



CONAMA10

CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

La importancia de las técnicas paliativas emergentes en la gestión hídrica integral. Nuevas tecnologías y posicionamiento a nivel nacional.

Autor: Enrique Fernández Escalante

Institución: Universidad Complutense de Madrid

e-mail: aefernan@geo.ucm.es

Otros Autores: Carlos Copano González de Heredia (Universidad Politécnica de Madrid), Miriam W. Senent del Álamo (Universidad Complutense de Madrid) e Ignacio Prieto Leache (Universidad Politécnica de Madrid).



RESUMEN

Las técnicas paliativas están adquiriendo un notable desarrollo en la gestión hídrica integral frente a técnicas convencionales, tales como el embalsamiento superficial y la explotación de aguas subterráneas. Los cambios en los modelos de funcionamiento están trayendo consigo la aparición de nuevas técnicas de gestionar el agua y la adaptación de técnicas convencionales, algunas en desuso durante siglos. En este sentido cabe destacar la importancia de infiltrar el agua en zonas de cabecera de cuenca, con objeto de almacenar la reserva en los acuíferos, desde las zonas forestales de las divisorias hidrográficas hasta el mar, así como contar con medidas preventivas y paliativas de acción contra el impacto de la gota fría y los caudales punta de avenida. En este sentido también cabe destacar la adaptación de técnicas clásicas y el diseño de nuevas tecnologías que dejan amplia cabida a la innovación.

La recarga gestionada de los acuíferos constituye otra técnica de suma importancia, bajo la premisa de que nuestro futuro del agua pasa por nuestra capacidad para almacenarla, no solo en embalses, de capacidad muy limitada y con fuertes pérdidas por evaporación, sino en los acuíferos, verdaderos garantes del agua dulce.

Los sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible traen consigo interesantes posibilidades para aumentar la infiltración en las ciudades, romper el efecto "Isla de calor" y reducir los picos de avenida que colapsan las depuradoras.

A estas técnicas "especiales" hay que añadir las "alternativas convencionales", como depuración, desalación, reciclaje, trasvases intercuenas, ahorro, etc., que quedan fuera del alcance de este artículo.

Esta amplia variabilidad de técnicas, con ejemplos cada vez más abundantes a nivel nacional, configuran un escenario complejo con amplia variedad de nodos de gestión, algunos novedosos, en los esquemas topológicos convencionales de la gestión hídrica integral.

Las tecnologías descritas son objeto de estudio de los proyectos de I+D+i DINA-MAR y GIAE. El artículo ha sido elaborado dentro del programa de divulgación y educación ambiental de ambos proyectos de I+D+i.

Palabras Clave: Técnicas paliativas, gestión hídrica integral, técnicas especiales, técnicas alternativas, Sistemas Urbanos de Drenaje sostenible, SUDS, recarga artificial, gestión de la recarga, MAR, infiltración, DINA-MAR, GIAE.

ABSTRACT

This article describes and analyses some systems, based upon artificial recharge techniques, effective to increase the seepage in the watersheds of the basins, so as to raise the storage of freshwater in the aquifers. At the same time it is studied how forest areas are able to increase infiltration rate, concluding in the positive effect of forests on aquifers, what is to say, forests increase the recharge of underneath aquifers.

KEY-WORDS: Palliative techniques, water management, special techniques, alternative techniques, Sustainable Drainage Urban Systems, SUDS, artificial recharge, managed aquifer recharge, MAR, infiltration, DINA-MAR, GIAE.

INDICE

RESUMEN	¡Error! Marcador no definido.
PALABRAS CLAVE	¡Error! Marcador no definido.
ABSTRACT	2
KEY-WORDS	2
SUMARIO	4
1. INTRODUCCIÓN	4
2. MATERIALES Y MÉTODOS	5
3. ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DE LA CUESTIÓN Y DISCUSIÓN	5
3.1. LA GESTIÓN DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS EN ESPAÑA Y SU POTENCIAL EN LA GESTIÓN HÍDRICA INTEGRAL.....	5
3.1.1. <i>Inventario de dispositivos genéricos existentes y propuesta de otros "nuevos"</i>	5
3.1.2. <i>Estudio para la determinación de las "Zonas MAR" en España y atribución del dispositivo más idóneo</i>	8
3.1.3. <i>Búsqueda de criterios para asociar dispositivos con cada "zona MAR"</i>	9
3.1.4. <i>Potencial de la técnica MAR en España</i>	12
3.2. LA GESTIÓN HÍDRICA FORESTAL.....	12
3.2.1. <i>Repoblaciones y silvicultura para la recarga artificial en profundidad</i>	13
3.2.2. <i>Preparación mecanizada del suelo para favorecer la infiltración</i>	13
3.2.3. <i>Montes ordenados para la recarga de acuíferos</i>	14
3.2.4. <i>Restauración y mantenimiento de bancales</i>	14
3.2.5. <i>Aprovechamiento de las aguas de escorrentía</i>	15
3.2.6. <i>MAR aplicada a la gestión hídrica paliativa y a la ingeniería forestal</i>	18
3.3. ARQUITECTURA Y GESTIÓN HÍDRICA EN LAS CIUDADES.....	19
4. CONCLUSIONES	21
5. BIBLIOGRAFÍA	25

SUMARIO

1. Introducción 2. Materiales y métodos 3. Actualización del estado de la cuestión y discusión 4. Conclusiones y tabla síntesis 5. Bibliografía.

1. INTRODUCCIÓN

En este artículo, planteado con un formato más divulgativo que científico, se presentan y plantean algunas alternativas de gestión hídrica consideradas “no convencionales”, pero que su intervención e inclusión en los esquemas topológicos de la gestión hídrica integral constituyen medidas paliativas, con capacidad de resolver problemas de suministro, abastecimiento, reservas, y, en definitiva, paliar los efectos de la distribución irregular de las aguas e incluso del cambio climático. Todo ello bajo premisas de sostenibilidad.

En primer lugar se pretende exponer el estado de la cuestión relativo a la gestión de la recarga en España, conforme a los resultados del proyecto de I+D+i DINA-MAR. Las cifras y datos presentados no quedarán justificados en este texto, dado su carácter difusivo, por lo que es preciso remitirse a las reseñas bibliográficas y a las memorias técnicas anuales del desarrollo del proyecto.

Más tarde se plantea la capacidad de las técnicas de gestión forestal y cultivo del agua para almacenar agua en los acuíferos, siendo este el apartado más extenso de este texto.

Un tema bastante controvertido hasta la fecha en escenarios hidráulicos es si la vegetación resta agua a los acuíferos o, si por el contrario, incrementa las reservas en la cabecera de las cuencas.

En este contexto, uno de los múltiples objetivos de la gestión forestal es el adecuado manejo del monte, de modo que la mayor fracción posible del agua de escorrentía se infiltre, aumentando las reservas de los acuíferos.

Los beneficios que las masas forestales arboladas ejercen sobre el ciclo hidrológico se deben fundamentalmente a la influencia que éstas tienen sobre el clima, el agua y el suelo (López, 1992). Su importancia es tal que la Carta del Agua del Consejo de Europa (1972) llega a afirmar: “el mantenimiento de la cubierta vegetal adecuada, preferentemente forestal, es esencial para la conservación de los recursos hídricos”.

Con este apartado se pretende aportar elementos de juicio, que reduzcan la controversia mencionada, así como describir y analizar los dispositivos hidráulicos que pueden ser empleados en el fomento de la gestión hídrica paliativa. Se trata de un tema pluridisciplinar con gran escasez de antecedentes bibliográficos.

Por último se aborda cómo la arquitectura puede influir en la hidrogeología urbana, a tenor de técnicas de gestión y a la implantación de dispositivos tipo SUDS.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Dado el carácter del artículo, divulgativo y unificador de distintas disciplinas, resulta complicado definir los métodos y materiales empleados en cada línea de acción, si bien todos ellos son de aceptación general.

La determinación de las “Zonas MAR” se ha realizado mediante operaciones de álgebra de mapas y coberturas temáticas, mediante una aplicación GIS (Dinamap) suficientemente robusta para tratar hasta 83 capas y coberturas temáticas en la extensión de España.

