

GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA
EN LA REGIÓN DE MURCIA
**EL CASO DEL
CAMPO DE CARTAGENA**



Instituto Murciano de Investigación y
Desarrollo Agrario y Alimentario

GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA EN LA REGIÓN DE MURCIA

EL CASO DEL CAMPO DE CARTAGENA



EDITORES:

Manuel Erena Arrabal, Joaquín Gris Martínez, Enrique Correal Castellanos

AUTORES:

Manuel Erena, Consuelo Pellicer, Luis Rincón, Pablo Botía, Enrique Correal, Juan Gabriel Pérez, Pascual Romero (IMIDA)

Joaquín Gris Martínez (CARM)

Ramon Aragon (IGME)

Rafael Domingo, Alejandro Pérez, Francisco Alcón (UPCT).

Arturo Torrecillas, M. Carmen Ruiz (CEBAS)

Salomón Montesinos (Geosys S.L.)

APORTACIÓN DE DATOS Y ELABORACIÓN DE MAPAS:

Lope Lorenzo, Jonathan Peter Cox (Geomática y Servicios Web S. L.)

Pedro García, Pedro Pérez, Joaquín F. Atenza, Isabel Baños, José Pilar Rosa, Daniel I. Paya, Diana Sánchez (IMIDA)

Agustín Lahora (ESAMUR)

Rafael Miguel García (Dirección General de Regadíos-CARM)

Mariano Soto (Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena)

Inmaculada García (Servicio de patrimonio histórico-CARM)

Ramon Pablo García (Servicio de Cartografía - CARM)

Luis Solís (INTECSA)

Mariano Vicente (Dirección General del Patrimonio Natural)

Javier García-Pintado, Cristina Ortega (Eurovertice S.L.)

Juan A. López morales, Ramón P. García Cárdenas, Arancha Rincón (3000 Informática S.L.)

AGRADECIMIENTOS:

Confederación Hidrográfica del Segura

Instituto Geológico y Minero de España

Instituto Geográfico Nacional de España

Agencia Estatal de Meteorología- Delegación de Murcia

Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura

Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena

Los autores desean agradecer la financiación recibida por parte del Programa SUDOE (SO2/2.1/F28).Réseau d'actions concertées en horticulture pour une conduite de l'irrigation précise et économique en eau en SUDOE y (SOE1/P2/E082) USO DE LA TELEDETECCIÓN PARA LA RECOMENDACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LAS PRÁCTICAS DE RIEGO EN EL ESPACIO SUDOE- Telerieg.

Los autores desean agradecer la financiación recibida por parte del MICINN (AGL2007-66279-C03-03 y 02/AGR) y la Fundación Séneca (08845 y 08847 /PI/08) al seguir apoyando los estudios de RDC en frutales.

índice

PRÓLOGO	7
FIGURAS Y TABLAS	10
SIGLAS	15
INTRODUCCIÓN	17
01 DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CAMPO DE CARTAGENA	21
02 DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS	27
03 INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA	43
04 USOS Y DEMANDAS	73
05 EL FUTURO: I+D+i Y TECNOLOGÍA DEL AGUA	87
06 DIRECTORIO DE ENTES PÚBLICOS COMPETENTES EN LA GESTIÓN DEL AGUA	133
07 DIRECTORIO DE ORGANISMOS DE I+D+i CON ACTIVIDAD EN EL CAMPO DE CARTAGENA	141
08 BIBLIOGRAFÍA	153

prólogo préface foreword



prólogo

El sureste peninsular, donde se localiza la cuenca del Segura, la Región de Murcia y la comarca del Campo de Cartagena, es una de las zonas más secas de la Península Ibérica y de Europa; por ello, históricamente, una de las limitaciones más importantes de la agricultura local ha sido la disponibilidad de agua, tanto en términos de cantidad como de calidad. La baja precipitación (media de 300 mm/año) y la elevada evaporación (media de 1200 mm/año) establecen límites muy estrictos en los recursos de agua disponibles, lo que plantea graves problemas de déficit hídrico e infradotación de agua para los cultivos, que se ven agravados en episodios de escasez de agua y sequía como el actual. Pero por otro lado, la gran calidad de las tierras y el suave clima invernal ofrecen excelentes aptitudes para el regadío y dan lugar a una agricultura muy competitiva dedicada en gran parte a la exportación.

El regadío en el sureste peninsular es crucial para el suministro de alimentos a nivel nacional, dado que bajo las condiciones climáticas existentes, las producciones se multiplican por 5–10 veces al pasar del secano al regadío. Sin embargo, los escasos recursos hídricos limitan la expansión de este, por lo que la única forma de mantenerlo es mediante una mayor eficiencia en el uso del agua y el desarrollo de tecnologías apropiadas que combinen incrementos de producción y calidad con una mayor protección ambiental.

La Región de Murcia optimiza el uso de los escasos volúmenes de agua de que dispone, ya que cuenta con sistemas de regadío modernizados y con una gestión integrada de todos los recursos de agua de las diferentes fuentes: trasvase Tajo-Segura, depuración, explotación de los acuíferos y desalación. Además, cuenta con las técnicas más innovadoras en saneamiento, que dan cobertura a casi un 99% de la población.

En cuanto a la reutilización de aguas regeneradas mediante depuración, la Región de Murcia tiene el mayor porcentaje de toda la España peninsular, alcanzando el 30%, frente a una media nacional del 8%, y dando lugar a 105 hm³/año de aguas regeneradas reutilizadas en el sector agrícola.

Estos últimos años, la Región de Murcia se ha visto favorecida con la consolidación de técnicas de riego localizado y de alta frecuencia, que han supuesto una gran transformación de sus regadíos, hasta situarse como la región española con mayor porcentaje de superficie regada con riego localizado, que alcanza el 98% en la zona del Campo de Cartagena.



préface

Le sud-est de la péninsule ibérique, où se trouvent le bassin versant du Segura, la région de Murcie et le territoire du *Campo de Cartagena*, est une des zones les plus sèches de la péninsule et même de l'Europe ; c'est pour cela que, historiquement, une des contraintes majeures de l'agriculture locale a été la disponibilité d'eau, tant en termes de quantité que de qualité. Les faibles précipitations (300 mm/an en moyenne) et la forte évaporation (environ 1200 mm/an) fixent des limites très strictes sur les ressources hydriques disponibles, ce qui pose de sérieux problèmes de déficit et de sous-dotations d'eau pour les cultures, qui sont aggravés lors d'épisodes de pénurie d'eau et de sécheresse comme celui que l'on vit actuellement. Mais d'un autre côté, la grande qualité des terres et la douceur du climat en hiver sont d'excellents atouts pour les cultures irriguées qui ont permis de développer une agriculture très compétitive destinée en grande partie à l'exportation.

L'agriculture irriguée du sud-est de l'Espagne est essentielle pour l'approvisionnement alimentaire national, du fait que les conditions climatiques favorables permettent aux cultures irriguées de produire entre 5 et 10 fois plus que celles non irriguées. En revanche, les maigres ressources en eau limitent l'expansion de ce mode de culture. La seule façon de le rendre durable est d'augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de développer des technologies appropriées combinant une amélioration des rendements et de la qualité avec un plus grand respect de l'environnement.

La région de Murcie optimise l'utilisation des volumes limités d'eau dont elle dispose, puisqu'elle a su mettre en place des systèmes d'irrigation modernes et une gestion intégrée de toutes les ressources en eau d'origine diverse : le transvasement Tage-Segura, l'épuration, l'exploitation des réserves aquifères et le dessalement. Il possède également les technologies les plus avancées en matière d'assainissement, couvrant près de 99% de la population.

En ce qui concerne la réutilisation des eaux épurées, la région de Murcie, avec un 30%, est celle qui fait le mieux en Espagne, où la moyenne n'est que de 8%, puisque 105 hm³/an d'eaux épurées sont réutilisées dans le secteur agricole.

Au cours des dernières années, la région de Murcie a profité de la consolidation des techniques d'irrigation localisée et de haute fréquence, ce qui a entraîné une transformation majeure de ses cultures irriguées. Aujourd'hui, elle présente le pourcentage le plus élevé en Espagne de surfaces irriguées par irrigation localisée, atteignant 98% dans la zone du *Campo de Cartagena*.



foreword

Southeast Spain, where the Segura basin, the Murcia Region and the *Campo de Cartagena* area are located, is one of the driest areas of the Iberian Peninsula and of Europe, which is why, historically, one of the most important constraints on local agriculture has been the availability of water, both in terms of quantity and quality. Low rainfall (averaging 300 mm/year) and high evaporation (averaging 1200 mm/year) set very strict limits on water resources available, thus posing serious problems of water deficit and under-watering to crops, that are aggravated in periods of drought and water shortages such as the current one. But on the other hand, high quality of soils and mild winter weather offer excellent suitability for irrigation and have led to a strongly competitive agriculture, largely export-oriented.

The irrigated agriculture of this south-eastern area is crucial for food supply at the national level, given that, under existing climatic conditions, irrigated farming produces 5–10 times more than dry farming. However, as scarce water resources limit the expansion of irrigation, the only way to sustain it is through greater efficiency in water use and development of appropriate technologies that combine production and quality increases with greater environmental protection.

The Region of Murcia optimizes the use of the limited water volumes at its disposal, thanks to its modern irrigation systems and the integrated management of each different water resource: Tagus-Segura transfer, wastewater treatment, groundwater exploitation and desalination. It also uses the most innovative techniques in sanitation, which cover almost 99% of the population.

As for the reuse of reclaimed water, the Region of Murcia boasts the highest percentage in Spain, reaching 30%, compared with a national average of 8%, totalling 105 hm³/year of reclaimed water reused in the agricultural sector.

In recent years, the Region of Murcia has benefited from the consolidation of localized and high-frequency irrigation techniques, in what has been a major transformation of its irrigated farming, becoming the Spanish region with the highest percentage of irrigated area using drip irrigation, up to 98% in the area of *Campo de Cartagena*.

Índice figuras y tablas

01 DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CAMPO DE CARTAGENA

Fig. 1.1 Comparación de zonas (ESYRCE, 2006; INE, 2006)	23
Fig. 1.2 Imagen de satélite Landsat de la Región de Murcia de julio de 2007	23
Fig. 1.3 Mapa carreteras regional (CARM, 2008)	24
Tabla 1.1 Campo de Cartagena. Valores medios de las variables climáticas	24
Fig. 1.4 Precipitación Cuenca del Segura (AEMET, media periodo 1961-1990)	25
Fig. 1.5 Agricultura altamente tecnificada	25

02 DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS

Fig. 2.1 Rambla de Fuente Álamo	29
Fig. 2.2 Rambla del Albuñón.....	29
Fig. 2.3 Balance hídrico de la Unidad del Campo de Cartagena (ITGE, 1994)	30
Fig. 2.4 Planta y perfil del canal del ATS (1977)	31
Fig. 2.5 Corte hidrogeológico del Campo de Cartagena (ITGE, 1994)	33
Fig. 2.6 Postravase ATS	35
Fig. 2.7 Sifón de Orihuela del Trasvase Tajo-Segura	36
Fig. 2.8 Impulsión de Fuente Álamo del Trasvase Tajo-Segura	36
Tabla 2.1 Evolución de los volúmenes de agua trasvasados del río Tajo al Segura (hm ³), 1984-2007	36
Fig. 2.9 Embalse regulador de la impulsión de Fuente Álamo	37
Fig. 2.10 Panel de control de la EDAR de Torrepacheco (ESAMUR)	38
Tabla 2.2 Datos de las estaciones depuradoras de ESAMUR	38
Fig. 2.11 EDAR de Torre Pacheco (ESAMUR)	39
Fig. 2.12 Pretratamiento en la EDAR de Torre Pacheco	39
Fig. 2.13 Decantador de la EDAR de Torre Pacheco	39
Fig. 2.14 Reactor biológico de la EDAR de Torre Pacheco	39
Fig. 2.15 Tratamiento con ultravioleta en una EDAR	40
Fig. 2.16 Vista de la depuradora de Torre Pacheco ESAMUR	40
Fig. 2.17 Porcentaje de agua residual reutilizada de España (INE, 2005)	40
Fig. 2.18 Vista plantas desaladoras CRCC y CHS (San Pedro del Pinatar I y II)	41
Fig. 2.19 Planta desaladora de San Pedro II	41
Fig. 2.20 Plantas desaladoras del Campo de Cartagena y su red de distribución	42



03 INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA

Fig. 3.1 Principales infraestructuras hidráulicas del Campo de Cartagena	45
Fig. 3.2 Sinóptico de la red hidráulica de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena	46
Fig. 3.3 Evolución del Riego localizado en la Región de Murcia (CARM, 2007)	47
Fig. 3.4 Canal del Post-trasvase a su paso por la impulsión de Fuente Álamo	47
Fig. 3.5 Red de seguimiento hidrogeológico del Campo de Cartagena	48
Fig. 3.6 Material para la realización de sondeos	48
Fig. 3.7 Camisas para el recubrimiento de pozos	49
Fig. 3.8 Red de estaciones de depuración de aguas residuales dependientes de ESAMUR en 2007	49
Fig. 3.9 Mapa de desaladoras y depuradoras en el Campo de Cartagena	50
Fig. 3.10 Desaladora de aguas de drenaje de la CRCC en el Mojón	50
Fig. 3.11 Esquema del funcionamiento de la desaladora de San Pedro (La Verdad, 2005)	51
Fig. 3.12 Sinóptico de la desaladora del Mojón de la CRCC	51
Fig. 3.13 Abastecimiento a la Zona Norte	53
Fig. 3.14 Esquema de la distribución del agua en la Zona Norte	53
Tabla 3.1 Depósitos municipales	55
Tabla 3.2 Depósitos de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla	55
Tabla 3.3 Características longitudinales de “Monte Calnegre”	56
Tabla 3.4 Sectorización de San Javier	62
Tabla 3.5 Sectorización de Santiago de la Ribera	63
Fig. 3.15 Esquema hidráulico de los puntos de toma sobre canales de la mancomunidad de los Canales del Taibilla en el municipio de San Javier	64
Fig. 3.16 Esquema de la MCT en los Dolores	67
Fig. 3.17 Esquema de la MCT en la Tercia	69
Fig. 3.18 Esquema de la distribución del agua en las pedanías de Murcia	71

04 USOS Y DEMANDAS

Fig. 4.1 Usos y demandas de agua en el Campo de Cartagena	75
Tabla 4.1 Recursos y demandas de agua (ESYRCE, 2006; INE, 2007)	76
Fig. 4.2 La agricultura de ciclo forzado en el Campo de Cartagena	76
Tabla 4.2 Campo de Cartagena. Demanda de agua agrícola	77
Fig. 4.3 Estación agroclimática del IMIDA en Torreblanca	77
Fig. 4.4 Cultivos de cítricos en riego por goteo	77
Fig. 4.5 Distribución de cultivos en el Campo de Cartagena (SIGEAM, 2007)	78
Fig. 4.6 Cultivo de alcachofas en el Campo de Cartagena	78
Fig. 4.7 Cultivos hortícolas en riego por goteo	78
Fig. 4.8 Sistema de recogida de aguas de lluvia en invernaderos	79
Fig. 4.9 Instalaciones con cultivo hidropónico de pimiento	79

Fig. 4.10 Embalse regulador de la CRCC en la Impulsión de Fuente Álamo	79
Fig. 4.11 Consumo de agua por habitante y día (INE, 2005)	80
Tabla 4.3 Evolución de la población censada, 2001-2007	81
Tabla 4.4 Agua suministrada por la MCT, 2001-2007 (m ³)	82
Fig. 4.12 Desarrollos turísticos	82
Fig. 4.13 Balneario	82
Fig. 4.14 Demanda urbana en el Campo de Cartagena	83
Tabla 4.5 Campo de Cartagena. Indicadores de consumo, 2007	83
Fig. 4.15 Instalación de General Electric en el Campo de Cartagena	85
Fig. 4.16 Centro de interpretación de las Salinas de San Pedro	86
Fig. 4.17 Parque natural de las salinas de San Pedro	86
Fig. 4.18 Realización de un sondeo para el seguimiento del nivel freático	86
Fig. 4.19 Sistema de medición del nivel freático	86

05 EL FUTURO: I+D+i Y TECNOLOGÍA DEL AGUA

Fig. 5.1 I+D+i sobre el uso del agua en el Campo de Cartagena	90
Fig. 5.2 Plan de modernización Comunidades de Regantes del Campo de Cartagena (2000) ...	91
Fig. 5.3 Sistema de filtrado de un cabezal de riego por goteo	92
Fig. 5.4 Diferentes tipos de goteros	92
Fig. 5.5 Web del Servicio de Información Agraria de Murcia	93
Tabla 5.1 Necesidades medias mensuales de algunos cultivos del Campo de Cartagena (m ³ /ha) ...	94
Fig. 5.6 Riego por goteo con control de humedad (Rincón, 2005)	94
Fig. 5.7 Mapa de evapotranspiración media periodo 1998-2004 (Erena, 2007)	95
Fig. 5.8a Cabezal de riego por goteo (Regadíos de Mula-Murcia)	96
Fig. 5.8b Programador para riego automático (ETSIA – UPCT)	96
Fig. 5.9a Sensor LVDT y porta-sensor en tronco (Domingo et al, 2005)	97
Fig. 5.9b Programador de riegos automático (ESEA-UPCT)	97
Fig. 5.10 ET relativa a una plantación adulta (Feres y Goldhamer, 1990)	98
Fig. 5.11a Plantación de limoneros 'Fino' en finca experimental CEBAS-CSIC con suelo pedregoso de baja capacidad de retención hídrica (106 mm m ⁻¹)	99
Fig. 5.11b Porcentaje de ETc aplicado y momento de aplicación en cada tratamiento de riego	99
Tabla 5.2 Respuesta del limonero 'Fino' a los diferentes tratamientos de riego. Valores medios de 4 años (tomados de Domingo et al., 1996). Los valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes según el test de la MDS0,05	99
Fig. 5.12a Detalle de primer corte de la cosecha de limón en los ensayos de RDC en Santomera (Murcia)	100
Fig. 5.12b Detalle de segundo corte de la cosecha de limón en los ensayos de RDC en Santomera (Murcia)	100
Fig. 5.13 Vista parcial de la finca de albaricoqueros 'Búlida' y conteo de frutos para la determinación del número de frutos por árbol y peso medio unitario	102



Fig. 5.14 Porcentajes de ETC aplicados de acuerdo al tratamiento de riego y período fenológico del albaricoquero 'Búlida'	102
Tabla 5.3 Producción total de albaricoque (kg árbol-1) y número de frutos por árbol para los diferentes tratamientos de riego durante el periodo experimental	102
Fig. 5.15 Reducción de la producción frente al ahorro de agua en albaricoqueros)	103
Tabla 5.4 Tratamientos de RDC aplicados en la vid	104
Fig. 5.16 Resolución espectral de diferentes satélites (Montesinos et al, 2005)	106
Fig. 5.17a Imagen satélite SPOT 5 de 2.5 m de resolución del año 2005	107
Fig. 5.17b Imagen satélite Landsat TM de 30 m de resolución del año 2007	107
Fig. 5.17c Imagen satélite QuickBird de 0.7 m de resolución del año 2005	107
Fig. 5.17d Imagen NOAA de 1000 m de resolución del año 2008	107
Fig. 5.18 Resolución radiométrica de diferentes satélites (Montesinos et al, 2005)	108
Fig. 5.19 Camara ADS40 (Montesinos et al, 2007)	108
Fig. 5.20 Imagen de altaresolución de un cultivo de cítricos tomada con la camara ADS40 (Erena et al, 2008)	108
Fig. 5.21 Instrumental para el riego deficitario controlado	109
Fig. 5.22 Superficie regada en el año 2004 (Erena M., Montesinos S., 2007)	109
Fig. 5.23 Finca experimental de la CRCC en Torre Pacheco imagen infrarrojo del sensor aerotransportado Leica ADS40	109
Fig. 5.24 Finca experimental Lo Ferro de la UPCT imagen infrarrojo del sensor aerotransportado Leica ADS40	109
Tabla 5.5 Valores de potencial hídrico de xilema, parámetros de intercambio gaseoso (Tasa de fotosíntesis neta (Pnet), conductancia estomática (gs) y tasa de transpiración (E) en árboles de limonero 'Verna' injertados sobre dos patrones (naranja amargo y Citrus macrophylla) sometidos a un tratamiento de sequía durante 50 días	111
Tabla 5.6 Niveles digitales del espectro visible y del infrarrojo cercano (IR cercano) de árboles de limonero 'Verna' injertados sobre dos patrones (naranja amargo y Citrus macrophylla) sometidos a un tratamiento de sequía durante 50 días	111
Tabla 5.7 Niveles digitales de la combinación de bandas del espectro visible de árboles de limonero 'Verna' injertados sobre dos patrones (naranja amargo y Citrus macrophylla) sometidos a un tratamiento de sequía durante 50 días	112
Tabla 5.8 Análisis de regresión múltiple paso a paso (Stepwise regression) entre los parámetros indicadores del estado hídrico de la planta y los niveles digitales del espectro visible y del infrarrojo cercano en árboles de limonero 'Verna' injertados sobre dos patrones (naranja amargo y Citrus macrophylla). Solo se han mostrado las regresiones con una significación superior al 95%	113
Fig. 5.25 Finca experimental Torreblanca del IMIDA tomada camara ADS40 en Julio 2007 ...	114
Fig. 5.26 Tipos de Sustratos	116
Fig. 5.27 Cultivo de tomate en sustrato perlita con reutilización de lixiviados	120
Fig. 5.28 Invernaderos de cultivo sin suelo con drenaje libre	121
Fig. 5.29 Esquema del sistema con reutilización de los lixiviados	122
Tabla 5.9 Revisión de tarifas de los servicios de abastecimiento de agua potable (% acumulado), 1997-2007	123



Fig. 5.30 Evolución de las tarifas de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla, 1996-2007	123
Tabla 5.10 Tarifas vigentes de los servicios de abastecimiento de agua potable. Coste medio por metro cúbico, 2008 (€/m ³)	126
Tabla 5.11 Servicios de abastecimiento de agua potable. Rendimiento técnico, 2006-2007. Campo de Cartagena	126

06 DIRECTORIO DE ENTES PÚBLICOS COMPETENTES EN LA GESTIÓN DEL AGUA

Fig. 6.1 Monumento de la casa del agua de la Confederación del Segura en Santomera	135
Fig. 6.2 Web de la Confederación Hidrográfica del Segura	135
Fig. 6.3 Ámbito de actuación de la Confederación Hidrográfica del Segura	135
Fig. 6.4 Plano general del trazado del canal de la MCT (MCT, 1945)	136
Fig. 6.5 Web de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla	136
Fig. 6.6 Uso ornamental del agua	136
Tabla 6.1 Estaciones EDAR en el Campo de Cartagena	137
Fig. 6.7 Web de ESAMUR	138
Fig. 6.8 Vista de la depuradora de Torre Pacheco (Julio 2007)	138
Fig. 6.9 Web del Ente Público del Agua	138
Fig. 6.10 Vista de la desaladora en el Valle de Escombreras	138
Fig. 6.11 Web Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena	139
Fig. 6.12 Web del Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo Segura	140

07 DIRECTORIO DE ORGANISMOS DE I+D+i CON ACTIVIDAD EN EL CAMPO DE CARTAGENA

Fig. 7.1 Web del IMIDA	143
Fig. 7.2 Web del proyecto PRECIRIEG	144
Fig. 7.3 Web de la Universidad Politécnica de Cartagena	145
Fig. 7.4 Web del CEBAS	146
Fig. 7.5 Web de Universidad de Murcia	147
Fig. 7.6 Web del IGME	148
Fig. 7.7 Web de EMUASA	149
Fig. 7.8 Web de la Fundación Instituto Euromediterráneo de Hidrotecnia	150
Fig. 7.9 Web de la Agencia Estatal de Meteorología	151
Fig. 7.10 Web del Instituto Geográfico Nacional	152



siglas

ACSEGURA	Aguas de la Cuenca del Segura
ATS	Acueducto Tajo-Segura
CAA	Consejería de Agricultura y Agua
CARM	Comunidad Autónoma de la Región de Murcia
CCRR	Comunidades de Regantes
CEBAS	Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura
CES	Consejo Económico y Social de la Región de Murcia
CHS	Confederación Hidrográfica del Segura
CIFEA	Centro Integrado de Formación y Experimentación Agraria
CRCC	Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena
CSCamaras	Consejo Superior de Cámaras de Comercio, Industria y Navegación de España
DMA	Directiva Marco del Agua
EDAR	Estación depuradora de aguas residuales
EMUASA	Empresa Municipal de Agua de Murcia
EPA	Ente Publico de Agua
ESAMUR	Entidad de Saneamiento de Murcia
FEOGA	Fondo Europeo de Orientación y Garantía
I+D+i	Investigación Desarrollo e Innovación
IEA	Fundación Instituto Euromediterráneo de Hidrotecnia
IEO	Instituto Español de Oceanografía
IGME	Instituto Geológico y Minero de España (Antes ITGE)
IMIDA	Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INE	Instituto Nacional de Estadística
INM	Instituto Nacional de Meteorología
MAPA	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
MCT	Mancomunidad de Canales del Taibilla
MMA	Ministerio de Medio Ambiente
ORCC	Oficina Regional de Cambio Climático de la Región de Murcia
PAC	Política Agraria Comunitaria
PAR	Programa de Asesoramiento en Riegos



PES	Plan Especial de Sequía de la Cuenca del Segura
PHCHS	Plan Hidrológico Cuenca Hidrográfica del Segura
PNACC	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
PNR	Plan Nacional de Regadíos
RDC	Riego Deficitario Controlado
SAIH	Sistema Automático de Información Hidrológica
SCRATS	Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo Segura
SIAM	Servicio de Información Agraria de Murcia
SEIASA	Sociedades Estatales de Infraestructuras Agrarias
UE	Unión Europea
UMU	Universidad de Murcia
UPCT	Universidad Politécnica de Cartagena





introducción

Esta publicación se inició con motivo del evento de la Exposición Internacional “Agua y Desarrollo Sostenible”, Expo Zaragoza, como aportación documental a la denominada “Tribuna del Agua” con la pretensión de difundir la experiencia, de la Región de Murcia, en materia de gestión eficiente de los escasos recursos hídricos disponibles. También pretende mostrar al lector interesado en la gestión del recurso agua que uno de los principios básicos de una buena administración pública del agua exige, también en la Región de Murcia, su tratamiento integral por parte de todos los operadores que interactúan cada uno en su ámbito competencial.

En los momentos actuales, lo que prevalece sobre otras consideraciones de carácter económico es la gran tecnificación de los distintos procesos que permiten un uso racional en el empleo y gestión del ciclo integral del agua, en el que se están realizando, continuamente, multitud de actuaciones tendientes tanto a la modernización de la totalidad de los regadíos, como de las infraestructuras de los abastecimientos a poblaciones, compatible con la máxima protección del recurso y garantía respecto de su calidad sanitaria para consumo humano. Así, en los últimos años se consolida, en la Región de Murcia, el empleo generalizado de técnicas de riego localizado, o de alta frecuencia, liderando a nivel nacional la gran transformación del regadío hasta situarlo con el mayor porcentaje de superficie regada con riego localizado en toda España. El uso cada vez más eficiente del agua en los abastecimientos a las poblaciones en consumos domésticos, industriales y agropecuarios, es consecuencia de la adopción generalizada de sistemas tarifarios binomiales que penalizan el uso abusivo del recurso agua y mejora de los rendimientos técnicos de los servicios municipales. La práctica depuración de todas las aguas residuales posibilita que se pueda reutilizar, en usos agrícolas, el mayor porcentaje de agua de la España peninsular (un volumen de 105 hm³/año de aguas regeneradas, equivalente al 30 % del total, frente a una media nacional del 8%).

Históricamente, el tratamiento integral del recurso agua viene determinado por la necesidad imperiosa de que las Administraciones públicas tengan que ofrecer una respuesta adecuada a los singulares problemas derivados de la aridez y la irregularidad de las precipitaciones en forma de lluvias, a veces torrenciales, generadoras de dañinas inundaciones, evitando sus efectos negativos en términos de incertidumbre respecto del bienestar, la salud y la seguridad de bienes y personas. Más recientemente se considera que la gestión integral del recurso agua también debe contemplar un uso sostenible y respetuoso con la supervivencia de los valiosos ecosistemas asociados. Siendo esto cierto, parece razonable afirmar que dada la amplia dispersión competencial entre distintas Administraciones públicas estatales, autonómicas y locales, potencialmente, existe todavía un amplio margen de maniobra en cuanto a que los operadores puedan optimizar la gestión de los recursos hídricos.

La preocupación del Gobierno de la Región de Murcia por el uso racional de los consumos consuetudinarios de los abonados domésticos le lleva a aprobar, en 2007¹, con carácter novedoso en el ámbito nacional, una deducción en el tramo autonómico del Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas del 20% de las inversiones realizadas en dispositivos domésticos de ahorro de agua, de acuerdo con lo establecido en el artículo 4 de la Ley 6/2006, de 21 de julio, sobre incremento de las medidas de ahorro y conservación en el consumo de agua en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. En 2008, se regula² el procedimiento para la acreditación de las inversiones realizadas en dispositivos domésticos de ahorro de agua, con el fin de practicar la deducción autonómica por dichas inversiones.

A modo de paradigma de la gestión óptima del agua en la Región de Murcia, se propone la comarca del Campo de Cartagena; extensa llanura donde se localizan siete municipios -Fuente Álamo, Cartagena, La Unión, Los Alcázares, San Javier, San Pedro del Pinatar y Torre Pacheco-, configuradora de una unidad territorial que comparte unas mismas características singulares, siendo éstas las siguientes:

- Dominio climático claramente subárido y subdesértico si bien mantiene el rasgo básico del clima mediterráneo coincidiendo inviernos suaves, elevada insolación con altas temperaturas veraniegas y sequía estival, además de dejarse notar en las temperaturas la influencia reguladora del mar
- Forma una unidad natural a modo de espacio geográfico con características físico-naturales específicas. La singularidad del Campo de Cartagena es la enorme importancia en cuanto a extensión superficial de la sedimentación cuaternaria, aluvial y diluvial propia, también presente en las vegas del Segura y Guadalentín. El inmenso glacis del Campo de Cartagena finaliza en el Mar Menor, caracterizado por contar con extensas playas en la zona de La Manga y costa baja en el resto, aunque a veces no se trate de playas arenosas. Se trata, de un Mar interior separado del Mediterráneo por una pseudorestinga que se apoya en un zócalo volcánico cubierto de extensas zonas de dunas. Muchas de las dunas desaparecen a causa del impacto urbanizador, quedando sólo restos junto a las salinas del Cotorrillo. Estas se crean por la conjunción de diversos factores únicos como la presencia de vientos y corrientes favorables, así como la abundancia de materiales finos procedentes de la erosión interior. La comunicación con el Mediterráneo se realiza a través de una serie de golos aprovechadas para la pesca y la comunicación de barcos de recreo. Los materiales procedentes del desmantelamiento de las sierras litorales, prelitorales y del interior crean, durante el Pleistoceno, el actual Campo de Cartagena. En general, el material originario es calizo y sólo en algunos enclaves cobran importancia las sales y óxidos del hierro, de modo que no debe extrañar el alto contenido de carbonato cálcico presente en sus suelos. También cabe resaltar la presencia de espacios naturales de gran valor ecológico relacionados con los recursos hídricos, como son el parque regional de las Salinas de San Pedro del Pinatar y la laguna costera del Mar Menor.

¹ Ley 12/2006, de 27 de diciembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y de Orden Social para el año 2007.

² Decreto 40/2008, de 4 de abril, por el que se regula el procedimiento para acreditar la deducción autonómica en el impuesto sobre la renta de las personas físicas por inversiones en dispositivos domésticos de ahorro de agua.



- Prevalencia de la agricultura intensiva y extensificación del regadío a pesar de la ausencia de cursos regulares superficiales de agua mediante el aprovechamiento de aguas subterráneas. A partir de 1979, esta dinámica se consolida con la llegada de las aguas del Trasvase Tajo Segura y con el empleo generalizado de la más moderna tecnología del riego localizado de alta frecuencia (el 98 % de la superficie regada en la zona del Campo de Cartagena), que aporta a las plantas la cantidad de agua precisa y en el momento idóneo para su desarrollo, evitando en todo momento, el exceso de humedad ambiental propiciadora de plagas poco favorables para la floración y la polinización. La continuidad futura de estos cultivos sobre la que se asienta la horticultura de ciclo manipulado, contando con que se mantendrá la crónica situación de escasez de dotación de volúmenes de agua, previsiblemente, va a depender de la diversificación de las fuentes de aprovisionamiento, no sólo para uso agrícola sino también para atender demandas de uso urbano e industrial. Por un lado, se seguirá recurriendo a la sobreexplotación de los acuíferos subterráneos; y, por otro, continuará la tendencia iniciada en 2004 de sustituir volúmenes de agua para riego aportados por el Trasvase Tajo Segura, por aguas salobres desaladas y reutilización de agua depurada.
- Fuerte crecimiento poblacional ligado a una etapa de quince años consecutivos durante los cuales se produce un gran desarrollo urbanístico de las poblaciones del Campo de Cartagena, con la venida de colectivos poblacionales de tercera edad, originarios de la Europa comunitaria, que ocupan nuevas urbanizaciones residenciales del litoral, además de ser punto de destino de un elevado contingente de trabajadores inmigrantes, de procedencia diversa, ocupados en actividades agrícolas, ganaderas y construcción. Entre 2001 y 2007 la población censada aumenta casi un 19%. A pesar del importante crecimiento poblacional, el volumen de agua suministrada por la Mancomunidad de los Canales del Taibilla a los servicios municipales de abastecimiento de agua potable, sólo experimenta un incremento del 1,11%, merced a la mejora de los rendimientos técnicos de los servicios municipales y concienciación por parte de los abonados de la aplicación de sistemas tarifarios penalizadores de consumos domésticos, industriales o agropecuarios despilfarradores y superfluos.

