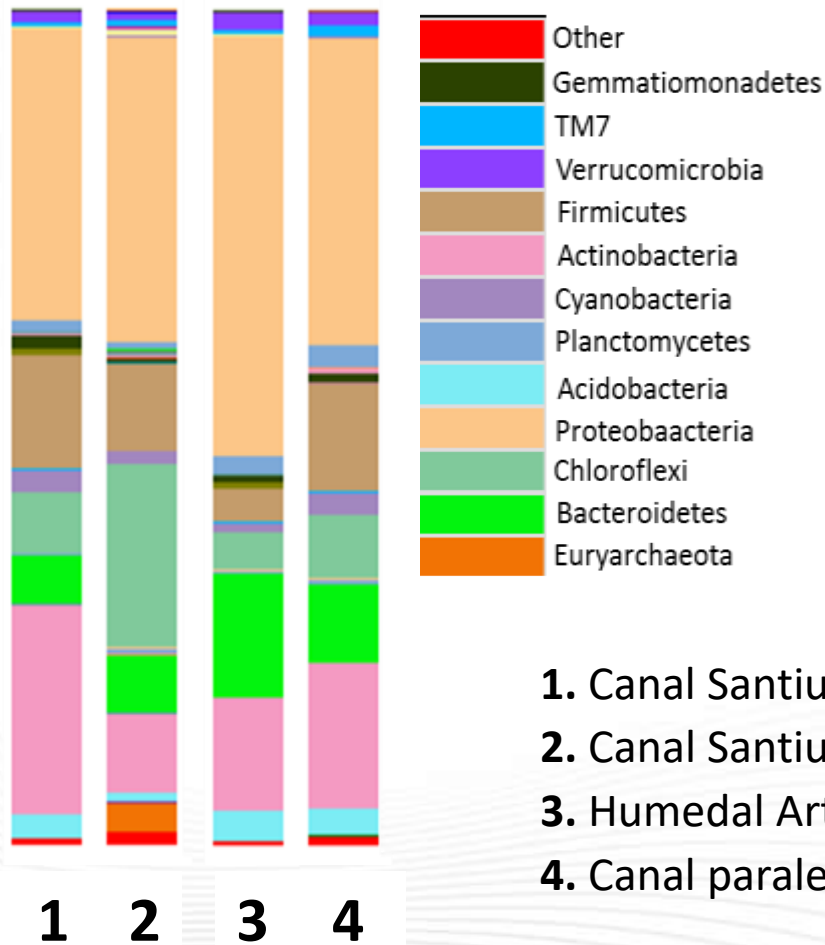
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	2007	2012	2015	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	2007	2012	2015
Aguilucho cenizo	<i>Circus pygargus</i>			X	Garza real	<i>Ardea cinerea</i>	X		
Ánade real	<i>Anas platyrhynchos</i>	X	X	X	Golondrina común	<i>Hirundo rustica</i>			X
Ánade friso	<i>Anas strepera</i>		X	X	L. cascadeña	<i>Motacilla cinerea</i>			X
Ánade rabudo	<i>Anas acuta</i>	X			Milano negro	<i>Milvus migrans</i>		X	X
Ánade silbón	<i>Anas penelope</i>	X			Pato colorado	<i>Netta rufina</i>	X		
Andarríos chico	<i>Actitis hypoleucos</i>		X		Pato cuchara	<i>Anas clypeata</i>	X	X	X
Avefría	<i>Vanellus vanellus</i>	X		X	Polla de agua	<i>Gallinula chloropus</i>	X		
Avoceta	<i>Recurvirostra avosetta</i>		X		Tarro blanco	<i>Tadorna tadorna</i>	X		X
Cerceta carretona	<i>Anas querquedula</i>			X	Tórtola común	<i>Streptopelia turtur</i>		X	
Cerceta común	<i>Anas creca</i>	X			Triguero	<i>Miliaria calandra</i>		X	X
Chorlitejo	<i>Charadrius spp.</i>		X		Zampullín chico	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	X		X
Cigüeñuela	<i>Himantopus himantopus</i>	X	X	X	Zampullín cuellinegro	<i>Podiceps nigricollis</i>		X	
Focha común	<i>Fulica atra</i>	X		X			13	11	14

Mayor biodiversidad

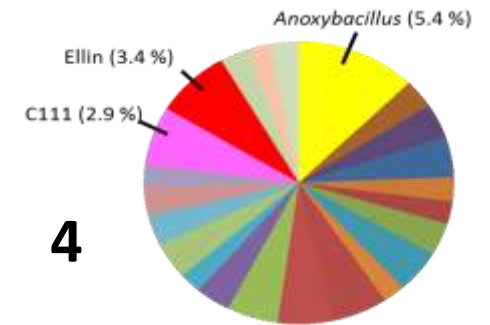
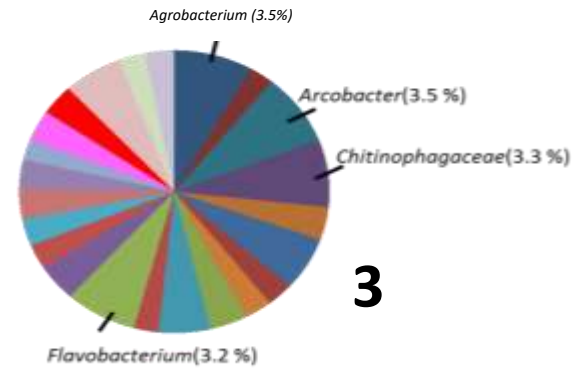
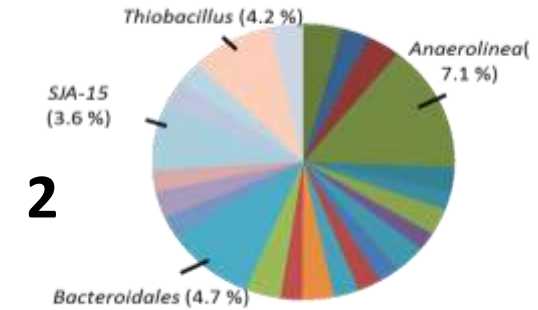
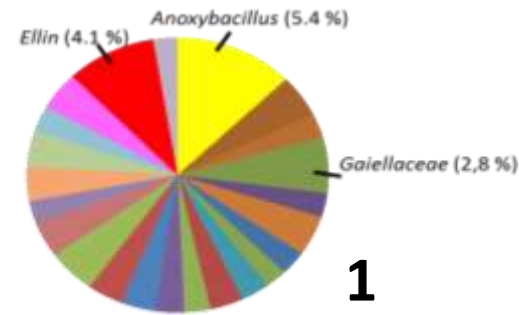
MEDIO RECEPTOR CLAVE EN SAT-MAR