En cuanto a la gestión forestal, artículo ha sido redactado a partir de datos reales de balances hídricos realizados en áreas forestales, en general en el ámbito de la Comunidad Valenciana y Arco Mediterráneo. Especial atención se ha concedido a las zonas de cabecera de cuenca con presencia de diques de retención y dispositivos de regulación y laminación de las aguas de escorrentía (COPUT, 1994, 1996).

Las subcuencas estudiadas y sus correspondientes datos se encuentran en las referencias mencionadas en la bibliografía.

Además de los balances hídricos, se ha analizado la variación de la reserva de agua mediante la observación de piezómetros ubicados en las subcuencas estudiadas ubicadas sobre acuíferos bien caracterizados y suficientemente conocidos (CMA, 1994, 1996).

Los datos de piezometría se han obtenido de la Red Rocas del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

3. ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DE LA CUESTIÓN Y DISCUSIÓN

3.1. La gestión de la recarga de acuíferos en España y su potencial en la gestión hídrica integral

3.1.1. *Inventario de dispositivos genéricos existentes y propuesta de otros “nuevos”*

El punto de partida ha sido el inventario de dispositivos genéricos existentes a nivel mundial, elaborando un catálogo de experiencias prácticas. Estos han sido agrupados de acuerdo con la clasificación de Gale, 2005. A los 15 de esta clasificación se han añadido y definido ocho más (tabla 1), basados, en general, en variaciones de sistemas de riego que incrementan el retorno a los acuíferos y la implantación de técnicas MAR en zonas urbanas.

SISTEMA	TIPO DE DISPOSITIVO
DISPERSIÓN	BALSAS DE INFILTRACIÓN
	CANALES DE INFILTRACIÓN
	TÉCNICAS DE TRATAMIENTO SUELO/ACUÍFERO
	CAMPOS DE INFILTRACIÓN
	RECARGA POR RETORNOS DE RIEGO
CANALES	DIQUES DE RETENCIÓN Y REPRESAS
	DIQUES PERMEABLES
	SERPENTEOS
	ESCARIFICACIÓN LECHO
	DIQUES SUBSUPERFICIALES/SUBTERRÁNEOS
	DIQUES PERFORADOS
POZO	QANATS (GALERÍAS SUBTERRÁNEAS)
	POZOS ABIERTOS DE INFILTRACIÓN
	POZOS PROFUNDOS Y MINISONDEOS
	SONDEOS
	DOLINAS, COLAPSOS...
ASR/ASTR	
FILTRACIÓN	BANCOS FILTRANTES EN LECHOS DE RÍOS (RBF)
	FILTRACIÓN INTERDUNAR
	RIEGO SUBTERRÁNEO***
LLUVIA	CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN IMPRODUCTIVO
SUDS	RECARGA ACCIDENTAL CONDUCCIONES Y ALCANTARILLADO
	SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE

Tabla 1 y Figura 1 (página siguiente). Inventario de dispositivos de gestión de la recarga de acuíferos (MAR) agrupados por tipologías (propuesta de DINA-MAR inspirada en Gale, 2005).



N	SISTEMA	TIPO DE DISPOSITIVO	ICONO	FIGURA	FOTO	LEYENDA
1	DISPERSIÓN	BALSAS DE INFILTRACIÓN / HUMEDALES				Humedal artificial para la recarga del Sanchón, Coca, Segovia. Foto: DINA-MAR
2		CANALES Y ZANJAS DE INFILTRACIÓN				Canal de recarga artificial de la Cubeta de Santiago, Segovia, Spain, operativa desde 2002. Foto: DINA-MAR.
3		CABALLONES TÉCNICOS DE TRATAMIENTO SUELOACUÍFERO				Caballones en el fondo de una balza de infiltración, California. Foto: D. Peyton
4		CAMPOS DE INFILTRACIÓN (INUNDACIÓN Y DIFUSIÓN CONTROLADA)				Campo de infiltración de Omdel (Namibia). Foto: O. Treadoux.
5		RECARGA ACCIDENTAL POR RETORNOS DE RIEGO				Recarga artificial por retornos de riego, Extremadura, España.
6	CANALES	DIQUES DE RETENCIÓN Y REPRESAS				Dique de recarga artificial en cabecera de cuencas, Alicante
7		DIQUES PERMEABLES				Dique permeable en Huesca. Foto: Tragsatec.
8		SERPENTEOS / LEVEES				Serpentoes en Sacramento, California. Foto: A. Hutchinson.
9		ESCARIFICACIÓN LECHO				Escarificación del lecho del río Besòs, Barcelona. Foto: J. Armenter.
10		DIQUES SUBSUPERFICIALES (SUBTERRÁNEOS)				Dique subsuperficial (embalse de arena) en Kiyul, Kenia. Foto: Sander de Haas.
11	DIQUES PERFORADOS				Dique perforado, Lanjarón, Granada, España. Foto: Tragsatec.	
12	POZOS	GANATS (GALERÍAS SUBTERRÁNEAS)				Ganah de Carbonero el Mayor, Segovia. Foto: E.F. Escalante
13		POZOS ABIERTOS DE INFILTRACIÓN				Pozo abierto de infiltración, Arizona, USA. Foto: DINA-MAR
14		POZOS PROFUNDOS Y MINISONDEOS				Pozo de recarga artificial, Cornellá, Barcelona. Foto: DINA-MAR
15		SONDEOS				Sondeo para MAR (ASR) en Adeliada. Foto: P. Dillon.
16		DOLINAS, COLAPSO...				Colapso cársico "El Hundimiento", Alicante, España. Foto: DINA-MAR
17	FILTRACIÓN	ASR				Dispositivo ASR en Scottsdale, Arizona. Foto: DINA-MAR
18		ASTR				Dispositivo ASTR en California.
19		BANCOS FILTRANTES EN LECHOS DE RÍOS (RBF)				Sistema RBF para MAR en Ertrea. Foto: A. Twinnhof.
20	FILTRACIÓN	FILTRACIÓN INTERDUNAR				Filtración interdunar cerca de Amsterdam, Holanda. Foto: Allus.
21		RIEGO SUBTERRÁNEO				Riego subterráneo en Andalucía. Foto: Tragsa.
23	LLUVIA	CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN IMPRODUCTIVO				Captación de lluvia en improductivo para MAR.
24		SUDS	RECARGA ACCIDENTAL CONDUCCIONES Y ALCANTARILLADO			
25		SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE				SUDS, Gomeznarro, Madrid.

3.1.2. Estudio para la determinación de las “Zonas MAR” en España y atribución del dispositivo más idóneo

Se ha llevado a cabo un complejo proceso basado en GIS para determinar las zonas de España susceptibles de aplicar técnicas de Managed Aquifer Recharge, que han sido designadas “Zonas MAR”, con aguas de origen fluvial y de depuradoras.

El proceso ha sido iterativo, probando diferentes opciones de álgebra de mapas reductivas con hasta 83 capas y coberturas GIS. Cabe destacar la capa de afloramientos permeables, litología, acuíferos, nivel del agua, cauces fluviales, depuradoras, estaciones de aforo con medidas excedentarias, pendientes, altitud, distancia a la costa, etc. La componente de R+D principal se ha basado en estudiar qué secuencia deductiva conducía a resultados similares a los inventarios ya existentes. Tras varios ensayos se han definido las “Zonas MAR” en España, cuya agrupación por cuencas hidrográficas figura en la tabla 2.

ID	CUENCA	total cuenca (km ²)	Sup. cuenca (km ²)	% cuenca	% total
1	NORTE	1952.98	53780.90	3.63	2.92
2	DUERO	21565.45	78955.69	27.31	32.26
3	TAJO	10186.19	55814.90	18.25	15.24
4	GUADIANA	5183.57	60125.19	8.62	7.75
5	GUADALQUIVIR	4878.02	63298.10	7.71	7.3
6	SUR	1457.55	18408.22	7.92	2.18
7	SEGURA	2282.97	18833.04	12.12	3.41
8	JUCAR	7891.79	42682.26	18.49	11.8
9	EBRO	8686.32	85936.39	10.11	12.99
10	PIRINEO	1746	16555.28	10.55	2.61
11	BALEARES	1023.07	5038.33	20.31	1.53
	TOTAL	66853.9	499428.31	13.39	100

Tabla 2. Datos relativos a la distribución de zonas MAR por cuencas hidrográficas. Columnas: superficie de la cuenca y de la “zona MAR” circunscrita en ella y porcentaje que representa respecto a cada cuenca y al total. Revisado de Fdez. Escalante *et al*, 2008 (CONAMA 9).