En las páginas siguientes se va a tratar de la delimitación de la comarca del Campo de Cartagena, de la disponibilidad de recursos hídricos, infraestructuras hidráulicas, usos y demandas y sobre el futuro de los cultivos ligados a los avances tecnológicos en el ámbito de la distribución y control del agua, aplicación y evaluación de necesidades hídricas, riego deficitario controlado, teledetección y tecnología de cultivos sin suelo, así como sobre diversas recomendaciones en los abastecimientos de agua potable en materia de tarifas, gestión, financiación, mantenimiento y conservación. De la misma manera se dan orientaciones sobre el devenir de los servicios de saneamiento y depuración de aguas residuales y sobre la desalación de aguas salobres.

01

DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CAMPO DE CARTAGENA





El Campo de Cartagena que ocupa una extensión de 1.609 km², se caracteriza por su amplia llanura con pequeña inclinación hacia el Sudeste, rodeada en gran parte de su contorno por elevaciones montañosas. Por el Norte, se separa de la depresión formada por las vegas del Segura-Guadalentín, mediante una alineación montañosa cuya altura máxima se encuentra en la sierra de Carrascos (1.065 m). En su parte meridional limita con un conjunto orográfico, de dirección E-O, que lo separa del Mediterráneo. En superficie, este conjunto litoral parte del Cabo de Palos y va ganando altitud hacia las sierras del Llano del Beal, la Unión y Cartagena, en las que se asientan numerosas explotaciones mineras, actualmente inactivas. Al Oeste de la ciudad de Cartagena, prosigue la alineación orográfica hasta la sierra del Algarrobo (713 m) ya más al Norte.



Fig. 1.1 Comparación de zonas (ESYRCE, 2006; INE, 2006)

En el Campo de Cartagena no existen cursos permanentes de agua, y al igual que en otras llanuras áridas del Sudeste, son numerosas las ramblas de cauces anchos y de poca pendiente, que le confieren una morfología peculiar y característica. La escorrentía superficial se drena en las sierras a través de numerosas ramblas de recorridos generalmente cortos y sinuosos, incorporándose progresivamente en la llanura a un sistema más jerarquizado que vierte al Mar Menor.

El cauce principal del Campo de Cartagena es la rambla de Fuente Álamo o El Albuñón, cuyo inicio se localiza en las Lomas de Burón, donde se sitúa el límite de la cuenca vertiente con el río Guadalentín. Tiene un trazado O-E y, a la altura de la población del Albuñón, la rambla toma este nombre que se mantiene hasta su desembocadura en el Mar Menor al sur de Los Alcázares.

El Campo de Cartagena constituye una de las depresiones interiores postectónicas de las Cordilleras Béticas, en la que se conserva un potente relleno neógeno de más de 1.000 m de espesor, predominantemente margoso, con intercalaciones de conglomerados en el Tortonense, calcarenitas en el Andaluciense y arenisca en el Plioceno. Los materiales más modernos corresponden al Cuaternario, con limos, gravas y arcillas.



Fig. 1.2 Imagen de satélite Landsat de la Región de Murcia de julio de 2007

En la cuenca baja o llano aluvial, constituido por materiales detríticos cuaternarios no consolidados, se localizan regadíos modernos y una franja litoral con crecientes usos turísticos, áreas urbanas



Fig. 1.3 Mapa carreteras regional (CARM, 2008)

e industriales y las principales vías de comunicación. Los cultivos en regadío ocupan la zona próxima al cauce y desembocadura de las ramblas principales. Un parcelario de reducidas dimensiones confiere al paisaje un carácter peculiar, diversificado y cambiante según la demanda del mercado, con cultivos de gran variación estacional, que llegan a tres rotaciones anuales. En las últimas décadas, la superficie de cultivos hortícolas se han reducido por el avance de los cítricos, mucho más flexibles a los condicionamientos de la agricultura a tiempo parcial.

En la misma franja costera, cerrada por un cordón litoral, aún se mantiene una reducida y amenazada área de marjal, hoy en vías de desecación, por el asentamiento de urbanizaciones y espacios turísticos. Al mismo tiempo, el crecimiento industrial y económico ha implicado la construcción de polígonos industriales, puertos deportivos, y viviendas de primera y segunda residencia cercanas al mar. La dinámica acelerada del proceso de urbanización también se refleja en los núcleos urbanos, articulados por las carreteras N-332 y la autopista AP-7. Demográficamente, es una zona de crecimiento continuo desde los años 80, en gran parte gracias al proceso de inmigración hacia los sectores agrícola e industrial. El crecimiento de la industria se refleja en los nuevos asentamientos industriales de las últimas décadas, que se van expandiendo fuera del perímetro urbano de Cartagena. Estas industrias están dedicadas a sectores productivos como los plásticos, centrales térmicas, además del sector agroalimentario.

El clima del Campo de Cartagena está condicionado por su situación cerca del Mar Mediterráneo y al Sudeste de la península, estando además muy influenciado por su proximidad al norte de África. En la caracterización del clima de la comarca influyen principalmente tres factores: en primer lugar, la proximidad a la costa e influencia marítima; en segundo lugar, la orografía; y, por último, la exposición a la acción de los vientos dominantes; sobre la base del influjo de dichos factores. La comarca del Campo de Cartagena está clasificada como de tipo Mediterráneo. La temperatura atmosférica media anual está comprendida entre 17° y 19°C (Tabla 2). El invierno es templado, con temperaturas entre 10°C y 13°C de media, que en verano llegan a superar los 25°C.

Tabla 1.1 Campo de Cartagena. Valores medios de las variables climáticas

VARIABLES CLIMÁTICAS	VALORES MEDIOS
Temperatura Media Anual	17 – 19 °C.
ETo Media Anual	1.100 – 1.400 mm
Precipitación Media Anual	250 – 350 mm

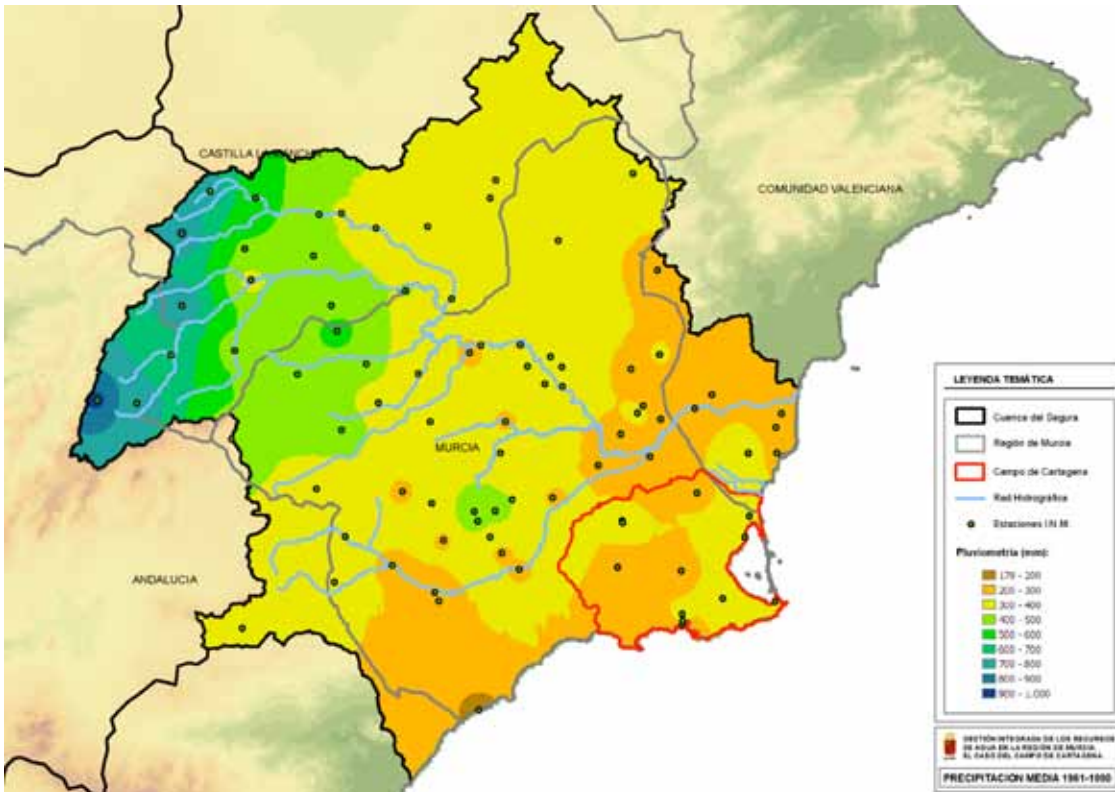


Fig. 1.4 Precipitación Cuenca del Segura (AEMET, media periodo 1961-1990)

Las precipitaciones son escasas y se presentan fundamentalmente en los meses de septiembre y octubre, en la mayor parte de las ocasiones con carácter torrencial. Las lluvias son prácticamente inexistentes durante los meses de julio y agosto, coincidiendo con la época de máxima evaporación. La zona supera las 3.000 h de sol anuales por término medio.

La zona regable se extiende por los términos municipales de Cartagena, Fuente Álamo, Los Alcázares, Murcia, San Javier, San Pedro del Pinatar y Torre Pacheco, y del Pilar de la Horadada en la provincia de Alicante.

El uso principal del Campo de Cartagena es el regadío, con una agricultura muy especializada y tecnificada y un nivel de dependencia de las ayudas de la PAC inferior al 2% de la renta agraria de los agricultores. De las 25.000 ha de cultivos hortícolas destacan, por su extensión, la lechuga, el brócoli, la alcachofa y el melón. En el caso de lechuga y brócoli, se hacen de dos a tres cultivos anuales. La superficie de cítricos ha aumentado en los últimos años y actualmente supera las 13.800 ha, destacando el naranjo, limonero y mandarino. En invernadero, el cultivo predominante es el pimiento, superando las 3.000 ha de invernaderos de alta tecnología (cultivos hidropónicos, ventilación forzada, etc.).



Fig. 1.5 Agricultura altamente tecnificada

02

DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS





La disponibilidad de recursos de agua, en el Campo de Cartagena, está condicionada por la baja pluviometría de la zona y su elevado déficit estructural, lo que ha generado la necesidad de importar agua de otras zonas, como la cuenca del Tajo, así como de explotar fuentes no convencionales, como son la depuración y la desalación, para garantizar la disponibilidad de tan escaso e importante recurso hídrico para la estructura económica regional.

2.1 Aguas superficiales

En el Campo de Cartagena no existen cursos permanentes de agua y son numerosas las ramblas de cauces anchos y planos. Estas ramblas recogen las aguas en las épocas de lluvia, que aunque escasas suelen ser muy intensas. La escorrentía superficial se drena en las sierras a través de numerosas ramblas, incorporándose progresivamente en la llanura a un sistema más jerarquizado que vierte al Mar Menor. Algunas ramblas se extinguen en la planicie debido a la escasez de pendiente y a la permeabilidad de los terrenos circundantes, o bien se ramifican en un conjunto de escorrentía difusa.

El principal colector del Campo de Cartagena es la rambla de Fuente Álamo, que se origina en las proximidades de este pueblo y sigue en dirección O-E para adoptar el nombre de rambla del Albuñón, a unos 5 Km. al sur de Los Alcázares, ya con su cauce prácticamente colmatado de sedimentos finos.

Sin embargo, las aguas superficiales en la Región de Murcia dieron lugar a los regadíos tradicionales o históricos en la cuenca del Segura, que utilizan para su distribución una red de canales y drenajes que demandaban unos elevados volúmenes de agua. La llegada de las aguas procedentes del Trasvase Tajo-Segura y la creación de las zonas regables, mediante los correspondientes planes coordinados, supuso la primera actuación importante por parte de la Administración en el avance de las técnicas empleadas en la distribución de los caudales destinados para riego, produciéndose un considerable aumento en el empleo de técnicas de riego localizado o de alta frecuencia.



Fig. 2.1 Rambla de Fuente Álamo



Fig. 2.2 Rambla del Albuñón

2.2 Aguas subterráneas

El Campo de Cartagena constituye una unidad hidrogeológica amplia y compleja, que se ubica en una de las grandes depresiones interiores postmanto de las Cordilleras Béticas ocupada por un potente relleno neógeno, predominantemente margoso, de más de 1000 metros de espesor, en el que existen intercalaciones detríticas y calcáreas del Mioceno al Cuaternario, constituyendo diferentes niveles acuíferos. De ella se han desagregado recientemente, por motivos de mejor gestión administrativa de sus recursos hídricos, los sectores de Cabo Roig y Sierra de Los Victorias; que han pasado a constituir, respectivamente, las masas de agua subterránea 070.053 (Cabo Roig) y 070.054 (Triásico de Los Victoria).

2.2.1 Masa de agua subterránea del Campo de Cartagena

La masa actualmente denominada 070.052 (Campo de Cartagena) coincide, por tanto, con la unidad hidrogeológica homónima a excepción de las dos masas desagregadas antes mencionadas. Tiene una superficie de 1.240 km², ubicada en el 92% en la Región de Murcia y el resto en la provincia de Alicante. La ocupación general del suelo en el año 2000 era agrícola (76%), urbana (9%) y forestal (15%).

Los límites de la masa quedan definidos por los materiales de baja permeabilidad permotriásicos y neógenos con los que las formaciones de esta unidad contactan lateralmente por medio de accidentes tectónicos, a excepción del sector oriental en el que el límite es el mar Mediterráneo.



Fig. 2.3 Balance hídrico de la Unidad del Campo de Cartagena (ITGE, 1994)

Dentro de esta masa se han diferenciado varios acuíferos entre los que destacan por su importancia los siguientes: acuífero Cuaternario, constituido por 20-150 m de gravas, arenas, limos, arcillas y caliches depositados sobre margas terciarias que actúan como base impermeable; acuífero Plioceno, formado por areniscas con espesores variables entre 10 y 110 m, limitadas a base y techo por margas del Mioceno superior y Plioceno, respectivamente; acuífero Messiniense, constituido por calizas bioclásticas, areniscas y arenas, con un espesor medio de 125 m, limitadas a base y techo por margas tortonienses y messienses. Además de estos acuíferos principales existe otro de menor entidad, el acuífero Tortoniense, que está formado por 150-200 m de conglomerados poligénicos (sector occidental) y areniscas (sector oriental), situados sobre margas del Mioceno medio; este acuífero se interna bruscamente en el Campo de Cartagena por debajo de la potente formación margosa de Torremendo que hace de techo impermeable.



Dada la compleja estructura tectónica interna de esta depresión, el carácter discordante de muchas de sus formaciones y el contacto por el este con el Mar Menor y el Mediterráneo, existe en ciertas zonas una conexión hidráulica entre acuíferos y entre éstos y dichos mares.

La recarga de la masa Campo de Cartagena procede de la infiltración directa del agua de lluvia y de los retornos del riego (concentradas en gran medida en el acuífero Cuaternario), aunque también habría que considerar una posible alimentación lateral desde la sierra de Cartagena, si bien de escasa magnitud. La descarga se realiza por bombeos (fundamentalmente en los acuíferos Messiniense y Plioceno) y por salidas laterales hacia el Mar Menor y el mar Mediterráneo (a través del acuífero Cuaternario). Hay que tener en cuenta, también, la interconexión interna entre diferentes acuíferos, realizada en condiciones naturales y a través de sondeos deficientemente construidos, que ha sido estimada en un valor medio anual orientativo próximo a 40 hm³.

Considerada en su totalidad, la unidad hidrogeológica del Campo de Cartagena presenta actualmente un balance para las aguas subterráneas equilibrado entre la recarga y descarga, o incluso positivo a favor de las entradas, según los diferentes estudios realizados en la última década. En el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura se define, si se excluye el sector de Cabo Roig, una situación media de equilibrio entre la recarga total (65 hm³/año, de los que 15 hm³/año corresponden a retornos de riego) y la descarga (60 hm³/año por bombeos en situación climática media, de los que 27 hm³/año corresponderían al sector de Los Victorias, y 5 hm³/año de salidas subterráneas al mar). Esta situación contrasta fuertemente con la que tenía lugar en los años 70 como consecuencia de las intensas explotaciones por bombeo que se producían con anterioridad a la llegada a la zona de las aguas del trasvase Tajo-Segura, llegando a contabilizarse hasta 120 hm³/año de extracciones, con una situación de sobreexplotación de recursos subterráneos evaluada entonces en unos 80 hm³/año.



Fig. 2.4 Planta y perfil del canal del ATS (1977)

La aplicación de las aguas del trasvase incide favorablemente en esta problemática al posibilitar un doble efecto: descenso del volumen extraído de agua subterránea e infiltración de excedentes de riego con aguas externas al sistema acuífero. Este hecho tiene su respuesta en la evolución piezométrica, cuya tendencia anterior fuertemente descendente se ve modificada desde principios de los años 80 por un marcado ascenso generalizado, a excepción del acuífero Triásico de Las Victorias, que continúa experimentando un acusado proceso de sobreexplotación. Posteriormente, como consecuencia de sequías padecidas en la cuenca del Segura, coincidentes además con reducciones de las aportaciones del trasvase, se incrementa

temporalmente los bombeos de agua subterránea, por lo que se detectan de nuevo algunos descensos de los niveles piezométricos. En concreto, en el periodo comprendido entre los años 1991 y 1995 las extracciones desde los acuíferos del Campo de Cartagena aumentan considerablemente con respecto a las que tienen lugar en épocas de características hidrológicas medias, habiendo sido evaluadas en esta zona, sin incluir el sector de Cabo Roig, entre 98,5 y 129 hm³/año. En la figura adjunta se presenta un esquema del balance hídrico de la totalidad de la unidad, calculado por el IGME para el año hidrológico 1989/90.

En el sector litoral del Campo de Cartagena, es decir, en aquel donde se localiza la laguna del Mar Menor y el mar Mediterráneo, únicamente aparecen los acuíferos del Messiniense, Plioceno y Cuaternario, aunque por cuestiones estratigráficas y tectónicas la relación de dichos mares con la unidad hidrogeológica se realiza exclusivamente a través del acuífero más superficial, es decir, del acuífero Cuaternario. En el caso de este acuífero, el ascenso de niveles freáticos mencionado produce un notable incremento de su descarga al Mar Menor, con la consiguiente repercusión en la mayor aportación de nitratos procedentes de excedentes del abonado en los cultivos de superficie, siendo éste un caso especial en las relaciones de conflicto entre las extracciones de aguas subterráneas en sistemas acuíferos y la conservación de humedales asociados a los mismos.

En general, las aguas subterráneas del Campo de Cartagena presentan una elevada salinidad, con influencia de las formaciones salinas que constituyen su entorno geológico y, localmente, con procesos de mezcla por causas tectónicas con aguas termales profundas del basamento. Los posibles focos de contaminación son las intensas actividades agropecuarias y los vertidos urbanos e industriales, procedentes estos últimos del entorno de Cartagena y de la zona minera al sur de la unidad. Además son de resaltar los fenómenos de mezcla que se producen entre las aguas de distintos acuíferos por su interconexión natural y a través de sondeos deficientemente construidos. La infiltración de los excedentes del riego con aguas del trasvase Tajo-Segura (de mejor calidad que la de los acuíferos de la unidad) produce sensibles mejoras en la calidad química del agua subterránea.

El acuífero Cuaternario, por sus condiciones de afloramiento y escasa profundidad del nivel freático, es el más vulnerable a la contaminación, en especial, en lo referente a las actividades agrarias, ya que las intensas labores agrícolas que se desarrollan en esta comarca y, posiblemente, la gran densidad de granjas porcinas existentes en el término municipal de Fuente Álamo, provoca contenidos muy elevados de nitratos en el agua subterránea, siendo frecuentes concentraciones superiores a 50 mg/l que llegan a alcanzar en algunos lugares entre 100 y 150 mg/l y que superan en algunas épocas los 200 mg/l. La salinidad de sus aguas es superior a 2.000 mg/l y sobrepasa con bastante frecuencia los 4.000 mg/l e incluso 5.000 mg/l, llegando a alcanzar puntualmente valores superiores a 6.000 mg/l. La facies es clorurada-sulfatada mixta. De acuerdo con los estudios existentes, la interconexión hidráulica entre la unidad del Campo de Cartagena y los mares Mediterráneo y Menor se efectúa a través del Cuaternario, detectándose procesos de intrusión marina en la zona meridional que también podrían afectar al Plioceno, aunque existen incertidumbres al respecto.

El acuífero Tortoniense es el de mejor calidad, con aguas de mineralización entre 600 y 1.000 mg/l y facies mixta aunque con predominio de las componentes bicarbonatada y cálcica. Son aptas para



consumo humano, siendo utilizadas para el abastecimiento de localidades cercanas a Murcia y en regadíos de la zona.

En el acuífero Messiniense predominan las aguas de salinidad entre 1.000 y 3.000 mg/l, incrementándose a valores superiores en la franja costera, en las inmediaciones del Cabezo Gordo y en los alrededores de la estación de Riquelme-Sucina. Las aguas poseen temperaturas entre 27 y 34° C, siendo las de mayor temperatura las vinculadas con los afloramientos béticos; es significativa la presencia de boro, en concentraciones de 1 a 2 mg/l. Predomina la facies clorurada-sulfatada mixta o sódica, aunque las aguas de menor salinidad son del tipo clorurada-bicarbonatada mixta.

Las aguas del acuífero Plioceno presentan una mineralización generalmente creciente según la dirección de flujo; los valores menores de salinidad se localizan en la zona noroeste (1.000 a 4.000 mg/l), siendo los más elevados los encontrados entre Torre Pacheco y Los Alcázares (4.000 a 6.000 mg/l), donde ha sido detectada la existencia de una cuña salina fósil de unos 12 km de longitud y 5 km de anchura media. La facies predominante es clorurada-sulfatada sódico-magnésica. El contenido en nitratos supera en algunos puntos 50 mg/l como consecuencia de mezcla con aguas del Cuaternario.

2.2.2 Masa de agua subterránea triásico de Los Victoria

Esta masa de agua se encontraba anteriormente integrada en la U.H. 07.31. Localizada en las inmediaciones de Fuente Álamo, tiene una superficie de 110 km², pertenecientes a la Región de Murcia. La ocupación general del suelo en el año 2000 era del 92% agrícola (distribuidos a partes iguales entre regadío y secano), 5% como suelo urbano y 3% como suelo forestal.

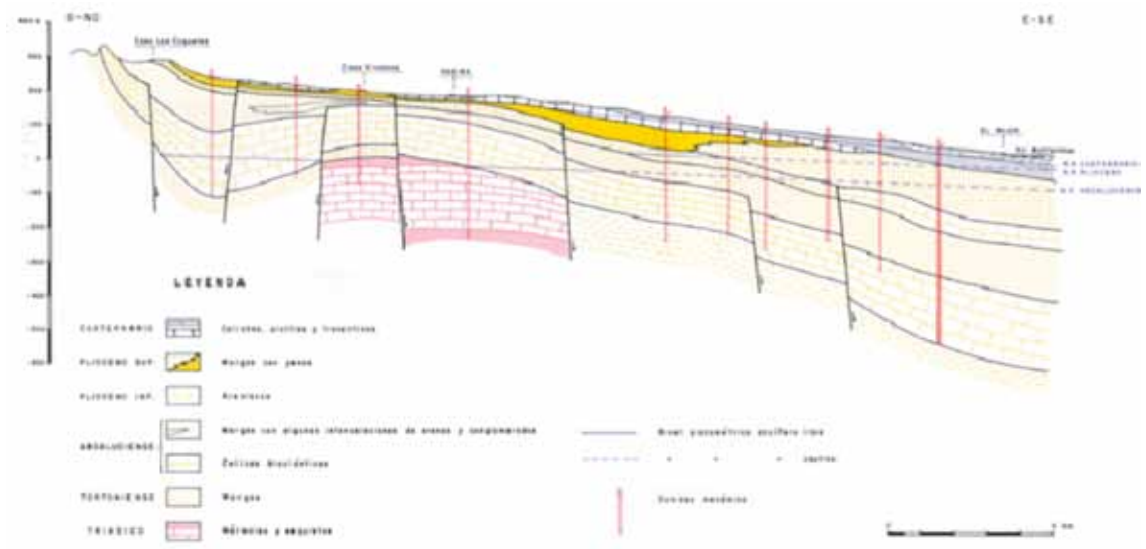


Fig. 2.5 Corte hidrogeológico del Campo de Cartagena (ITGE, 1994)

Los materiales que constituyen esta masa de agua son mármoles paleozoico-triásicos del Manto del Veleta (Complejo Nevado-Filábride). Tienen un espesor de 50 metros y se encuentran, geoméricamente, sobre los esquistos y cuarzoesquistos de dicho manto, que forman el impermeable de muro. A techo

de los mármoles se sitúan los depósitos cuaternarios compuestos por conglomerados, arenas y lutitas de los glaciares, coluviones y terrazas antiguas.

Los límites de la masa quedan definidos al sur por los afloramientos de rocas metamórficas de los Complejos Nevado-Filábride y Alpujárride; al oeste y este, por las fallas de Fuente Álamo y Albujón-Lobosillo, respectivamente, de dirección NO-SE, que delimitan el horst bético y provocan el contacto lateral de los materiales permeables con las potentes formaciones margosas de las depresiones de Cuevas de Reylo y Torre Pacheco; al norte, limita con los materiales triásicos de la Sierra de Carrascoy mediante una falla que desconecta ambos sectores.

La recarga, estimada en 3,4 hm³/año, procede de la infiltración directa del agua de lluvia (2,4 hm³/año) y los retornos de riego (1 hm³/año). La descarga se realiza por bombes, en una cuantía de 27 hm³/año. No existen descargas naturales. Existe, por tanto, un acusado desequilibrio entre los recursos renovables y la extracción de agua subterránea por lo que, en 2004, la Confederación Hidrográfica del Segura procede a la declaración de sobreexplotación.

Como consecuencia de este déficit hídrico, el acuífero experimenta un importante descenso de nivel del agua, al menos desde el año 1973 en que se comienza el control piezométrico. La magnitud del descenso medio es del orden de 4 m/año entre los años 1973 y 1978 y de 14 m/año desde 1979 hasta 1982, con posterior atenuación hasta la actualidad.

Las facies predominantes de las aguas subterráneas son las sulfatadas-cloruradas mixtas, no aptas para consumo humano. Las conductividades oscilan entre 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una ligera tendencia ascendente de la salinidad. En el quimismo influyen tanto factores naturales relacionados con las características geológico-estructurales de la formación acuífera y su entorno como antrópicos debidos a la extracción intensiva de las aguas subterráneas.



2.3 Trasvase Tajo-Segura

El Acueducto Tajo-Segura forma parte del programa general de aprovechamiento del llamado “Complejo Tajo-Segura”, siendo la primera obra de infraestructuras hidráulicas en nuestro país que respondió a la idea de superar el desequilibrio hídrico existente entre las denominadas España seca y húmeda. Las obras de este complejo se dividen en dos grandes grupos:

- a) El Trasvase, que comprende las obras desde la toma en el río Tajo, en el embalse de Bolarque, hasta el embalse de Talave, en la Cuenca del Segura. El recorrido total de las aguas es de 286 km., mientras que la longitud total de las obras, gracias al uso del embalse de Alarcón, se ve reducida a unos 242 km.
- b) El Postrasvase, que comprende las obras de conducción, regulación y distribución en el Sureste de los caudales trasvasados. La longitud de los canales principales de distribución, que alimentan finalmente a las tomas de los distintos usuarios, es de cerca de 276 km.

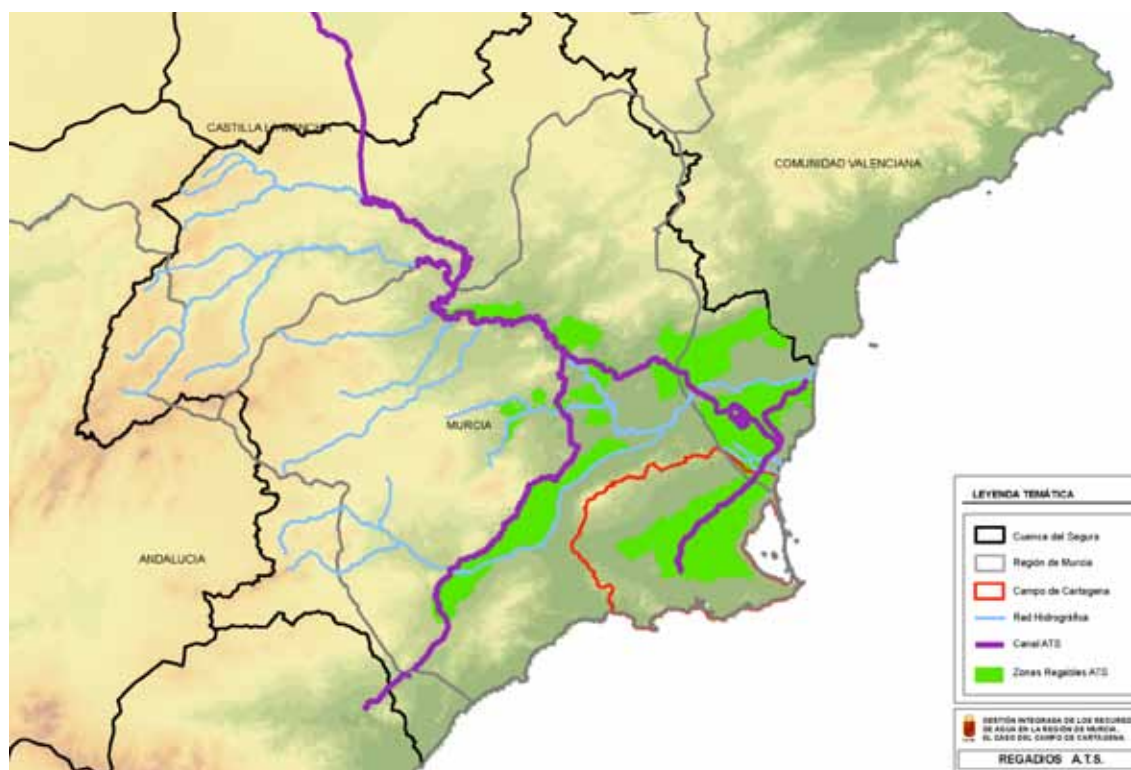


Fig. 2.6 Postrasvase ATS

Esta obra colabora al abastecimiento de una población permanente en el sureste español de más de 2.300.000 habitantes, y contribuye al riego de 147.255 hectáreas en las provincias de Murcia, Alicante y Almería, donde los cultivos son atendidos por cerca de 70.000 regantes pertenecientes a 80 comunidades de regantes, integradas en el Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura.

El postrasvase Tajo-Segura en el Campo de Cartagena contempla la superficie más amplia de las distintas zonas regables de la Región de Murcia, destacando por su importancia económica los municipios



Fig. 2.7 Sifón de Orihuela del Trasvase Tajo-Segura



Fig. 2.8 Impulsión de Fuente Álamo del Trasvase Tajo-Segura

Tabla 2.1 Evolución de los volúmenes de agua trasvasados del río Tajo al Segura (hm³), 1984-2007

AÑO HIDROLÓGICO	ABASTECIMIENTOS	REGADÍOS	TOTAL CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA	COMUNIDAD REGANTES CAMPO DE CARTAGENA
1984-1985	117,9	231,9	349,8	34
1985-1986	119,2	233,8	353,0	51
1986-1987	143,0	234,2	377,2	57
1987-1988	141,1	234,4	375,5	56
1988-1989	138,6	208,8	347,4	72
1989-1990	124,4	125,6	250,0	60
1990-1991	122,0	178,0	300,0	65
1991-1992	139,0	108,0	247,0	72
1992-1993	135,0	50,0	185,0	40
1993-1994	135,0	115,0	250,0	28
1994-1995	136,6	55,0	191,6	28
1995-1996	129,8	213,0	342,8	18
1996-1997	140,0	325,0	465,0	78
1997-1998	130,0	317,0	447,0	98
1998-1999	154,0	392,0	546,0	117
1999-2000	155,0	416,0	571,0	119
2000-2001	155,5	444,5	600,0	85
2001-2002	155,5	361,0	516,5	108
2002-2003	155,5	333,5	489,0	92
2003-2004	155,5	361,5	517,0	98
2004-2005	154,5	268,0	422,5	
2005-2006	148,5	38,0	186,5	
2006-2007	147,0	31,0	188,0	6,4
2007-2008	75,4	42,4	117,8	14
TOTALES	3.308,0	5.371,6	8.635,4	1376



de San Pedro del Pinatar, San Javier, Los Alcázares, Torre Pacheco, Murcia, Cartagena y Fuente Álamo y por lo consiguiente disponen de una de las mayores concesiones de agua del Trasvase con (122 hm³).

Es la zona regable en que más se han apreciado las mejoras del Trasvase Tajo-Segura tanto desde el punto de vista de conducciones de distribución y drenajes, como de caminos y por supuesto superficialmente, con la creación de 23.000 ha de nuevos regadíos y la redotación de 9.800 ha que se regaban con recursos propios.



Fig. 2.9 Embalse regulador de la impulsión de Fuente Álamo

Las obras principales para la distribución de los caudales de la primera fase están completamente terminadas y en servicio, correspondiendo a la Confederación Hidrográfica del Segura la explotación de las obras de regulación y distribución en la Cuenca del Segura, siendo las zonas regables gestionadas por las Comunidades de Regantes, representadas a través del Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura; estas Comunidades se ocupan del cobro de las tarifas y de la representación de los intereses de los regantes.