EFFECTO DEL SUELO EN LA COLMATACIÓN Y BIODEPURACIÓN

NIVEL PHILLUM

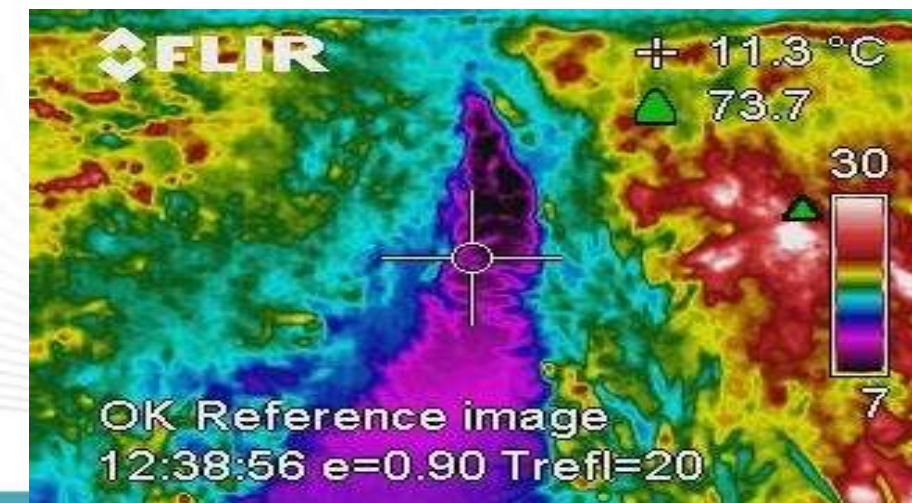
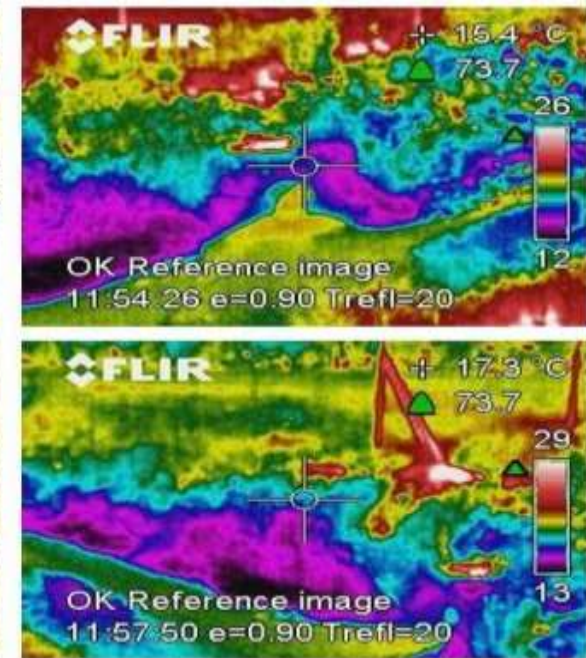
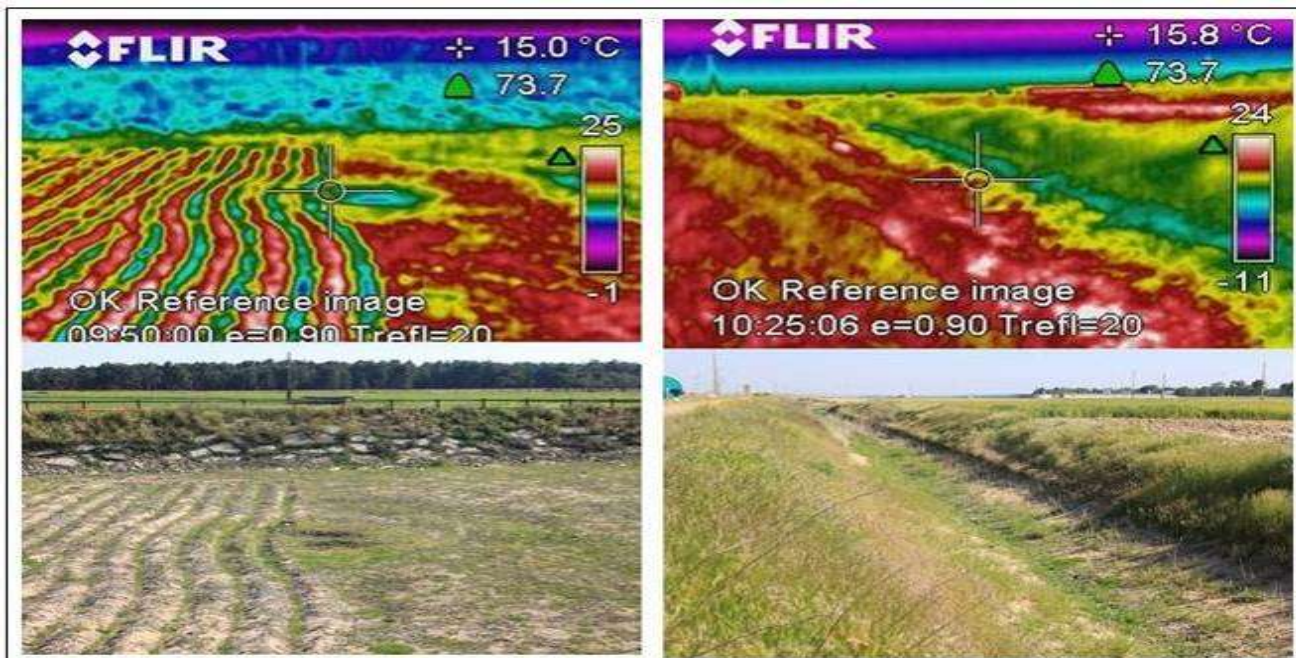


NIVEL GÉNERO



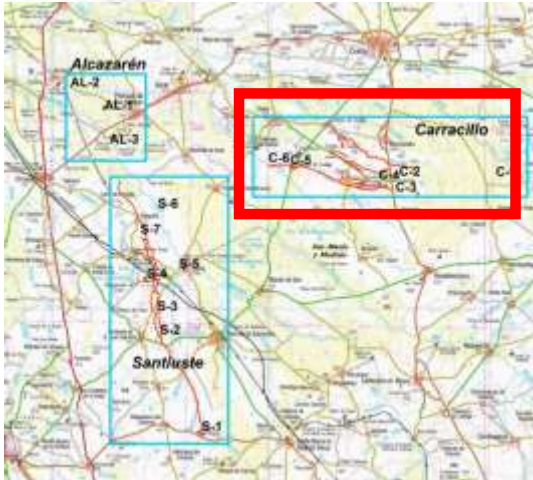
1. Canal Santiuste Este antes EDAR (*Proteobacteria + Actinobacteria*)
2. Canal Santiuste Este después EDAR (*+ Chloroflexi-Actinobacteria*) **+ anaerobios**
3. Humedal Artificial (Sanchón 1b) (*++ Proteobacteria + Bacteroidetes*) **+ nutrientes**
4. Canal paralelo a Sanchón (*- Proteobacteria + Actinobacteria*) **recuperación**