Aproximadamente un 16 % (67.000 km²) del territorio de España peninsular e Islas Baleares es susceptible a la gestión de la recarga. Las cuencas más idóneas son Duero y Baleares; y las menos las del norte y Guadalquivir.

Para facilitar la identificación de las “Zonas MAR” se han elaborado 11 mapas coropléticos por cuencas hidrográficas. Un ejemplo de los resultados para una de las cuencas más idóneas (Tajo) se presenta como figura 2. La totalidad de las cartografías se encuentran en www.dina-mar.es.

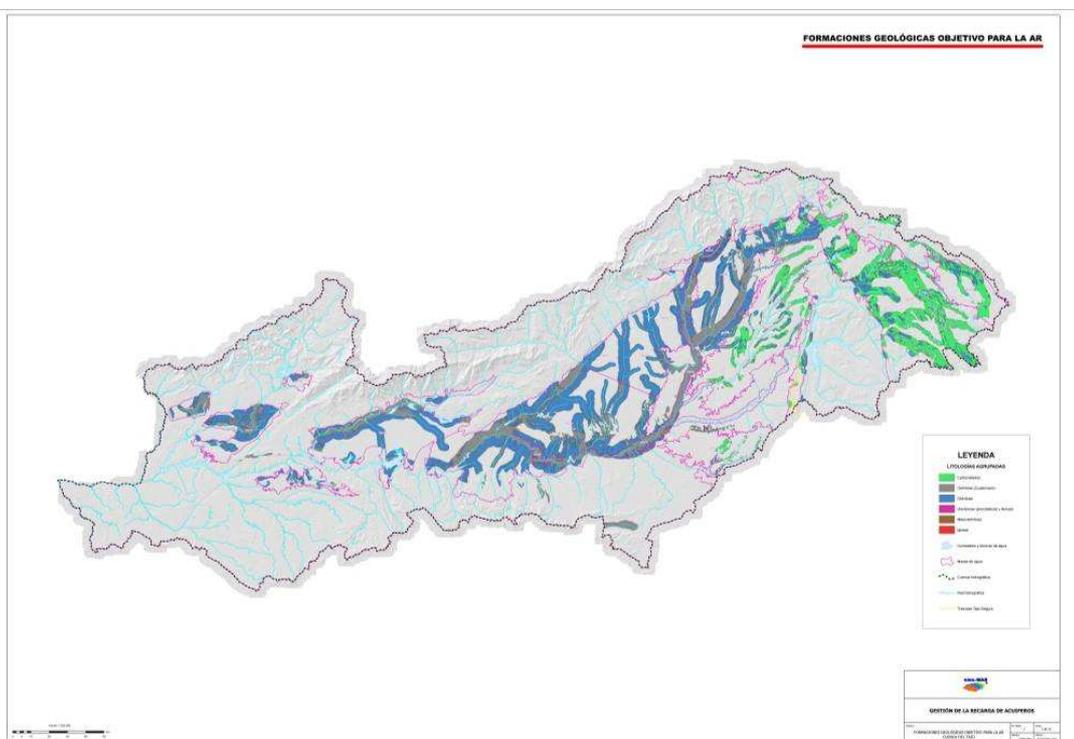


Figura 2. Distribución de las “zonas MAR” en la cuenca del río Tago, una de las más proclives a la recarga artificial del territorio español.

3.1.3. Búsqueda de criterios para asociar dispositivos con cada “zona MAR”

Con los elementos físicos bien definidos y conociendo las especificaciones de los **24 dispositivos de AR** inventariados, se ha diseñado y automatizado un sistema de rangos-pesos, de modo que cada dispositivo recibe un peso según su idoneidad y ajuste a las características físicas y a los restantes indicadores con respaldo GIS.

Los principales criterios de asociación considerados, apoyados en capas y coberturas temáticas, se ha basado en un sistema de rangos-pesos.

Los rangos establecidos han sido la distribución de permeabilidades, litologías, contaminación por nitratos, zonas regables y origen del regadío, cercanía a bosques, depuradoras (con su tipo de tratamiento), embalses (con su capacidad asociada), humedales, ríos (con su caudal medio asociado), a la costa y a acueductos importantes; pendiente, altura, riesgo de inundación, nivel del agua, calidad de las aguas, estaciones meteorológicas con excedentes hídricos y áreas urbanas principalmente. Los pesos van entre cero (inadecuado) y tres (muy favorable).

Creando una estructura relacional entre factores físicos e indicadores con respaldo GIS y los dispositivos MAR, se ha diseñado y automatizado una matriz de asociación que alimenta al Geoportal DINA-MAR (Tabla 3). El resultado es una cartografía a gran escala con una jerarquización de cuáles son los dispositivos más recomendables hasta los inviables (Figura 3).



Tabla 3. Aspecto de la tabla que relaciona los factores físicos e indicadores con respaldo SIG con los distintos dispositivos MAR.