Un aspecto muy importante del acueducto Tajo-Segura es que cumple las recomendaciones de la Directiva Marco de Agua, en cuanto a la recuperación de costes. Por ejemplo, en el año 2002 la recuperación fue del 80,82% de los costes fijos considerados en su cálculo, y el 100% de los costes repercutibles a los usuarios. La diferencia radica en que la infraestructura del acueducto Tajo-Segura se encuentra dimensionada para el máximo volumen trasvasable previsto en el anteproyecto del ATS de 1.000 hm³/año, mientras que el máximo volumen trasvasable según la legislación vigente se establece en 600 hm³/año, por lo que no son repercutibles a los usuarios la totalidad de los costes de capital del acueducto.

2.4 Depuración de aguas

El objetivo de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) es reducir la carga de contaminantes del vertido y convertirlo en inocuo para el medio ambiente. Para cumplir estos fines se usan distintos tipos de tratamiento dependiendo de los contaminantes que arrastre el agua y de otros factores como la localización de la planta depuradora, clima y ecosistemas afectados. Para lograr eliminar contaminantes, se pueden usar desde sencillos procesos físicos como la sedimentación, en la que se deja que los contaminantes se depositen en el fondo por gravedad, hasta complicados procesos químicos, biológicos o térmicos.

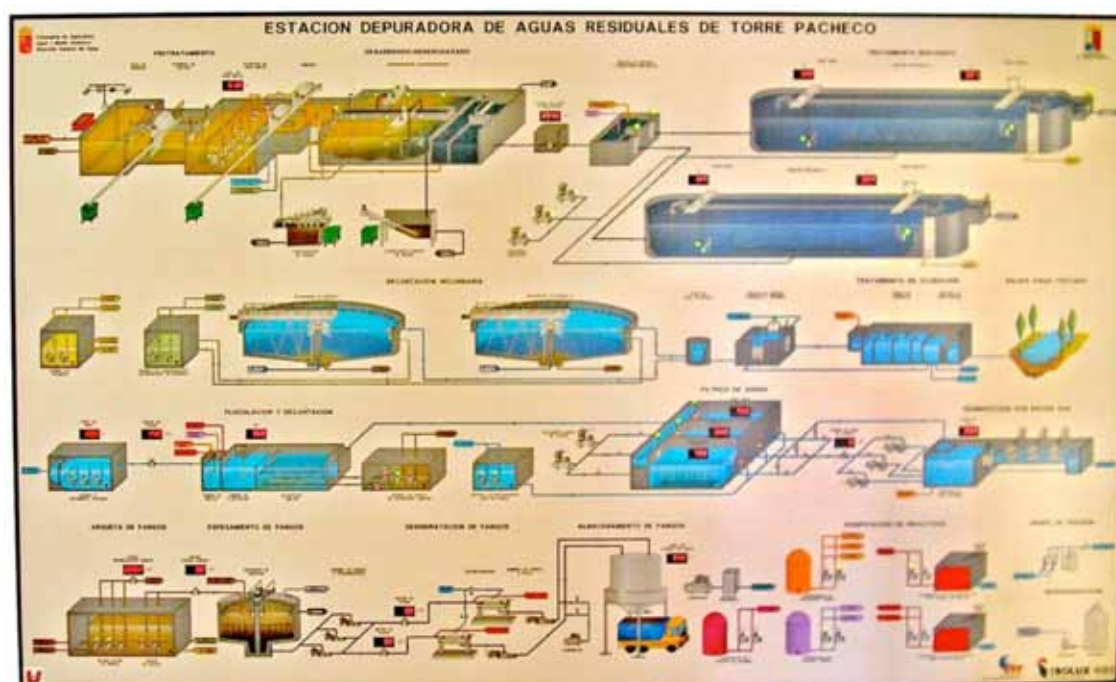


Fig. 2.10 Panel de control de la EDAR de Torrepacheco (ESAMUR)

Tabla 2.2 Datos de las estaciones depuradoras de ESAMUR

RESULTADOS DE EXPLOTACIÓN DE ESAMUR	2005
Nº. de EDAR activas controladas por ESAMUR	80
Volumen tratado (hm ³ /año)	105
Fangos evacuados (miles tn. materia fresca/año)	99
Contaminación recibida (miles tn.DBO ₅ /año)	56
Contaminación eliminada (miles tn.DBO ₅ /año)	50
Rendimiento medio obtenido (%)	89
Habitantes equivalentes medios (miles)	2.629



NIVELES DE TRATAMIENTO

Las aguas residuales se pueden someter a diferentes niveles de tratamiento, dependiendo del grado de purificación que se quiera. Es tradicional hablar de tratamiento primario, secundario y terciario, etc., aunque muchas veces la separación entre ellos no es totalmente clara. Así se pueden distinguir:



Fig. 2.11 EDAR de Torre Pacheco (ESAMUR)



Fig. 2.12 Pretratamiento en la EDAR de Torre Pacheco



Fig. 2.13 Decantador de la EDAR de Torre Pacheco



Fig. 2.14 Reactor biológico de la EDAR de Torre Pacheco

- a) **Pretratamiento.** Es un proceso en el que usando rejillas y cribas se separan restos voluminosos como palos, telas, plásticos, etc.
- b) **Tratamiento primario.** Hace sedimentar los materiales suspendidos usando tratamientos físicos o físico-químicos. En algunos casos, dejando las aguas residuales un tiempo en grandes tanques o, en el caso de los tratamientos primarios mejorados, añadiendo sustancias químicas quelantes al agua contenida en estos grandes tanques, que hacen más rápida y eficaz la sedimentación. También se incluyen en estos tratamientos la neutralización del pH y la eliminación de contaminantes volátiles como el amoníaco. Las operaciones que incluye son: el desaceitado y desengrase, sedimentación primaria, filtración, neutralización y desorción.
- c) **Tratamiento secundario.** Elimina las partículas coloidales y similares. Puede incluir procesos biológicos y químicos. El proceso secundario más habitual es un proceso biológico en el que se facilita que bacterias aerobias digieran la materia orgánica que llevan las aguas. Este proceso se suele hacer llevando el efluente que sale del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua



Fig. 2.15 Tratamiento con ultravioleta en una EDAR



Fig. 2.16 Vista de la depuradora de Torre Pacheco ESAMUR

cargada de lodos activos (microorganismos). Estos tanques tienen sistemas de burbujeo o agitación que garantizan condiciones aerobias para el crecimiento de los microorganismos. Posteriormente se conduce este líquido a tanques cilíndricos, con sección en forma de tronco de cono, en los que se realiza la decantación de los lodos. Separados los lodos, el agua que sale contiene muchas menos impurezas.

d) Tratamiento terciario. Consiste en un conjunto de procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento más caro que los anteriores y se usa en casos más especiales: para purificar desechos de algunas industrias, especialmente en los países más desarrollados, o en las zonas con escasez de agua que necesitan purificarla para volverla a usar como potable, en las zonas declaradas sensibles (con peligro de eutrofización) en las que los vertidos deben ser bajos en nitrógeno y fósforo, etc.

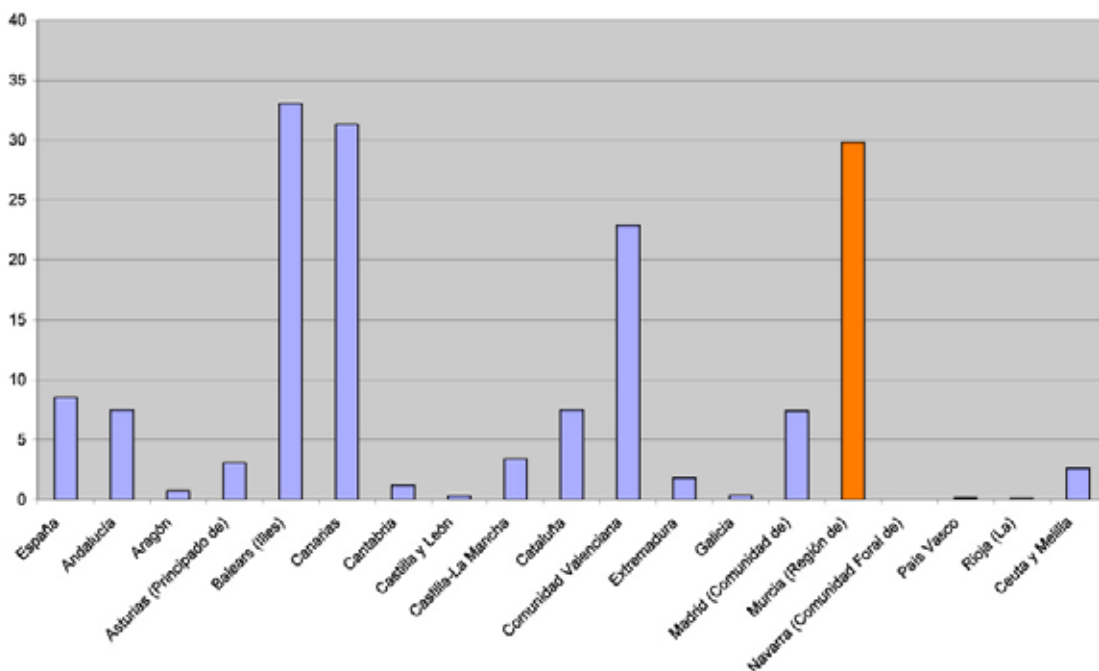


Fig. 2.17 Porcentaje de agua residual reutilizada de España (INE, 2005)



2.5 Desalación de aguas

La primera desaladora del Campo de Cartagena fue construida por la comunidad de regantes del Campo de Cartagena y está ubicada en San Pedro del Pinatar, con la finalidad de tratar aguas salobres y cumpliendo dos objetivos fundamentales: en primer lugar, tratar y recuperar para uso agrícola las aguas provenientes de los drenajes, y en segundo, aliviar el aporte de nutrientes que procedentes de la agricultura, estaban acelerando un proceso de eutrofización del Mar Menor.



Fig. 2.18 Vista plantas desaladoras CRCC y CHS (San Pedro del Pinatar I y II)



Fig. 2.19 Planta desaladora de San Pedro II

La planta, tras un pretratamiento de sistema físico-químico completo, pasa a un tratamiento por ósmosis inversa que tiene una capacidad de 6.000-7.000 m³/día, lo que supone una capacidad de recuperación anual de 2,5 hm³ de agua de elevada calidad para riego. Actualmente, está en fase de ampliación para alcanzar los 6,5 hm³. El agua recuperada es bombeada hasta el canal del trasvase Tajo-Segura a una distancia aproximada de la planta de siete kilómetros. También se ejecutan como obras auxiliares: una red de tuberías para conducir la salmuera procedente de la actividad de un centenar de desaladoras construidas en la zona a lo largo de unos 65 kilómetros, describiendo la trayectoria a seguir por las aguas salobres a través de diversos términos municipales. Esta red completa la existente y afecta a los municipios de Cartagena, Los Alcázares, Torre Pacheco, San Javier, San Pedro del Pinatar y Pilar de la Horadada. Una red de desagües de aproximadamente 20 kilómetros de longitud que finaliza el proceso evacuando la salmuera al mar Mediterráneo.

En los últimos años, a pesar de que el coste la desalación viene reduciéndose de manera apreciable, mantiene costes superiores a los obtenidos a partir de fuentes tradicionales.

Desde el punto vista medioambiental, la desalación también tiene limitaciones debido a su dependencia energética y a la emisión de las salmueras de rechazo a zonas ecológicas de alto valor como las praderas de poseidonia situadas cerca de la costa que obligan a construir emisarios de gran longitud (el emisario de San Pedro tiene 5 Km. de longitud). Por el elevado coste del agua de desalación, su aplicación se centra principalmente en el abastecimiento urbano de ciudades costeras y a para cultivos de alto valor añadido.

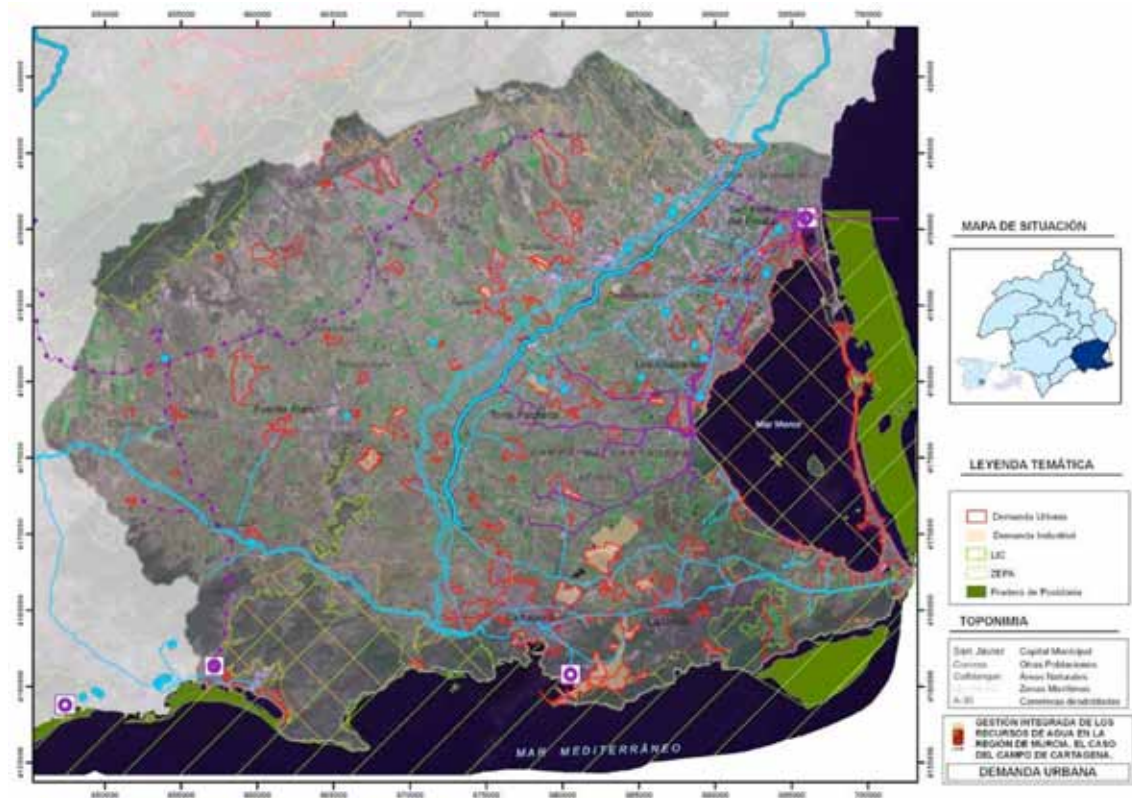


Fig. 2.20 Plantas desaladoras del Campo de Cartagena y su red de distribución

La desaladora de San Pedro del Pinatar I con una producción de 24 hm³ anuales, constituye una de las mayores desaladoras europeas destinadas al consumo humano. Los caudales que aporta son consumidos en los municipios de San Pedro del Pinatar, San Javier, Los Alcázares, Torre Pacheco, Cartagena y la Unión. En 2007, se ha puesto en marcha una segunda desaladora, San Pedro del Pinatar II, que también posee una capacidad de 24 hm³/año, lo que eleva a un total de 48 hm³ la capacidad total de las dos desaladoras. Durante el año 2008 se ha puesto en marcha de la desaladora de Valdelentisco, en el municipio de Mazarrón, con una capacidad de 57 hm³ anuales, la mayor de las existentes hasta la fecha en la Cuenca del Segura. Por otra parte la planta desaladora de la EPA situada en Escombreras tiene previsto su pleno funcionamiento en 2010 con una producción de 20 o hm³/año.

03

INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA





Las infraestructuras hidráulicas más importantes del Campo de Cartagena están formadas en torno a siete redes principales:

- La red de canales del postravase Tajo-Segura que inician el regadío el 29 de junio de 1979.
- La red de distribución de aguas para riego de la comunidad de regantes del Campo de Cartagena.
- La red de distribución de aguas subterráneas.
- La red de saneamiento y depuración.
- La red de distribución de aguas desaladas.
- La red de recogida y tratamientos de drenajes agrícolas.
- La red de distribución de aguas potables de los servicios municipales de la MCT que funciona desde 1945.



Fig. 3.1 Principales infraestructuras hidráulicas del Campo de Cartagena

3.1 Red de canales del postravase Tajo-Segura

Las conducciones de transporte y distribución del agua del trasvase en el Campo de Cartagena parten del canal de Cartagena, que con origen en el embalse de la Pedrera, tienen una capacidad de 25 m³/s en sus primeros 3,60 km, continuando después a lo largo de 19,11 km con un caudal de 18,00 m³/s reduciéndose éste a 12,00 m³/s en un tramo de 28,90 km para llegar con una capacidad de 9 m³/s a los últimos 12,69 km del canal.

3.2 Red de distribución de aguas para riego de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena



Fig. 3.2 Sinóptico de la red hidráulica de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena

Las conducciones de transporte y distribución de agua para los riegos tradicionales y de iniciativa pública, por la magnitud de los caudales requeridos, suelen ser canales abiertos, sin revestir, o con revestimientos superficiales para mejorar su capacidad de transporte y su impermeabilidad. Las principales infraestructuras hidráulicas son de titularidad de la comunidad de regantes del Campo de Cartagena, que disponen de una superficie cultivada total de 41.458 ha organizada en 33 sectores de riego, distribuidos en tres áreas: primera, de 24.851 ha en la zona oriental; segunda, de 5.199 ha en la zona occidental; y, tercera, de 11.408 ha en la cota 120.

A partir del Real Decreto 1.631/74 de modernización de la zona regable se cuenta con las siguientes infraestructuras:

- **Canal del Campo de Cartagena**
 - Longitud: 64 Km.
 - Capacidad: 300.000 m³.
 - Caudal máximo: 25 m³/s.
- **Sistema de filtrado**
 - Limpia rejás, situado en la cola del canal.
 - En cabeza de la tubería principal de cada sector existe un sistema de filtrado, consistente en una noria provista de mallas.
 - En cabeza de las tuberías primarias y secundarias existen filtros caza piedras.
- **Red de Tuberías**
 - Longitud red tuberías (Diámetro de 1600...80 mm): 1.033 Km.

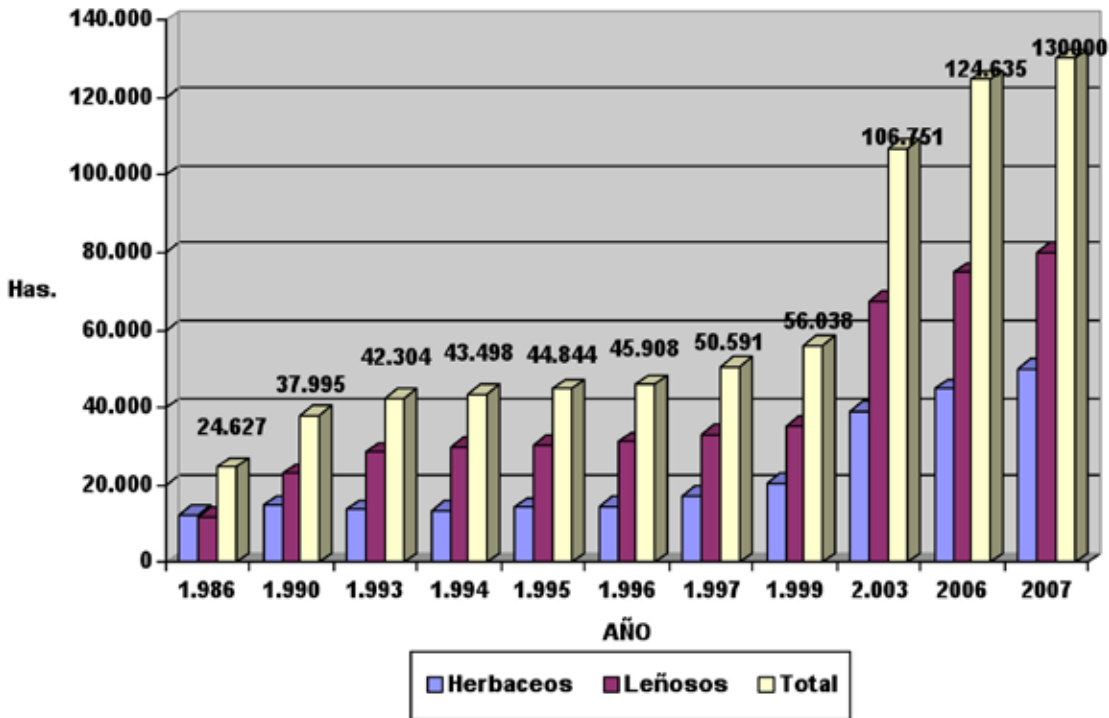


Fig. 3.3 Evolución del Riego localizado en la Región de Murcia (CARM, 2007)

- **Red de caminos de servicio**
 - Longitud red de caminos: 778 Km.
- **Red de desagües**
 - Longitud red de desagües: 403 Km.
- **Embalses propios**
 - Capacidad embalses propios: 2.090.863 m³.
- **Impulsión de Fuente Álamo (Acueducto Tajo-Segura)**
 - Potencia total: 7.500 Kw.
 - Número de grupos: 6 bombas helicocentrífugas.
 - Altura de elevación: 92,87 m.
 - Caudal máximo: 4,64 m³/s.



Fig. 3.4 Canal del Post-trasvase a su paso por la impulsión de Fuente Álamo (San Pedro del Pinatar I y II)

3.3 Red de distribución de agua para riego mediante captaciones de aguas subterráneas

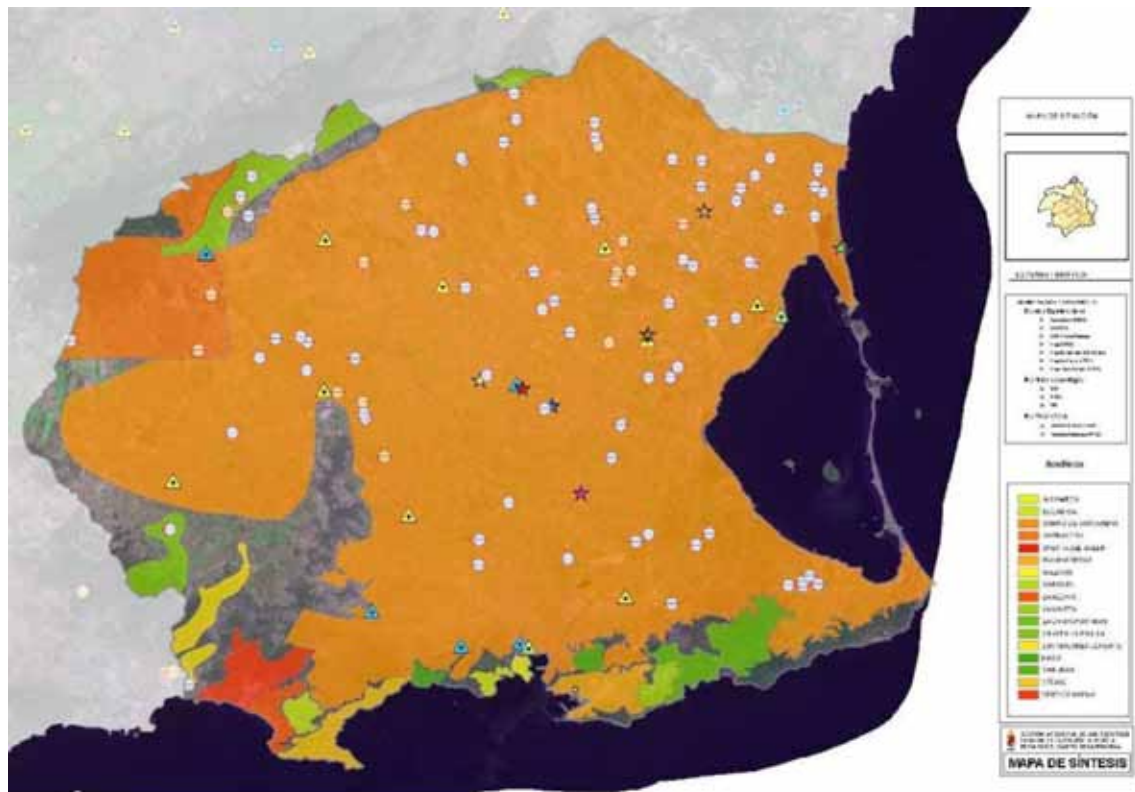


Fig. 3.5 Red de seguimiento hidrogeológico del Campo de Cartagena

En el Campo de Cartagena existen gran cantidad de aprovechamientos basados en explotaciones de aguas subterráneas, formando un subsistema de canales y tuberías de distribución. Los pozos verticales son los sistemas constructivos que más se utilizan para la captación y distribución de las aguas subterráneas. Lo más frecuente es que los puntos de agua se localicen dentro de las explotaciones y, por ello, las conducciones suelen tener un corto recorrido hasta el embalse regulador. En algunas ocasiones, se han elaborado complicadas redes de distribución, necesarias para transportar el agua desde captaciones a los regadíos que atienden.



Fig. 3.6 Material para la realización de sondeos

Hasta la publicación de la Ley de Aguas de 1985, las aguas subterráneas eran un bien privativo de quienes las alumbraban. A partir de la consideración del carácter público de todas las masas de agua subterránea, la ley obliga a todos los alumbramientos existentes a inscribirse en un catálogo. Como consecuencia de su sobreexplotación, muchos acuíferos del Levante español están agotados o en grave riesgo de estarlo. Cuando se produce esta situación,



la Ley española establece un mecanismo muy estricto para la solución del mismo. Dicho mecanismo comienza cuando la autoridad de cuenca inicia el expediente de declaración de acuífero sobreexplotado.

Esta declaración supone:

- La elaboración de un Plan de extracciones que resulte sostenible.
- El control del mismo por la Confederación Hidrográfica.
- La instalación de contadores.
- Estudio de la evolución piezométrica.



Fig. 3.7 Camisas para el recubrimiento de pozos

3.4 Estaciones de tratamiento de aguas residuales

La Región de Murcia tiene el mayor porcentaje de reutilización de aguas regeneradas de la España peninsular, dado que se reutiliza un 30% del agua regenerada, mientras que la media española que fue del 8% según los datos del INE (2005). En la actualidad, el 95% de las aguas del abastecimiento a la población se depuran y el 99% de la población de la región esta conectada a la red de saneamiento, lo que supone un volumen de agua regenerada para usos agrícolas y medioambientales de unos 105 hm³/año.

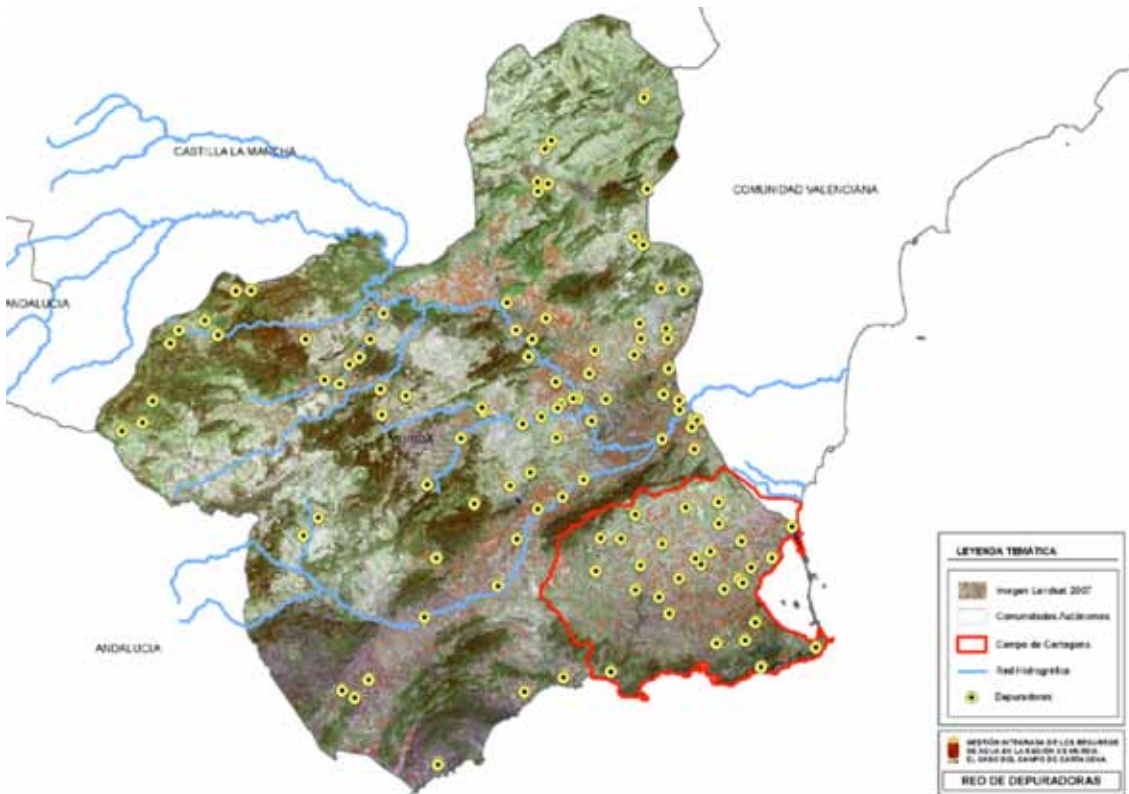


Fig. 3.8 Red de estaciones de depuración de aguas residuales dependientes de ESAMUR en 2007

En los últimos años, la gestión de los sistemas de depuración mejora mucho por dos motivos. Por un lado, se realiza una mejor gestión de los servicios por las empresas concesionarias, y, por otro, se crea un ente supramunicipal de gestión, ESAMUR, que se financia a través del canon de saneamiento.

3.5 Plantas desaladoras



Fig. 3.9 Mapa de desaladoras y depuradoras en el Campo de Cartagena

En España la desalación se inició con la instalación en 1964 de la primera planta en Lanzarote. En la Región de Murcia, la primera iniciativa fue en el año 1995, en un periodo de fuerte sequía, cuando se puso en funcionamiento la planta desalinizadora de la comunidad de regantes 'Virgen del Milagro' de Mazarrón.



Fig. 3.10 Desaladora de aguas de drenaje de la CRC en el Mojón

En los últimos cuarenta y tres años, el coste del agua desalada experimenta una importante reducción, calculándose que un metro cúbico resulta hoy cuatro veces más barato que en 1965, pasando de los 2,2 euros iniciales a los 0,45 euros/m³ actuales, aunque todavía sigue teniendo un elevado coste



para un uso generalizado en la agricultura, salvo en cultivos intensivos de muy alta rentabilidad y con posibilidad de mezclar aguas desaladas con otras de peor calidad e inferior precio.

Los sucesivos períodos de sequía impulsan la construcción de pequeñas plantas desaladoras para usos agrícolas en numerosos puntos de la región, sobre todo para cultivos intensivos de hortalizas y frutales, estando concentradas en la zona del Campo de Cartagena, Mazarrón y Águilas.

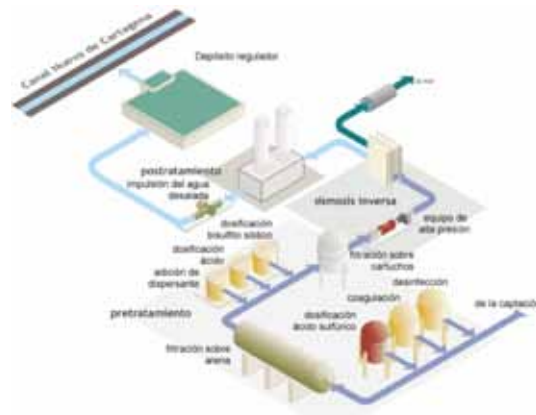


Fig. 3.11 Esquema del funcionamiento de la desaladora de San Pedro (La Verdad, 2005)

3.6 Red de drenaje

Las redes de drenajes y azarbes permiten recoger las aguas sobrantes del riego y conducir las a otros puntos de utilización situados aguas abajo. Normalmente están constituidos por zanjas trapeziales sin revestir, que forman una red ramificada de sección creciente que desagua en los arroyos de la zona. Se trata de redes de gran importancia, pues al drenar el terreno evitan su encharcamiento y la consiguiente salinización. Adicionalmente, las aguas de drenaje se tratan en plantas desalinizadoras y se recirculan para uso agrícola (Figuras 3.10 y 3.11), optimizando su uso y evitando que las aguas agrícolas, ricas en nutrientes, lleguen a otras masas de agua con elevado valor ambiental, como es el caso de la laguna costera Mar Menor.



Fig. 3.12 Sinóptico de la desaladora del Mojón de la CRCC

3.7 Instalaciones de abastecimiento de agua potable

■ Cartagena

Gestión

El servicio municipal de abastecimiento al municipio de Cartagena es gestionado mediante la empresa concesionaria “Promoción Técnica y Financiera de Abastecimientos de Agua S.A.” (AQUAGEST), desde el día 3 de diciembre de 1992, en régimen de concesión de la explotación por 25 años.