NUEVOS ESTUDIOS EN LA APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA COLMATACIÓN Y EL SAT-MAR



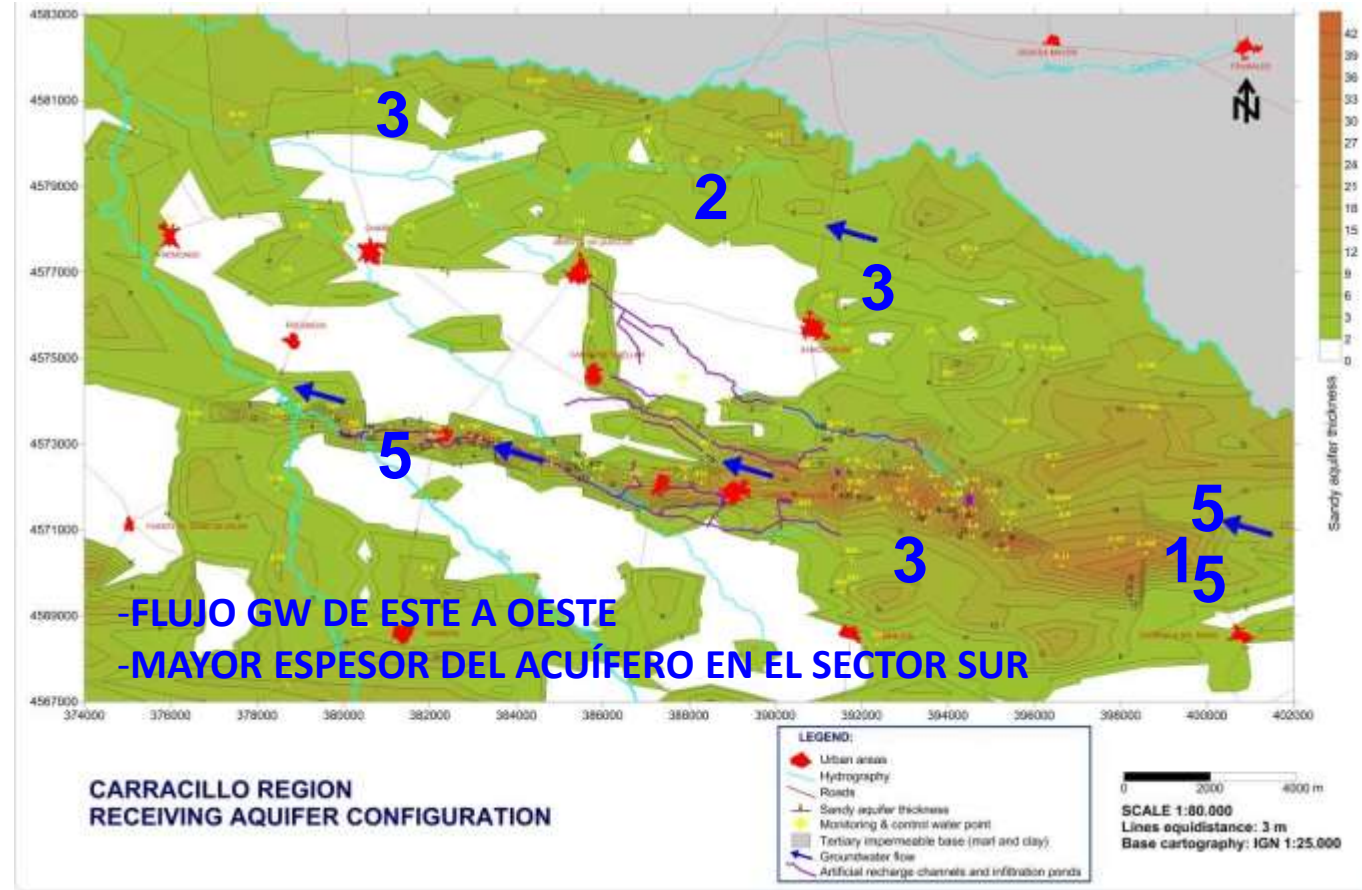
TERMOGRAFÍA CON CÁMARA DE INFRARROJOS:
Zonas preferentes de colmatación
Posibles relaciones termografía-canal de infiltración
Relaciones laguna EDAR-canal de infiltración.
Procesos de mezcla d aguas, islas frías...

3- EL CARRACILLO



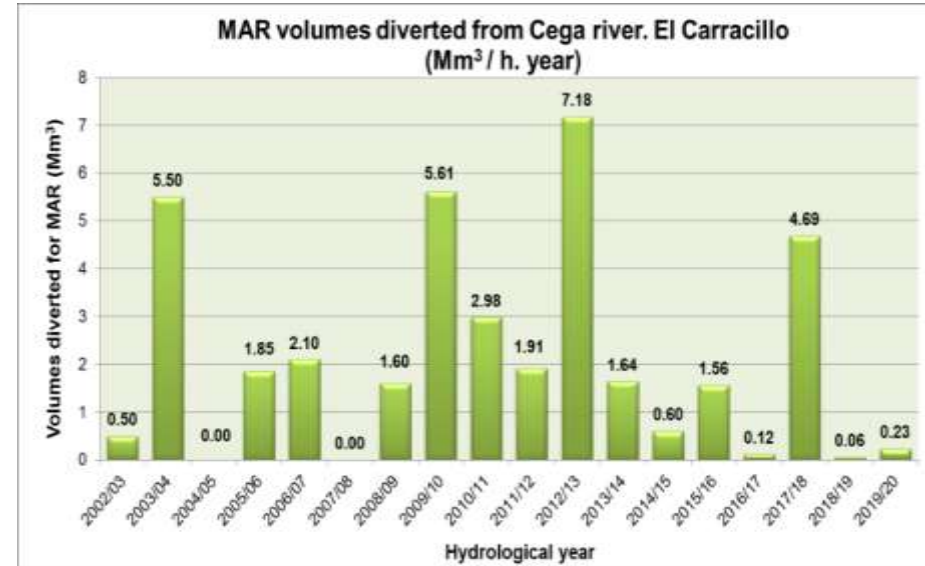
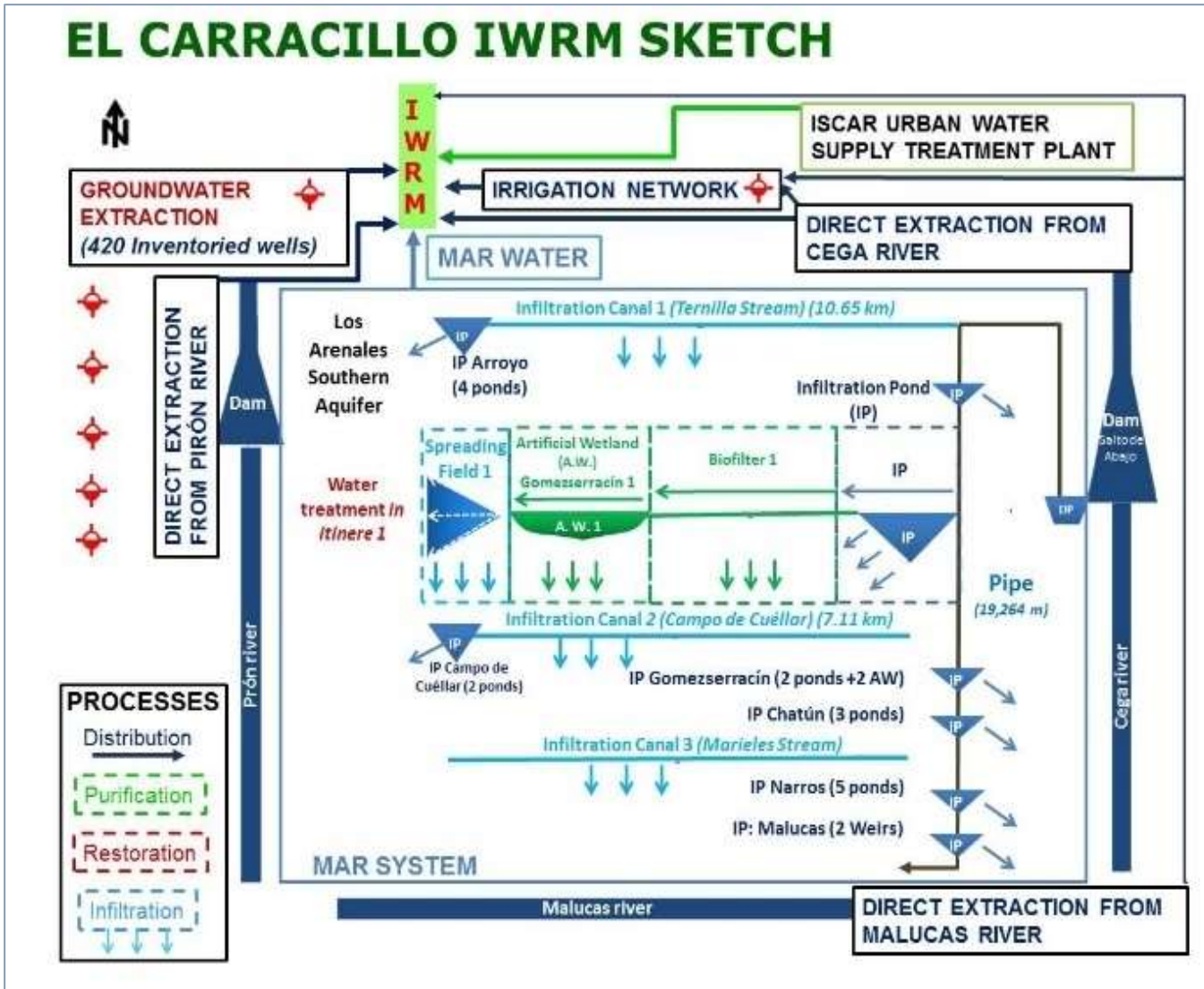
MAR en el Carracillo:

- 18 años
- 40.7 km de canal
- 5 balsas de infiltración
- 1 RBF
- 2 humedales artificiales



1. ACUÍFERO COMO TUBERÍA Y ALMACÉN DE AGUA
2. DEPÓSITOS SUPERFICIALES
3. ABASTECIMIENTO. *FISHBACK PIPELINES*
4. POZOS COMO CELDAS DE GESTIÓN
5. REUSO ELEMENTOS PRE-EXISTENTES
6. POSIBILIDADES DE SAT-MAR EN ESTUDIO





El Carracillo MAR (2003-2020)

**SISTEMA PASIVO
INTERMITENTE
REGULADO
LEGISLADO**

De 0,00 a 7,18 hm³

Qe = 2,42 hm³ / año

CARRACILLO TRIPLEX: SISTEMA DE DECANTACIÓN-BIOFILTRO-HUMEDAL ARTIFICIAL

- NUEVO ESQUEMA "TRIPLE" (ESTANQUE DE ESTANCAMIENTO-BIOFILTRO-HUMEDAL ARTIFICIAL)
- SISTEMA PARA COMPROBAR LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL SAM



● Piezometer
● Tensiometer
● Humidimeter/termometer



Infiltration pond & piezometer



Biofilter in a MAR channel



Treatment by lagooning

RECARGA GESTIONADA PARA RIEGO

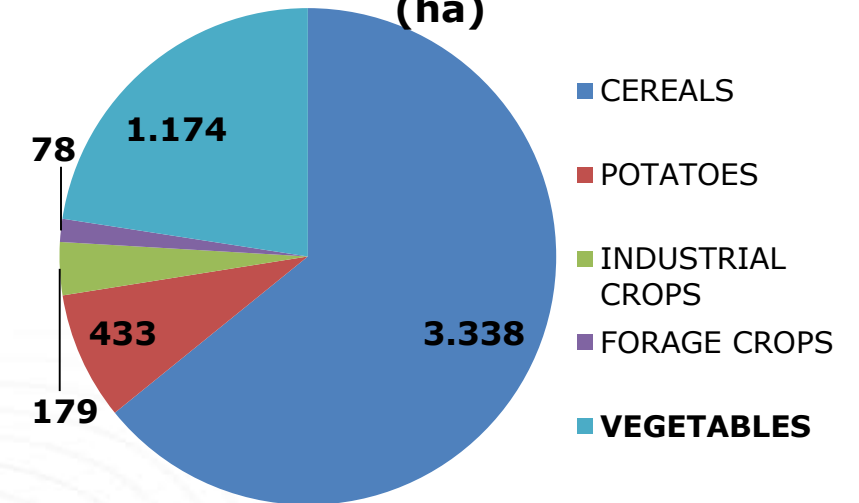
DRIVING FORCE de la economía local

- 3,500 / **7.586** ha
- Nº de regantes: 713
- **80%** de la producción de vegetales de Segovia y 30% de Castilla y León
- Extracciones del acuífero (valor medio): **8 hm³/año**
- **314.3 m³/ha** de 1,318 m³/ha extraídos

23,8% del riego procede de agua recargada



DISTRIBUCIÓN DE CULTIVOS (ha)



- Producciones duplicadas mediante riego en varios cultivos (no sin esfuerzo)

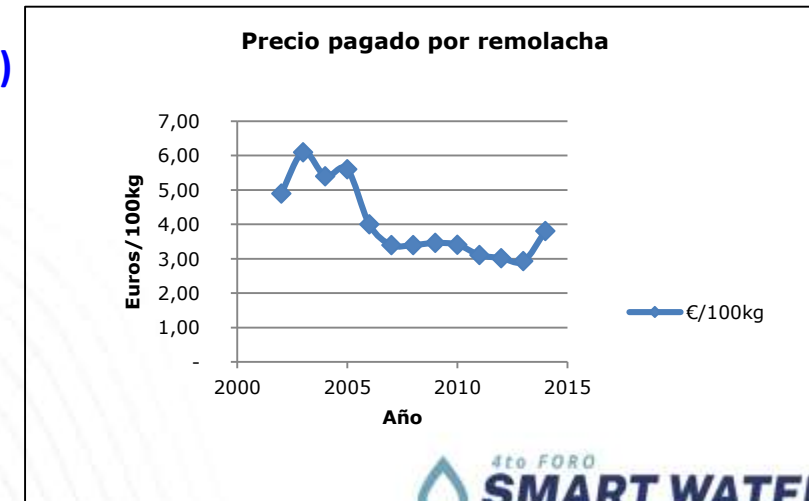
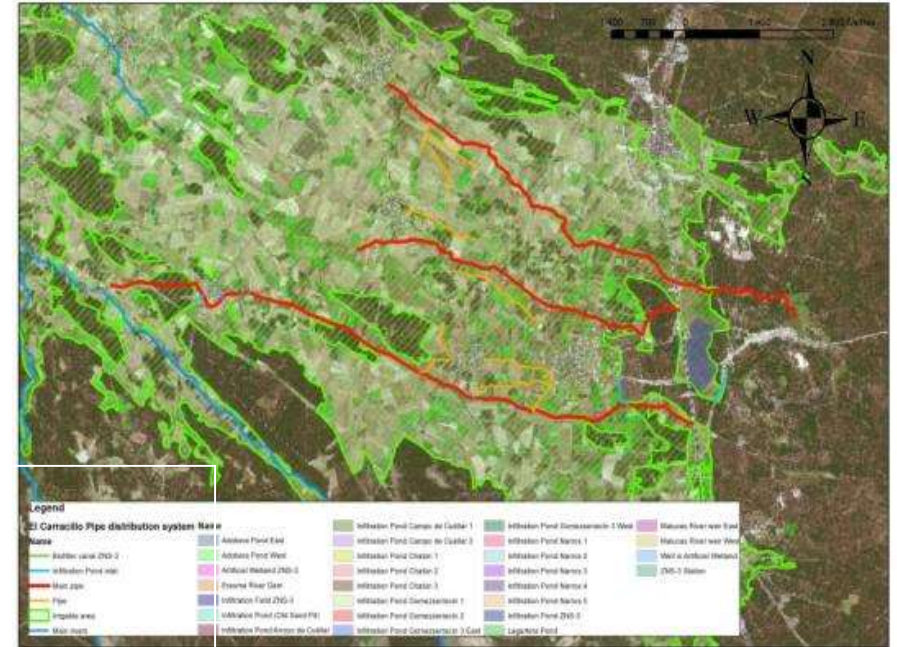
RECARGA GESTIONADA PARA RIEGO (2)