CATEGORÍA	CÓDIGO	INDICADOR	FACTORES FÍSICOS																																																																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24																																												
ZONAS MAR	CATEGORÍA 1	CÓDIGO	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">DISPERSIÓN</th> <th colspan="4">CANALES</th> <th colspan="4">POZOS</th> <th colspan="4">FILTRACIÓN</th> <th colspan="4">OTROS</th> </tr> <tr> <th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th> <th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th> <th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th> <th>13</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th> <th>17</th><th>18</th><th>19</th><th>20</th> <th>21</th><th>22</th><th>23</th><th>24</th> </tr> </thead> </table>																								DISPERSIÓN				CANALES				POZOS				FILTRACIÓN				OTROS				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			DISPERSIÓN				CANALES				POZOS				FILTRACIÓN				OTROS																																																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24																																															
Albarinos permaltes MMA 2006	MUY ALTA		3	3	3	2	3	2	3	2	2	3	1	2	1	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1																																												
Geología de España a escala 1:200.000, MMA 2005	ALTA		2	3	3	1	3	2	2	2	3	3	1	2	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																												
	MEDIA		1	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	3	1	2	1	1	1																																												
	ALUVAL		1	3	2	3	1	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3																																												
	DETRÍTICO		2	3	3	2	1	1	2	2	1	0	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3																																												
	KARSTICO		3	2	2	2	1	1	3	3	2	0	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3																																												
Red de control de nitratos en las aguas subterráneas	METAMÓRFICO		4	0,2	2	2	0,5	1	1	2	0	0	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3																																													
	VOLCÁNICO		5	0,2	2	2	0,5	1	1	3	3	0	0	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3																																													
	INTRUSIVO		6	0,2	2	2	0,5	1	1	2	2	0	0	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1																																													
	EVAPÓRICO		7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,5	0,5	0	0	0	1	1	1	1	1	1																																													
	<50		1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																													
	>50		2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																													
	Zonas de áreas vulnerables 2005	1 ZONAS VULNERABLES O ZONAS NO VULNERABLES		1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																													
Origen del agua	SUPERFICIALES		4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	1	3	1	3	1	1	2	1	1																																													
	SUBTERRÁNEAS		2	0,5	0,5	1	0,5	1	0,5	0,5	0	0	1	1	0,5	0,5	0,5	0	0	1,5	1,5	1	0	2	0	0																																												
	RETORNOS		4	0	2,5	1	2	3	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0,5	0	0	0	0	0	1	0	0																																												
	DEPURADORAS		6	1	1	1	1	1	1	1	0	1	2	1	0	1	2	1	0,5	1	1	1	1	2	0	1																																												
	DE SALINIZADORAS		4	1,5	1	0	1	0	0	0	0	0	1,5	0	0	1,5	2	2	0,5	1,5	1	0	1	2	0	0																																												
Áreas distantes hasta 2 km desde embalse	1 ZONA 2 KM EMBALESE O ZONA DISTANCIA SUPERIOR	<=2 km	1	2	2	2	0	1	2	0	2	2	1	1	1	1	1	3	3	3	3	0	2	0	0,5																																													
	0-0,45		3	3	1	3	3	1	2	0	3	0	1	2	1	1	1	3	2	3	3	3	0,5	1	0	0																																												
	> 0,45-1,85	>1 y <=2	3	1	2	1	1	1	1	0,5	0	0	1	0	2	1	1	2,5	1	2,5	3	0	1	1	0	0																																												
	Póligonos concéntricos isotéticos de 1 a 5 km en los éas con caudal medio > 27,5	>2 y <=3	4	1	2	1	0,6	1	1	0	0	0	1	0	2	3	2	1	1	2	2	0	1	0	0	0																																												
	> 27,5	>3 y <=4	5	1	2	0	0,6	1	1	0	0	0	0,5	0	2	3	2	1	1	1	2	0	0	1	0	0																																												
	> 27,5	>4 y <=5	6	1	3	0	0,6	1	0,5	0	0	0	0,5	0	2	3	3	1	1	1	0	0	1	0	0	0																																												
	Sin riesgo	>5	4	3	2	1	0	3	0	0	0	0	1	0	1	3	3	3	1	3	3	0	1	1	1	0,5																																												
Riesgo de inundación	Máximo		1	0	0	2	3	1,5	3	3	1	1,5	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	1																																													
	Medio		2	0,5	0,5	2	3	0,5	2	1	1	1	3	0,5	0	1	1	0	1	1	0,5	0	1	0	1																																													
	Mínimo		3	2	0,5	1	2	1	0,5	0,5	0	1	1,5	1	3	2,5	1	1	1	0,5	0,5	1	1	1	1																																													
	0-10		2	3	3	1	3	1	0,5	3	3	3	1	1	3	3	3	1	3	3	3	1	1	1	1																																													
	10-20		2	2	2	1	0	1	2	1	0,5	0,5	2	1	1	3	2	1	1	2	2	0,5	0	1	1																																													
Reorientación de líneas que se encuentran dentro de un intervalo de pendiente preestablecida	20-30		3	1	1	2	0	0,5	2	2	0	1	3	2	2	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1																																													
	30-40		4	0	0	2	0	3	2	0	0	0	2	2	0,5	1	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0																																													
	40-50		5	0	0	2	0	3	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																													
	> 50		6	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																													
	Áreas distantes hasta 1 km de los frentes de los humedales	1 ZONAS INFLUENCIA DE HUMEDALES O ZONAS NO INFLUENCIA	<=1 km	0,5	1	2	0	3	1	2	0	1	2	1	1	2	3	1	1	0	0	1	1	1,5	0	0																																												
Áreas distantes hasta 1 km del Acueducto Tapo Segura	1 ZONAS INFLUENCIA TAPO SEGURA O ZONAS NO INFLUENCIA	<=1 km	2	2	2	1	1	1	0	0	2	1	0	0	1	2	2	2	2	2	0	1	0	0	0																																													
Calidad de las aguas Conductividad <=2500	1 ZONAS CONDUCT. <=2500	<=2500	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	1	1	1																																													
	2 ZONAS CONDUCT. >2500	>2500	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0																																												
Miñas en acuíferos Buffer 2 km	1 ZONAS INFLUENCIA MINAS / O ZONAS NO INFLUENCIA	<=2 km	2	2	1,5	1	1	1	0	0	0	1	0,5	3	3	1	0,5	0	1	2	0	0	0,5	0	0																																													
Usos de suelo, obtención del CORINE Land Cover	FORÉSTAL		1	0	2	3	0	3	3	0	0	3	2	1	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0																																													
	SUBSISERVICIO		1	0	0	0	1	0	1	0	2	0	3	3	2	2	0	1	1	6	0	0	0	0	0																																													
	PRADES Y PASTOS		4	1	2	2	2,5	2	0,5	0,5	1	2	0,5	0	0	2	2	1	2	0	0	0	0	1	2	0																																												
	AGRICULTIVO		4	3	3	2	3	3	3	1	2	2	3	1	3	0	2,5	2,5	3	0	3	3	1	0	3	2	0																																											
	AGRICULTIVO		2	1	0	0	0	0	1	1	1	0	2	1	1,5	1,5	1,5	1	1	1	0	3	0	0	0	0																																												
	SIN VEGETACIÓN		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																												
	Peso basado en la naturalidad (se da preferencia a las actuaciones en áreas menos sensibles y por tanto más humanizadas)	BLACARES Y NIÉVEIS PERMANENTES		3	2	2	0	3	1	2	2	2,5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0																																											
	HUMEDALES		4	3	3	0	0	0	2	1	0	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																											
	INFRAESTRUCT. HIDRÁULICAS		5	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																											
	INFRAESTRUCT. TRANSPORTE		6	2	1	0	0,5	1	0	0	0	0	0	0,5	0	0	3	3	1,5	0	2	2	3	0	2	3	3																																											
URBANO		6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	3	0	2	2	2,5	0	0	0	2	2																																												
INDUSTRIAL		6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	3	0	2	2	2,5	0	0	0	2	2																																												
Buffer 1 o 5 km Áreas Urbanas	1º km	#habitantes <=20.000	1,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1																																													
	5º km	#habitantes <=20000	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																													
	<=25		1	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	1	0	1	0	0	0	3	1	3	1	1	3	1																																												
	>25 y <=50		2	2	2	1	2	0,5	1	2	3	0,5	2	2	3	1	1	0,5	0,5	0,5	1	2	1	1	1	2																																												
	>50 y <=150		3	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2,5	0,5	3	2	0	0	0	1	2																																												
Pizométrica profunda 2000	ISOPIEZAS ROSAS	p=200 m	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,5	3	3	0	0	0	0																																													
Masas Forestales a escala 1:50.000	BOQUES		3	1	1	2	1	1	3	3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																													
	Unidades hidrogeológicas susceptibles de recarga según el IGME		3	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																													
	<20.000		1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																													
	>=20000 y <=200.000	BUFFER DE 1 KM Y DATOS DE HABITANTES EQUIVALENTES		2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3	3	1	2	2	1	1	1	1	1																																													
	>=200.000		3	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	3	3	2	1	1	1	1																																													
Depuradoras por lagunaje	BUFFER DE 1 KM		2	3	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																													
	Áreas que distan hasta 5 km de la red de control de la intrusión marina	BUFFER DE 5 KM Y DATOS DE INTRUSIÓN	5 km	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	3	3	0	0	0	0	0																																													
	> 0 y <=20		1	2	0	2	2	0	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1																																												

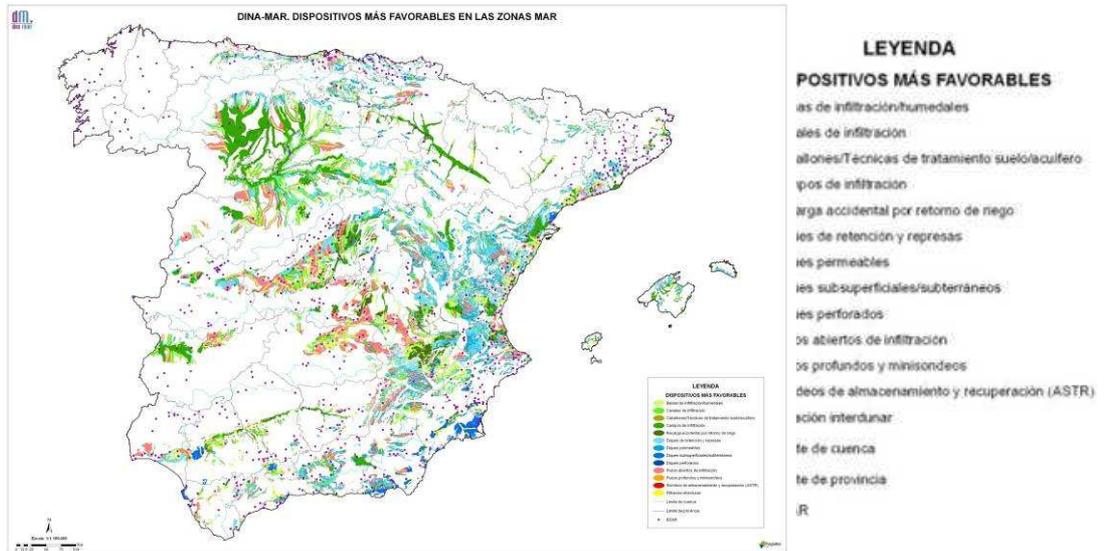


Figura 3. Cartografía provisional con la atribución de los dispositivos MAR más idóneos para cada “zona MAR”. Evidentemente es preciso realizar estudios de mayor detalle a nivel de obra.