Origen de los recursos de agua en alta

Los recursos hídricos disponibles para el abastecimiento en el término municipal de Cartagena tienen como origen los caudales que recibe de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT) a través de:

- **Río Taibilla.** Por el denominado “Canal del Taibilla” que parte desde la depuradora de Letur, y en uno de sus ramales el Canal de Cartagena entra por la zona oeste del municipio, por la pedanía de Tallante, llegando hasta los depósitos generales de Tentegorra.
- **Trasvase Tajo-Segura.** Procede de la depuradora de La Pedrera a la que llegan aguas procedentes de los ríos Tajo, Júcar o Segura, dependiendo del régimen de explotación del Trasvase Tajo-Segura, y mediante el “Canal del Trasvase”, que atraviesa el término municipal de norte a sur, desde El Albuñón a Tentegorra, conduciendo el agua por gravedad hasta la proximidades de Canteras, desde donde grupos de bombeo se eleva el agua hasta los depósitos generales de Tentegorra.
- **Desaladora de San Pedro del Pinatar.** Potabiliza agua de mar y la incorpora al “Canal del Trasvase”, habiéndose puesto en servicio en mayo de 2004 con una producción actual de 1 hm³/mes, y que pasará a ser el doble cuando esté a pleno rendimiento. El agua potable producida se incorporará a la Mancomunidad de los Canales del Taibilla al “Canal del Trasvase” para el abastecimiento a los municipios de la región de Murcia.

Redes de abastecimiento y depósitos

Los recursos hídricos destinados al abastecimiento del municipio de Cartagena, parten desde los puntos siguientes:

CINTURÓN DE ABASTECIMIENTO A NÚCLEOS DE CAMPO DE CARTAGENA

El abastecimiento a los núcleos de población del Campo de Cartagena se realiza mediante dos tomas, una en el “Canal del Taibilla”, en el paraje del Rápido del Jarapa, va hasta un depósito regulador de 10.000 m³, a cota + 180 m (solera), y la otra desde el “Canal del Trasvase”, en el paraje de Lo Montero, desde donde mediante un grupo de elevación se bombea el agua a un depósito de 10.000 m³, a cota + 130 m (solera).

Desde el depósito del Rápido del Jarapa sale una conducción de 500 mm que llega hasta La Guía donde deriva en dos redes telescópicas, una de 450 mm hasta La Aljorra, que une con



Fig. 3.13 Abastecimiento a la Zona Norte

el depósito de Lo Montero mediante un grupo de elevación, 300 mm desde La Aljorra hasta El Albuji3n, 250 mm desde El Albuji3n a Pozo Estrecho y 200 mm desde Pozo Estrecho hasta entroncar con la tambi3n red telesc3pica de fibrocemento de 350 y 250 mm que se abastece del dep3sito de Cabezo Beaza y llega hasta La Palma.

La otra red donde deriva la conducci3n de 500 mm, es una tubería de 300 mm desde La Guía hasta Santa Ana, 250 mm desde Santa Ana hasta entroncar con la red que va desde el dep3sito de Cabezo Beaza hasta La Palma. Los dep3sitos del Rápido del Jarapa y Lo Montero est3n unidos mediante una red de 500-450 mm.



Fig. 3.14 Esquema de la distribuci3n del agua en la Zona Norte

CONDUCCIÓN DE LA PALMA

Red telescópica de fibrocemento de 350 mm y 250 mm que va desde la conducción municipal de 800 mm que sale del depósito del Cabezo Beaza hasta La Palma; a ella entroncan las redes de 250 y 200 mm del cinturón de abastecimiento a núcleos del municipio de Cartagena. Esta red aún cuando está sin ceder al ayuntamiento la mantiene y explota el servicio.

RED DE 600 MM DE ALUMBRES

Tubería que sale desde el depósito del Cabezo Beaza y llega hasta el depósito de Alumbres, debido a que la cota de este es mayor que el Cabezo Beaza es necesario bombear el agua hasta un depósito de 300 m³ situado a unos 500 m de éste.

Esquema en alta de la distribución de agua al término de Cartagena

Con agua procedente del “Canal del Trasvase”, se abastece a las pedanías y diputaciones del norte del término municipal como: Pozo los Palos, La Guía, Santa Ana, Miranda, La Aljorra, El Albuñón y Pozo Estrecho, pudiendo abastecer como toma alternativa a La Aparecida, La Palma y La Puebla. El cinturón existente puede también tomar agua del “Canal del Taibilla” con la conexión existente entre los depósitos del Rápido del Jarapa y Lo Montero.

■ Fuente Álamo

Gestión

La prestación del servicio se realiza de forma indirecta por parte de la empresa concesionaria “*Gestión y Técnicas del Agua*” (GESTAGUA) desde el 1 de abril 1992. Por acuerdo de Pleno, celebrado el 29 de marzo de 1999, el contrato del gestor privado se amplía hasta el año 2012.

Redes de abastecimiento y depósitos

Dadas las características del municipio la población se encuentra dispersa, salvo en el núcleo urbano de Fuente Álamo donde se encuentra el 50% de la población, el resto está agrupada en varias pedanías e incluso en las propias fincas de carácter agropecuario. Todo ello hace que haya tenido que desarrollarse una gran cantidad de redes. Estas son municipales salvo alguna en el campo que es propiedad de uno o varios vecinos. Su estado de conservación, en general, es satisfactorio si bien ante el constante aumento a que están sometidas hace que en algunos casos sean insuficientes.

El municipio de Fuente Álamo está recorrido por el Canal del Taibilla con dirección a Cartagena. A lo largo de este recorrido, existen varias tomas de dicho canal que suministra diferentes depósitos que abastecen a los distintos núcleos de población.

TOMA DE LOS MARTÍNEZ

La primera toma es concebida inicialmente para abastecer la población de Los Martínez del Puerto (Murcia). Con posterioridad a la tubería de PVC de 160 mm. de sección, a la que se le realizan distintas tomas para abastecer a los abonados del servicio.

**Tabla 3.1** Depósitos municipales

UBICACIÓN	CAPACIDAD (M ³)	AÑO DE CONSTRUCCIÓN	ZONA ABASTECIDA
Estrecho	250	1978	El Estrecho
Balsa Pintada	600 y 250	1970 y 1976	Balsapintada y Estrecho
Las Palas	1.000	1998	Las Palas
El Mingrano	150	1970	El Mingrano y Los Vivancos
La Pinilla	500	1987	La Pinilla
Los Almagros	500	1998	Los Almagros
Escobar	250	1976	Escobar
Los Paganes	250	1976	Los Paganes
Acebuchar	1.000	2002	C. de Abajo y Campo Nubla

Tabla 3.2 Depósitos de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla

UBICACIÓN	CAPACIDAD (M ³)	AÑO DE CONSTRUCCIÓN	ZONA ABASTECIDA
Fuente Álamo	5.000	2003	Fuente Álamo, Balsapintada y El Estrecho
Cánovas	500	1970	Cánovas
Cuevas de Reylo	1.000	1985	Cuevas de Reylo

TOMA DE CANOVAS-CUEVAS DE REYLLO

Se toma del Canal del Taibilla estando el depósito regulador en Los Cánovas con una capacidad de 500 m³. Desde este depósito se abastece en la actualidad sólo a la población de los Cánovas, registrándose el consumo en un contador de 80 mm. Existe una estación sobrepresora que estabiliza las fluctuaciones de consumo en la red a lo largo del día. Igualmente, la toma abastece al nuevo depósito de la MCT, con capacidad de 1.000 m³ que, a su vez, suministra agua a las poblaciones de Cuevas de Reylo, Los Almagros, Los Paganes, El Escobar y Los Guerreros.

TOMA DE LA PINILLA

Desde esta toma mediante una estación de bombeo se eleva el agua hasta el depósito de La Pinilla, de una capacidad de 500 m³ y propiedad municipal y 500 m³. de capacidad. Este depósito suministra por gravedad la población de La Pinilla y diseminados. Igualmente, esta toma del canal abastece por gravedad el núcleo poblacional de La Cueva-Lo Pagán, mediante una conducción de PVC de 90 mm de sección.

TOMA DEL ACEBUCHAR

Mediante la construcción de un nuevo depósito de 1.000 m³ y una estación de bombeo se abastece por gravedad el Campillo de Abajo y el diseminado de Campo Nubla.

TOMA DE EL CAMPILLO

Es una nueva toma que abastece por gravedad el Campillo de Arriba, registrándose el consumo en un contador de 50 mm.

TOMA DE FUENTE ÁLAMO

Es la más importante por el caudal que suministra, ya que es la zona con mayor densidad de población. Abastece el depósito de Fuente Álamo, propiedad de la MCT de una capacidad de 5.000 m³, en dos vasos. En la salida se suministran dos tuberías, una de fibrocemento de 200 mm, y, otra, de PE 500 mm de sección, respectivamente, que abastecen Fuente Álamo ciudad y el grupo de elevación que eleva el agua a los depósitos municipales de Balsapintada, con capacidad de almacenamiento de 600 m³, en dos depósitos. Desde ese depósito se abastece a las poblaciones de Balsapintada y El Estrecho.

TOMA DE LAS PALAS

Abastece sendas arquetas de control desde donde se suministran a diversos los núcleos poblacionales. Una, puesta en servicio en 1999, dos grupos sumergibles totalmente automatizados, elevan el agua potable, al nuevo depósito construido por Mancomunidad de Canales del Taibilla, cedido para su explotación al servicio, construido en 1998 y con una capacidad de 1.000 m³. Desde este depósito por gravedad se suministra la población de Las Palas, Los Vidales y Los Gómez y el diseminado. La otra, un grupo de elevación, automatizado eleva el agua hasta el depósito municipal de El Mingrano, con capacidad de 150 m³, desde donde por gravedad se suministra el paraje El Mingrano y Los Vivancos.

El sistema de telemando funciona en su totalidad y correctamente, instalado en La Pinilla, Las Palas, Cuevas de Reylo, Balsapintada y Acebuchar. También se tiene previsto la instalación de una estación en Los Canovas.

La longitud aproximada de las redes de distribución de agua potable es de 149.850 metros lineales.

■ La Manga del Mar Menor

Gestión

La “Compañía de Abastecimiento de Aguas Potables de La Manga del Mar Menor, S.A”, se constituye el 9 de enero de 1967, siendo su única actividad la prestación del servicio domiciliario de agua potable al territorio de La Manga del Mar Menor, perteneciente al término municipal de Cartagena. Hasta el 31 de octubre de 1994 también gestionan el servicio en la zona de La Manga del término municipal de San Javier.

Mantenimiento y conservación de las redes

El mantenimiento y conservación de las redes, equipos e instalaciones es particularmente gravoso debido a las razones siguientes:

- a) Durante la corta temporada de verano en que la zona alcanza una población de 50.000 habitantes, los equipos e instalaciones trabajan al máximo de su capacidad, permaneciendo inactivos el resto del tiempo debido a ante la escasa población residente. Esta circunstancia deteriora sus elementos y hace difícil la detección de averías, que se producen de manera súbita, violenta y conjunta, cuando en los meses de julio y agosto llega la época de máximo consumo.



- b) El estrecho contacto con el medio marino hace que los elementos de sus redes y equipos, pese a que en el momento de su instalación se escogen ya materiales resistentes, se vean sometidos a una intensa corrosión y desgaste. Por este motivo se presta una especial atención a las tareas de mantenimiento. Al estar alojados los conductores bajo el nivel freático, su reparación determina la utilización frecuente de equipos especiales de desecación de suelos.

Redes de abastecimiento y depósitos

El abastecimiento de agua a las urbanizaciones de La Manga de Cartagena, actualmente, se realiza tanto por el sur como por el norte de su territorio:

POR LA ZONA SUR

Las redes entroncan a través de dos tomas de 150 mm y 400 mm con las instalaciones de la MCT, en el paraje denominado “Coto de Los Conesas”, situado próximo al punto kilométrico 2,2 de la carretera de El Algar a Cabo de Palos, en el término municipal de Cartagena. El servicio cuenta allí con dos estaciones de bombeo equipada, la más antigua, con dos grupos de bombas de 15 HP cada uno y la más moderna con dos de 100 HP también cada uno, los cuales elevan el agua tomada de las redes del Taibilla a dos depósitos allí instalados, unidos entre sí y con una capacidad total de 4.600 m³.

El transporte del agua desde dichos depósitos hasta el de regulación, de 3.000 m³, que se encuentra situado en la zona denominada “Monte Calnegre”, la más alta dentro de La Manga de Cartagena, se realiza a través de un acueducto de fibrocemento de las características longitudinales siguientes:

Tabla 3.3 Características longitudinales de “Monte Calnegre”

DIÁMETRO (MM)	LONGITUD (METROS)	DIÁMETRO (MM)	LONGITUD (METROS)
450 Ø	950	250 Ø	5.808
400 Ø	1.750	145 Ø	145
350 Ø	1.420	125 Ø	600
300 Ø	3.086	Total	13.759

POR LA ZONA NORTE

Las redes e instalaciones entroncan justo en el límite entre La Manga de Cartagena y la de San Javier, con las redes municipales de San Javier, las cuales a su vez lo hacen en San Pedro del Pinatar también con las de la MCT. Esta conexión se mantiene por razones exclusivas de seguridad de suministro frente a una eventual situación de desabastecimiento por el sur.

La práctica totalidad de las edificaciones de La Manga cuentan con depósitos propios, dimensionados para garantizar el consumo de sus habitantes durante 48 horas.

■ La Unión

Gestión

Los servicios de abastecimiento de agua potable, alcantarillado y depuración son gestionados, desde 1998, por la empresa mixta “*La Unión Servicios Municipales, S.A.*” (U.S.M.). El municipio de La Unión, a efectos de abastecimiento de agua potable tiene tres núcleos principales de población: casco urbano y las pedanías de Roche y Portman. Cada uno de ellos tiene su toma independiente, así como depósitos y redes de distribución propias. El servicio abastece a una población de unos 15.598 habitantes distribuidos de la manera siguiente: casco urbano, 14.798 hab., Roche, 785 hab. y Portman, 1.015 hab.

Redes de abastecimiento y depósitos

Existen siete puntos de abastecimiento de la MCT. A efectos de descripción de las redes de abastecimiento, cabe diferenciar el casco urbano de las pedanías.

TOMA Y REDES DEL CASCO URBANO

Existe una única toma para suministro de agua potable al casco urbano que procede, de los depósitos de la MCT, situados en Alumbres y que alimenta a los depósitos generales de abastecimiento del casco urbano propiedad de MCT.

El casco urbano está mallado y alimentado por esta toma. Los dos depósitos de la M.C.T. están interconectados y cuentan con una capacidad total de 3.250 m³. A la vez, de estos depósitos se suministra agua a otros núcleos urbanos, tales como el Algar, Llano del Beal, etc., pedanías del municipio de Cartagena.

La estructura del abastecimiento de agua al casco urbano de La Unión, está dividida en cuatro sectores: centro urbano, El Garbanzal, Pablo Iglesias y Sierra Minera

TOMA Y REDES DE PEDANÍAS

Roche. Está situada a unos 4 km. del casco urbano, dispone de 2 depósitos reguladores, de 240 y 360 m³ de capacidad, que son alimentados desde la toma de los depósitos de la MCT situados el Alumbres. El primero de ellos suministra agua a los núcleos de Los Paredes, Los Torralbas, Los Huertas, Roche Bajo y Roche Sol. El segundo suministra agua a la urbanización Roche Alto (Cartagena). El número de abonados es de 555.

Portman. Está situada a unos 7 km. del casco urbano, dispone de 2 depósitos reguladores, de 400 y 80 m³ de capacidad, que son alimentados desde la toma de los depósitos de la MCT situados el Alumbres, a través de una impulsión propia de 18.5 Kw. a una altura manométrica de 120 m.c.a. El número de abonados en la pedanía es de 745.

Tomas directas. Existen 4 tomas directas a la red de la Mancomunidad de Canales del Taibilla: toma de Camachos-Beatos, toma de La Cierva, toma de Cementerio y toma de El Lazareto. La primera da servicio a 202 abonados de las pedanías de Camachos y Beatos del término municipal de Cartagena.



■ Los Alcázares

Gestión

El servicio municipal de aguas de Los Alcázares es gestionado en régimen de concesión, desde el mes de agosto de 1987, por la empresa “*Sociedad de Gestión de Servicios Urbanos S.A.*” (Sogesur). La duración del contrato, por acuerdo de Pleno de fecha 25 de mayo de 2001, se prorroga por otros 20 años a contar desde el día 25 de mayo de 2002. En 2002, se produce la fusión de ésta mediante la absorción por parte de “*Aqualia Gestión Integral del Agua, Sociedad Anónima*”.

Redes de abastecimiento y depósitos

El abastecimiento al término municipal de Los Alcázares se efectúa en su totalidad con las aguas suministradas por la MCT, mediante dos conducciones de fibrocemento de 300 y 500 mm de diámetro respectivamente. Dichas conducciones van al depósito principal de 5000 m³ y desde aquí continúa únicamente la de 300 de diámetro, que abastece al depósito del casco urbano.

Existen dos depósitos propiedad de la Mancomunidad, uno en el casco urbano, de una capacidad de 825 m³, y, otro, en el límite del término municipal con San Javier de una capacidad de 5.000 m³.

LA DISTRIBUCIÓN SE REALIZA DESDE CINCO TOMAS:

- 1ª Toma.** Está instalada en la salida del depósito de Mancomunidad del casco urbano, a través de una válvula reductora de presión de la casa ROSS y de un contador WOLTMAN de 200 mm abastece a la zona del casco urbano y urbanizaciones adyacentes. La presión de la distribución es de 2,6 kg/cm².
- 2ª Toma.** Está instalada en la tubería de 300 mm, en el casco urbano, entre los dos depósitos. Mediante una tubería de 200 mm de diámetro y a través de una válvula reductora de 150 mm de la casa Resaber y de un contador de 150 mm abastece a las urbanizaciones La Dorada, Llanamar, Los Espejos y Nueva Marbella con una presión de trabajo de 3 kg/cm².
- 3ª Toma.** Está instalada en la tubería de 300 mm, en el casco urbano, entre los dos depósitos. Mediante una tubería de 200 mm de diámetro y a través de una válvula reductora de 150 mm de la casa Regaber y de un contador de 150 mm abastece a la urbanización Los Lorenzos con una presión de trabajo de 3 kg/cm².
- 4ª Toma.** Está instalada en la tubería de 300 mm, antes de su entrada al casco urbano. Logra el abastecimiento mediante una tubería de 250 mm de diámetro y a través de una válvula reductora de 200 mm de la casa Regaber y de un contador de 150 mm. Mediante esta toma se abastece a las urbanizaciones Punta Calera y Los Narejos con una presión de trabajo de 3 kg/cm².
- 5ª Toma.** Está instalada en la tubería de 300 mm, antes de su entrada al casco urbano. El abastecimiento se efectúa con una derivación de 250 mm de diámetro y a través de una válvula reductora de 200 mm de la casa Ross y de un contador de 150 mm. Esta toma abastece a las urbanizaciones Oasis, El Palmeral y Nueva Ribera, con una presión de trabajo de 3 kg/cm².

■ San Pedro del Pinatar

Gestión

La prestación del servicio es realizada, desde junio de 1988, por la empresa concesionaria "Aqualia, Gestión Integral del Agua, S.A.", antes "Técnicas de Depuración S.A." (TEDESA). El ayuntamiento por acuerdo de Pleno de 31 de mayo de 2002 prórroga del contrato por 15 años. El contrato que regula la concesión comprende todos los trabajos inherentes al servicio, excepto aquellos de exclusiva competencia municipal (proyectos de ampliación, renovación de redes o mejora de instalaciones, etc.), como son lectura de contadores, mantenimiento y verificación de contadores, mantenimiento de acometidas, mantenimiento de redes, afectaciones de obra civil, gestión de clientes, facturación y gestión de cobro.

Redes de abastecimiento y depósitos

La red de distribución de agua potable abastece al casco urbano de San Pedro del Pinatar, zona de verano de Lo Pagán y El Mojón y demás núcleos de población cercanos al casco urbano: Los Sáez como Las Beatas, Los Revoltones, Loma de Arriba, etc., y otros de menor importancia. Tras la realización de obras de renovación y mejora, la red en el casco urbano y extrarradio es mallada.

La red se encuentra dimensionada para abastecer una población que fluctúa dependiendo de la época del año. Además de la población residente, el servicio abastece una población flotante de 20 a 30 mil habitantes en los meses de junio y septiembre, 40 a 50 mil en julio y 80 a 90 mil en agosto.

La distribución del agua de consumo humano se realiza directamente desde los entronques a M.C.T., sin que existan depósitos de regulación propios del servicio. La toma 1ª sólo funciona si se suministra agua a la red mediante el grupo de M.C.T.; Las tomas 6ª, 7ª y 8ª se encuentran en la traza de la TOMA 1ª y abastecen solamente a 5 contadores domésticos. Las tomas 2ª, 3ª, 4ª y 5ª suministran el principal del volumen distribuido y disponen de válvulas reguladoras de presión aguas abajo. La toma 4ª suministra directamente a Lo Pagán y la 5ª suministra sólo a los núcleos de población de Los Tárragas y Loma de Arriba que son los que se encuentran a mayor cota.

El abastecimiento se surte por tanto de varios puntos de conexión a las redes generales de 400 mm. y 500 mm. de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla, si bien las tuberías que llegan hasta el casco urbano son dos gemelas de 500 mm., todas ellas de fibrocemento.

Todos los sistemas son independientes, pudiendo utilizarse de forma simultánea con una excepción: grupo de presión variable más toma 1ª; el funcionamiento habitual parte de las tomas directas a través de las válvulas reguladoras, tanto en el casco urbano de San Pedro del Pinatar como en la toma de Lo Pagán en la zona de Las Beatas.

A partir de los distintos contadores se bifurcan todos los anillos en tuberías de fibrocemento (desde Ø 400 a Ø 200) y las derivaciones de las calles (desde Ø 150 a Ø 50). Los últimos anillos y conexiones instalados en la red principal de distribución están ejecutados en fundición dúctil; existe un pequeño porcentaje de tuberías en PVC de Ø 90 mm en las últimas ampliaciones así como de



polietileno del mismo diámetro en playa. También es reseñable que en el criterio de diseño de nuevas redes se considera la sencillez y robustez y facilidad de maniobra y mantenimiento: así, todos los ramales secundarios instalados desde 1997 discurren por las aceras, están fácilmente localizables por estar señalizados en todo su recorrido, estando ejecutados en polietileno de alta densidad y 16 atm de presión y diámetros desde Ø 90 mm hasta Ø 125 mm y cumplen los requisitos sanitarios. La red está totalmente sectorizada para su mejor mantenimiento y control.

La longitud aproximada de red es de 140.000 metros lineales, y un valor de mercado actualizado, de 11,9 millones de euros. La longitud aproximada de las acometidas domiciliarias, considerando una acometida tipo de 4 metros es de 63.700 m. lineales, siendo los diámetros de tomas más corrientes, 20, 25, 32 y 40 mm; las acometidas existen están construidas sobre todo en polietileno de uso alimentario con material de montaje normalizado, en menor medida de plomo, hierro galvanizado y PVC.

■ San Javier

Gestión

El servicio es prestado por gestión indirecta desde 1994 por la empresa concesionaria "Promoción Técnica y Financiera de Abastecimientos de Agua, Sociedad Anónima" (AQUAGEST) por un período de 25 años.

Origen de los recursos de agua en alta

Los recursos hídricos disponibles en alta para el abastecimiento en el término municipal de San Javier tienen como origen los caudales que recibe de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT).procedentes de:

- **Trasvase Tajo-Segura.** Procede del depuradora de La Pedrera con origen de agua de los ríos Tajo, Júcar o Segura, dependiendo del régimen de explotación del Trasvase Tajo-Segura, y mediante el "Canal del Trasvase", que atraviesa el término municipal de norte a sur, lleva el agua por gravedad hasta la proximidades de la pedanía sanjaviereña de El Mirador, desde donde se abastece a todo el término municipal de San Javier, incluyendo La Manga del Mar Menor, así como a las vecinas localidades de San Pedro del Pinatar y Los Alcázares.
- **Desaladora de San Pedro del Pinatar.** Potabiliza el agua de mar y la incorpora al Canal del Trasvase. Puesta en servicio en mayo de 2004 con una producción actual de 1 hm³/mes que pasará a ser el doble cuando esté a pleno rendimiento. El agua potable producida se incorporará por Mancomunidad de los Canales del Taibilla al "Canal del Trasvase" para el abastecimiento a los municipios de la región de Murcia.

Redes de abastecimiento y depósitos

Debido al origen del agua del abastecimiento en el municipio de San Javier, procedente en su totalidad de la MCT, el agua no necesita ningún tratamiento de potabilización puesto que en su punto de entrega ya está tratada y clorada. Para el abastecimiento de agua a la población y diseminados, el servicio no cuenta con depósitos de regulación de propiedad municipal, estando todas las acometidas existentes tomadas directamente de la red de la MCT. Se dispone de nueve tomas directas a la infraestructura de MCT, desde éstas se entregan al casco urbano y diseminados los volúmenes necesarios para el normal abastecimiento, siendo éstas las siguientes:

TOMA DE SAN JAVIER

En la calle Norte de San Javier se encuentra la toma que abastece a través de una tubería de 500 mm. al casco urbano de San Javier. El volumen entregado en esta acometida representa respecto del total del año en torno al 48%, constituyendo la de mayor importancia en el abastecimiento. En cabecera de esta toma se tiene instalado una estación de telemando y telecontrol para el suministro de información en continuo de calidad del agua en cuanto a niveles de cloro libre así como estado de regulación de presiones y volúmenes entregados a la red. Para el abastecimiento de San Javier se dispone de tres anillos principales: “anillo viejo” (diámetro 200 mm.), “anillo nuevo” (diámetro 250 mm.) y “anillo de comunicación” (diámetro 450 mm.), desde éste último pueden comunicarse las redes de distribución de San Javier y Santiago de la Ribera. A su vez, desde cada uno de estos anillos, de forma sectorizada, se alimenta a barrios y zonas definidas de la población, controlando en cabecera de cada sector mediante contador al efecto.

Tabla 3.4 Sectorización de San Javier

SECTOR	ZONA SUMINISTRADA
Anillo viejo	Avda. Aviación Española, Gasolinera, Maestre, Norte con Extramuros y Zaragoza.
Anillo nuevo	Albacete, Andrés Segovia, Camilo Alonso, Cartagena, Barrio Funcionarios, Isaac Peral, Manuel de Falla, Miguel Servet, Pablo Picasso, Polígono del Pino, Polígono de Los Urreas, Pozo Aledo, Ramón y Cajal, Santa Cecilia, y Valle Inclán.
Anillo comunicación	Rambla Ballester, Alpefrán, San Blas – 4 Picos y Taray.

TOMA DE SANTIAGO DE LA RIBERA

En la Avda. del Mirador se encuentra el punto de entrega de caudales de MCT (diámetro 500 mm.) al casco urbano de Santiago de la Ribera. El volumen entregado anualmente en esta toma, representa respecto del total anual del abastecimiento en torno al 34%, siendo ésta la segunda en importancia. Debido al carácter estacional de esta toma, cabe destacar la importante variación de caudales entregados a lo largo del año, pudiendo alcanzar en la época estival valores que superan el doble del volumen entregado en invierno. En cabecera de Santiago de la Ribera se tiene instalado una estación de telemando y telecontrol para el suministro de información en continuo de calidad del agua en cuanto a niveles de cloro libre así como estado de regulación de presiones y volúmenes entregados a la red. Para el abastecimiento al casco urbano, se dispone de un anillo de 350 mm. que recorre y rodea los



distintos barrios y alimenta a 13 sectores delimitados y controlados mediante contadores. La configuración del servicio permite la posibilidad de suministrar desde San Javier a Santiago de la Ribera y viceversa.

Tabla 3.5 Sectorización de Santiago de la Ribera

SECTOR	ZONA SUMINISTRADA
Santiago de la Ribera	Aldeas del Villar, Avda. Los Pozuelos, Cánovas del Castillo, Fco. Franco con Zamora, Muñoz con Padre Juan, Palmeras alta, Palmeras baja, Peinsa, Barrio de los pescadores, Pozuelos alto, Pozuelos bajo, Sandoval alto, Sandoval bajo y Virgen del Consuelo.

TOMA DE RODA

Desde el canal de la MCT de la Base Aérea y mediante una acometida de 80 mm. de fibrocemento, situada en el término de Torre Pacheco, que atraviesa el casco urbano de Dolores de Pacheco, se abastecía a la red de distribución semi-mallada de la pedanía de Roda. Debido al escaso desnivel existente desde la toma, el suministro se efectuaba con baja presión, próxima a 1 atm. Desde finales de 2007 la red de distribución de esta pedanía se conecta a la muy próxima red de abastecimiento de la urbanización de reciente creación, y todavía en construcción, denominada “Señorío de Roda”, lo que posibilita la mejora de la calidad del suministro en Roda, en lo que a presión de servicio se refiere. El volumen suministrado en esta entidad de población es equivalente al 1% respecto del total anual.

TOMA DE TORRE SAAVEDRA

Desde la tubería de distribución de 300 mm. que MCT dispone procedente del depósito de El Mirador, a la altura de Torre Saavedra, se encuentra una acometida de 150 mm. para el suministro de dicha zona, de la que se nutre un red de distribución ramificada principalmente en diámetro 90 mm. de polietileno. El volumen de agua suministrado por esta toma representa respecto del total anual en torno al 1,2 %.

TOMA DE LO ROMERO

Este punto de suministro consiste en una toma directa al canal de MCT mediante un contador de 80 mm., no existiendo red municipal sino privada. El volumen aportado en esta toma es próximo al 0,2% respecto del total anual.

TOMA DE EL MIRADOR

Para el abastecimiento de la población de El Mirador se dispuso de un depósito de 1000 m³ propiedad de la MCT, desde donde se suministra a dicha pedanía así como una buena parte del diseminado. Partiendo de dicho depósito, una tubería municipal de fundición dúctil de 250 mm. abastece directamente a la red principal de distribución semimallada de 150 mm. en el casco urbano. En la actualidad se cuenta con un red ramificada desde la principal de El Mirador hacia la zona de los Sáez de Tarquinales y San Cayetano, así como un ramal, igualmente ramificado que atraviesa la zona de campo hasta próximo la toma de Los Hernández. El volumen de agua aportado en esta toma es próximo al 12 % respecto del total anual.

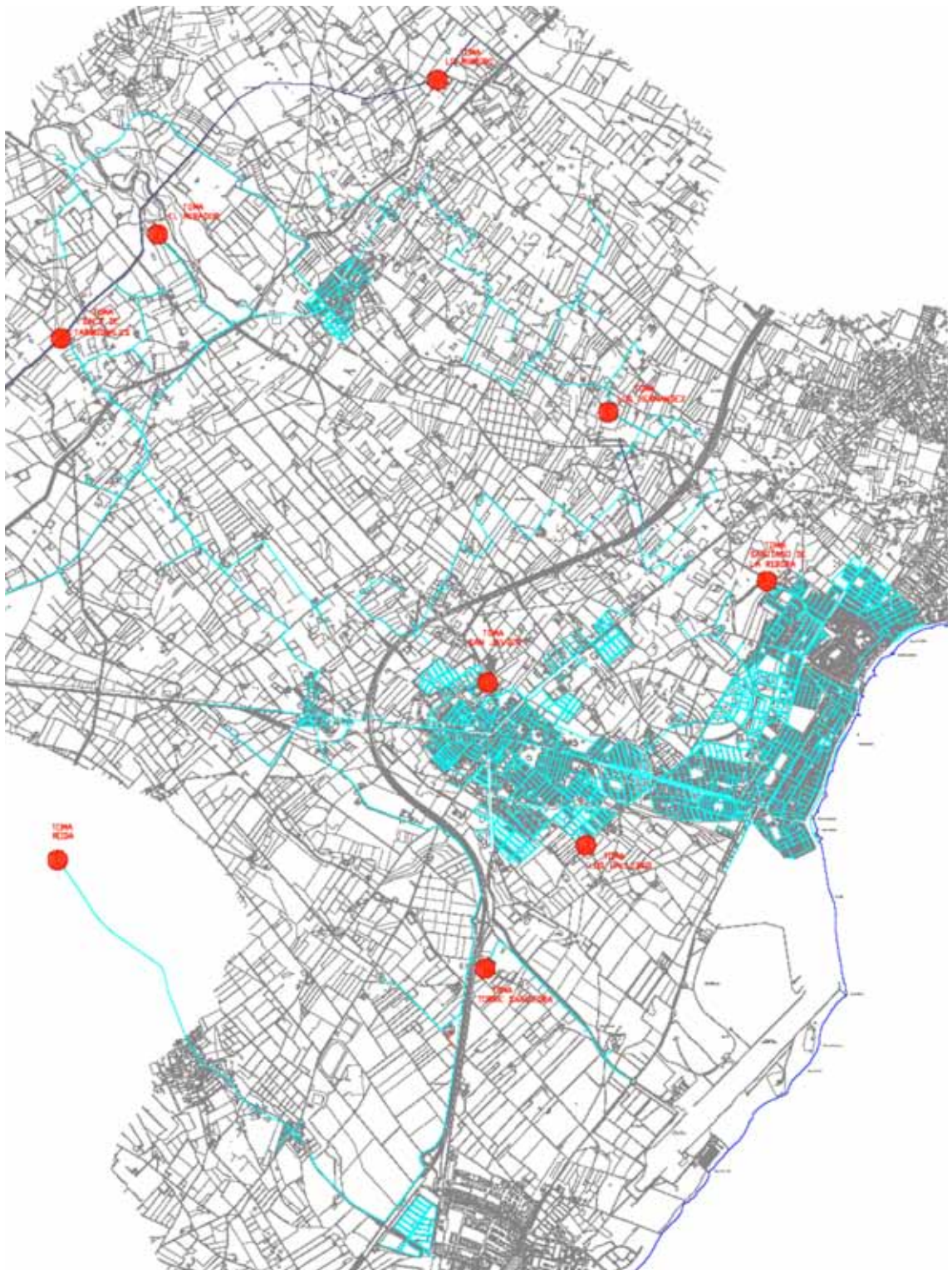


Fig. 3.15 Esquema hidráulico de los puntos de toma sobre canales de la mancomunidad de los Canales del Taibilla en el municipio de San Javier

TOMA DE SÁEZ DE TARQUINALES

En la actualidad se dispone de una toma directa al canal de MCT hacia Cartagena para el suministro de agua a esta zona mediante una acometida de 80 mm. que alimenta a una red de distribución ramificada de 80 mm. Además, desde finales de 2007, se pone en marcha



la conducción de DN 500 mm que abastece a las pedanías de los alrededores de Roda mediante su conexión, con tubería de polietileno DN 250 mm, a esta toma. Sin embargo, dado que dichas urbanizaciones están en fase de construcción el volumen aportado en esta toma no es muy significativo todavía, estando próximo al 1,5% respecto del total anual.