Cantidad de agua recargada: 31,47 hm³ (13 años) ~
 Qem=2,42 hm³ / año

Agua de recarga procesada: 24,18 m³/ha (13 años)

- Coste total obras: 5,273,999 €
- Coste unitario (€/Ha): 684.93 €/ha
- Coste unitario₂ (€/m³): 0.167 € (13 años)
 - 700 empleos directos y 3.000 indirectos
 - Empleo X3 respecto al resto de CyL
 - 2,38 empleos/km² en sector agrario frente a 0,67)
 - 2,71 empleos/km² en sector industrial frente a 0,81

- Aumento de la población en un 6% desde 2000 (extremo Chañe 28% desde 2002)
- Descenso de precios contrarrestado por mayor producción



Parámetros y MACs

Lecciones aprendidas para SAT-MAR

PARAMETERS (MAR water)	EXPLANATION
E.coli	Ecotoxicological aspects. Demanded in most of the regulations (SAT-MAR)
Nematodes	Ecotoxicological aspects. Demanded in most of the regulations (SAT-MAR)
pH	Influence on REDOX conditions
Temperature	Environmental conditions. Product of solubility, stoichiometry
Conductivity	Parameter related to salinization and total amount of compounds
Chemical Oxygen Demand (COD)	Specific parameter for water reuse, to be removed in case of natural water origin (SAT-MAR)
Biochemical Oxygen Demand in 5 days (BOD₅)	Specific parameter water reuse, to be removed in case of natural water origin (SAT MAR)
Total Dissolved oxygen (TDO)	Potential hyper-oxidation conditions and gas clogging creation in the receiving medium
Total Organic Carbon (TOC)	Indicator of biological clogging potential and buffer for chemical reactions
Total nitrogen (N)	Residual product after nitrogenized molecules breakdown, e.g. product of diffuse contamination decomposition
Total phosphorus (P)	Indicator of biological clogging potential and buffer for chemical reactions
Total suspended solids (TSS)	Parameter related to turbidity and demanded in most of the regulations
Total Dissolved Solids (TDS)	Parameter related to turbidity and demanded in most of the regulations
Turbidity	Parameter requested in most of the regulations
Ammonium (NH₄)	Residual product after nitrogenized molecules breakdown
Nitrates (NO₃⁻)	Thick molecules usually trapped in the receiving mediums in which MAR projects take place
Sulphates (SO₄)	Macroconstituent, chemical attack on materials
Chloride	Macro, chemical attack on materials, salinity indicator
Bicarbonates	Parameter not requested in the regulations but fundamental for hydrochemical calculations
Sodium (Na)	Macro, chemical attack on materials, salinity indicator
Potassium (K)	Parameter not requested in the regulations but fundamental for hydrochemical calculations
Calcium (Ca)	Parameter not requested in the regulations but fundamental for hydrochemical calculations, hardness, etc.
Magnesium (Mg)	Parameter not requested in some regulations but fundamental for hydrochemical calculations, hardness, etc.
Boron (B)	Phytotoxic ion par excellence
Silica (Si)	Determines geochemical environments and biological/chemical reactions. Potential quartz precipitation
Arsenic (As)	Ecotoxicological ion par excellence
Iron (Fe)	Metal with high effect on physical, chemical and biological clogging generation
Manganese (Mn)	Physical, chemical, biological clogging determinant parameter
Chromo (Cr)	Physical, chemical, biological clogging determinant parameter. Requested in most of the regulations
Copper (Cu)	Special effect on crops. Usual spill from agro-industrial activities
Zinc (Zn)	Special effect on crops
Fats and oils	Specially for urban areas runoff and SAT-MAR (can be removed for natural river / rain water)

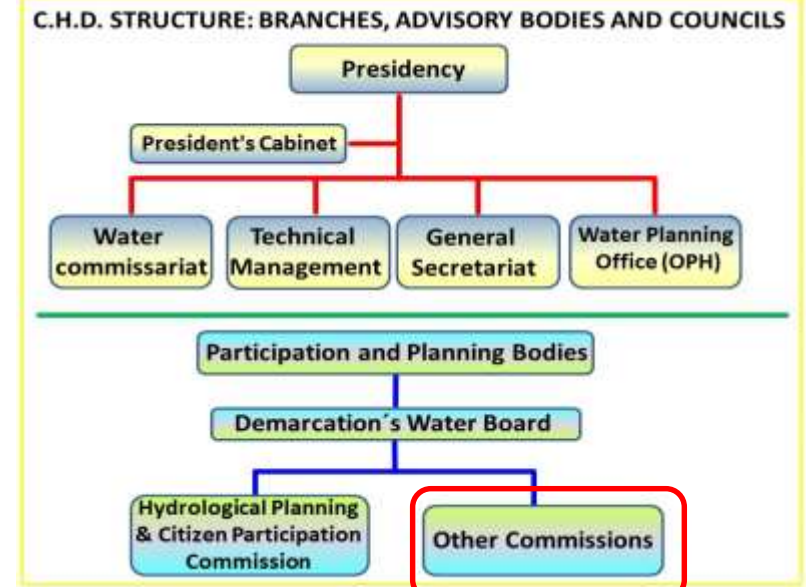
Propuesta de una lista general de parámetros a determinar en laboratorio y sobre el terreno para una muestra de agua relacionada con MAR

MACs en las legislaciones de todo el mundo. Tabla resumen.

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO. ESTRUCTURA
(CHD, 2016)

Las masas de agua subterránea con uso de la técnica MAR: Los Arenales y Medina del Campo, cuentan con 4 comunidades de usuarios de aguas subterráneas (El Carracillo, Medina del Campo, Cubeta de Santiuste de San Juan Bautista y Alcazarén).

En estos lugares se practica **Co-MAR** desde 2002 y aportan alrededor del 24% del total del agua utilizada para el riego en la zona.