Este sistema ha permitido identificar algunas zonas MAR de muy alta idoneidad. Por ejemplo, el acuífero del Bajo Guadalhorce (Málaga), considerando aguas procedentes del río y de una depuradora. En esta zona se concentran hasta 11 dispositivos MAR (Figura 4).

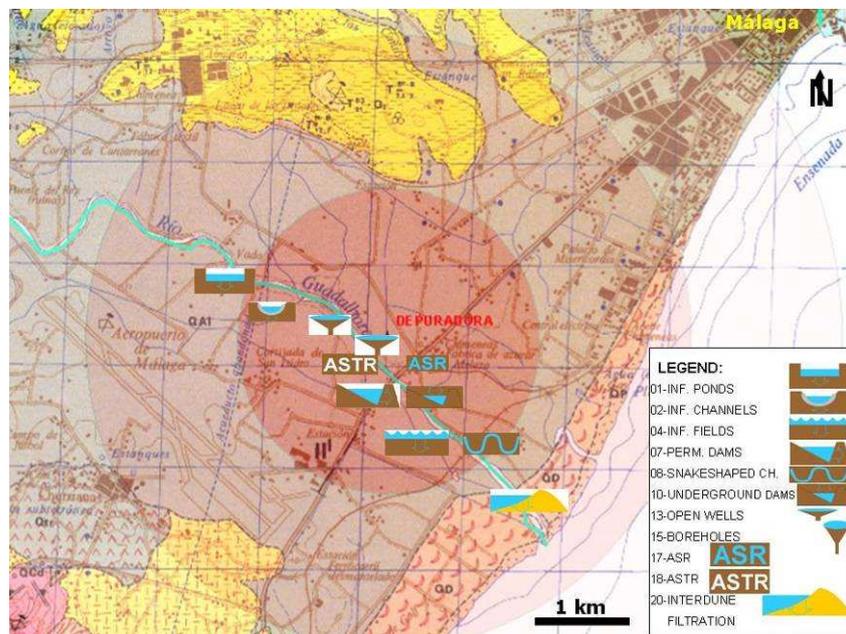


Figura 4. Ejemplo para el acuífero del Bajo Guadalhorce (Málaga). Propuesta de la ubicación de dispositivos MAR, obtenido con el sistema matricial rangos-pesos designado hidrogeportal DINA-MAR (en www.dina-mar.es). (Figura modificada de Fdez. Escalante et al, CONAMA 9).

3.1.4. Potencial de la técnica MAR en España

Partiendo de la premisa defendida en DINA-MAR de que nuestro futuro en materia de aguas pasa por nuestra capacidad para almacenarla, se ha realizado un cálculo del potencial de almacenamiento en los acuíferos de España actualmente desaturados frente a la capacidad de almacenamiento en las presas.

Partiendo del almacenamiento en embalses en España en enero de 2005, que ascendía a 53.198 hm³, y la determinación de las “Zonas MAR”, se ha hecho un cálculo con apoyo GIS basado en la profundidad del nivel del agua, la permeabilidad de los acuíferos y sus coeficientes de almacenamiento.

El resultado es que el subsuelo español (excluyendo las islas Canarias) tiene una cabida media aproximada de 2 hm³/km² en las Zonas MAR, es decir, el volumen almacenado en las presas podría almacenarse en los acuíferos en un **260 %**, salvaguardando su calidad y con plena viabilidad, permitiendo además la ocupación superficial del terreno.

Esta afirmación, de apariencia gratuita, tiene un fuerte soporte técnico y varios meses de dedicación. Las etapas seguidas para su obtención y su justificación puede ser consultada en las memorias anuales del proyecto de I+D+i DINA-MAR.

3.2. La gestión hídrica forestal

En líneas generales, las salidas que se producen en el sistema por causa del aumento de la transpiración y la intercepción, como consecuencia de la mejora de las masas forestales, quedan compensadas con la disminución de las pérdidas por evaporación directa del agua del suelo.

Esta compensación aparece justificada en la mayoría de los modelos matemáticos consultados en los antecedentes (Gandullo, 1992, Schwab, *et al.*;1966, Dunne, 1978), al considerarse que la energía solar empleada en el proceso es la misma, independientemente del tipo de vegetación existente, y que dicha radiación se emplea en el proceso global de la evapotranspiración, por lo que la altura final de agua evapotranspirada es muy similar de unos casos a otros.

A partir de los datos analizados relativos a los distintos elementos del balance hídrico se ha elaborado un cuadro con carácter matricial (relaciona factores con procesos), generando una serie de efectos con peso sobre aquellos factores que sirven de base para la propuesta de dispositivos relacionados con la gestión hídrica paliativa.

En la Tabla síntesis, al final del apartado, se resumen los distintos beneficios que las masas forestales arboladas producen sobre los principales factores que determinan el balance hídrico de una subcuenca determinada: El clima, el agua y el suelo (Pérez-Soba, 1985).

A continuación se describen algunas actuaciones de gestión forestal que es posible acometer, con objeto de incrementar las reservas hidráulicas más relacionadas con la influencia de las masas forestales, con objeto de paliar la escasez o problemas de sequía en zonas más bajas de las cuencas hidrográficas si el acuífero es el mismo.

3.2.1. Repoblaciones y selvicultura para la recarga artificial en profundidad

Estaría justificada en zonas proclives para la recarga de acuíferos. Los criterios de aplicación son:

- Creación de masas pluriespecíficas y con numerosos estratos, que permitan un importante recubrimiento del terreno y una abundante densidad de raíces en el suelo (todo ello imprescindible para una mejor infiltración).
- Favorecer a las especies de alto valor edáfico y bajo consumo de agua, eliminando a las hidrófilas.
- Potenciar las especies con sistemas radicales adaptados a las condiciones edáficas y de recarga del acuífero correspondiente.

3.2.2. Preparación mecanizada del suelo para favorecer la infiltración

En determinadas zonas forestales, en aquellas superficies directamente asentadas sobre zonas de recarga artificial de acuíferos, se pueden realizar labores de preparación del suelo, tales como subsolados según curvas de nivel, que permitan alcanzar los siguientes objetivos:

- Crear surcos que favorezcan la infiltración.
- Disminuir la escorrentía superficial.
- Facilitar la implantación y desarrollo de las plantas.

Todo ello permite una mayor eficacia en el aprovechamiento del agua, aumentando la infiltración y mejorando la recarga del acuífero existente.



Figuras 5 a) y b). La realización de surcos o zanjas de contorno, además de reducir significativamente la erosión hídrica, aumenta el tiempo de permanencia del agua en la ladera, favoreciendo la infiltración natural, la recarga de los acuíferos y el mejor desarrollo de la posterior plantación.

3.2.3. Montes ordenados para la recarga de acuíferos

Es una técnica que se está aplicando en Suiza con buenos resultados. Consiste en desviar parte de las aguas de un río hacia el interior de un bosque ordenado para la recarga, esto es, en tramos o rodales, regando cada año por inundación uno de los tramos (FAO; 1962). El empleo de especies con adecuados sistemas radicales y la realización de determinadas labores en el suelo, permite una mejor infiltración y, en consecuencia, una mayor recarga de los acuíferos existentes bajo esa masa arbolada.

3.2.4. Restauración y mantenimiento de bancales

Los bancales son rellanos artificiales, de forma más o menos rectangular, que interrumpen la pendiente de un terreno, favoreciendo su disponibilidad para el cultivo. Estas infraestructuras han sido usadas desde antiguo y han permitido al hombre extender sus áreas cultivadas a zonas difícilmente aprovechables sin esta técnica, siendo unas obras de control hidrológico muy eficaces.