TOMA DE LOS HERNÁNDEZ

Para el abastecimiento de agua a esta zona de diseminado, se cuenta con una toma directa a la red de transporte de MCT en diámetro 100 mm. desde donde se alimenta una red de distribución ramificada de 100 mm. Existe la posibilidad de suministrar, alternativamente, también desde la red de distribución de San Javier, teniendo esta opción disponible ante incidencias de posibles averías en momentos punta de consumo. El volumen aportado en esta toma es próximo al 1,7% respecto del total anual.

TOMA DE LOS GALLEGOS

Para el abastecimiento de agua a esta zona se cuenta con una toma directa a la red de distribución de MCT en diámetro 100 mm. desde donde se suministra a la reducida población mediante una red de distribución ramificada de 80 mm. y polietileno de 63 mm. El volumen aportado en esta toma es inferior al 0,1% respecto del total anual.

■ Torre Pacheco

Gestión

El servicio de abastecimiento de agua potable y alcantarillado, desde el día 1 de enero de 2006, lo presta la empresa concesionaria AQUAGEST, durante 15 años.

Origen de los recursos de agua en alta

El sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Torre Pacheco y sus núcleos rurales depende del agua entregada por la MCT, a través de dos canales. Ambos canales son unidireccionales dado que funcionan mediante lámina libre. Se encuentran interconectados por una conducción de 900 mm. de diámetro que permite el trasiego de agua desde el primero al segundo.

- **Canal Nuevo de Cartagena.** El agua puede tener dos procedencias diferentes. El primer origen posible corresponde a la procedente del trasvase Tajo–Segura, mediante la planta potabilizadora ubicada en las inmediaciones de este embalse de La Pedrera. La segunda, corresponde al agua tratada en la planta desaladora de San Pedro del Pinatar. El canal es una conducción de 1.200 mm de diámetro en tubería tipo “Bonna” de hormigón con alma de acero, que discurre al norte del núcleo urbano de Torre Pacheco con dirección, según la circulación del agua, nordeste–sudoeste.

- **Canal de Bases Aéreas.** Transporta agua procedente del depósito de Tentegorra ubicado en Cartagena, que recibe agua procedente de la planta potabilizadora de Letur mediante el Canal de Cartagena. El Canal de Bases Aéreas discurre, dentro del término municipal de Torre Pacheco, con dirección sudoeste-nordeste según el sentido de circulación del agua, paralelo al Canal Nuevo de Cartagena y está construido mediante una tubería de hormigón en masas de 500 mm de diámetro. En la actualidad, está siendo sustituido por un nuevo canal, denominado Canal del Mar Menor, mediante una conducción telescópica se está montando sobre la misma traza del viejo Canal de Bases Aéreas Este canal tendrá posibilidad de alimentación desde la nueva desaladora de Valdelentisco, se inicia en el depósito del Lirio que se alimenta desde el Canal de Cartagena y finaliza en El Mirador.
- **Canal del Ente Público del Agua.** Se está montando una nueva conducción de 1.000 mm. de diámetro para la distribución del agua en alta por parte del Ente Público del Agua; que recorre el término municipal de Torre Pacheco en sentido sureste-noroeste.

Redes de abastecimiento y depósitos

De forma esquematizada puede decirse que los núcleos de población ubicados al norte del Canal del Trasvase efectúan sus captaciones del Canal Nuevo del Campo de Cartagena mientras que, las poblaciones al sur del referido cauce de riego captan del Canal de Bases Aéreas. Así El Jimenado, Roldán, Lo Ferro, Balsicas, San Cayetano, Los Infiernos, y las zonas de campo de cada núcleo de población de los señalados, captan del Canal Nuevo del Campo de Cartagena. Del mismo modo, el casco urbano de Torre Pacheco, aun encontrándose al sur del antes referido Canal del Trasvase, puede captar agua, como los casos anteriores, del Canal Nuevo del Campo de Cartagena.

La captación para este núcleo urbano puede efectuarse desde sendos canales de distribución existentes. Se aprecia también, para este caso, la existencia de dos bombeos; el diurno que eleva el agua del bombeo de 3.000 m³ de MCT. y el nocturno destinado a elevar el agua del depósito de MCT de 150 m³, además existe un tercer bombeo de distribución de agua a diferentes caseríos y zonas industriales. Dada la orografía del terreno, todas las captaciones existentes han de ser bombeadas existiendo en cada caso, las necesarias instalaciones electromecánicas. Las características principales de las redes de abastecimiento de los núcleos urbanos señalados son las siguientes:

TORRE PACHECO CASCO URBANO

Se alimenta mediante una conducción de 350 mm. de diámetro que descarga en un anillo de distribución telescópico con diámetros que va desde los 300 a los 250 mm. La aspiración del bombeo se efectúa del depósito de MCT de 3.000 m³ de capacidad situado en La Algodonera. Este sistema funciona de forma diurna. Para las horas nocturnas se dispone de un segundo bombeo que mediante tubería de 250 distribuye el agua y conecta con el anillo antes descrito. Este segundo bombeo, efectúa la captación de un pequeño depósito de MCT de unos 150 m³ de capacidad situado en el centro del pueblo. Las redes de distribución de esta población se estructuran en siete sectores hidráulicos.



ROLDÁN

El bombeo de alimentación capta el agua del depósito de MCT de 3.000 m³ de capacidad situado junto al polígono industrial de esta población y mediante conducción de 250 mm. de diámetro descarga en un anillo de fundición dúctil de 200 mm. de diámetro. La distribución de las redes se configura en siete sectores hidráulicos.

BALSICAS

El bombeo existente en la actualidad, capta directamente del Canal Nuevo del Campo de Cartagena y mediante tubería de 150 mm. de diámetro transporta el agua hasta la red de distribución de esta población con dos sectores de distribución establecidos. Balsicas y Roldán están comunicados mediante sedas conducciones de 150 y 70 mm. que interconectan las poblaciones.

DOLORES

La captación del bombeo de alimentación al núcleo urbano se efectúa del depósito de MCT de 500 m³ de capacidad que mediante conducción de 300 mm. de fundición dúctil suministra agua a la población; esta conducción se desdobra en otras tres de 125, 80 y 60 mm. Cuenta con tres sectores hidráulicos en los que se incluyen las zonas no urbanas de la población.

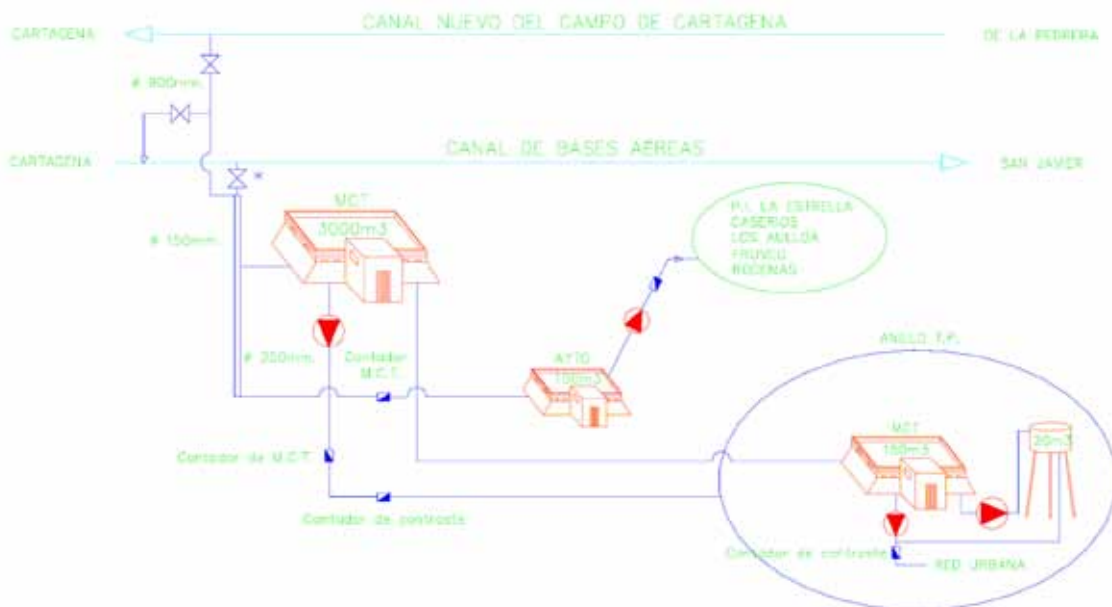


Fig. 3.16 Esquema de la MCT en los Dolores

JIMENADO

El Jimenado cuenta con un bombeo de captación que eleva el agua hacia un depósito municipal de 600 m³. Desde allí se realiza el abastecimiento a las zonas bajas del Jimenado por gravedad, además se cuenta con sendos bombes que transportan el agua hacia la zona alta de El Jimenado, zona alta, y Garcerán. Se configura en tres sectores hidráulicos.

LO FERRO

Recibe el agua desde Roldan, mediante el mismo bombeo existente en aquel caso, y mediante conducciones de 150 y 80 mm. se distribuye agua hasta la zona del Pasico de Torre Pacheco casco urbano. Establecen tres sectores hidráulicos.

SAN CAYETANO Y LOS INFIERNOS

Estos núcleos se abastecen mediante bombeo que capta el agua del depósito municipal de 200 m³. Hacia San Cayetano se dirigen dos conducciones, una de 250 mm. y otra de 90 mm. Para alimentar a Los Infiernos se emplea una conducción de 90 mm. En estos dos núcleos de población se establecen dos sectores hidráulicos.

SANTA ROSALÍA

Para Santa Rosalía se dispone de bombeo que capta directamente del Canal de Bases Aéreas y mediante conducción de 150 mm. de diámetro se transporta el agua hasta la población. Se cuenta con un sector hidráulico de control de esta zona.

Además de los sectores hidráulicos reseñados, existen cinco sectores de hidráulicos de control de las zonas de campo. En 2007 se instalan estaciones de telecontrol que permiten conocer en tiempo real la situación de abastecimiento de cada zona. Cada sector hidráulico dispone, entre otra instrumentación de control, con contadores que permiten vigilar los consumos, tanto acumulados como instantáneos, para una mayor eficacia de gestión.

■ Pedanías del municipio de Murcia

Gestión

La gestión del servicio es prestada, desde 1984, por la “Empresa Municipal de Aguas y Saneamientos de Murcia, S.A.” (EMUASA). Se trata de una empresa mixta participada por la mercantil “Promoción Técnica y Financiera de Abastecimientos de Agua, Sociedad Anónima” (AQUAGEST).

Redes de abastecimiento y depósitos

El sistema actual se divide en cuatro subsistemas cuyos depósitos y conducciones e interconexiones que permiten tener alternativas de suministro, se detallan a continuación.

SUBSISTEMA LA PINADA

Bombeo de la Pinada: Situado en el paraje del Valle, en La Alberca, con tres bombas que impulsan el agua hasta el depósito de La Pinada. El bombeo toma el agua del depósito del Valle o directamente de la conducción C-2. Tiene centro de transformación.

Depósito de La Pinada: Situado al sur de la Cordillera Sur tiene una capacidad de 1.000 m³ y se encuentra situado a una cota de 393. Su construcción circular cuenta con 1 cámara.

Conducción FD300 conexión sistema Mosa, Valladolides y Martínez: Alimenta por gravedad las pedanías de Valladolides, Cabecicos del Rey y Los Martínez del Puerto. Tiene un quiebre a cota 265 y una válvula reguladora de presión (Los Mañas) a cota 225.

Depósito de Valladolides: Situado en la pedanía del mismo nombre, tiene una capacidad de 125 m³ y se encuentra situado a una cota de 175.

Depósito de Los Martínez del Puerto: Situado en la pedanía del mismo nombre tiene una capacidad de 125 m³ y se encuentra situado a una cota de 176. Se rehabilitó en 2007. Tiene montado un grupo de presión, que está fuera de servicio.

Depósito de Mosa: Situado en la urbanización de Mosa, tiene una capacidad de 5.000 m³ y se encuentra situado a la cota de 290 m. De este depósito parten 3 conducciones: Conducción FD300, conducción FD250 que alimenta a la Urbanización El Valle Golf y conducción FD200 que alimenta a la urbanización de Mosa.

Depósito de La Tercia: Situado en la pedanía del mismo nombre, elevado, con capacidad de 800 m³ y cota 205. Esta red, tiene incorporado un grupo de presión para suministrar agua a la zona de Casas del Maestro.

Conducción FD300: Parte del Depósito de Mosa y tiene dos ramales, uno de FD200 que alimenta a la Urbanización El Trampolín y otro de FD300 que alimenta al depósito elevado de La Tercia y a través de un FD200 llega hasta la urbanización de Hacienda Riquelme. Tiene entronque para la urbanización de Los Bronchos. Puede alimentar al Depósito de Sucina y utilizando la impulsión Avilese-Sucina de bajada alimenta incluso al depósito de Avilese como alternativa de suministro de este sistema.

SUBSISTEMA AVILESES-SUCINA

Conducción de impulsión Avilese-Sucina: Parte desde la toma del Canal Nuevo de Cartagena de MCT a través de la impulsión de Los Infiernos, hasta el depósito de Avilese, y de este con un bombeo. Discurre hacia el depósito de Sucina a través de tubería FD200. De dicha impulsión se deriva un ramal hacia el depósito y cota de Avilese con tubería D300.

Depósito de Avilese: Situado en la pedanía del mismo nombre tiene una capacidad de 80 m³ y se encuentra situado a la cota de 126 m. con grupo de presión para el pueblo de Avilese, y otro para la zona de Avilese Sur, y cementerio.

Depósito de Sucina: Situado en la pedanía del mismo nombre, tiene una capacidad de 100 m³ y se encuentra situado a una cota de 195 m. Normalmente se abastece desde la impulsión de Avilese. Como alternativa de suministro, se puede abastecer desde el depósito de Mosa.



Nuevo Depósito de Sucina: Con capacidad de 10.000 m³ y situado a una cota de 210 m. Entrará en funcionamiento a finales de 2008.

SUBSISTEMA DE LOBOSILLO

Conducción de impulsión de Lobosillo: Parte desde la toma del Canal Nuevo de Cartagena de MCT a través de impulsión, hasta el depósito de Lobosillo.

Depósito de Lobosillo: Situado en la pedanía del mismo nombre, tiene una capacidad de 100 m³ y se encuentra situado a la cota de 95 m.

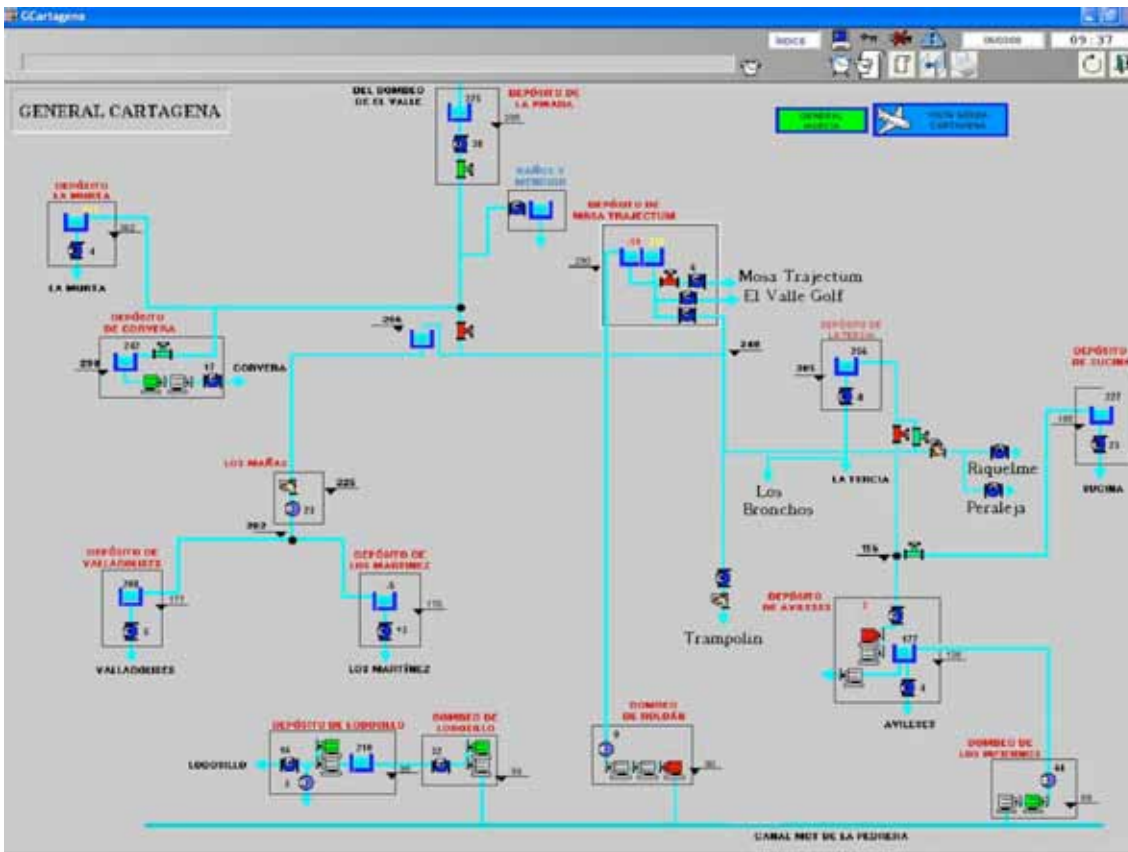
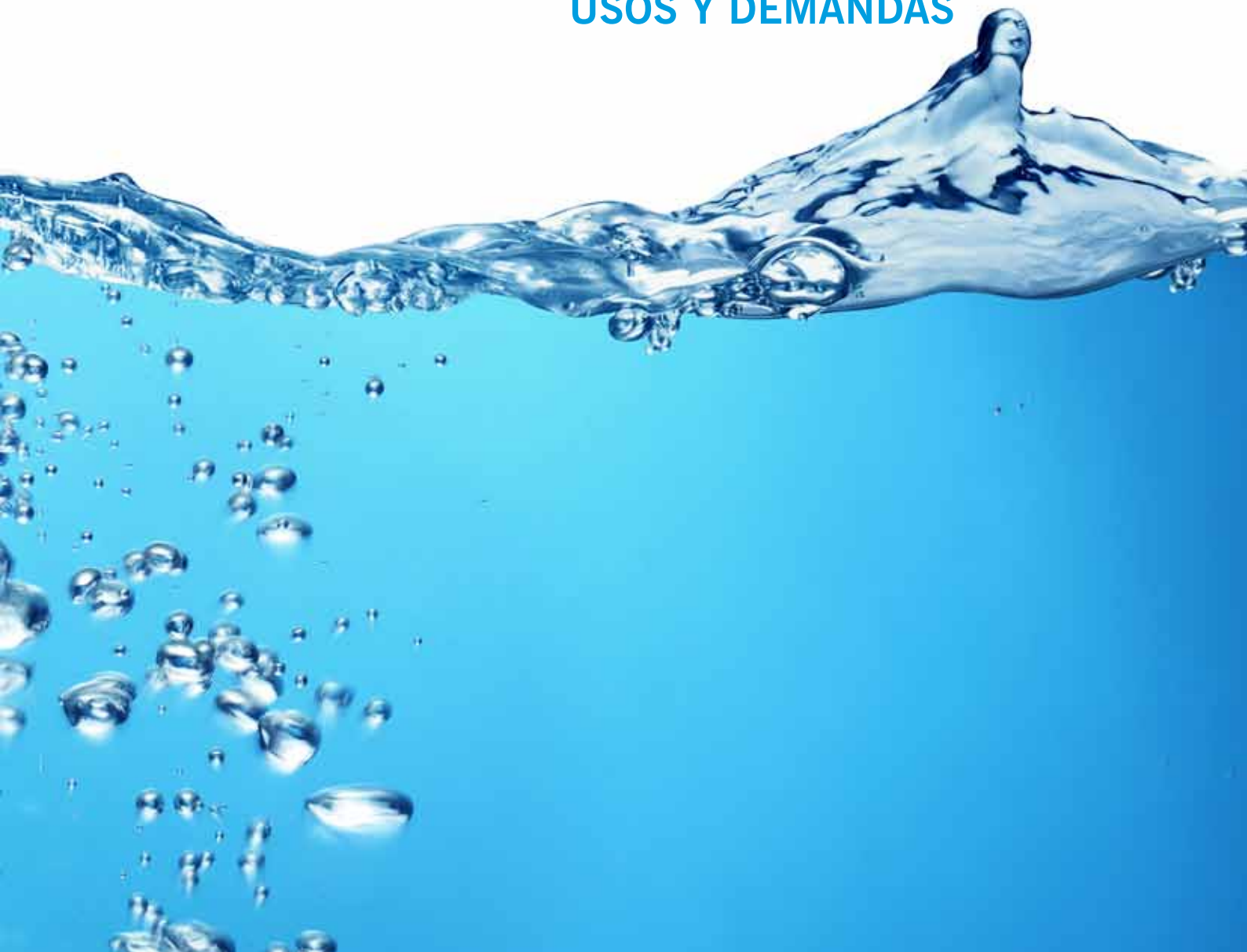


Fig. 3.18 Esquema de la distribución del agua en las pedanías de Murcia

04

USOS Y DEMANDAS





4.1 Introducción

La utilización del agua en el Campo de Cartagena, en un sentido amplio, puede ser analizada desde dos perspectivas, la económica y la medioambiental: la económica consiste en utilizar el agua, hacerla útil, y emplearla para satisfacer necesidades, constituyendo un medio de alcanzar objetivos de producción o consumo establecidos por un agente económico; la medioambiental consiste en utilizar el agua en acciones que modifican cuantitativa y cualitativamente el medio natural. Estas acciones suponen, en consecuencia, impactos sobre el medio. La Figura 4.1 muestra los usos y demandas del agua en el Campo de Cartagena.

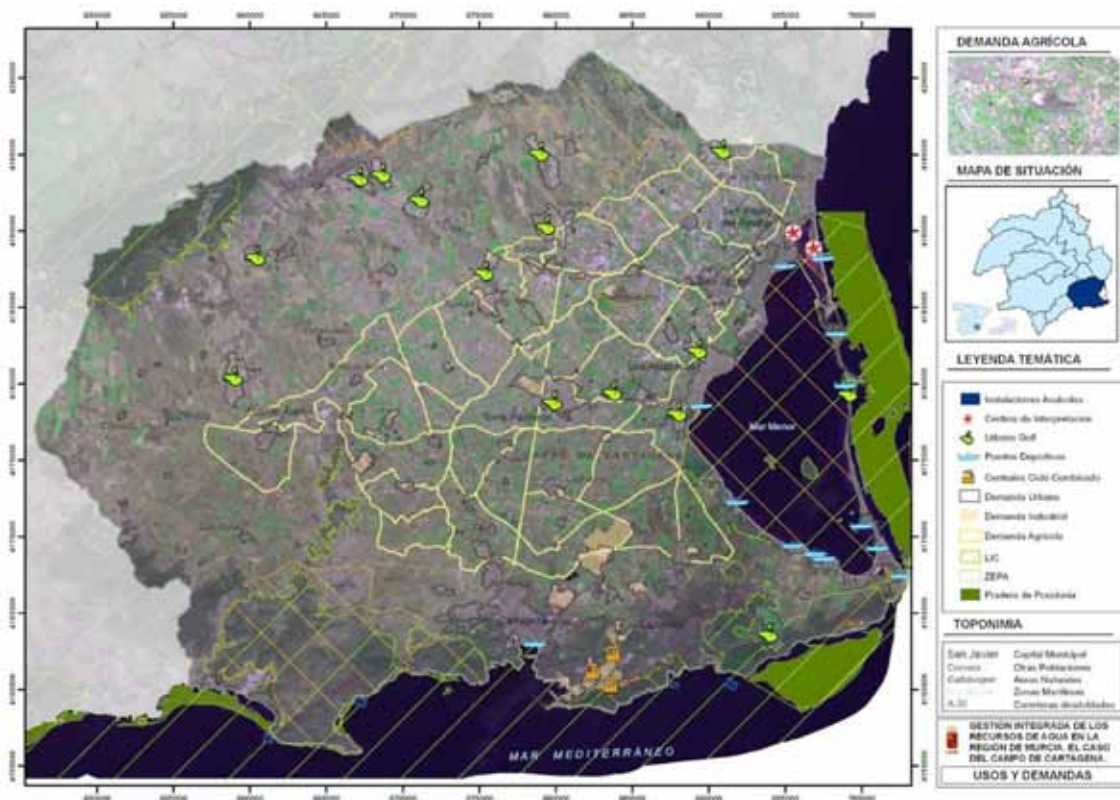


Fig. 4.1 Usos y demandas de agua en el Campo de Cartagena

Desde la perspectiva económica pueden presentarse las siguientes utilidades del agua:

- Consumo humano.
- Usos domésticos: sanitarios, climatización y ornamental.
- Producción: agrícola, industrial y energética.
- Transporte.
- Actividades comerciales y servicios.
- Utilizaciones sociales y de seguridad como la lucha contra incendios.

Tabla 4.1 Recursos y demandas de agua (ESYRCE, 2006; INE, 2007)

	ESPAÑA	CUENCA DEL SEGURA	REGIÓN DE MURCIA	CAMPO DE CARTAGENA
Año de referencia	2006	2006	2006	2006
Superficie (km ²)	504.644	18.815	11.313	1.609
Población	40.847.371	1.850.000	1.370.306	410.753
Superficie de regadío (ha)	3.319.790	269.029	167.334	48.604
RECURSOS DE AGUA	%	* %	%	** %
Superficial y subterránea	98	57	55	45
Reutilización	1	7	10	10
Trasvase Tajo-Segura	1	37	35	35
TOTAL DEMANDA (HM³)	35.000	* 1.500	** 1000	** 300
	%	%	%	%
Urbanas	18	5	10	13
Industriales	14	7	7	10
Regadío	68	85	80	75
Medioambiental	-	3	3	2
TIPOS DE REGADÍO	%	** %	%	%
Gravedad	35	25	20	0
Aspersión	15	2	1	2
Automotriz	8	3	1	0
Localizado	41	70	79	98
Sin datos	1	0	0	0
Superficie regadío (ESYRCE)	3.319.790 Ha	* 269.029 Ha	167.334 Ha	48.604 Ha

* PHCHS, 1997. ** Estimaciones para el año 2006 (datos provisionales)



Fig. 4.2 La agricultura de ciclo forzado en el Campo de Cartagena



4.2 Demanda agraria

4.2.1 Introducción

En cuanto a las demandas y usos agrarios, la necesidad de su adecuado conocimiento se evidencia en su magnitud, que representa, aproximadamente, el 85% del uso del agua en la Cuenca del Segura. Algunas de las principales dificultades para su estimación proceden de la diversidad de factores que la determinan: superficies regadas, variables meteorológicas, dedicación productiva, características de suelo y agua, tipología de métodos de riego y condiciones de manejo, tipología de redes de conducción y distribución, condiciones de operación, etc.

Algunos de estos factores presentan, además, una apreciable variabilidad interanual. Este es el caso de los factores meteorológicos (temperatura, evapotranspiración y precipitación), que determinan las necesidades hídricas de los cultivos implantados, la superficie y ubicación de cada cultivo y la extensión total regada.

4.2.2 Demanda hídrica

Desde el punto de vista de la economía del agua, los invernaderos y también otras técnicas de protección de cultivos como los acolchados y micro túneles reducen las pérdidas por evaporación, aunque la intensidad de sus cultivos hace que las demandas hídricas por superficie no resulten muy bajas. Una aproximación a la demanda teórica de los cultivos en el Campo de Cartagena puede verse en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Campo de Cartagena. Demanda de agua agrícola (Erena M. y Montesinos S., 2004)

CULTIVO	DOTACIÓN M ³ /HA	HECTÁREAS REGADAS	NECESIDADES NETAS HM ³
Cítricos	6.192	13.838	85,60
Uva de mesa	4.016	215	0,86
Frutales	6.684	6.550	43,77
Hortícolas	5.000	24.983	125,00
Invernaderos	7.327	3.018	22,11
TOTAL		48.604	277,43



Fig. 4.3 Estación agroclimática del IMIDA en Torreblanca



Fig. 4.4 Cultivos de cítricos en riego por goteo

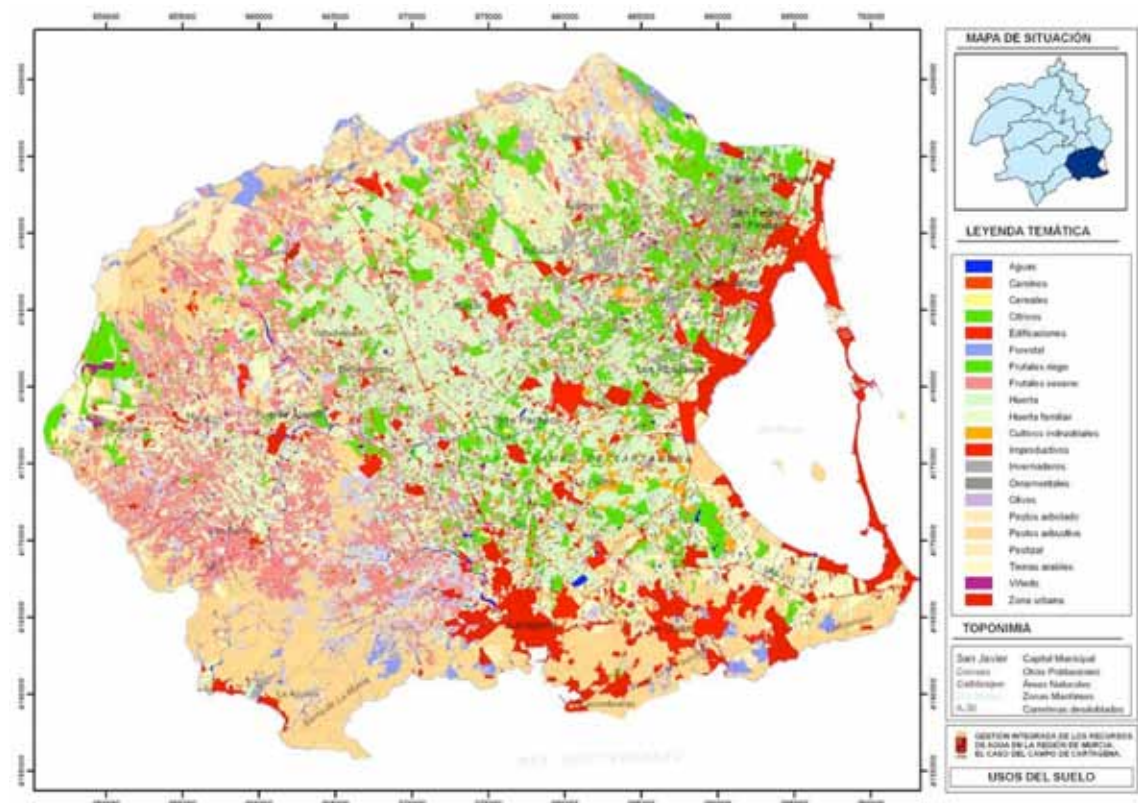


Fig. 4.5 Distribución de cultivos en el Campo de Cartagena (SIGEAM, 2007)

Otro indicador de este rápido proceso de modernización, especialmente en la fruticultura, es la difusión del riego localizado. En este sentido, un tercio de los cultivos leñosos de la región dispone ya de estas instalaciones. Además de incrementar la eficiencia de la aplicación del agua, la introducción de este sistema permite una importante reducción del trabajo necesario en los cultivos.

El salto tecnológico, que abarca más aspectos pero que es posible gracias a este sistema de riego, constituye una importante base de la alta competitividad de la fruticultura en los nuevos regadíos frente a las vegas tradicionales. En los cultivos herbáceos, esta técnica de riego no resulta igualmente apropiada para todos los cultivos y su expansión inicial da paso a un estancamiento de las superficies con riego localizado durante el último lustro. Recientemente, las técnicas de aspersión están adquiriendo mayor protagonismo en los cultivos hortícolas. En el Campo de Cartagena, el proceso de difusión de tecnología de riego por goteo comenzó en el año 1975, y tras un periodo de rápido crecimiento en la década de los 80, la superficie regada por riego localizada ascendió hasta el 98% de la actualidad (Alcón, 2006).



Fig. 4.6 Cultivo de alcachofas en el Campo de Cartagena



Fig. 4.7 Cultivos hortícolas en riego por goteo



En cuanto a la demanda ganadera, frecuentemente considerada junto con la de regadío para constituir entre ambas la demanda total agraria, resulta ser de una cuantía muy baja frente a la del regadío, por lo que no se suele analizar de forma pormenorizada. La demanda de agua dulce en la acuicultura en esta zona es nula ya que las explotaciones son marinas y se encuentran en la costa.