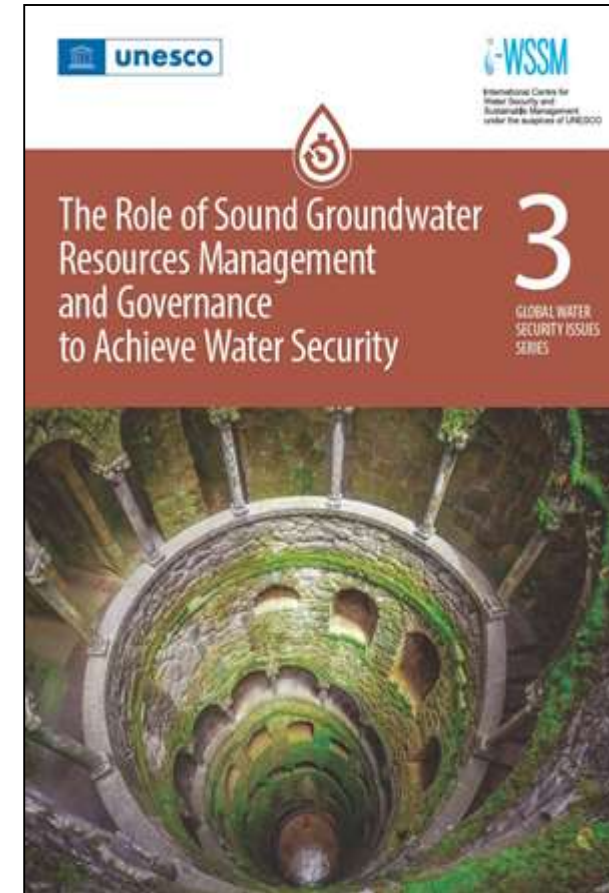
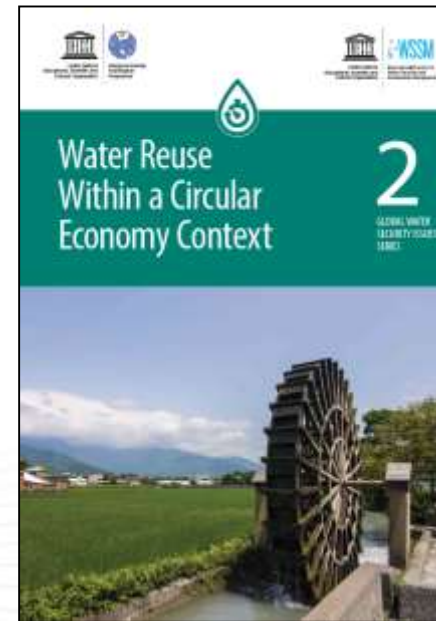
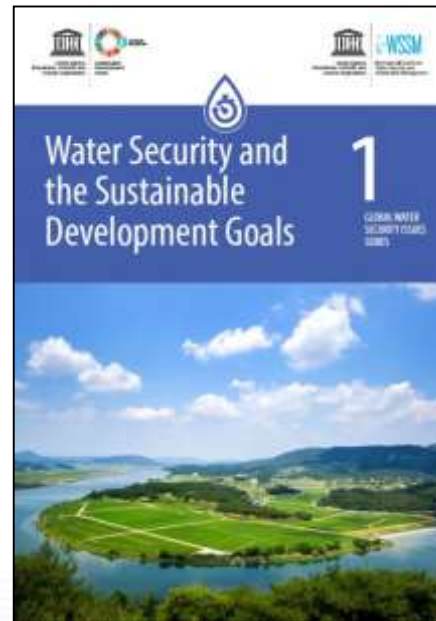
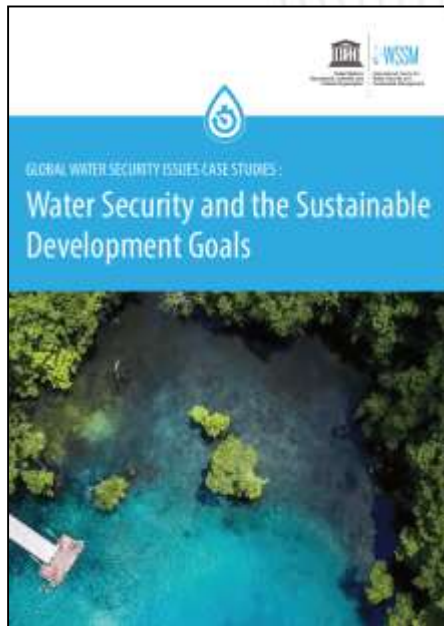
C.U.A.S. Y COMUNIDADES DE REGANTES. ESTRUCTURA GENERAL

-Medidas estructurales duras para abordar el uso intensivo de las aguas subterráneas:
Planes de recarga de acuíferos gestionados

-Medidas no estructurales blandas:
CUAS y participación más amplia de las partes interesadas
"Espacio de colaboración" en los sistemas sociotécnicos
Grupo de agentes que representan a la población local, investigadores...



Fernández-Escalante, E. and López-Gunn, E. (2021, in press). *Co-managed aquifer recharge: Case studies from Castilla y León (Spain)*. UNESCO and UNESCO i-WSSM. 2021. The Role of Sound Groundwater Resources Management and Governance to Achieve Water Security (Series III). Global Water Security Issues (GWSI) Series – No.3, UNESCO Publishing, Paris.



<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379093>

https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/i-WSSM_GWSI_Case_Studies_%28small_size%29_final.pdf

MANAGING AQUIFER RECHARGE

A Showcase for Resilience
and Sustainability

Table of contents

STUDY CASES.....	13
EXECUTIVE SUMMARY	16
SECTION I. SYNTHESIS.....	19
Chapter 1: Introduction	21
Chapter 2: An overview of features of the Managed Aquifer Recharge Case Studies.....	29
Chapter 3: Assessment of environmental and social sustainability of Managed Aquifer Recharge schemes.....	47
Chapter 4: Economic costs and benefits of Managed Aquifer Recharge Case Studies.....	73
SECTION II. CASE STUDIES	87
Case Study 1: A resilient drinking water supply using aquifer storage recovery for coastal communities in Batiaghata, Khulna, Bangladesh.....	89
Case Study 2: Managed Aquifer Recharge for drinking water supply, Turku Region, Southwestern Finland.....	97
Case Study 3: Managed Aquifer Recharge to recycle water for agricultural use in San Luis Río Colorado, Sonora, Mexico.....	105
Case Study 4: Recharge structures in ephemeral streams in Dharta watershed, Rajasthan, India.....	113
Case Study 5: The MAR of the Geneva Aquifer: A 40-year success story for the management of transboundary aquifers at local level	125
Case Study 6: Soil aquifer treatment of secondary effluent for irrigation in the Negev desert area, Israel.....	133
Case Study 7: El Carracillo Managed Aquifer Recharge System for rural development in Castilla y León, Spain.....	139
Case Study 8: Managed Aquifer Recharge by riverbank filtration and infiltration basins for drinking water supply at Dresden-Hosterwitz, Germany.....	149
Case Study 9: Perth Groundwater Replenishment Scheme using recycled water, Australia.....	161

Case Study 10: Orange County Groundwater Basin Managed Aquifer Recharge Program using Santa Ana River flow.....	169
Case Study 11: Streambed recharge structures with periodic desilting to improve recharge of aquifers at Baramati, Maharashtra, India.....	175
Case Study 12: North London Artificial Recharge Scheme, UK: a water supply for drought.....	187
Case Study 13: A Managed Aquifer Recharge Scheme in a complex fractured quartzite aquifer for securing water supply to Windhoek, Namibia.....	193
Case Study 14: Multi-site urban stormwater aquifer storage and recovery to supply a suburban non-potable water distribution system in Salisbury, South Australia.....	203
Case Study 15: Recharging floodwaters to depleted aquifers for irrigation in the Ganges Basin, India.....	213
Case Study 16: Soil aquifer treatment system to protect coastal ecosystem in Agon-Coutainville (Normandy), France.....	223
Case Study 17: Intentional infiltration using irrigation canals to sustain Central Platte River ecology and irrigation.....	233
Case Study 18: Achieving water supply reliability at Hilton Head Island, South Carolina, USA.....	241
Case Study 19: The Serchio River bank filtration for drinking water supply in Sant'Alessio area of Lucca, Italy.....	249
Case Study 20: Sustainable and year-round drinking water production by riverbank filtration in Haridwar, India.....	261
Case Study 21: The Arizona Water Banking Authority: The role of institutions in supporting Managed Aquifer Recharge	269
Case Study 22: Sustainable drinking water supply from riverbank filtration of the Nile for Sidfa, Egypt.....	277
Case Study 23: Intentional flooding of rice fields and payment for ecosystem services in Kumamoto, Japan	285
Case Study 24: Storm water and wastewater reuse by MAR at Atlantis, South Africa to enhance resilience to drought.....	297
Case Study 25: Water recycling with Managed Aquifer Recharge in sand dunes of St-André (Koksijde) as one of the multiple safety barriers for drinking water to Veurne area, Belgium.....	313
Case Study 26: A coastal plain groundwater reservoir in Balisha River drainage basin of Shandong, China.....	323
Case Study 27: Large-scale Managed Aquifer Recharge for drinking water production in a semi-arid karst region, Jordan.....	331
Case Study 28: Aquifer Storage and Recovery of treated waste water from a sugar factory for drought resilient irrigation supply in Dinteloord, the Netherlands	339
SECTION III. APPENDICES.....	349