En las últimas décadas, gran parte de los bancales se han abandonado, lo que ha generado su deterioro y el incremento de la escorrentía superficial, que antes estaba controlada (CAM; 1994). Una labor que puede recuperarlos y hacer que vuelvan a desempeñar ese papel de zonas de infiltración, es su repoblación con especies forestales (Figura 6).



Figura 6 Ladera abancalada. Gran cantidad de estas magníficas obras de corrección, están hoy día abandonadas. Su mantenimiento y repoblación forestal facilitan un mejor aprovechamiento hídrico de las aguas de escorrentía. Zona de Morella (Castellón).

Las especies a utilizar dependen de la zona climática en donde se encuentren los bancales, pero se suele buscar una vegetación diversa, con alto nivel protector y con mezcla de estratos. En las zonas mediterráneas, que es donde se presentan estas estructuras con mayor abundancia, se suelen emplear: pino carrasco (*Pinus halepensis*),

algarrobo, acebuche, encina, fresno, coscoja, etc. Deben plantarse con marcos amplios (4 x 4) o al tresbolillo.

3.2.5. Aprovechamiento de las aguas de escorrentía

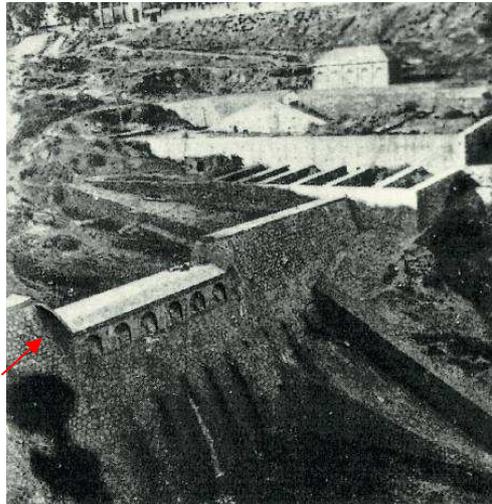
Una de las actuaciones más comúnmente utilizadas en los trabajos de corrección hidrológico-forestal, es la ejecución de diques y albarradas en los barrancos y cauces. Dichas obras, si bien se construyen normalmente con otros fines (laminación, retenida, consolidación), pueden, según los casos, servir también como infraestructuras para embalsar las aguas. Las aguas así embalsadas, reducen su velocidad aumentando el tiempo de permanencia en la cuenca y favoreciendo la infiltración natural. Si esos diques se ubican en zonas permeables que además sean superficies de recarga de un acuífero, se estará potenciando su recarga (F. Escalante, 2009).

El inconveniente que tiene este sistema de recarga es que los sedimentos que transportan las aguas pueden taponar los poros del suelo por donde se infiltra el agua, perdiendo parte de su eficacia. Para solucionar este problema se debe realizar una reforestación de la cuenca vertiente y puede llegar a ser necesaria la instalación de varios diques de retenida en serie, para favorecer la sedimentación previa al proceso de infiltración, prolongando la vida útil de estos dispositivos (Bureau, 1981). (Figura 7)



Figura 7. Dique en un torrente de Sierra Nevada (Granada). Laminan el caudal punta y aumentan la infiltración natural

Otra de las ventajas de este tipo de obras es el efecto positivo que ejercen sobre la vegetación, ya que producen un incremento de las disponibilidades hídricas en el entorno, permitiendo el desarrollo de un ecosistema más diverso y valioso, tanto a nivel de la flora como de la fauna (Figuras 8).



Figuras 8 a) y b). Dique en el torrente Salado (Lanjarón, Granada) en el momento de su construcción, década de 1950, y en la actualidad. La presencia del dique ha favorecido el desarrollo de un ecosistema muy valioso (las flechas en rojo señalan el mismo elemento en ambas fotos).

Además de estas obras, existen otras actuaciones que también contribuyen a un uso más adecuado de las aguas de escorrentía y al incremento de su disponibilidad superficial y subterránea, entre las que cabe destacar:

3.2.5.1. *Recogida de agua por impermeabilización de superficies*

La impermeabilización de cunetas o de zanjas de drenaje, permite recoger y conducir parte de las aguas de escorrentía hacia depósitos de almacenamiento (como los empleados en los incendios forestales), lo que genera un mayor aprovechamiento de las mismas (Ponce, 1989) (Figura 9).



Figura 9. Zanja de drenaje en una ladera. La recolección del agua de lluvia, reduce la erosión y permite un mayor aprovechamiento de la escorrentía. Navarra.

3.2.5.2. *Pequeñas presas en cauces fluviales, a modo de pequeños embalses*

De ahí, por infiltración, el agua irá aumentando el suministro de los acuíferos (Fig. 10).



Figura 10. Pequeña presa para embalsar agua, en Cabañeros.

3.2.5.3. *Balsas de recogida de agua a pie de ladera*

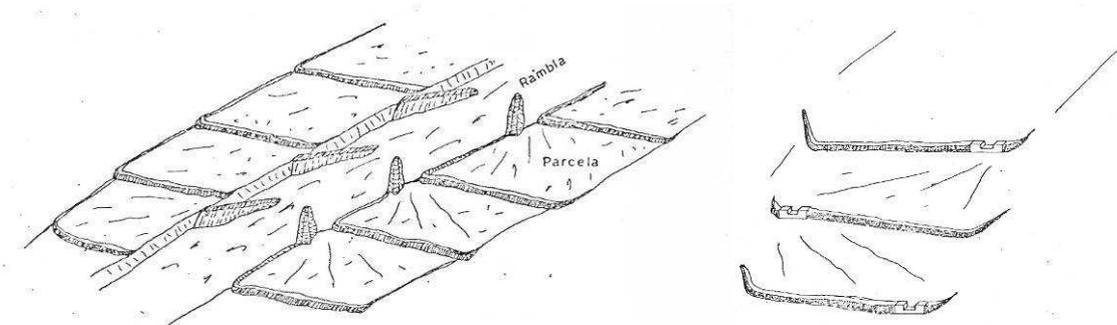
Su utilidad es múltiple bebedero para la fauna, para defensa de incendios, para infiltración en profundidad, para riego de plantas, etc.

3.2.5.4. *Boqueras*

Son unos largos caballones que derivan parte del caudal durante una avenida y lo conducen hacia las parcelas de cultivos, su uso es muy común en las ramblas (Fig. 11a).

3.2.5.5. *Atochadas*

Consisten en represar el agua de escorrentía por medio de caballones de tierra, transversales a la vaguada, y que disponen de aliviaderos laterales para permitir el paso de una a otra atochada (Fig. 11b).



Figuras 11 a) y b). a) Croquis de boqueras en una rambla. (Tomado de Ecología Fuera de Serie. ICONA. 1990) y b). Croquis de atochadas. Las líneas marcan el recorrido de las aguas (Tomado de “Ecología Fuera de Serie”. ICONA. 1990).

Además, las formaciones boscosas, y su correcta gestión, ejercen otra serie de influencias positivas sobre las aguas, tanto subterráneas como superficiales, tales como:

- Mayor aumento de la calidad de las aguas, lo que a su vez supone menores costes de depuración y mayor garantía sanitaria.
- Conservación de ecosistemas húmedos (zonas húmedas, manantiales, ríos, etc.), lo que conlleva un beneficio ecológico y de conservación de la biodiversidad, un impedimento a la intrusión marina y otros problemas de contaminación y un mantenimiento del paisaje, y por ende, un mayor valor recreativo y cultural.

3.2.6. *MAR aplicada a la gestión hídrica paliativa y a la ingeniería forestal*

Las técnicas paliativas de gestión hídrica basadas en la recarga en áreas forestales y de cabecera de cuenca estudiadas hasta la fecha están arrojando muy buenos resultados, en cuanto permiten disponer de un volumen de aguas subterráneas importante en las “cabeceras” de los acuíferos, a la vez que ayudan a reducir el efecto devastador de avenidas, etc.