4.2.3 Cultivos bajo invernadero



Fig. 4.8 Sistema de recogida de aguas de lluvia en invernaderos

El rápido crecimiento de los regadíos murcianos durante las últimas décadas va acompañado por un intenso proceso de modernización y tecnificación, por lo que actualmente son de los más modernos de Europa, un indicador de este proceso son las más de 7.000 ha de superficie protegida por invernaderos de alta tecnología, y la amplísima difusión de las modernas técnicas de riego.

La superficie bajo invernadero muestra un continuo crecimiento desde que el desarrollo de la horticultura intensiva, alcanzó vigor en los años setenta. Durante los últimos años ha incrementado su ritmo debido fundamentalmente a razones de mercado, aunque puede haber influido también la escasez de aguas de riego, que obliga a concentrar este recurso en los cultivos de más valor añadido.

4.2.4 Cultivos sin suelo

En la década de los 80, se produce un gran avance agrícola basado en la adopción de nuevas técnicas de cultivo como el enarenado, el riego localizado y la protección con plásticos, pero esto ocasiona fatiga en los suelos agrícolas, debido a que en muchos casos las aguas de riego utilizadas eran de calidad media a mala. La aparición de la técnica de los cultivos sin suelo (CSS) junto a la posibilidad de utilizar agua de mejor calidad (procedentes del trasvase Tajo-Segura, plantas desaladoras y aguas residuales), trae consigo la implantación de cultivos sobre sustratos en estas zonas.

En la actualidad, se puede estimar en unas 2.500 has la superficie de cultivos sin suelo en la Región de Murcia, establecidas principalmente en las comarcas agrícolas de Mazarrón-Águilas y en el Campo de Cartagena. Genéricamente, se denomina cultivo sin suelo a todo sistema de producción en donde se prescinde del recurso natural suelo.



Fig. 4.9 Instalaciones con cultivo hidropónico de pimiento



Fig. 4.10 Embalse regulador de la CRCC en la Impulsión de Fuente Álamo

4.3 Demanda urbana

4.3.1 Introducción

Una de sus características fundamentales es la gran heterogeneidad en cuanto a la utilización del agua se refiere, pues incluye utilidades domésticas, municipales (riego de jardines, colegios, bomberos, etc.), colectivas (servicios públicos, como hospitales y escuelas), industriales, comerciales e incluso ganaderas, todo lo cual contribuye a dificultar, en gran medida, su conocimiento.

La demanda doméstica media en la Región de Murcia atendida por las redes de abastecimiento fue de 161 litros por habitante y día según datos del INE en el año 2005 y se encuentra entre las más bajas de España, cuyo valor medio es de 171 litros por habitante y día.

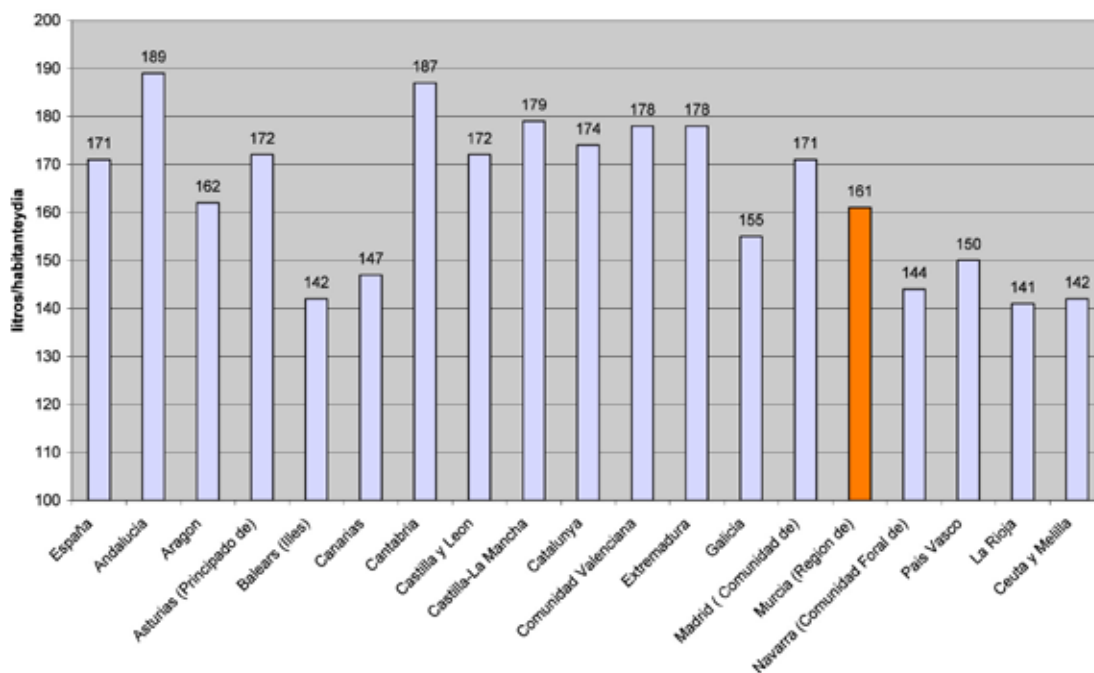


Fig. 4.11 Consumo de agua por habitante y día (INE, 2.005)

Por otra parte se está desarrollando técnicas de xerojardinería de forma generalizada, como son empleo de variedades de césped de bajas necesidades hídricas, especies ornamentales de bajo consumo y el empleo de sistemas de riego de alta eficiencia, que están contribuyendo a disminuir el consumo del agua en los espacios ajardinados urbanos.

4.3.2 Población censada

La población censada del Campo de Cartagena experimenta en el período comprendido entre 2001-2007 un crecimiento global del 18,59% equivalente a una tasa interanual del 2,66%, si bien su evolución por municipios es muy dispar siendo, especialmente, significativos los crecimientos poblacionales en los municipios de Los Alcázares (9,46%), San Javier (6,42%) y San Pedro del Pinatar (4,74%) (Tabla 4.3).

**Tabla 4.3** Evolución de la población censada, 2001-2007

MUNICIPIO	AÑO		VARIACIÓN 2007/2001 (%)	VARIACIÓN MEDIA INTERANUAL (%)
	2001	2007		
Alcázares (Los)	8.470	14.077	66,20	9,46
Cartagena	184.586	207.286	12,30	1,76
Fuente Álamo	11.583	14.400	24,32	3,47
San Javier	20.125	29.167	44,93	6,42
San Pedro del Pinatar	16.678	22.217	33,21	4,74
Torre-Pacheco	24.332	29.187	19,95	2,85
Unión (La)	14.541	16.471	13,27	1,90
Total	282.316	334.812	18,59	2,66

Fuente: INE. Cifras de población referidas a 1 de enero de cada año.

4.3.3 Población residente no censada

En el Campo de Cartagena también se detectan colectivos poblacionales no reflejados en las estadísticas oficiales, pero que realmente residen prácticamente todo el año en la zona: Por un lado, cabe señalar un grupo de población mayoritaria de tercera edad, jubilados, de la Unión Europea que reside de forma permanente en nuevas urbanizaciones residenciales, salvo esporádicos viajes, y que siguen censados en sus lugares de origen. Por otro, el grupo de población laboral inmigrante. Estos colectivos pueden suponer un 5% de la población censada, es decir un colectivo de 16.640 habitantes más.

4.3.4 Población estacional no residente

Aunque estos colectivos no figuren en las estadísticas oficiales para los servicios municipales de abastecimiento de agua potable, el consumo de esta población ocasional no residente ha de contemplarse. Se trata de una población que estacionalmente ocupan plazas en los hoteles, viviendas secundarias en propiedad, alquiladas y plazas de camping.

Con relación al consumo de los visitantes alojados en hoteles, en La Manga del Mar Menor, en la parte que pertenece al municipio de Cartagena, existen diez establecimientos hoteleros que cuentan con 2.553 plazas. En 2007, esto representaba un consumo de agua potable equivalente al 18,90% de los 1.139.663 m³ facturados por el servicio. La población visitante en establecimientos hoteleros debido a sus cortos periodos de estancia, efectúa un consumo reducido.

Cosa distinta son los no residentes que ocupan vivienda en propiedad, así como en el caso de los que ocupan vivienda de alquiler o plazas de camping. En el área del Mar Menor existían, en 2006, un total de 47.510 viviendas secundarias, de las cuales el 81,84% son ocupadas por sus propietarios, con una estancia media de 52,23 días al año, además de 9.534 viviendas calificadas oficialmente como “vacías” que, potencialmente, constituye el mercado de alquiler turístico en los meses veraniegos de julio a septiembre. La misma zona cuenta con 8.126 plazas en campamentos turísticos, con un grado de ocupación del 46,4% al año.

4.3.5 Consumos domésticos

El fuerte crecimiento poblacional del Campo de Cartagena contrasta, de manera importante, con la contención de la demanda de agua suministrada a los servicios municipales de abastecimiento de agua potable que, entre 2001 y 2007, sólo experimenta un aumento del 1,11% (Tabla 4.4).

Tabla 4.4 Agua suministrada por la MCT, 2001-2007 (m³)

MUNICIPIO	AÑO		VARIACIÓN 2007/2001
	2001	2007	(%)
Alcázares (Los)	1.888.945	2.350.662	1,24
Cartagena	22.847.889	24.042.525	1,05
Fuente Álamo	1.859.833	2.200.000	1,18
San Javier	2.742.560	3.059.539	1,12
San Pedro del Pinatar	2.315.984	3.350.000	1,45
Torre-Pacheco	2.368.704	3.401.856	1,44
Unión (La)	1.260.000	1.460.815	1,16
La Manga del Mar Menor	1.460.454	1.139.663	0,78
Total Comarca de Cartagena	36.943.699	41.007.067	1,11

Fuente: Dirección General de Comercio y Artesanía

La razón de este hecho se justifica por dos motivos: primero, aumento de los rendimientos técnicos de los servicios, especialmente en los municipios de Torre Pacheco, La Unión, Cartagena y Fuente Álamo; y, el segundo, por el encarecimiento de las tarifas del agua potable que, desde el año 1997, para un consumo situado entre 5 y 20 metros cúbicos mensuales, las tarifas se incrementan entre un 67% y 73%. Los abonados conscientes del encarecimiento de cada metro cúbico de agua consumida, como consecuencia de la escasez y el sobrecoste que supone las nuevas dotaciones de agua desalada, apuesta por reducir, voluntariamente, los consumos domésticos consuetudinarios.

4.3.6 Indicadores de consumo

Autoconsumos municipales

Los autoconsumos municipales son aquellos consumos que se utilizan en edificios e instalaciones municipales. Todos los contratos administrativos de prestación del servicio de abastecimiento de agua



Fig. 4.12 Desarrollos turísticos



Fig. 4.13 Balneario

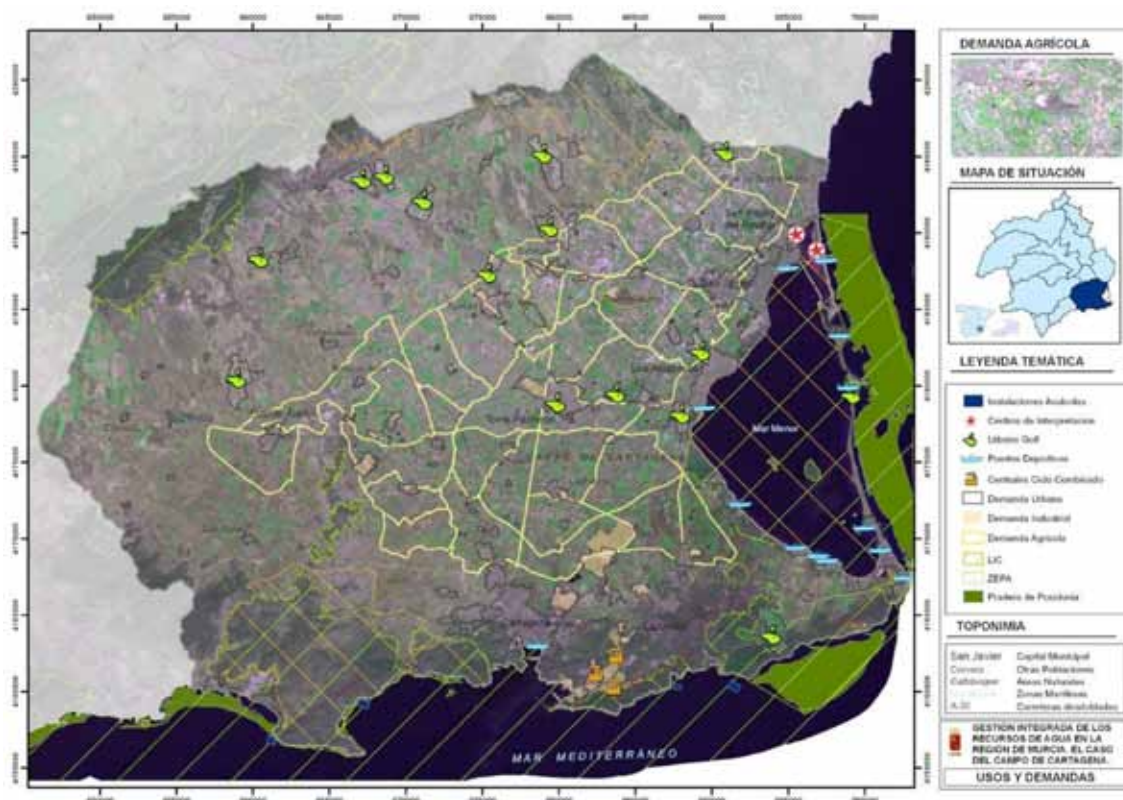


Fig. 4.14 Demanda urbana en el Campo de Cartagena

potable prevén la exención total en el pago hasta un volumen anual facturado a los abonados del servicio, no incluyendo en este porcentaje el riego a jardines y calles. Lo normal es que dicho caudal suponga un 5% en San Pedro del Pinatar y San Javier (para volúmenes de unos 50.000 m³ anuales) o un 6% para Los Alcázares y La Unión (con volúmenes de unos a 40.000 m³), siendo superado en el caso de Cartagena (14%) y de Fuente Álamo para cuyo servicio la totalidad de los autoconsumos municipales son gratuitos. El caudal más importante de autoconsumos se produce en el municipio de Los Alcázares, debido a las amplias zonas verdes regadas con agua del servicio, inclusive 6.000 palmeras en el casco urbano.

Tabla 4.5 Campo de Cartagena. Indicadores de consumo, 2007

	AUTOCONSUMOS MUNICIPALES (*) (%)	CONSUMO ABONADOS M ³ /HABITANTE Y DÍA	ÍNDICE DE CONTADORES (HABITANTE/ABONADO)
Alcázares (Los)	10,45	369	0,62
Cartagena	3,18	262	2,28
Fuente Álamo	6,21	266	2,05
San Javier	6,93	218	1,74
San Pedro del Pinatar	9,87	243	1,08
Torre Pacheco	8,15	299	2,18
Unión (La)	3,63	183	2,12
Promedio	6,92	263	1,72

(*) Participación de los consumos municipales con respecto al volumen de agua facturada

Consumo de los abonados

El consumo promedio de los abonados se sitúa en 263 litros por habitante y día. Este dato debe de tomarse con bastante cuidado ante los importantes consumos estacionales, en los meses veraniegos de julio y agosto, por una población no residente de visitantes de difícil cuantificación, así como por residentes de tercera edad originarios de la Europa comunitaria y trabajadores inmigrantes no censados. En el caso de Fuente Álamo, cabe destacar también la existencia de una importante cabaña ganadera porcina en el municipio.

Índice de contadores

El índice de contadores expresa la relación entre número de habitantes y tamaño del parque de contadores del servicio. Cuanto menor es el índice de contadores, con mayor evidencia queda patente la relevancia que para los servicios tiene la población estacional no residente alojada en segundas viviendas, hoteles, camping e incluso urbanizaciones residenciales de jubilados comunitarios. Por término medio, el índice de contadores en el Campo de Cartagena es de 1,72.



4.4 Demanda Industrial

Por lo que se refiere a la demanda industrial, los datos disponibles suelen referirse a la gran industria, que dispone de fuentes de suministro propias. La pequeña y mediana industria, sin embargo, se suele incluir dentro de los servicios de abastecimiento urbano, lo que conduce en general a una infravaloración de la demanda industrial.

A diferencia del uso agrícola del agua, su uso industrial no constituye normalmente un importante consumo neto (por incorporación al producto, evaporación o pérdida parcial en caso de infiltración), sino que el agua se utiliza predominantemente como medio de refrigeración, de lavado, disolvente en procesos, o como mero medio de transporte de residuos, vertiéndose posteriormente a los sistemas de alcantarillado, a los cauces fluviales o directamente al mar.

Entre los sectores industriales presentes en la Región de Murcia destacan por su un importante uso cuantitativo del recurso agua los siguientes:

- Industria alimentaria y de bebidas.
- Industria petroquímica.
- Central térmica de Escombreras y producción de gases combustibles

Una parte del consumo industrial es servido de forma directa por la MCT, y se trata de industria pesada situada en el valle de Escombreras en distintos sectores (refino de petróleo, fertilizantes, construcción naval y gas). La demanda industrial conectada al sistema de abastecimiento urbano se contabiliza dentro del total de la CHS. En el año 2004 la MCT sirvió un total de 47,2 hm³ para consumo industrial. En la comunidad de Murcia, ESAMUR registra en el mismo año un consumo de agua industrial de 27,6 hm³.



Fig. 4.15 Instalación de General Electric en el Campo de Cartagena

4.5 Demanda medioambiental

La demanda medioambiental viene originada por la necesidad de mantener en los cauces unos caudales mínimos que permitan la existencia de vida piscícola y en los humedales, embalses y zonas húmedas, unos volúmenes mínimos necesarios para la conservación del ecosistema y la actividad de los usos recreativos. El Centro de Interpretación de las Salinas de San Pedro (fig. 4.16) dedica su actividad al estudio de los humedales circundantes al Mar Menor.



Fig. 4.16 Centro de interpretación de las Salinas de San Pedro



Fig. 4.17 Parque natural de las salinas de San Pedro



Fig. 4.19 Sistema de medición del nivel freático

Las funciones medioambientales del agua se pueden resumir en:

- Mantenimiento de caudales ecológicos.
- Estabilización del interfaz agua dulce-agua salada.
- Mantenimiento de zonas húmedas.

Dentro de las zonas más significativas asociadas al medio hídrico se encuentran los espacios naturales protegidos del parque regional de Las Salinas y arenales de San Pedro del Pinatar, los paisajes protegidos del Cabezo Gordo y los Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor, con varios ecosistemas terrestres y acuáticos de gran valor ecológico, donde conviven gran diversidad de especies animales y plantas. Las Salinas se comenzaron a explotar en tiempos de los romanos y son un claro ejemplo del equilibrio entre el aprovechamiento racional y la convivencia con la naturaleza.



Fig. 4.18 Realización de un sondeo para el seguimiento del nivel freático

Actualmente, se dispone de una sistema de monitoreo continuo de la calidad de las aguas subterráneas que migran hacia el Mar Menor a través del acuífero Cuaternario. Las figuras 4.18 y 4.19 muestran la realización de un sondeo de monitorización, y un datalogger que registra datos continuos de niveles freáticos.



05

EL FUTURO:
I+D+i Y TECNOLOGÍA
DEL AGUA



5.1 La I+D+i tecnológica en la gestión del agua

5.1.1 Introducción

La Región de Murcia posee una importante agricultura de regadío orientada a la producción de frutas y hortalizas. En 2007, la superficie regable en la Región era de unas 190 mil hectáreas ocupadas principalmente por cultivos leñosos (52%) y herbáceos (32%), la producción final agraria asciende a casi dos mil millones de euros, a los cuales la producción vegetal supuso un 74,5% destinados principalmente a la exportación, con un valor de unos 1.437 millones de euros en el año 2005 (CARM, 2007).

Esta región presenta unas características agronómicas excelentes para el desarrollo de explotaciones de regadío intensivas, las cuales requieren aportes hídricos en los diferentes estados del cultivo, decisivos para la obtención de producciones de calidad. Los recursos naturales de los que dependen las actividades agrícolas necesitan cuidados adecuados, y cada vez es mayor la preocupación por la viabilidad de los sistemas de producción agrícola, que constituyen una de las principales actividades económicas de la región.

En este marco económico, la I+D+i regional tiene unos retos que quedan identificados para el sector agrario, en el Plan Regional de Investigación (CARM, 2007b) en los puntos siguientes:

- Desarrollar técnicas de cultivo que permitan una agricultura limpia (en suelo, agua, y productos agroalimentarios).
- Diseñar estrategias de riego que favorezcan el uso eficiente del agua
- Estudios para planificar los usos del suelo.
- Elaborar tecnologías agrícolas que mantengan la productividad de los recursos.
- Uso de aguas desalinizadas, depuradas, etc.
- Mejora de los recursos en la producción animal y la fabricación de piensos.
- Mejora de técnicas de riego hidropónico y su control.

La introducción de las nuevas tecnologías de riego en la comarca del Campo de Cartagena se inicia principalmente con la llegada de las aguas del Acueducto Tajo Segura, su distribución y gestión es realizada por la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena, que es la encargada de distribuir el agua de forma equitativa y proporcional a la superficie de cultivo de cada regante. La comunidad de regantes se abastece principalmente de las aguas procedentes del ATS, posee modernos sistemas de gestión del agua a la demanda, y se encuentra altamente tecnificada. Sin embargo, los agricultores de esta comarca se tienen que enfrentar a una incertidumbre en el abastecimiento del agua que depende de unas dotaciones trimestrales sin garantía de suministro y a unas considerables restricciones hídricas, dado que la dotación asignada anualmente por hectárea se suele encontrar por debajo de las necesidades hídricas de los cultivos.

Además, el coste medio del agua para riego en la Cuenca del Segura es de los más elevados de España, ascendiendo a 0,163 €/m³ para las aguas subterráneas y 0,038 €/m³ para las aguas superficiales. En

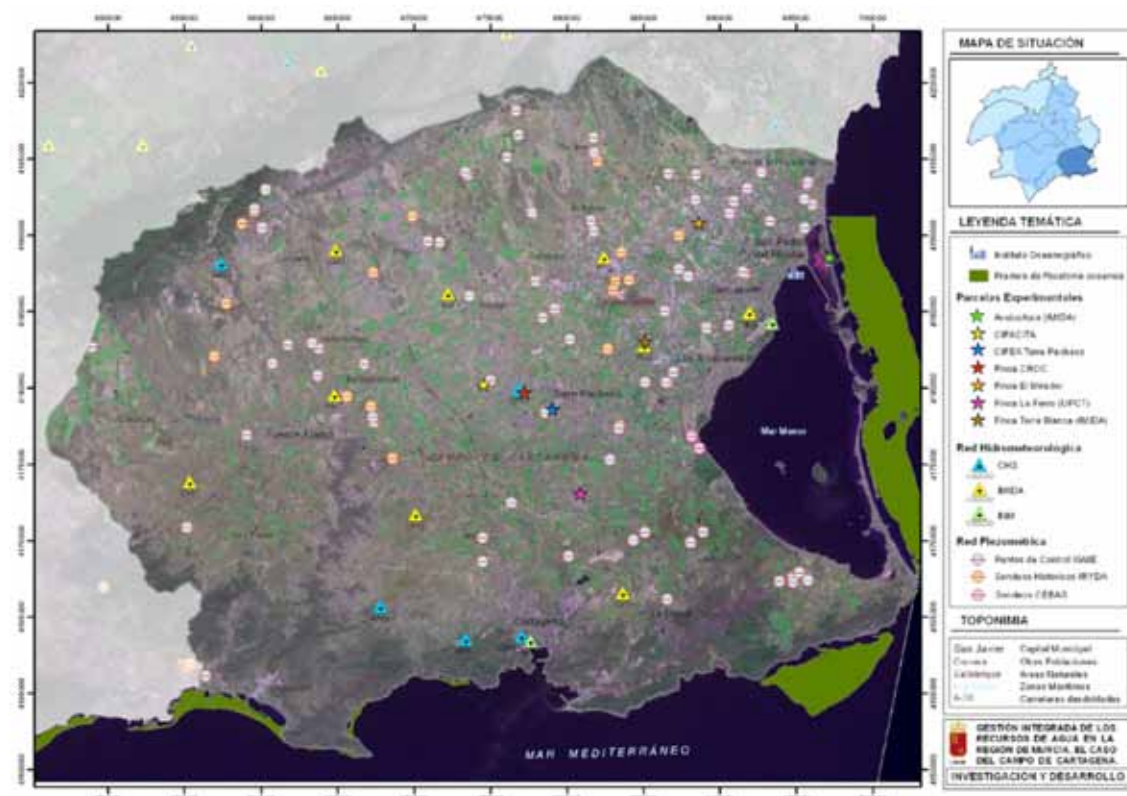


Fig. 5.1 I+D+i sobre el uso del agua en el Campo de Cartagena

algunos casos, se llegan a estimar costes de extracción de hasta $0,79 \text{ €/m}^3$ siendo, en 2007, el precio del agua en la comunidad de regantes del Campo de Cartagena de $0,24 \text{ €/m}^3$.

Frente a esta situación de escasez, los diferentes operadores implicados en la gestión y uso del agua desarrollan medidas de incremento de la eficiencia técnica de su uso, orientadas al ahorro y la disminución del consumo. La adopción de modernas tecnologías de riego que aumenten la eficiencia del uso del agua y reduzcan el uso de productos intermedios, manteniendo los niveles de producción, es la clave para mejorar el uso de los escasos recursos hídricos.

Dado que el transporte desde los embalses reguladores hasta la cabecera de la zona regable se realiza a través de la infraestructura del Traspase Tajo-Segura, el nivel de uso de tecnologías del riego en la comunidad de regantes del Campo de Cartagena, una vez que el agua se encuentra en la cabecera de la zona regable se puede analizar desde una triple perspectiva: primero, el uso de las tecnologías de distribución y control del agua de riego a cargo de la propia comunidad de regantes; segundo, el uso de tecnologías de aplicación del agua en la planta por los agricultores; y tercero, uso de tecnologías para determinación de las necesidades hídricas de los cultivos.



5.1.2 Tecnologías de distribución y control del agua

La adopción de estas tecnologías se viene realizando de forma general a través de los planes de modernización, mejora y consolidación de regadíos. Estos planes contribuyen a la mejora de la eficiencia del riego y el ahorro del agua en la red secundaria de distribución. La modernización de los regadíos consiste en la ejecución de obras y actuaciones necesarias para mejorar la eficiencia técnica del uso del agua, reducir los impactos ambientales del regadío, ahorrar agua y mejorar la productividad económica. Los proyectos de modernización de los regadíos realizados por las comunidades de regantes comprenden las siguientes actuaciones:

- a) Obtención de recursos hídricos no convencionales.
- b) Tomas y captaciones de agua, a partir de las concesiones y autorizaciones de que disponga la comunidad de regantes.
- c) Estaciones elevadoras de agua con sus correspondientes tuberías de impulsión.
- d) Construcción de balsas de regulación.
- e) Recubrimiento de balsas de regulación para disminuir la evaporación del agua.
- f) Instalación de sistemas comunes de filtrado.
- g) Instalación de tuberías presurizadas en las redes de riego.
- h) Instalación de hidrantes.
- i) Instalación de dispositivos de medición y control de los volúmenes de agua.
- j) Automatización del sistema e informatización de la explotación y la gestión
- k) Construcción de edificaciones (casetas, centro de control, etc.) necesarias para la adecuada gestión.
- l) Mejoras medioambientales
- m) Otras mejoras que se consideren necesarias y tendentes al cumplimiento de las finalidades de los proyectos de modernización.



Fig. 5.2 Plan de modernización Comunidades de Regantes del Campo de Cartagena (2000)

5.1.3 Tecnología de aplicación del agua en la planta

Respecto a la tecnología de aplicación del agua en el interior de la parcela, la tecnología de riego localizado, en su modalidad de riego por goteo, es el más reciente de los métodos de irrigación. El riego por goteo se define como la aplicación del agua a través de puntos o una línea de emisores, sobre o bajo la superficie del terreno, operando a bajas presiones. Frente al riego tradicional, el localizado tiene como ventajas la obtención de mayores rentabilidades, la reducción de forma considerable de la evaporación de agua del suelo y las pérdidas por escorrentía y percolación profunda y, en consecuencia, el incremento de la eficiencia de aplicación de agua. Además, si se automatiza, reduce el uso de mano de obra, permite el aporte de aguas más salinas y la fertirrigación, a la vez que disminuye los riesgos fitosanitarios y la proliferación de malas hierbas. Los sistemas de riego localizado son más adaptables a las dificultades del suelo y la orografía del terreno realizando un reparto más uniforme del agua que evita el sobre riego y compensa las desigualdades de aplicación del agua.

Con respecto a otras tecnologías de riego, la eficiencia de aplicación en campo supera al riego tradicional y al riego por aspersión, alcanzándose eficiencias de aplicación del 90%, superiores a las alcanzadas con el riego superficial (50-60%) y el riego por aspersión (60-80%).

Aunque los beneficios son muy elevados, esta tecnología también presenta desventajas respecto a otros sistemas de riego, como los requerimientos de mantenimiento y control, la obstrucción de emisores, la posibilidad de fugas como consecuencia de daños de animales o mecánicos y la acumulación de sales en la zona radicular como consecuencia de un inadecuado lavado del frente húmedo. Tampoco permite controlar el microclima como el riego por aspersión, y, en muchas ocasiones, necesita del apoyo de otros sistemas para la germinación de las semillas. Finalmente, la tecnología de riego por goteo es cara de instalar y requiere elevadas habilidades técnicas para un diseño y mantenimiento adecuado y una eficiencia óptima.

La importancia del empleo de esta tecnología por los agricultores para obtener las ventajas procedentes de su uso, se puede ver en el comportamiento mostrado por muchos agricultores y en el esfuerzo realizado por las Administraciones públicas, que realizan fuertes inversiones orientadas a mejorar las estructuras agrarias, a sostener y elevar la capacidad de competir en los mercados, a conservar el medio ambiente, así como a mejorar las condiciones de vida y trabajo de los agricultores.



Fig. 5.3 Sistema de filtrado de un cabezal de riego por goteo



Fig. 5.4 Diferentes tipos de goteros



5.1.4 Tecnología para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos

La determinación del momento y volumen de agua a aplicar en cada riego es un proceso de toma de decisiones a corto plazo, de tipo 'control operacional'. Habitualmente se basa en la experiencia previa y no en procedimientos científico-técnicos. Sin embargo, en la medida en que la conservación del agua de riego pasa a ser un objetivo relevante en el manejo de una explotación de regadío, se hace cada vez más patente la necesidad de disponer de una información precisa que permita programar los riegos de forma eficiente. Existen numerosos métodos de programación de riegos si bien todos ellos son agrupados, tradicionalmente, en tres enfoques: basados en datos climáticos, estado hídrico del suelo y estado de la planta.

a) Información agroclimática

Estos métodos estiman las necesidades hídricas máximas del cultivo y se basan en el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET₀) y en la utilización de coeficientes de cultivo. Actualmente, el método más completo, aceptado y recomendado para la determinación de la ET₀ es el de Penman-Monteith- FAO. La aplicación de estas metodologías requiere el empleo de variables climáticas obtenidas con el uso de tecnologías para el control del clima (sensores de pluviometría, radiación global y neta, humedad relativa y temperatura del aire, velocidad y dirección del viento, evaporación potencial a partir de tanques clase A, etc.). Desde 1997, para efectuar el cálculo de las necesidades de agua de los cultivos, en la región, puede consultarse los datos aportados por el Servicio de Información Agraria de la Región de Murcia-SIAM en la dirección web del IMIDA.

Servicio de Información Agraria de Murcia

Datos de la Finca

ESTACIÓN	CULTIVO	VARIEDAD	TEXTURA DE SUELO
CH2	MELOCOTONERO	MEDIA TEMPORADA	FRANCA

Marco de Plantación: Entre filas de planta: 5 x Entre plantas: 6 = 30 m² Plantas por Hectarea: 333

Datos Instalación: N° líneas riego/árbol: 1 Líneas: 5 Oteros: 2 Coeficiente de Uniformidad (%): 90

Díametro copa(m): 3 N°Emisores planta: 3 Caudal Emisor(L/h): 4 C.E. del agua(LS/m): 1

ET₀:(mm): Cubeta Clase A Blaney Criddle Penman Monteith Radiación Todos

Fig. 5.5 Web del Servicio de Información Agraria de Murcia (Rincon et al, 1997)

Tabla 5.1 Necesidades medias mensuales de algunos cultivos del Campo de Cartagena (m³/ha)

MES	PIMIENTO	LECHUGA	ALCACHOFA	MANDARINO	NARANJO	LIMÓN
Enero	488		71	71	71	72
Febrero	617		86	85	86	175
Marzo	981		278	275	278	332
Abril	1.332		450	449	450	587
Mayo	1.655		650	646	650	803
Junio	1.853		775	771	775	793
Julio			1.196	1.189	1.196	815
Agosto			1.103	1.094	1.103	799
Septiembre		1.646	846	840	846	666
Octubre		1.052	556	537	556	435
Noviembre		619	178	146	178	182
Diciembre	400	486	63	60	63	66
Total	7.327	3.803	6.252	6.163	6.252	5.725

b) Estado hídrico del suelo

El balance de agua en el suelo es uno de los métodos más utilizados para determinar las necesidades hídricas de los cultivos arbóreos. Se trata de cuantificar las cantidades de agua que entran, salen o permanecen en un volumen de suelo durante un tiempo determinado. Estos métodos engloban tanto las técnicas de medida del contenido de humedad como del estado energético del agua en el suelo.