Publicado 30 nov 2021

CONCLUSIONES

1. Sector con buenos ejemplos prácticos de PyG de recursos hídricos
2. Mayor garantía de suministro con menor dependencia climática
3. Dependencia regulatoria / concesional > conflictos de intereses
4. Mejoras en la eficiencia técnica y energética mediante MAR
5. M.A.R. facilitador del crecimiento económico:
 1. Efecto positivo en la creación de empleo
 2. Disminución despoblación rural
 3. Mayores rendimientos agrícolas contrarrestando caídas de precios
 4. Ahorro energético en bombeo cercano al 36%
6. Actividad multiescala, de individuales a grandes agroindustrias exportadoras
7. Laminación de avenidas: Aliviaderos + capacidad extra por balsas, canales y humedales
8. Fomento de biodiversidad: Uso contrastado de hasta 25 especies de aves en humedales artificiales y canales. Vegetación acuática en canales y humedales >>corredores biológicos
9. Mejora de calidad del agua: Disminución de COD (3%), Cu (68%) y turbidez (34%) en canal respecto al agua de entrada. No se han detectado incrementos de arsénico o nitritos.

Case Study 7: El Carracillo Managed Aquifer Recharge System for rural development in Castilla y León, Spain

Enrique Fernández Escalante¹ and Jon San Sebastián Sauter²

¹ Grupo Traga, Maldonado 58, 28004, Madrid, Spain

² Corresponding author: efernan@traga.es

7.1. Introduction

The Anzales aquifer is a large groundwater body that occupies 2,400 km² of Castilla y León, Spain, with 44,000 inhabitants in 96 villages. Due to excessive groundwater extractions that resulted in a groundwater exploitation index (i.e. extraction rate/recharge rate) of 1.3, the Spanish Ministry of Agriculture and the Regional Government (Junta de Castilla y León) responded through initiating demonstration projects of Managed Aquifer Recharge (MAR): Santibáñez basin area in 2002, El Carracillo in 2003 and Alcazarén-Pedrajas in 2011.

El Carracillo MAR site is located in the Northernmost part of Segovia province, in a low slope countryside around 150 km² wide surrounded by pine woodlands between the Cega and Pisuerga rivers (Figure 1). It has become one of the most successful MAR systems in Spain.



Figure 1. MAR systems in El Carracillo region, Spain. Receiving aquifer is the Quaternary aquifer, with the thickness shown as contours; MAR canals (purple lines) and infiltration ponds (pink diamonds); monitoring networks (yellow and blue crosses) and regional groundwater flow directions (blue arrows) are shown. Source: Own elaboration.


CONCLUSIONES (2)

9. **Hábitat para endemismos:** Especies de alto valor en la Laguna de la Iglesia (pH 9) con la Comunidad Arctodiaptomion con *Arctodiaptomus salinus* y *Cletocamptus retrogressus* (Crustacea) y otros ostrácodos, además de Cyanobacterias, diatomeas...
10. **Creación de elementos socio-culturales:** Las láminas de agua de balsas, lagunas y humedales han generado áreas de interés paisajístico y recreativo
11. Ejemplos SAT (Biodepuración pasiva)
12. Lecciones sobre **colmatación física y gaseosa en dispositivos MAR**
13. **Conveniente pretratamiento del agua (decantación...)**
14. **Cooperación de los usuarios finales**, protagonistas de la experiencia. La Co-MAR en Los Arenales es un ejemplo de PPPP como colaboración entre las autoridades públicas y los agricultores para la GIRH.
15. **Marco de colaboración:** Ayuntamientos, CCRR, empresas públicas y privadas, CH Duero, investigadores...
Buenas relaciones>buenos resultados
16. **Faltan afecciones por ser evaluadas, contaminantes emergentes (solo cuantificados por procedimientos agregados), impactos diferidos y a muy largo plazo**

Los “pros” del SAT-MAR son mayores que los “contras”

Repositorio

dinamar.tragsa.es/port/actualizacion-update-libros-sobre-la-tecnica-mar-repositorio-mas-de-100-libros-mar-books-repository-more-than-100-free-books-on-mar-april-2021



INICIO ARCHIVO CONTACTARNOS RSS VISOR WEB HIDROGEOPORTAL

Gestión de la recarga de acuíferos

ABR. 26, 2021

#EDUCACIÓN AMBIENTAL | #NOTICIAS |

ACTUALIZACIÓN / UPDATE. Libros sobre la técnica MAR (repositorio) Más de 100 libros / MAR books repository. More than 100 free books on MAR. April 2021


ACTUALIZACIÓN/UPDATE. Libros sobre la técnica MAR (repositorio) Más de 100 libros / MAR books repository. More than 100 free books on MAR. April 2021

SP

Proseguimos con la recopilación de aquellos libros de hidrogeología, especialmente aquellos dedicados a la técnica MAR, que se encuentran disponibles gratuitamente en internet.

Se trata de un repositorio para que los técnicos interesados puedan reunir una biblioteca sobre MAR a la que poder acudir a resolver consultas.

- Contácto (2)
- Documentación técnica (259)
- Educación ambiental (303)
- Enlaces (1)
- Galería (19)
- Galería multimedia (21)
- Grupo Tragsa y MAR (158)
- Noticias (450)
- Presentación (2)
- Proyecto DINA-MAR (115)
- VISOR WEB HIDROGEOPORTAL (1)



Libros en:
www.dinamar.tragsa.es
www.marsol.eu

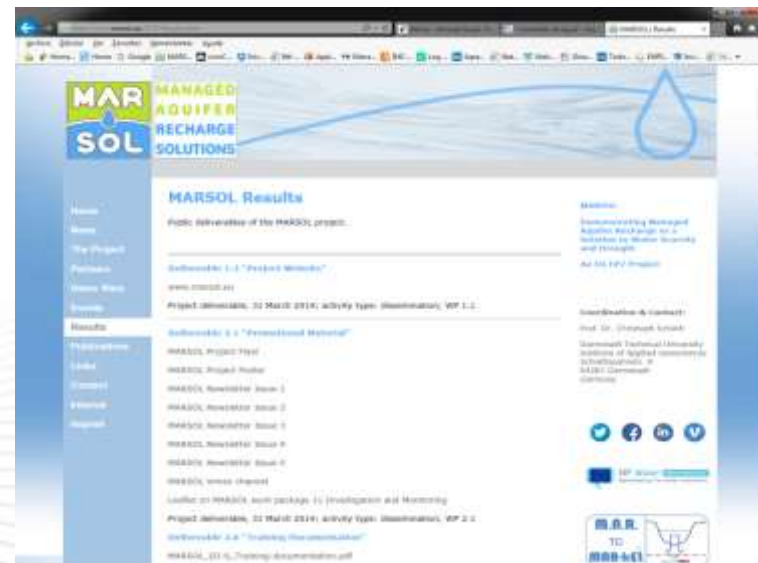
2002-2012, UNA DÉCADA DE RECARGA GESTIONADA.
ACUÍFERO DE LA CUBETA DE SANTIUSTE
(CASTILLA Y LEÓN)