El dispositivo más adecuado son los diques, que incrementan las reservas en los acuíferos de manera considerable, según se ha constatado con estudios y datos reales desarrollados en el Este de España, donde, a partir de estudios con datos climáticos y de infiltración de cinco años de duración en dos zonas puntuales, los bosques han permitido la infiltración de un volumen de agua por encima del 20% más en el subsuelo que las áreas deforestadas (Copano *et al*, 2010).

La realización de infraestructuras seriadas en las cuencas de cabecera y a lo largo de los cauces, así como la reforestación de áreas de recarga y su gestión adecuada, suponen un incremento en la recarga de los acuíferos y en su disponibilidad hídrica. Igualmente, esa gestión forestal favorece una mayor calidad de las aguas y el mantenimiento o aparición de ecosistemas con mayor calidad ambiental.

3.3. Arquitectura y gestión hídrica en las ciudades

Como criterio de reutilización en el sentido estricto, los dispositivos MAR están incorporándose cada día más a la hidrogeología urbana, dentro del contexto de la gestión hídrica en la edificación. Estos avances se llevan a cabo especialmente mediante el empleo de sistemas urbanos de Drenaje sostenible o Sostenible Urban Drainage Systems (SUDS) y la Gestión Integral del Agua en la edificación (GIAE).

Como consecuencia de la urbanización extensiva, en las ciudades se pierde hasta un 90% del agua de lluvia. Es necesario por tanto rediseñar el recorrido completo del agua por el entorno edificado (GIAE). Para el desarrollo de un nuevo modelo se establecen los siguientes ámbitos:

1 NORMATIVA	Estudio de la normativa española y europea aplicable, así como sus déficits y posibles mejoras.
2 ESTADÍSTICA	Toma / recopilación de datos y análisis de las conclusiones derivadas (p. ej. Caudales, temperaturas, consumos, gastos derivados...)
3 TRATAMIENTO	Sistemas de tratamiento en recorrido y final, variantes existentes y proposición de mejoras y nuevos modelos.
4 CAPTACION	Análisis de sistemas existentes para el aprovechamiento de agua de lluvia, variantes y nuevas soluciones.
5 ENERGÍA	Inclusión de la energía (incluir ganancias o minimizar pérdidas optimizando recursos) en el ciclo urbano del agua.
6 ACTUALIZACION	Actualización del estado del arte en cuanto a los sistemas emergentes.
7 INFORMACIÓN	Difusión del conocimiento y síntesis de los resultados.

Tabla 4. Pautas para el desarrollo de la gestión integral del agua en las ciudades.

Las técnicas deben ir encaminado a alcanzar “buenas prácticas urbanas”, destacando:

- Minimizar la escorrentía superficial en la ciudad.
- Drenar hacia zonas verdes en vez de derivar el agua al alcantarillado.
- Recoger pluviales para uso posterior: riego, cisternas, lavadoras...

- Mantener la ciudad limpia de modo periódico.
- Concienciación de fuentes contaminantes: talleres, hospitales, fábricas...
- Minimizar el uso de herbicidas y fungicidas en parques.
- Educación de todos los agentes implicados en el diseño y mantenimiento de la Ciudad.

El fin último es la rotura de la escorrentía urbana superficial, recuperar la capacidad de infiltración originaria del terreno y romper el efecto "isla de calor" en las ciudades.

4. CONCLUSIONES

- El futuro de las técnicas especiales debe pasar por mejorar los mapas de “Zonas MAR” y de potencialidad ambiental, teniendo en mayor consideración la recarga artificial profunda en acuíferos multicapa.
- Es preciso profundizar en los aspectos económicos de la técnica MAR, así como hacer una valoración contingente de los aspectos ambientales y sociales, teniendo en consideración los costes de oportunidad del recurso. Además los nuevos diseños deben encaminarse a dispositivos de bajo coste.
- El control de la escorrentía y la gestión de las aguas turbias se han consolidado como medidas de gestión hídrica paliativas, que incrementan las reservas de los acuíferos donde más falta hace.
- Todo lo expuesto muestra cómo la realización de una serie de infraestructuras en las cuencas de cabecera y a lo largo de los cauces, así como la reforestación de áreas de recarga y su gestión adecuada, suponen un incremento en la cantidad de agua subterránea que recarga los acuíferos y en las disponibilidades hídricas para diversos usos en la zona afectada. Igualmente, esa gestión forestal favorece una mayor calidad de las aguas y el mantenimiento o aparición de unos ecosistemas con mayor biodiversidad y calidad ambiental. Todo ello se traduce como un impacto positivo de las masas forestales en los acuíferos y por ende, en el cambio climático.
- GIAE abre una adecuada línea de investigación en el marco de la hidrogeología urbana, si bien el concepto de los SUDS queda limitado en algunos aspectos que deben englobarse en proyectos de mayor gestión del agua en la edificación, y ésta en la gestión integral.
- Los efectos más evidenciados es la rotura de la escorrentía urbana, el aumento del volumen de agua infiltrado bajo las ciudades y la rotura del efecto “isla de calor” en las ciudades.
- En su globalidad, de todas las líneas de acción y disciplinas consideradas, se observa que las ventajas de la técnica MAR sobrepasan los inconvenientes, que la innovación debe tener un énfasis mayor y que todavía quedan muchos huecos en el estado del arte, y especialmente, en las ciencias más apartadas de la hidrogeología.

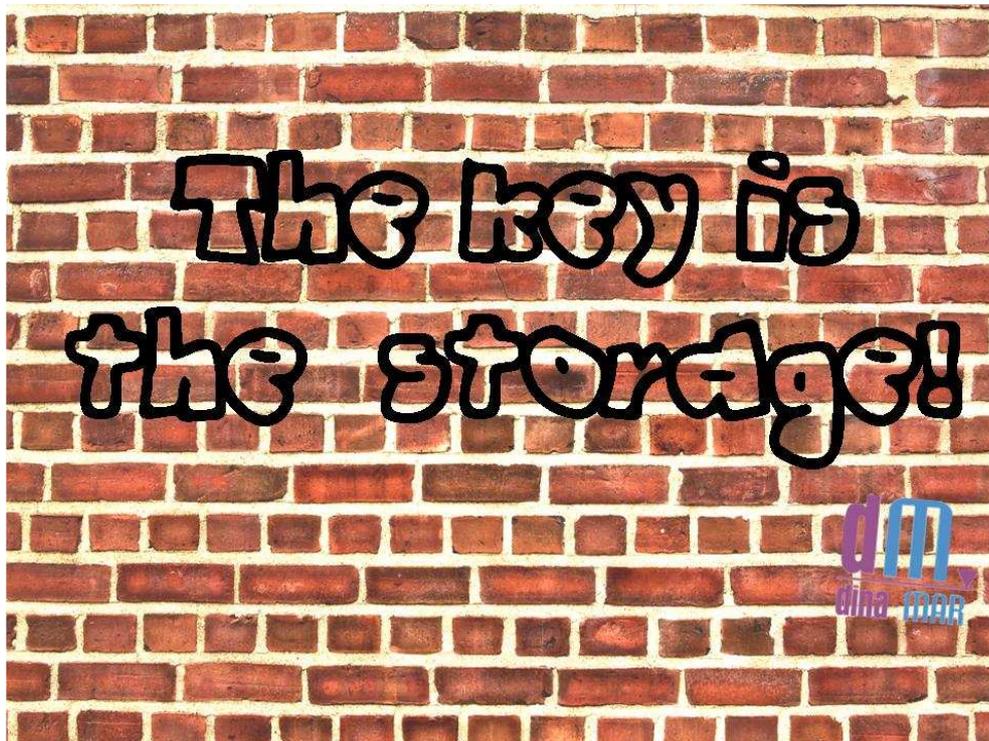


Figura 12. El *kit* de la cuestión: *la clave es el almacenamiento* de agua en los acuíferos para el uso de generaciones futuras, para solucionar problemas en la gestión hídrica integral y para paliar, en alguna medida, los efectos adversos del cambio climático.