Entre las tecnologías utilizadas para medir el contenido de humedad del suelo, cabe destacar como método directo el muestreo del suelo a partir del uso de barrenas para la determinación gravimétrica y volumétrica del agua en el suelo, y como métodos indirectos, el empleo de la sonda de neutrones, el TDR (reflectometría en dominio del tiempo) y sensores capacitivos, el FDR (reflectometría en dominio de la frecuencia) DIVINER, el EnviroSCAN, el ECH₂O y el HIDRA-Probe. Para la medida del estado energético del agua en el suelo, las tecnologías actualmente en uso son, los tensiómetros, los bloques de yeso, y el watermark. Estas tecnologías, así como el TDR y FDR, presentan la ventaja de realizar mediciones en continuo a partir del empleo de dataloggers.



Fig. 5.6 Riego por goteo con control de humedad (Rincón, 2005)

c) Estado hídrico del cultivo

Desde antiguo se considera que el método ideal para el control del riego es utilizar a la propia planta como detector de sus necesidades hídricas, al integrar ésta las condiciones de su entorno, clima y suelo. Sin embargo, son muy escasas las explotaciones comerciales que se apoyan en la medida de parámetros relacionados con el estado hídrico de la planta para el manejo del riego. Dentro de la tecnología para el control del estado hídrico de los cultivos



ETo media 1998-2004 (mm/año)

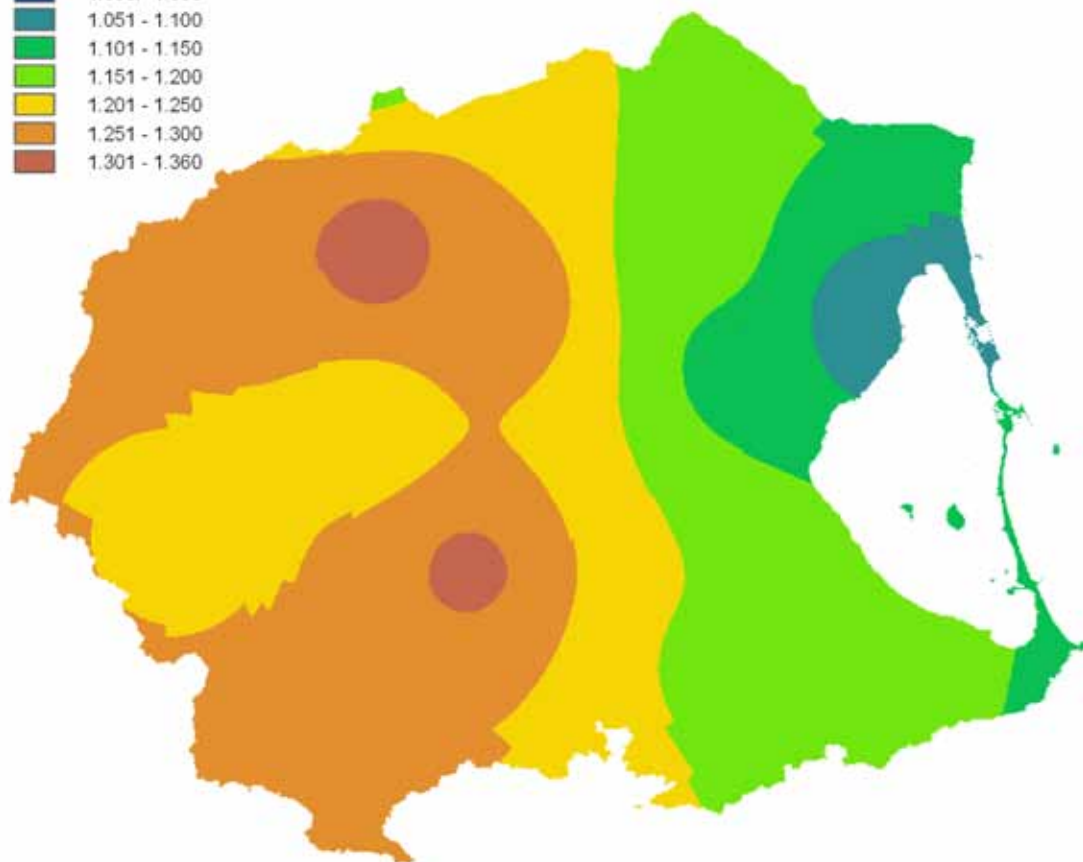
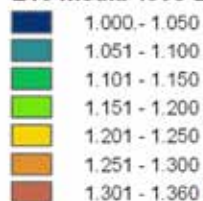


Fig. 5.7 Mapa de evapotranspiración media periodo 1998-2004 (Erena, 2007)

cabe señalar la cámara de presión, para la medida del potencial hídrico foliar o de tallo, medidores de intercambio gaseoso (balance de CO_2), para la determinación de la conductancia estomática y fotosíntesis, técnicas de medida de flujo de savia, a partir de métodos térmicos, sensores de desplazamiento lineal, para el control de las variaciones de diámetro de órganos vegetales, etc.

5.1.5 Riego deficitario controlado en la Región de Murcia

Introducción

En la Región de Murcia, como en otras partes de España y del mundo, la escasez de agua para la agricultura ha propiciado el empleo de tecnologías de riego altamente eficientes (Figura 1). Sin embargo, el ahorro de agua derivado de este avance tecnológico sigue siendo insuficiente para poder cubrir las necesidades de agua de los cultivos. Además, es presumible que el desfase existente entre oferta (recursos) y demanda se acentúe en un futuro inmediato. Esta realidad sitúa a los agricultores y técnicos ante un doble problema: i) cultivar con menos agua de la necesaria, y ii) mantener e incluso incrementar la rentabilidad de sus explotaciones bajo estas condiciones. Aunque la solución a situaciones estructurales de escasez hídrica es muy compleja y requiere de la acción conjunta de distintas vertientes de actuación; lo que no es menos cierto, es que existe gran unanimidad entre los expertos



Fig. 5.8a Cabezal de riego por goteo (Regadíos de Mula-Murcia)



Fig. 5.8b Programador para riego automático (ETSIA-UPCT)

del sector en la imperiosa necesidad de mejorar el manejo del agua de riego. Dentro de la línea de actuación, mejora de la productividad del agua, se encuentra la práctica agrícola denominada: 'riego deficitario controlado' (RDC).

El término, **riego deficitario (RD)**, se usa para definir las prácticas de riego deliberadas y sistemáticas donde sólo una fracción de las necesidades de agua de los cultivos no satisfechas por las lluvias es reemplazada por el riego. El riego deficitario debe repartir uniformemente el déficit de agua durante todo el ciclo para evitar la ocurrencia de estrés hídrico severo en cualquier momento del ciclo vegetativo.

El análisis económico del riego deficitario ha sido abordado por diversos investigadores y bajo distintas condiciones de cultivo, concluyendo, en general, que con el riego deficitario se puede optimizar la productividad del agua. Según English y Raja (1996), los beneficios potenciales de RD derivan de tres factores: i) aumento de la eficiencia de uso de agua, ii) reducción de los costes de riego y de producción, y iii) oportunidad de los costes del agua. Al mismo tiempo, indican que las ventajas potenciales de RD son mayores en áreas con escasos recursos hídricos y que los riesgos asociados a su uso están dentro de lo considerado como aceptable.

Por otro lado, el término de **riego deficitario controlado (RDC)** es más actual y presenta un enfoque más fisiológico que el dado a los riegos deficitarios. Este contempla tanto la fenología del cultivo como su capacidad para resistir situaciones de déficit hídrico. Considera, por tanto, que el déficit hídrico puede resultar más o menos trascendente en función del momento fenológico en el que ocurre, de su intensidad y duración.

El RDC consiste en la aplicación de cantidades de agua inferiores a las necesarias durante determinados períodos del ciclo del cultivo en los que la producción y calidad de las cosechas sean poco o nada afectadas y aplicar el total de dichas necesidades durante el resto del ciclo, en especial en aquellos períodos críticos en los que la producción y/o la calidad son más afectados por la falta de agua (Castel, 1999; Sánchez-Blanco y Torrecillas, 1995). La reducción de los aportes de riego en los períodos menos sensibles al déficit hídrico no implica la supresión del riego. En definitiva, con el RDC se pretende maximizar la eficiencia en el uso del agua y minimizar los efectos de la reducción de los aportes hídricos sobre la producción y la calidad de la cosecha.



En el tiempo transcurrido desde que los investigadores australianos (Chalmers et al., 1981; Mitchell et al., 1984) introdujeran el RDC ha quedado claro que con esta estrategia de riego se puede maximizar la producción por unidad de agua aplicada. Los mejores resultados se han obtenido en cultivos leñosos y hortícolas de gran valor comercial (Jones, 2004). Sin embargo, la realidad es que el RDC no se ha extendido tanto como hubiese sido deseado a nivel comercial. En algunos casos, la justificación se encuentra en que las plantaciones no reúnen las condiciones idóneas para su éxito, pero generalmente, radica en la falta de información y de herramientas prácticas para que el agricultor o/y el técnico puedan mantener el estado hídrico del árbol dentro del rango de tolerancia correspondiente al estado fenológico en el que se encuentra el cultivo. La respuesta a la pregunta ¿En qué medida se debe reducir el riego en cada momento? constituye un problema complejo puesto que puede afectar a multitud de factores, y de forma especial a aquellos relacionados con los procesos de crecimiento de los distintos órganos y los de inducción y diferenciación floral (Ruiz-Sánchez et al., 1999; Torrecillas et al., 2000; Pérez-Pastor et al., 2004).

Con el objetivo de reducir la complejidad conceptual de definir en cada momento los requerimientos de agua de un cultivo, en los últimos años han cobrado un especial interés las investigaciones tendentes a recurrir al propio cultivo como indicador de sus necesidades de riego, evaluando de forma directa su estado hídrico. De entre las diversas tendencias existentes, cobran una especial relevancia aquellas basadas en la utilización de sensores en las plantas capaces de informar, de forma automática y en tiempo real, del estado hídrico de las mismas, evitando otras alternativas, más laboriosas, y que obligan a realizar frecuentes desplazamientos al campo (Ortuño et al., 2006; Conejero et al., 2007). Es, por tanto, fundamental disponer de indicadores de estrés hídrico robustos y sensibles a los cambios del estado hídrico de la planta o/y del suelo al objeto de poder reproducir aquellas estrategias de RDC que proporcionan resultados satisfactorios (Domingo et al., 2005).

En este sentido, recientes investigaciones (Goldhamer et al., 2004, García-Orellana et al., 2007, Págan et al., 2007, Vélez et al., 2007, Egea, 2008 y Ortuño et al., 2009b) han demostrado que usando sensores LVDT (linear variable displacement transducer) para el registro de las fluctuaciones diarias del diámetro del tronco (Figura 9a), y más concretamente su máxima contracción diaria (MCD), es posible conocer el estado hídrico del árbol y programar el riego.



Fig. 5.9a Sensor LVDT y porta-sensor en tronco (Domingo et al., 2005)



Fig. 5.9b Programador para riego automático (ETSIA-UPCT)

A continuación y de forma resumida se recogen algunos de los ensayos de RDC realizados en la Región de Murcia en plantaciones frutales, bajo riego por goteo y agua de buena calidad ($CE_{25^{\circ}\text{C}} \leq 1,5 \text{ dS m}^{-1}$). Así mismo, se muestran las conclusiones más relevantes con relación al momento de aplicación del déficit hídrico y a los ahorros de agua conseguidos respecto a condiciones no limitantes de agua en el suelo, tratamiento control (CTL).

En estos ensayos, las necesidades máximas de agua del cultivo (ET_c) se estimaron a partir de la expresión:

$$ET_c \text{ (mm día}^{-1}\text{)} = ETo \times Kc \times Kr$$

siendo: ETo la evapotranspiración de referencia de la semana anterior (mm día^{-1}), determinada por el método cubeta clase A o Penman-Monteith (<http://siam.imida.es/siam.htm>), Kc el coeficiente de cultivo, de acuerdo con la especie, superficie cubierta y características físicas del medio circundante (Doo-renbos y Pruitt, 1988), y Kr el coeficiente reductor, obtenido a partir de la relación entre el porcentaje de suelo cubierto y la evapotranspiración relativa a una plantación adulta (Figura 10).

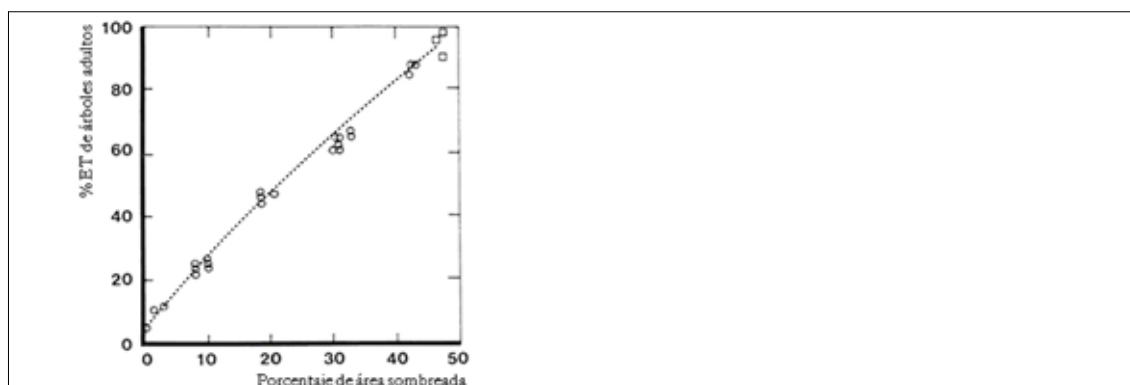


Fig. 5.10 ET relativa a una plantación adulta (Feres y Goldhamer, 1990)

Resultados de RDC en frutales

En la Región de Murcia, el RDC en cítricos ha sido estudiado principalmente por los grupos UPCT-CEBAS y por el IMIDA.

En los cítricos es sobradamente conocido que los períodos críticos se circunscriben a los procesos de floración y cuajado y a la fase de rápido crecimiento del fruto. El déficit hídrico durante las fases de floración y cuajado del fruto incide en un aumento de caída de flores y pequeños frutos, mientras que si ocurre en la fase de rápido crecimiento del fruto conlleva una reducción del calibre final del fruto, viéndose afectada en ambas situaciones la producción final de la plantación. De ahí, que para la correcta aplicación del RDC sea necesario tener en cuenta estos periodos por su alta sensibilidad al déficit hídrico.



Fig. 5.11a Plantación de limoneros 'Fino' en finca experimental CEBAS-CSIC con suelo pedregoso de baja capacidad de retención hídrica (106 mm m⁻¹)



Fig. 5.11b Porcentaje de ETc aplicado y momento de aplicación en cada tratamiento de riego

Limonero

En Santomera (Murcia), el grupo UPCT-CEBAS ensayaron 3 tratamientos de riego en limoneros adultos cv 'Fino', dispuestos a marco de 6 m x 6 m y cultivados en un suelo de baja retención hídrica (Figura 11a y 11b). Éstos consistieron en: i) control (CTL), regado al 100% de la ETc durante toda la temporada de riego, ii) RDC₂₅, con riego similar a CTL durante el período de rápido crecimiento del fruto (Fase II, junio-octubre) y al 25% de la ETc durante el resto de la campaña de riego, y iii) RDC₇₀, regado al 70% de la ETc durante junio-octubre y similar a CTL en el resto de la temporada. Mientras que el déficit hídrico aplicado en RDC₂₅ abarcó las fases floración - cuajado, en RDC₇₀ lo hizo en el período de rápido crecimiento del fruto (Fase II).

El déficit hídrico impuesto en ambos tratamientos (Tabla 5.2) no condicionó de forma significativa el crecimiento vegetativo del árbol ni las propiedades físicas y químicas del limón recolectado (Figuras 11 y 12). Sin embargo, afectó a la producción del primer corte de limón, especialmente en RDC₇₀, lo que confirma el efecto adverso del déficit hídrico sobre el tamaño del limón cuando se aplica durante la fase II de crecimiento del fruto (Sánchez-Blanco *et al.*, 1989).

Tabla 5.2 Respuesta del limonero 'Fino' a los diferentes tratamientos de riego. Valores medios de 4 años (tomados de Domingo *et al.*, 1996). Los valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes según el test de la MDS_{0,05}

PARÁMETRO	CTL	RDC ₂₅	RDC ₇₀
Riego (m ³ ha ⁻¹)	6000	4500	4700
Ahorro de agua (%)		25	22
Potencial hídrico foliar al alba (Ψ_a) mínimo	-0,45 # -0,65 ¹ MPa	-0,65 MPa	- 0,9 MPa
Producción total (kg árbol ⁻¹)	172 a	165 a	171 a
Producción:			
I corte	66 (38) ² a	56 (33) b	51 (30) b
II corte	106 (62) a	109 (63) a	120 (70) a
Momento cosecha:			
I corte	Octubre-Noviembre	Retraso de la cosecha en 1 de los 4 años	Retraso de la cosecha en 3 de los 4 años
II corte	Enero-Febrero	Similar a CTL	Similar a CTL

¹ Ψ_a mínimo durante el periodo de riego al 25% de la ETc en RDC₂₅ # y durante el 70% en RDC₇₀
² Entre paréntesis, producción relativa en porcentaje respecto a la producción total del tratamiento Control



Fig. 5.12a Detalle de primer corte de la cosecha de limón en los ensayos de RDC en Santomera (Murcia)



Fig. 5.12b Detalle de segundo corte de la cosecha de limón en los ensayos de RDC en Santomera (Murcia)

El equipo de citricultura del IMIDA en estudios posteriores realizados en la variedad de limonero cv 'Fino 49' sobre macrophylla muestran que la aplicación de determinadas estrategias RDC pueden resultar positivas en algunas condiciones, aunque provoquen un cierto retraso de la recolección y reduzcan la cosecha. En estos estudios, la supresión del riego en dos periodos de desarrollo del fruto, PI (fase I e inicio de la fase II de crecimiento de fruto) y PII (final de desarrollo del fruto hasta la cosecha) supuso un ahorro de agua de riego de un 36% y una disminución del 20% en la cosecha, sin embargo el efecto neto fue un aumento significativo de la eficiencia productiva del agua, pasando de 9.65 kg m^{-3} en el tratamiento control a 11.76 kg m^{-3} en el tratamiento RD con una mejora de la eficiencia económica de 0.09 € kg^{-1} . Estos mismos autores (Robles *et al.*, 2009) también han observado que la aplicación de la estrategia de RDC empleada redujo el crecimiento vegetativo del árbol (menor volumen de copa) produciendo una disminución de los costes de funcionamiento (menor consumo de agua, abono, fitosanitarios, poda, etc...), sin embargo el descenso de la producción provocó una mayor reducción del beneficio, por lo que a precios bajos del agua de riego la estrategia de RDC resultaría menos rentable, al igual que observó Pérez-Pérez (2005) en naranjo 'Lane late'. Sólo en el caso de un posible encarecimiento del precio del agua la aplicación de RDC podría ser una herramienta a tener en cuenta.

Desde un punto de vista más fisiológico también se han realizado diversos estudios en condiciones de RDC con el fin de mejorar la eficiencia en el uso del agua. Romero *et al.* (2006) en mandarino 'Clemenules' y Pérez-Pérez *et al.* (2008a y 2008b) en naranjo 'Lane late' han propuesto la utilización de patrones tolerantes a la sequía como herramienta para reducir los efectos negativos del estrés hídrico provocado por la aplicación de RDC. En ambos casos se realizó un estudio comparativo entre dos patrones de cítricos (citrange Carrizo y mandarino Cleopatra) con diferente tolerancia a la sequía. Tanto en mandarina 'Clemenules' como en naranjo 'Lane late', las diferencias existentes entre citrange Carrizo y mandarino Cleopatra influyeron de forma diferente en el estado hídrico del suelo y de la planta, determinando la respuesta fisiológica y agronómica de la variedad injertada. En ambos estudios, mandarino Cleopatra se mostró más tolerante a la sequía, reduciendo el efecto negativo del RDC sobre el crecimiento vegetativo, producción y calidad del fruto, por lo que su uso puede ser una solución para mejorar la aplicación de estrategias de RDC a largo plazo en cítricos bajo las condiciones edafoclimáticas del Campo de Cartagena.



Un enfoque diferente de la aplicación de RDC en cítricos en el Campo de Cartagena, propiciado por sus condiciones edafoclimáticas, se ha llevado a cabo recientemente con éxito. En esta área, caracterizada por un clima semiárido, el cultivo de cítricos sufre un adelanto, tanto en la fecha de recolección como en la madurez del fruto, ya sea en variedades tempranas o tardías. Aunque el RDC fue inicialmente diseñado para mejorar la eficiencia en el uso del agua y reducir el crecimiento vegetativo, también puede ser aplicado con otros fines. En este sentido, Pérez-Pérez *et al.* (2009) han observado en la variedad de naranjo tardío 'Lane late' que la aplicación de RD durante la fase III (maduración del fruto) retrasa la maduración del fruto debido a un mantenimiento de la acidez, además de mejorar el contenido en sólidos solubles totales, sin alterar el índice de madurez final. La aplicación de esta estrategia de RDC no afectó negativamente a la cosecha, aunque hubo un ligero descenso en el peso medio del fruto. Por lo tanto, en variedades tardías, donde muchas veces interesa recolectar la fruta lo más tarde posible, la aplicación de de RDC puede ser una herramienta interesante para controlar la fecha de recolección.

Para analizar el RDC en 'Fortune', se aplicó un tratamiento RDC en tres momentos del desarrollo del fruto [fase I (riego entorno al 85% ETc) - inicio fase II (al 60-70% ETc) - fase III (al 55-60% ETc)], regándose de forma similar al control durante el resto de la estación de riegos, 100% ETc. Con la estrategia de RDC es posible realizar ahorros de agua del 10% respecto al control (CTL = 6.500 m³ ha⁻¹), pudiéndose incrementar este ahorro prolongando el déficit hídrico hasta el cese del crecimiento del tronco, durante la fase II, coincidiendo con un período de alta demanda climática (Pagán *et al.*, 2006).

Albaricoquero

En la generalidad de los frutales de hueso, los periodos críticos al agua son la segunda fase de rápido crecimiento del fruto y el periodo de postcosecha en el que acontece la inducción-diferenciación floral (Ruiz-Sánchez *et al.*, 1999; Torrecillas *et al.*, 2000). Sin embargo, debemos tener en cuenta que en variedades extratempranas, las cuales consiguen completar el crecimiento del fruto en intervalos de tiempo muy cortos, coincidiendo con periodos de relativa baja demanda evaporativa, e incluso con el acontecimiento de lluvias primaverales, se dificulta sobremanera el manejo del riego en las distintas fases de crecimiento del fruto. Por tanto, en estas variedades el estudio del RDC deberá centrar sus esfuerzos en el manejo del riego deficitario tras la recolección.

El grupo UPCT-CEBAS evaluó la respuesta de albaricoqueros tempranos cv. 'Búlida' al RDC durante 4 campañas en una finca comercial situada en Mula. Los resultados mostraron que son posibles ahorros de agua moderados durante las fases de endurecimiento del hueso y postcosecha final (período a partir de los 2 meses siguientes a la cosecha) sin afectar negativamente a las características físicas de los frutos y aumentar ligeramente los niveles de acidez y sólidos solubles, lo que supone una mejora de la calidad.

Los árboles, cv. 'Búlida' injertados sobre patrón franco de 'Real Fino', de 12 años de edad, a marco de 8 m x 8 m y en vaso abierto (Figura 13) se regaron por goteo desde su plantación con un agua de riego de baja salinidad ($CE_{25^{\circ}C} = 0,6 \text{ dS m}^{-1}$). Los tratamientos de riego consistieron en: un control (CTL) con riego al 100% de las necesidades hídricas durante toda la campaña, otro de riego deficitario ($RD_{50\%}$) con dosis al 50% del control, y un tercero de riego deficitario controlado (RDC_{25-40}) al 100%



Fig. 5.13 Vista parcial de la finca de albaricoqueros 'Búlida' y conteo de frutos para la determinación del número de frutos por árbol y peso medio unitario

de la ETC durante los periodos críticos: segunda fase de rápido crecimiento del fruto (Fase III) y período postcosecha inicial, aproximadamente los 2 meses siguientes a la cosecha (Torrecillas *et al.*, 2000) y al 25% y 40% ETC durante el resto de la estación de riego, 25% en las dos primeras campañas y 40% en dos últimas (Figura 14). Los volúmenes de riego medios aplicados fueron de 7000 y 3760 en CTL y RD₅₀, y de 3770 (años 1 y 2) y 5890 (años 3 y 4) m³ ha⁻¹ en RDC₂₅₋₄₀.

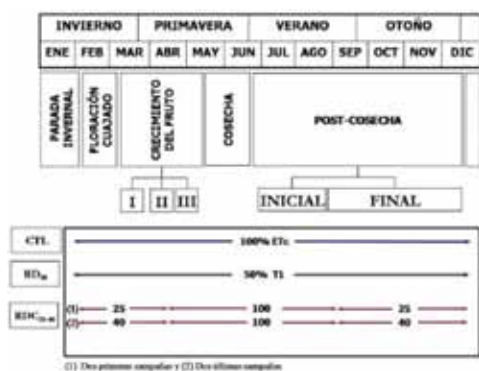


Fig. 5.14 Porcentajes de ETC aplicados de acuerdo al tratamiento de riego y período fenológico del albaricoquero 'Búlida'.

Durante la fase II (endurecimiento del hueso), RDC₄₀ disminuyó el potencial hídrico foliar al alba en 0,3-0,5 MPa, respecto a CTL. Disminuciones que se vieron ligeramente superadas en postcosecha final, a partir de septiembre.

En las dos primeras campañas, el ahorro de agua conseguido con la aplicación del tratamiento RDC₂₅ (en torno al 40%) redujo la producción total en un 30%, como consecuencia de la reducción del número de frutos, ya que el peso unitario del fruto no se vio afectado.

Sin embargo, en las dos últimas campañas, con ahorros de agua del orden del 20%, la producción total y el número de frutos por árbol fueron similares a los de CTL (Tabla 5.3).

Tabla 5.3 Producción total de albaricoque (kg árbol⁻¹) y número de frutos por árbol para los diferentes tratamientos de riego durante el periodo experimental (Domingo *et al.*, 2001)

TRATAMIENTOS	AÑO 1		AÑO 2		AÑO 3		AÑO 4	
	KG ÁRBOL-1	FRUTOS ÁRBOL-1	KG ÁRBOL-1	FRUTOS ÁRBOL-1	KG ÁRBOL-1	FRUTOS ÁRBOL-1	KG ÁRBOL-1	FRUTOS ÁRBOL-1
CTL	209 a	3832 a	145 a	2332 a	368 a	8271 a	179 a	4614 a
RD50	117 b	2158 c	95 b	1599 b	255 b	6172 b	94 b	2281 b
RDC25-40	153 b	3367 ab	93 b	1445 b	324 a	8068 a	186 a	4823 a

Los valores de cada año seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes según el test de la MDS_{0,05}.



La producción de RD_{50} fue significativamente menor durante todo el período de ensayo, traduciéndose los ahorros de agua del 50% en reducciones de cosecha del 40% (Tabla 3). El tratamiento de RDC_{25-40} no indujo adelanto ni retraso de la cosecha, respecto a CTL, mientras que RD_{50} mostró una reducción de la producción en las primeras fechas de recolección (Pérez-Pastor *et al.*, 2009), período en el que se alcanzan los precios de mercado más altos. Estos resultados indican que la aplicación de RDC mejora substancialmente la productividad del albaricoquero en relación al riego deficitario, ya que la aplicación de cantidades de agua inferiores a las necesarias, atendiendo a la fenología del cultivo, redujo los efectos negativos en las dos primeras campañas y no los tuvo en las dos últimas, cuando los ahorros de agua fueron moderados (Tabla 3, Figura 15).

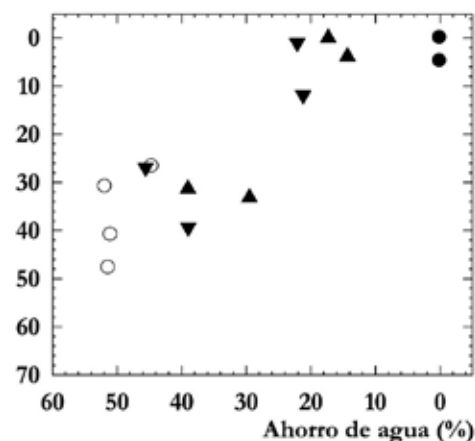


Fig. 5.15 Reducción de la producción frente al ahorro de agua en albaricoqueros Búlida. CTL (●) RDC_{25-40} (▲, ▼) y RD_{50} (○). Cada punto corresponde al valor medio de 4 repeticiones (Pérez-Pastor, 2001)

Los autores concluyen que, bajo las condiciones de cultivo ensayadas, reducciones de riego superiores al 30%, respecto a máximas necesidades del cultivo, originan en albaricoquero 'Búlida' disminuciones muy importantes de los rendimientos y que por lo tanto no parecen recomendables desde el punto de vista económico. Sin embargo, aportes del 40% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante los períodos menos sensibles al déficit hídrico permiten ahorros de agua del 20% respecto a las necesidades totales sin afectar a la producción ni a la calidad de la cosecha constituyendo una estrategia de riego muy válida cuando se dispone de aguas de baja salinidad (Domingo *et al.*, 2001 y Pérez-Pastor *et al.*, 2009).

Almendro

Estudios llevados a cabo en la Región de Murcia por el grupo del IMIDA en las condiciones edafoclimáticas del Campo de Cartagena en el cultivo del almendro, y utilizando estrategias de RDC, muestran que este tipo de estrategias pueden resultar apropiadas en estas condiciones dando lugar a importantes ahorros de agua y una mayor rentabilidad económica del cultivo. Así, una reducción del 80% de las necesidades hídricas en la fase de llenado de grano, han logrado ahorros de hasta el 28% del agua aplicada respecto a un cultivo sin restricciones durante todo el ciclo (100% ETc), con apenas reducciones del 7% en la producción (1105 vs 1027 kg ha⁻¹, en control y RDC respectivamente). Este hecho se traduce en un incremento en el tratamiento deficitario respecto al control tanto en la eficiencia productiva (0,24 frente a 0,18 kg m⁻³) como en la eficiencia económica en el uso del agua (0,57 vs 0,40 € m⁻³).

Por otra parte, también en almendro y en estas mismas condiciones, la combinación de estas estrategias de RDC y tecnologías de riego como el riego subterráneo, han proporcionado resultados altamente satisfactorios. Así, tratamientos de RDC en condiciones de riego subterráneo con reducciones del 80% del agua aplicada durante la fase de llenado de grano y del 50% durante post-cosecha han resultado más rentables que controles regados al 100% durante todo el ciclo del cultivo en condiciones de riego super-

ficial, con incrementos muy significativos tanto en la eficiencia productiva en el uso del agua (0.28 kg ha^{-1} vs a 0.18 kg ha^{-1}), como en la eficiencia económica de la misma (0.079 € m^{-3} vs a 0.047 € m^{-3}). Estos mismos trabajos indican una todavía mayor rentabilidad de este tipo de tratamientos combinados conforme aumente el precio del agua, lo que presumiblemente ocurrirá en un futuro próximo debido a la cada vez mayor precariedad de recursos hídricos de la zona. Respecto a otros cultivos como cítricos o melocotoneros, más rentables y con mayores requerimientos de agua, este tipo de tecnologías combinadas, en almendro, se presenta a la luz de estos resultados como una sólida alternativa.

Vid

Aunque existe todavía cierta controversia sobre los efectos positivos o negativos del riego en la vid, ya que tradicionalmente se ha ligado a altas producciones con baja calidad de uva y vino, recientes investigaciones han mostrado que la utilización adecuada del RDC puede ser una herramienta útil para controlar tres factores importantes en el viñedo: el desarrollo vegetativo, el tamaño de la baya y la producción (floración y cuajado), lo cual puede influir de forma notable en la calidad en función del momento de aplicación y de la severidad del estrés hídrico.

Hablando en términos de calidad y composición de la baya, se pueden distinguir principalmente dos períodos importantes en los que se puede aplicar un estrés hídrico controlado obteniendo en ambas estrategias resultados beneficiosos desde un punto de vista de la calidad. Un periodo suele ser antes del envero, normalmente inmediatamente después del cuajado hasta envero con el fin de controlar el desarrollo vegetativo y reducir el tamaño de la baya. Esta estrategia suele también reducir la producción pero puede mejorar la calidad de la uva y el vino. El otro período de aplicación de un estrés hídrico suele ser después del envero hasta cosecha con el fin de incrementar la concentración de antocianos y compuestos fenólicos en la baya, mejorando el color, el aroma y el sabor del vino, aunque la acumulación de azúcares puede ser reducida, especialmente bajo severo estrés hídrico.

En los últimos años se están llevando a cabo en la Región de Murcia diversos estudios científicos para desarrollar estrategias de RDC más eficientes con el fin de lograr una mejora de la calidad de las uvas y de los vinos de la variedad Monastrell, de gran importancia socioeconómica en la Región de Murcia. En uno de esos estudios, realizado por el grupo del IMIDA, las estrategias de RDC aplicadas han incidido en todas las fases de desarrollo del fruto (desde cuajado a cosecha), con reducciones de agua en ese período de un 50 y un 75% respecto al testigo (Tabla 5.4).

Tabla 5.4 Tratamientos de RDC aplicados en la vid

TRATAMIENTOS	BROTACIÓN- CUAJADO	CUAJADO- ENVERO	ENVERO- COSECHA	POST- COSECHA	AGUA APLICADA ANUAL ($\text{M}^3 \text{ HA}^{-1} \text{ AÑO}^{-1}$)	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN TOTAL DEL RIEGO (%)
Testigo (60% ETc)	100%	100%	100%	100%	3189	0
RDC-1	100%	50%	50%	75%	2055	36
RDC-2	100%	25%	25%	75%	1567	51

Los resultados obtenidos han mostrado que el riego deficitario controlado influyó de forma positiva en la mayoría de los parámetros de calidad de la uva medidos en la vendimia. Solamente el pH y la acidez total no fueron afectados por los tratamientos de riego.