Enrique Fernández Escolante / Grupo Tragsa



7



MARSOL Results

Public deliverables of the MARSOL project:


- Subproducto 1.1 "Project Manual"
- Subproducto 2.1 "Preventative Manual"

Publications:

- MARSOL Project Paper
- MARSOL Newsletter Issue 1
- MARSOL Newsletter Issue 2
- MARSOL Newsletter Issue 3
- MARSOL Newsletter Issue 4
- MARSOL Newsletter Issue 5
- MARSOL Newsletter Issue 6
- MARSOL Newsletter Issue 7
- MARSOL Newsletter Issue 8
- MARSOL Newsletter Issue 9
- MARSOL Newsletter Issue 10
- MARSOL Newsletter Issue 11
- MARSOL Newsletter Issue 12
- MARSOL Newsletter Issue 13
- MARSOL Newsletter Issue 14
- MARSOL Newsletter Issue 15
- MARSOL Newsletter Issue 16
- MARSOL Newsletter Issue 17
- MARSOL Newsletter Issue 18
- MARSOL Newsletter Issue 19
- MARSOL Newsletter Issue 20
- MARSOL Newsletter Issue 21
- MARSOL Newsletter Issue 22
- MARSOL Newsletter Issue 23
- MARSOL Newsletter Issue 24
- MARSOL Newsletter Issue 25
- MARSOL Newsletter Issue 26
- MARSOL Newsletter Issue 27
- MARSOL Newsletter Issue 28
- MARSOL Newsletter Issue 29
- MARSOL Newsletter Issue 30
- MARSOL Newsletter Issue 31
- MARSOL Newsletter Issue 32
- MARSOL Newsletter Issue 33
- MARSOL Newsletter Issue 34
- MARSOL Newsletter Issue 35
- MARSOL Newsletter Issue 36
- MARSOL Newsletter Issue 37
- MARSOL Newsletter Issue 38
- MARSOL Newsletter Issue 39
- MARSOL Newsletter Issue 40
- MARSOL Newsletter Issue 41
- MARSOL Newsletter Issue 42
- MARSOL Newsletter Issue 43
- MARSOL Newsletter Issue 44
- MARSOL Newsletter Issue 45
- MARSOL Newsletter Issue 46
- MARSOL Newsletter Issue 47
- MARSOL Newsletter Issue 48
- MARSOL Newsletter Issue 49
- MARSOL Newsletter Issue 50

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)



http://www.dina-mar.es/videos/MARenaless-Film_v7.6.mp4

TECHNICAL SOLUTIONS FOR MANAGED AQUIFER RECHARGE AT ARENALES AQUIFER CASTILLE AND LEON (SPAIN)



MARSOL DEMO Site 3: Arenales, Segovia and Valladolid, Castilla and Leon, Spain



4to FORO SMART WATER AGUA SUBTERRÁNEA Y SEQUÍA

IAH Commission on Managing Aquifer Recharge



<https://recharge.iah.org/>

- WELCOME
- ABOUT THE COMMISSION
- SYMPOSIA AND WORKSHOPS
- WORKING GROUPS
- COMMUNITIES
- COLLABORATIONS
- RESOURCES

Welcome



Attendees at ISMAR10, Madrid, May 2019 – the latest triennial symposium of IAH-MAR, UNESCO and ASCE

Welcome to the website of the International Association of Hydrogeologists Commission on Managing Aquifer Recharge (IAH-MAR). Here you can discover what our working groups are doing and contribute to their current projects, you can download resources on MAR, connect with people, get information on symposia coming up, and join our email list to stay informed of latest news. We also have sister sites in Spanish and Chinese.

Managed Aquifer Recharge

Managed aquifer recharge, also called groundwater replenishment, water banking and artificial recharge, is the purposeful recharge of water to aquifers for subsequent recovery or environmental benefit. It embraces methods such as riverbank filtration, stream bed weirs, infiltration ponds and injection wells, and uses natural water sources and appropriately treated urban stormwater, sewage and other waste waters to increase groundwater storage, protect and improve water quality, and secure drought and emergency supplies. Its growing scientific base supports its rapidly increasing use as a vital management tool in the sustainable use of the world's water resources.

Latest News



National Seminar on "Resilience of Groundwater Resources for Accommodating Changing Climate Scenarios" – 7 November 2020 in New Delhi.

CURRENT PROJECTS THAT YOU CAN JOIN

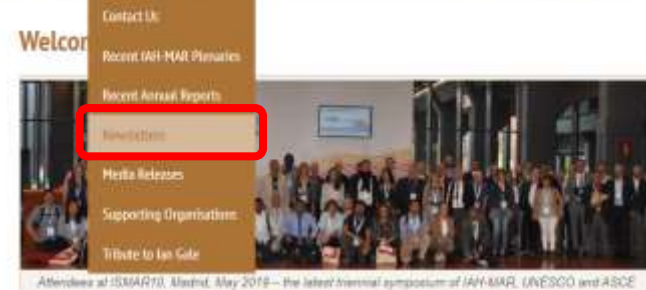
- New working group: MAR in Conferences. Coordinator: Daniela Benedicto van Dalen
- New working group: Urban MAR. Coordinator: Niels Hartog
- LatinMAR Community of Practice – a new initiative to advance MAR in Latin America. Coordinator: Adriana Palma
- MAR Suitability Mapping Working Group. Coordinator: Jose Bonilla
- Contributions to a second monograph on clogging-focussing on its management – Clogging Working Group. Coordinator: Russell Martin
- Groundwater Solutions Initiative for Policy and Practice (GRIPP) – a Collaborative International Project, Coordinator: Karen Villholth

JOIN OUR MAILING LIST

Register with our large email group to share information, ideas and news concerning recharge enhancement.
Join IAH-MAR email community

IAH Commission on Managing Aquifer Recharge

- WELCOME
- ABOUT THE COMMISSION
- EVENTS
- WORKING GROUPS
- COMMUNITIES
- COLLABORATIONS



Welcome to the website of the International Association of Hydrogeologists Commission on Managing Aquifer Recharge (IAH-MAR). Here you can discover what our working groups are doing and contribute to their current projects, you can download resources on MAR, connect with people, get information on symposia coming up, and join our email list to stay informed of latest news. We also have sister sites in Spanish and Chinese.

Managed Aquifer Recharge

WhatsApp group on Aquifer Recharge Management



<https://ismar11.net/>



ISMAR 10
INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MANAGED AQUIFER RECHARGE
Madrid, May 2019



HOME ABOUT LOCATION SPONSORSHIP CONTACT US HERMAN BOUWER AWARD

THE 11TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MANAGED AQUIFER RECHARGE

APRIL 11-15, 2022 | LONG BEACH, CALIFORNIA





MUCHAS GRACIAS 02/12/2021

Dr. Enrique Fernández Escalante ©
efernan6@tragsa.es