ELEMENTO DEL BALANCE	PROCESO	EFEECTO	INFLUENCIA SOBRE
CLIMA	Luminosidad	<ul style="list-style-type: none"> • Cualitativamente: disminuye las longitudes de onda rojas y azules (las frondosas). • Cuantitativamente: reduce la luminosidad entre un 5-20%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Balance de radiación • Evapotranspiración
	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce las temperaturas extremas. • Mantiene las medias de los meses fríos y disminuye las medias de los meses cálidos. • Disminuye la media anual en unos 4°C 	<ul style="list-style-type: none"> • Evapotranspiración • Humedad relativa
	Viento	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce la velocidad a 1/4 ó 1/5 de la del raso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evapotranspiración • Humedad relativa
	Humedad relativa	<ul style="list-style-type: none"> • La aumenta en un 10% como media (por menor temperatura y mayor dificultad de difusión del vapor de agua, entre otras cosas). 	<ul style="list-style-type: none"> • Evapotranspiración
	Precipitaciones	<ul style="list-style-type: none"> • En las ciclónicas no influye. En las convectivas tiene una ligera influencia, si bien está poco precisada. En las orográficas las incrementa, de forma que aumenta las precipitaciones totales entre un 2-3%. • Incrementa el agua captada por las precipitaciones no convencionales tales como el rocío, la escarcha, las precipitaciones ocultas y las precipitaciones horizontales (estas últimas son especialmente importantes en bosques de zonas sometidas a vientos marítimos). • Intercepción: las masas forestales captan parte de la lluvia originando unas pérdidas respecto del agua que alcanza el suelo. Dicha intercepción se valora en un 30% de las precipitaciones para las coníferas, entre 15-20% para las frondosas, y cantidades inferiores para matorrales y pastos; la cubierta en contacto con el suelo también produce una intercepción importante, dependiendo de su espesor y composición. El agua interceptada termina por evaporarse, contribuyendo así al proceso de evapotranspiración del sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidades hídricas • Evapotranspiración • Balance de radiación

ELEMENTO DEL BALANCE	PROCESO	EFEECTO	INFLUENCIA SOBRE
AGUA	Escorrentía	Disminuye al conjugarse la mayor capacidad de infiltración que producen; la intercepción que generan; la mayor rugosidad de la superficie del suelo y los mayores obstáculos que interpone, lo que produce una fuerte disminución de la velocidad del escurrimiento, que a su vez influye en la disminución del caudal punta y en la pérdida de volumen por mayor infiltración y evaporación debido al retraso; la transpiración de las plantas, que regula la humedad del suelo y mantiene una cierta reserva aún en épocas húmedas; y por la gran capacidad de absorción que tiene la cubierta de restos vegetales y humus de las masas forestales.	<ul style="list-style-type: none"> • Caudales punta • Disponibilidades hídricas • Infiltración • Evapotranspiración
	Evapotranspiración	Además de su influencia en los elementos climáticos que la regulan, las masas forestales intervienen en el balance de la evapotranspiración a través de la composición de las masas (especies que las configuran), de la densidad de las mismas y de la edad de sus individuos, fundamentalmente.	<ul style="list-style-type: none"> • Evapotranspiración
	Calidad	Producen una disminución de sedimentos; introducen menos carga de nutrientes en las aguas que drenan (nitrógeno y fósforo principalmente), reduce la concentración de nitratos en el agua tan difícil de corregir en las plantas de tratamiento; disminuye la temperatura de las aguas, lo que propicia un mayor contenido de oxígeno y una mayor capacidad depuradora; regulando además las oscilaciones bruscas de la temperatura de las aguas.	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidades hídricas • Mantenimiento y equilibrio de los ecosistemas
SUELO	Infiltración	Modifican la capacidad de infiltración de un suelo mediante: la intercepción inicial de las gotas de lluvia, que retarda su llegada al suelo disminuyendo su intensidad; el escurrimiento de agua a lo largo del tronco, que se incorpora en su mayoría al suelo; la gran capacidad de absorción de las cubiertas de restos vegetales y húmicas, retrasando el punto de encharcamiento; la mayor porosidad de que dotan a los suelos forestales los sistemas radicales y la materia orgánica incorporada, que establecen una permeabilidad superior a la de cualquier otra cubierta vegetal; y, finalmente, un incremento de la propia capacidad de absorción de agua por el suelo, consecuencia de su modificación estructural debida al arbolado.	<ul style="list-style-type: none"> • Recarga de la capacidad de campo • Aumento de las reservas de aguas subterráneas

Tabla 1: Matriz para el análisis de los beneficios de las masas forestales arboladas sobre los elementos del ciclo hidrológico.



5. BIBLIOGRAFÍA

- BOUWER, H. (2002). *Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. Hydrogeology Journal, volume 10, nº 2, abril 2002.*
- BUREAU OF RECLAMATION (1981). *“Diseño de presas pequeñas”*. CECSA. México.
- CONSELLERIA D'AGRICULTURA, PESCA I ALIMENTACIÓ. *“Plan de modernización del regadío en la Comunidad Valenciana”*. Generalitat Valenciana.
- CONSELLERIA D'OBRES PUBLIQUES URBANISME I TRANSPORTS (1985). *“Libro Blanco del Agua en la Comunidad Valenciana”*. Generalitat Valenciana.
- CONSELLERIA D'OBRES PUBLIQUES, URBANISME I TRANSPORTS (1994). *“Bases para la política hidráulica en la Comunidad Valenciana”*. Direcció General d'Obres Públiques. Generalitat Valenciana.
- CONSELLERIA DE AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE & INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (1996). *“Los recursos hídricos en la Comunidad Valenciana”*. Madrid.
- CONSELLERIA DE MEDI AMBIENT (1994). *“Libro Blanco de la Política Forestal de la Comunidad Valenciana”*. Generalitat Valenciana.
- COPANO GONZÁLEZ DE HEREDIA, C; FERNÁNDEZ ESCALANTE, E. & MINAYA OVEJERO, M.J. (2010). *Técnicas paliativas de gestión hídrica. El incremento de la reserva mediante la gestión de la recarga de acuíferos en áreas forestales*. Revista Tecnología y desarrollo nº 9. En prensa.
- DUNNE, T. and LEOPOLD, L.B. (1978). *“Water in Environmental Planning”*. W.H. Freeman and Company. New York.
- FAO (1962). *“La influencia de los montes”*. Roma.
- FDEZ. ESCALANTE, E., MINAYA OVEJERO, M^a JESÚS; SAN MIGUEL FRAILE, M^a ÁNGELES, COPANO GONZÁLEZ DE HEREDIA, CARLOS, SAN SEBASTIÁN SAUTO, JON; PRIETO LEACHE, IGNACIO Y MARTÍNEZ TEJERO, ÓSCAR (2008). *“Técnicas especiales de gestión hídrica. Revivificación de esquemas tradicionales y diseño de tecnologías de vanguardia en el ámbito de la reutilización, gestión de la recarga y técnicas paliativas”*. CONAMA 9, 38 pg. Madrid.
- FDEZ. ESCALANTE, E. (2009). *“Gestión de la recarga de acuíferos (MAR)”*. Serie Hidrogeología Hoy, nº4. Grafinat. 2^a Edición.
- GALE I. (2005). *Strategies for Managed Aquifer Recharge (MAR) in semi-arid areas*. IAH-MAR, UNESCO IHP. Paris, Francia.
- GANDULLO, J. M. (1992). *“Influencias de la vegetación en el clima”*. Curso Internacional sobre Ordenación Agrohidrológica y Restauración Hidrológico-Forestal de Cuencas. CENEAN. España.
- LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F. (1992). *“Influencia de la vegetación en la conservación del agua y del suelo”*. Curso Internacional sobre Ordenación Agrohidrológica y Restauración Hidrológico-Forestal de Cuencas. CENEAM. España.
- PÉREZ-SOBA BARÓ, A. (1985). *“Influencias de la vegetación en la conservación del suelo y del agua”*. Revista El Campo nº 98: Bosques y montes de España.
- PONCE, V. M. (1989). *“Engineering hydrology. Principles and practices”*. Prentice Hall. New Jersey.

- SCHWAB, G. O.; FREVERT, R. K. ; EDMINSTER, T. W. & BARNES, K. K. (1966). *“Soil and water conservation engineering. Chapter 3: Infiltration, Evaporation and transpiration”*. Third Edition.

<http://www.dina-mar.es>. Octubre de 2010.