Desde un punto de vista productivo y de calidad, la estrategia de riego RDC-1 mostró un rendimiento productivo de 4 kg/cepa (12800 kg ha⁻¹) y una eficiencia en el uso del agua (kg m⁻³) con un incremento de un 6% respecto al testigo. Además redujo el tamaño de la baya un 25% respecto al testigo (1,37 g de peso fresco). Los índices de calidad alcanzados en la cosecha para este tratamiento fueron 22.3 °Brix, con un incremento de la relación tartárico/málico (5,50, 25% de incremento respecto al testigo), un contenido de antocianos totales >800 mg l⁻¹, un contenido de antocianos extraíbles >500 mg l⁻¹ y un contenido de polifenoles extraíbles >50.

La estrategia de riego RDC⁻² (aplicando 1500 m³/ha/año) redujo más el desarrollo vegetativo, (entre un 29% -43% respecto al control) e incrementó la eficiencia productiva en el uso del agua (kg m⁻³) un 15%, con un rendimiento productivo de 3 kg cepa⁻¹ (9600 kg ha⁻¹). Además redujo el tamaño de baya un 37% respecto al testigo (1,14 g de peso fresco) pero alcanzó índices de calidad en la cosecha más bajos que el RDC-1 (principalmente en lo que se refiere azúcares y antocianos), con 21.3 °Brix, un incremento en la relación tartárico/málico (5,46, 24% +), un contenido de antocianos extraíbles <500 mg l⁻¹, y totales <800 mg l⁻¹, y un contenido de polifenoles extraíbles <50.

Estos resultados muestran que la estrategia de RDC-2 afectó a la acumulación de azúcares después de enero debido a dos factores: 1) Una severa disminución de la actividad fotosintética y una drástica reducción del área foliar debido a una intensa caída de hoja en agosto- septiembre como consecuencia de un severo estrés hídrico en este período. Todos estos resultados señalan la conveniencia de modificar las estrategias de RDC ensayadas en los años anteriores, con el fin de incrementar la acumulación de azúcares en la baya durante el periodo de maduración (agosto-mitad de septiembre), alcanzando un nivel estrés hídrico no tan severo en esta fase.

Además desde un punto de vista de calidad y de producción, el periodo cuajado-enero fue menos sensible al déficit hídrico y soportó mejor reducciones más drásticas de agua que el periodo después de enero en nuestras condiciones edafoclimáticas.

Los ensayos expuestos, así como los realizados en otras partes de España y del mundo, vienen a corroborar las ideas de Chalmers y colaboradores (Chalmers *et al.*, 1981; Mitchell y Chalmers 1982; Mitchell *et al.*, 1989) de que es posible utilizar el estrés hídrico controlado para mejorar la rentabilidad de las explotaciones frutales. Así mismo y de acuerdo con Fereres y Soriano (2007), consideramos que existe un amplio margen de mejora de la productividad del agua en muchas explotaciones y que actualmente se dispone de información suficiente para elegir la mejor estrategia de RDC para determinadas situaciones. De lo que no existe duda alguna es que el riego deficitario controlado puede ser una herramienta valiosa para sobrellevar situaciones de escasez de agua.

5.1.6 Teledetección

La teledetección se define como “el proceso de adquisición de información sobre objetos, y las condiciones en que se encuentran, por un sensor que no está en contacto físico directo con él”. Generalmente, este término se aplica al reconocimiento de las características de la superficie de la tierra a partir de los datos registrados por sensores remotos. Los sensores, a bordo de plataformas de observación (satélites artificiales o aviones), son susceptibles de detectar la señal electromagnética (radiación reflejada o emitida) que les llega de la tierra en un determinado intervalo de longitud de onda del espectro electromagnético. La finalidad del proceso de teledetección es convertir dicha señal en una magnitud física que pueda ser tratada y grabada en forma de imagen digital o numérica para su posterior interpretación por un especialista. Las características fundamentales de los datos adquiridos en un sistema de este tipo, se pueden caracterizar por parámetros como:

Resolución espectral

Se refiere al número de bandas y a la anchura espectral de esas bandas que un sensor puede detectar.

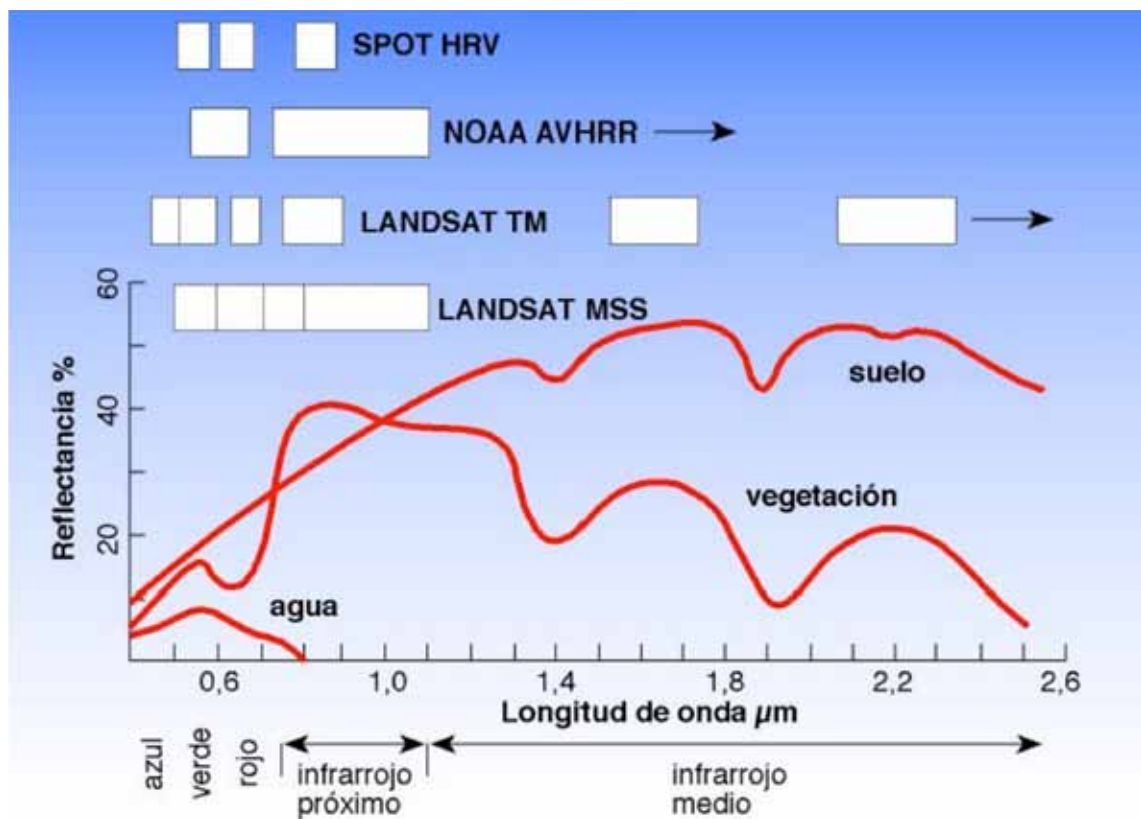


Fig. 5.16 Resolución espectral de diferentes satélites (Montesinos et al, 2005)



Resolución espacial

Es una medida del objeto más pequeño que puede ser resuelto por el sensor, o el área en la superficie que recoge cada píxel. En los nuevos satélites de alta resolución se alcanza 0,7 m.



Fig. 5.17a Imagen satélite SPOT 5 de 2.5 m de resolución del año 2005

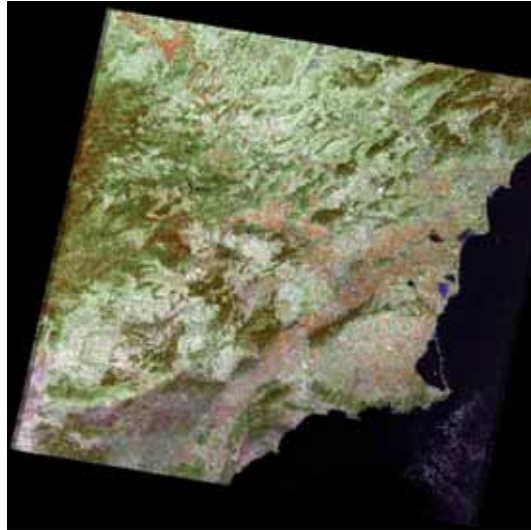


Fig. 5.17b Imagen satélite Landsat TM de 30 m de resolución del año 2007



Fig. 5.17c Imagen satélite QuickBird de 0.7 m de resolución del año 2005

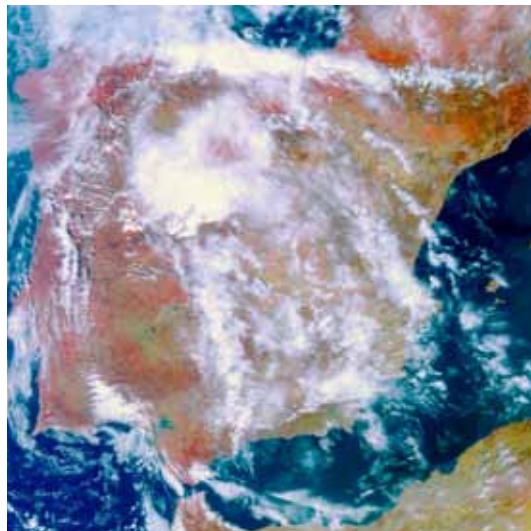


Fig. 5.17d Imagen NOAA de 1000 m de resolución del año 2008



Resolución radiométrica

Se refiere al rango dinámico, o número de posibles valores que puede tomar cada dato. Por ejemplo con 8 bits, el rango de valores va de 0 a 255.

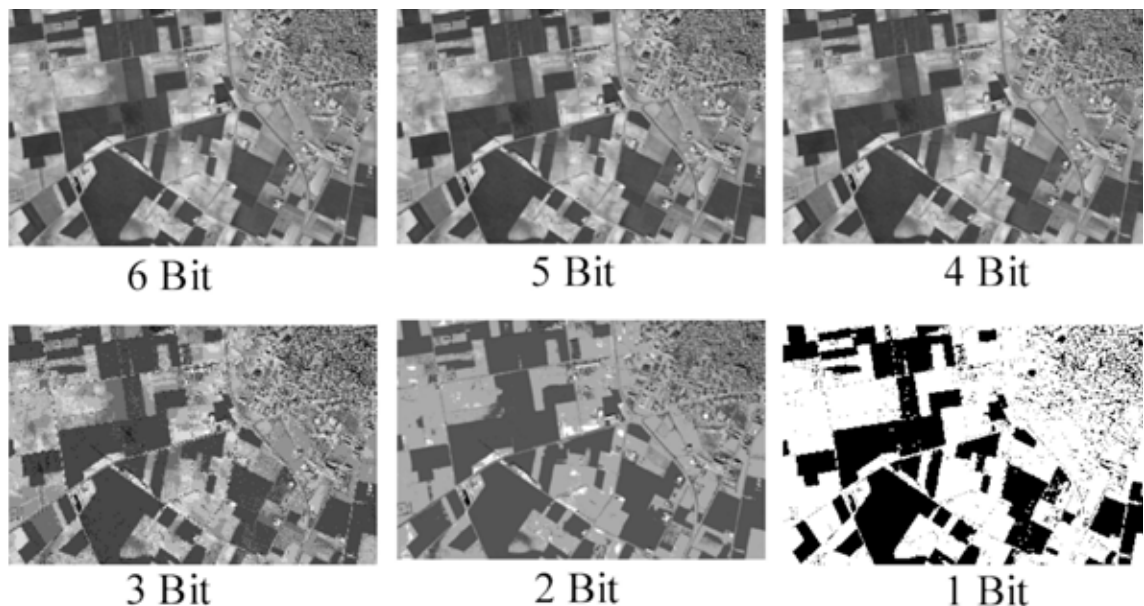


Fig. 5.18 Resolución radiométrica de diferentes satélites (Montesinos *et al.*, 2005)

Resolución temporal

Se refiere a cada cuanto tiempo recoge el sensor una imagen de un área particular. Por ejemplo el Satélite Landsat puede ver la misma área del globo cada 16 días.

Los satélites artificiales son plataformas en el espacio que siguen órbitas específicas y que contienen los sensores capaces de adquirir la información de interés. Las primeras aplicaciones civiles estuvieron centradas en satélites meteorológicos como el METEOSAT y NOAA, pero muy pronto se lanzaron satélites específicos para el seguimiento y estudio de los recursos naturales. La serie de satélites LANDSAT, que opera a una altitud de 705 Km y que a través de su sensor *Thematic Mapper* (TM) que proporciona una media resolución tanto espacial (30 x 30 m de tamaño de píxel), como temporal (16 días) o espectral (7 bandas en las regiones del espectro visible e infrarrojo) es uno de los más usados.



Fig. 5.19 Cámara ADS40 (Montesinos *et al.*, 2007)



Fig. 5.20 Imagen de altaresolución de un cultivo de cítricos tomada con la cámara ADS40 (Erena *et al.*, 2008)



Fig. 5.21 Instrumental para el riego deficitario controlado

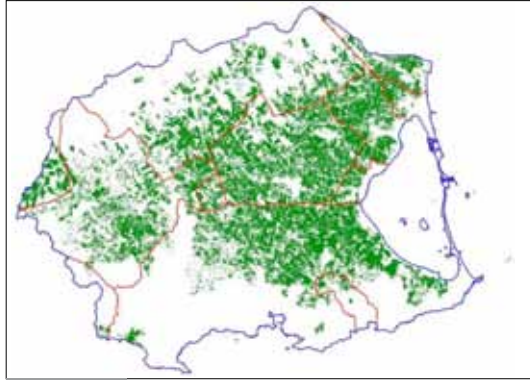


Fig. 5.22 Superficie regada en el año 2004 (Erena M., Montesinos S. 2007)

Actualmente, ya hay cámaras multispectrales que pueden ser aerotransportada para la captura de imágenes de alta resolución (píxel <math><1\text{m}</math>), en el infrarrojo cercano que se pueden correlacionar con los obtenidos en campo para la caracterización del estado fisiológico de la plantas.

Una de las aplicaciones de la teledetección es el cálculo de superficie de cultivos regada, para ello se utiliza el análisis multispectral y multitemporal de estos, análisis que contempla, para cada fecha, el análisis de la vegetación activa y la determinación de los cultivos bajo plástico, para un estudio realizado en el Campo de Cartagena se han utilizado 4 imágenes de satélite Landsat para cada uno de los años del periodo 2004 a 2007.

El método mas utilizado para la determinación de las áreas regadas es mediante el uso de los índices de vegetación normalizada, obtenidos mediante la relación de las bandas 3 y 4, en el caso del sensor TM, con el fin de mejorar la discriminación entre suelos y vegetación, y así contrastar la vegetación activa.

También puede obtenerse la superficie regada bajo plástico si se utiliza el índice de cultivos bajo plástico- ICBP calculado a partir de las bandas 1, 4 y 7 del satélite Landsat TM.



Fig. 5.23 Finca experimental de la CRCC en Torrepacheco imagen infrarrojo del sensor aerotransportado Leica ADS40.



Fig. 5.24 Finca experimental Lo Ferro de la UPCT imagen infrarrojo del sensor aerotransportado Leica ADS40

La suma de las áreas regadas al aire libre y la de las superficies bajo plástico, que en esta zona corresponde en un 90% al cultivo de pimiento, permite llegar a la identificación y cuantificación de la superficie regada en un determinado año, por ejemplo en el 2004, utilizando 4 fechas: 4 de marzo, 21 de abril, 24 de junio, 11 de agosto y 30 de octubre y se han estimado 48.604 ha.

En los últimos años se ha producido un desarrollo de los sistemas de detección terrestre con la aparición de nuevos sensores con mayores y mejores prestaciones, lo que ha ayudado a la mejora de los estudios realizados sobre coberturas de la superficie terrestre. En el ámbito agrícola estas herramientas han contribuido al avance de la agricultura de precisión, mejorando los aspectos agronómicos, reduciendo los impactos ambientales vinculados a la actividad agrícola y optimizando los costes de producción.

Ensayo de teledetección y estrés hídrico

El ensayo se llevó a cabo en una parcela experimental de la CRCC de 2 ha ubicada en el término municipal de Torre Pacheco, en árboles de 7 años de edad de la variedad de limonero 'Verna' injertada sobre naranjo amargo y *Citrus macrophylla* y con un marco de plantación de 5 × 4 m. Se establecieron dos tratamientos de riego, uno tratamiento control (100 % ETc) y un tratamiento al que se le suprimió el riego durante 50 días hasta que la planta alcanzó un nivel de estrés hídrico severo. Tras este periodo de estrés se reanuda el riego con normalidad.

Para el control del estado hídrico de la planta se tomaron medidas, en el momento de máximo estrés hídrico, del potencial hídrico del xilema y de los parámetros de intercambio gaseoso. El potencial hídrico de xilema se midió mediante una cámara de presión tomando 4 medidas por árbol en cada una de las orientaciones. Los parámetros de intercambio gaseoso se determinaron mediante una consola Licor-6400.

La eliminación del riego supuso un descenso del potencial hídrico de xilema (Ψ_x) hasta alcanzar un nivel de estrés hídrico severo. Tras 50 días sin riego se alcanzaron las máximas diferencias entre tratamientos obteniendo valores de Ψ_x significativamente más bajos árboles injertados sobre naranjo amargo (-2.5 MPa) que sobre *C. macrophylla* (-1.82 MPa) (Tabla 5). Los valores de Ψ_x del tratamiento control fueron similares en ambos patrones. Los niveles de estrés hídrico alcanzados en cada patrón del tratamiento de sequía se deben principalmente a diferencias ya descritas en el grado de tolerancia a dicho estrés. Respecto a los valores de intercambio gaseoso, al final del periodo de estrés hídrico la tasa de fotosíntesis neta (P_{net}), la conductancia estomática (g_s) y la tasa de transpiración (E) mostraron valores significativamente más bajos en árboles sometidos al tratamiento de sequía (Tabla 5.5). En este caso, las diferencias obtenidas entre patrones respecto al estado hídrico de la planta no se vieron reflejadas en los parámetros de intercambio gaseoso, donde el principal efecto obtenido fue el ocasionado por el tratamiento de sequía aplicado.



Tabla 5.5 Valores de potencial hídrico de xilema, parámetros de intercambio gaseoso (Tasa de fotosíntesis neta (P_{net}), conductancia estomática (g_s) y tasa de transpiración (E) en árboles de limonero 'Verna' injertados sobre dos patrones (naranja amargo y *Citrus macrophylla*) sometidos a un tratamiento de sequía durante 50 días.

		Ψ_x (MPa)	P_{net} ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
N Amargo	Control	-0.98 a	2.66	0.06	2.34
N Amargo	Sequía	-2.50 c	0.35	0.02	1.02
<i>C macrophylla</i>	Control	-0.94 a	3.28	0.07	2.65
<i>C macrophylla</i>	Sequía	-1.82 b	0.52	0.03	1.32

ANOVA

Patrón	**	ns	ns	ns
Tratamiento	***	***	***	***
Patrón × Tratamiento	**	ns	ns	ns

Cada valor corresponde a la media de 10 repeticiones. *, **, *** y 'ns', indican diferencias significativas a $P < 0.05$, $P < 0.01$ y $P < 0.001$ y no significativas, respectivamente. Para cada columna, letras diferentes indican diferencias significativas al 95% según el test de Rango Múltiple de Duncan.

En el momento de máximo estrés hídrico, los niveles digitales de espectro visible rojo, verde y azul no mostraron diferencias significativas ni debido al tratamiento de sequía ni al patrón (Tabla 5.6). Sin embargo, el estudio de combinación de bandas del espectro visible detectó un efecto significativo del tratamiento de sequía en el apartado de 'rojo-verde', mostrando más elevados en ambos patrones que en el tratamiento control (Tabla 5.7). Niveles digitales de la combinación de bandas 'rojo-verde' más elevados en árboles del tratamiento de sequía indica una coloración menos verde. Es posible que la aplicación de un estrés hídrico severo provoque un cambio en la tonalidad de color de la masa foliar de limonero 'Verna' pudiendo ser detectado por la combinación de bandas del espectro visible del 'rojo-verde'.

Respecto a los niveles digitales del espectro correspondiente al infrarrojo cercano (IRcercano), se observaron valores significativamente más bajos en los árboles del tratamiento de sequía, en ambos patrones, destacando mayores diferencias entre tratamientos en árboles de *Citrus macrophylla* que en los de naranja amargo (Tabla 5.6).

Tabla 5.6 Niveles digitales del espectro visible y del infrarrojo cercano ($IR_{cercano}$) de árboles de limonero 'Verna' injertados sobre dos patrones (naranja amargo y *Citrus macrophylla*) sometidos a un tratamiento de sequía durante 50 días.

		VISIBLE			$IR_{cercano}$
		ROJO	VERDE	AZUL	
N Amargo	Control	3503	3789	3014	6535 b
N Amargo	Sequía	3625	3770	3041	6441 bc
<i>C macrophylla</i>	Control	3460	3691	2972	6664 a
<i>C macrophylla</i>	Sequía	3645	3745	3063	6406 c

ANOVA

Patrón	ns	ns	ns	ns
Tratamiento	ns	ns	ns	***
Patrón × Tratamiento	ns	ns	ns	*

Cada valor corresponde a la media de 10 repeticiones. *, **, *** y 'ns', indican diferencias significativas a $P < 0.05$, $P < 0.01$ y $P < 0.001$ y no significativas, respectivamente. Para cada columna, letras diferentes indican diferencias significativas al 95% según el test de Rango Múltiple de Duncan.

Tabla 5.7 Niveles digitales de la combinación de bandas del espectro visible de árboles de limonero 'Verna' injertados sobre dos patrones (naranja amargo y *Citrus macrophylla*) sometidos a un tratamiento de sequía durante 50 días.

		VISIBLE		
		BRILLO	ROJO-VERDE	AZUL-AMARILLO
N Amargo	Control	10305	-286	-3300
N Amargo	Sequía	10436	-145	-3186
<i>C macrophylla</i>	Control	10124	-231	-3203
<i>C macrophylla</i>	Sequía	10453	-100	-3162
ANOVA				
Patrón		ns	ns	ns
Tratamiento		ns	*	ns
Patrón × Tratamiento		ns	ns	ns

Cada valor corresponde a la media de 10 repeticiones. *, **, *** y 'ns', indican diferencias significativas a $P < 0.05$, $P < 0.01$ y $P < 0.001$ y no significativas, respectivamente. Para cada columna, letras diferentes indican diferencias significativas al 95% según el test de Rango Múltiple de Duncan.

Por otro lado, es necesario conocer cual de las bandas obtenidas en la fotografía aérea está más relacionada con los parámetros del estado hídrico de la planta. Para ello se realizó un análisis de regresión múltiple paso a paso entre todos los componentes obtenidos del espectro visible y del IR_{cercano} y el potencial hídrico y los parámetros de intercambio gaseoso (Tabla 5.8). En el modelo obtenido para el Ψ_x la banda del IR_{cercano} ayudó a explicar la variabilidad de este parámetro en un 56%, mientras que el modelo solo se vio ligeramente mejorado tras la incorporación de la banda del espectro visible 'rojo'. Respecto a los parámetros de intercambio gaseoso, P_{net} y g_s , la banda del IR_{cercano} explicó la variabilidad de estas variables en un 63% en P_{net} y en un 71% en g_s . En ambos casos, el modelo solo se vio ligeramente mejorado con la incorporación de las bandas combinadas del espectro visible 'rojo-verde', con una mejora del modelo de apenas un 3%. Por último, el modelo obtenido para la E mostró una explicación del modelo de un 71% utilizando la banda del IR_{cercano} , consiguiendo una mejora significativa del modelo de solo un 3% tras la incorporación de la banda del espectro visible 'azul'. En todos los casos la incorporación de la banda del espectro del IR_{cercano} ayudó a explicar en gran parte la variabilidad de los parámetros indicadores del estado hídrico de la planta, viéndose ligeramente mejorados los modelos con la incorporación de alguna banda del espectro visible, sobretudo la combinación de bandas 'rojo-verde'. Luego, el estrés hídrico aplicado en árboles de limonero 'Verna' puso de manifiesto una mayor sensibilidad en los niveles digitales del IR_{cercano} a la hora de detectar cambios en el estado hídrico de la planta, junto con la combinación de las bandas del espectro visible 'rojo-verde'. Por lo que la utilización conjunta de estos parámetros puede representar una herramienta rápida y útil en la programación del riego en árboles de limonero 'Verna'.



Tabla 5.8 Análisis de regresión múltiple paso a paso (*Stepwise regresion*) entre los parámetros indicadores del estado hídrico de la planta y los niveles digitales del espectro visible y del infrarrojo cercano en árboles de limonero 'Verna' injertados sobre dos patrones (naranja amargo y *Citrus macrophylla*). Solo se han mostrado las regresiones con una significación superior al 95%.

VARIABLE DEPENDIENTE	Step	ECUACIÓN	COEF. DE CORRELACIÓN
Potencial hídrico de xilema	1	$\Psi_x = -17.6 + 0.0025IR_{\text{cercano}}$	$r = 0.54^{***}$
	2	$\Psi_x = -14.7 + 0.0025IR_{\text{cercano}} - 0.001V_{\text{rojo}}$	$r = 0.62^{***}$
Tasa de fotosíntesis neta	1	$P_{\text{net}} = -43.9 + 0.007IR_{\text{cercano}}$	$r = 0.63^{***}$
	2	$P_{\text{net}} = -44.4 + 0.007IR_{\text{cercano}} - 0.003V_{\text{rojo-verde}}$	$r = 0.68^{***}$
Conductancia estomática	1	$g_s = -0.74 + 0.0001IR_{\text{cercano}}$	$r = 0.71^{***}$
	2	$g_s = -0.74 + 0.0001IR_{\text{cercano}} - 3.4E-5V_{\text{rojo-verde}}$	$r = 0.73^{***}$
Tasa de transpiración	1	$E = -24.4 + 0.004IR_{\text{cercano}}$	$r = 0.71^{***}$
	2	$E = -15.7 + 0.004IR_{\text{cercano}} - 0.002V_{\text{azul}}$	$r = 0.74^{***}$

*, **, *** y 'ns', indican diferencias significativas a $P < 0.05$, $P < 0.01$ y $P < 0.001$ y no significativas, respectivamente.

5.1.7 Tecnología de cultivos sin suelo. Reutilización de las disoluciones lixiviadas

Genéricamente se denomina cultivo sin suelo a todo sistema de producción en donde se prescinde del recurso natural suelo. Se clasifican en:

- Cultivos Hidropónicos que son aquellos en los que el sistema radicular del cultivo se desarrolla en un medio acuoso que contiene en disolución sustancias nutritivas esenciales para el desarrollo de las plantas.
- Cultivos aeropónicos, cuando las raíces se desarrollan en el aire y los nutrientes y el agua se suministran a través de pulverizaciones periódicas de solución nutritiva.
- Cultivo en Sustratos, cuando las raíces de la planta se desarrollan en un medio sólido distinto del suelo natural y aislado de este por un contenedor y su alimentación se logra con el suministro periódico de una solución nutritiva completa.

El desarrollo de los cultivos hidropónicos se ha realizado a partir de los descubrimientos hechos en las experiencias llevadas a cabo para determinar la composición de estas de las plantas y que sustancias son esenciales para su desarrollo.

En este periodo de implantación y extensión de los cultivos sobre sustratos, la agricultura evoluciona hacia una producción integrada que tiene como principal objetivo una producción agrícola económica de alta calidad que racionaliza el uso de los productos agroquímicos (fertilizantes, plaguicidas, etc.) y del agua, con métodos respetuosos con el medio ambiente y la salud humana. La extensión de estos objetivos generales a los cultivos sobre sustratos, se traduce en una buena gestión de la fertirrigación, elevando la eficiencia del agua y los fertilizantes.



Fig. 5.25 Finca experimental de Torreblanca del IMIDA tomada con la cámara ADS40 en Julio del año 2007

La reutilización de las disoluciones drenadas permite un gran adelanto en la eficiencia en el uso de los fertilizantes y el agua de riego en estos sistemas de cultivo, y elimina parte de las contaminaciones por ellos producidas. La reutilización de los lixiviados o drenajes es un proceso que cobra cada vez mayor importancia. Desde el punto de vista de conservación del medio ambiente contempla la reducción del consumo de agua, de fertilizantes y de la contaminación de los suelos. La reutilización de los lixiviados se consigue mediante la mezcla de la disolución drenada con agua de riego más la adición de los fertilizantes necesarios y en las proporciones adecuadas para restablecer el equilibrio de nutrientes óptimo para cada cultivo y estado fenológico.

Los trabajos realizados sobre la reutilización de los lixiviados ponen de manifiesto la buena adaptación de los cultivos como el tomate, pimiento, pepino, judía, etc., al modelo comprobándose la viabilidad del sistema sin producir merma apreciable en la producción. Las ventajas que presenta se pueden resumir: primero, reducción de la contaminación por lixiviación; segundo, ahorro de agua entre un 15-50% del volumen de riego dependiendo del cultivo, de la época del año y de que la reutilización de los lixiviados sea total o parcial; y, tercero, ahorro de fertilizantes del 50-80% de los abonos.

La primera noticia científica de los cultivos hidropónicos se debe a j.b. helmont (1577-1644), este realizó una experiencia que según él demostraba que “el agua tenía que ser el principio de la vegetación”. posteriormente, en 1699, john woodward cultivo una planta en agua con distintas cantidades de suelos y concluyó en que las plantas respondían a algunos de los constituyentes del suelo disueltos en agua.



A mediados del siglo XIX fue cuando se logró demostrar científicamente que las plantas pueden crecer y fructificar en una solución de nutrientes que contenga una mezcla de sales minerales. En 1860 los biólogos alemanes Sachs y Knop, consiguieron por primera vez cultivar plantas en solución nutritiva. F. Gericke en 1929 transfirió toda esta tecnología, desarrollada hasta ahora en laboratorio, a fines comerciales. Con el desarrollo de los plásticos los cultivos hidropónicos dieron otro gran salto, pues liberaron a los agricultores de las costosas construcciones.

En la época de los años 70 en algunos países europeos, se produce el despegue definitivo de la producción comercial de hortalizas y flores en hidroponía. Solo en Holanda se habla de más de 5500 ha de cultivo sin suelo.

En España en el año 1980 la empresa Ariel instalada en Almería puso en funcionamiento un cultivo sobre NFT (Nutrient Film Technique).

En 1983/84 se crea la empresa Hortitec donde se investigan y desarrollan las posibilidades del cultivo en sustratos en las zonas de invernaderos.

Un año más tarde se inician los primeros cultivos comerciales en Murcia y Almería, el desarrollo de estos cultivos fue evidente a finales de los años 90.

En la actualidad se calculan en 5000 las hectáreas de terreno dedicadas a cultivos de hortalizas sin suelo en nuestro país.

En opinión de Os (1995) los cultivos sin suelo se han desarrollado con la finalidad de:

- a) Mejorar la excesiva abundancia de patógenos en el suelo
- b) Mejorar el control nutricional
- c) Ahorrar energía y aumentar la producción
- d) Y recientemente se han incorporado a los anteriores los siguientes fines:
 - Mayor eficacia en el uso de agua, nutrientes y pesticidas.
 - Menor contaminación del medio ambiente.

LOS SUSTRATOS

Definición de sustrato establecida por el Comité Técnico 223 del Comité Europeo de Normalización (CEN/TC 223): sustrato o medio de cultivo es cualquier material, distinto al suelo "in situ" en el que se cultivan plantas.

La mayor parte de los autores están de acuerdo en que las propiedades físicas de los sustratos son más importantes que las propiedades químicas. Debido a que las propiedades físicas se deben optimizar durante el proceso de elaboración del producto dado que no pueden ser mejoradas después de la plantación y a lo largo del cultivo. Mientras que la composición química (principalmente la fertilidad) puede ser modificada durante el cultivo.

Muchos materiales pueden ser utilizados como sustratos en los css. las características físico-químicas del sustrato deben de ser homogéneas y estables durante el tiempo que se considere como vida útil del mismo. a continuación se enumeran las principales propiedades físicas y químicas de los sustratos:

Propiedades físicas: densidad real y aparente, porosidad, tamaño de partícula y de los poros, relación aire-agua, capacidad de contenedor, etc.

Propiedades químicas, hay que diferenciar los sustratos químicamente activos de los no activos: ph, capacidad tampón del ph, capacidad de intercambio iónico, salinidad, disponibilidad de nutrientes, etc.

Las características físico-químicas de un sustrato determinan el manejo del riego y la fertilización así como la geometría de los contenedores que se utilizan.



Fig. 5.26 Tipos de sustratos

Los sustratos más utilizados actualmente son: *lana de roca*, *perlita*, *fibra de coco* y *arena*.

Lana de roca, es un material elaborado a partir de rocas volcánicas, es el único material que se presenta en forma de tablas rígidas enfundadas en sacos de plástico, su geometría es muy variable. Las longitudes varían entre 1 y 1,2 m, la anchura entre 0,1 y 0,25 m y la altura entre 0,075 y 0,1m. Es químicamente inerte.

Perlita, es un material natural cuya composición básica es la de un silicato aluminico, que se presenta en bolsas de cultivo de polietileno de 40 litros de volumen con dimensiones de 1,2 m por 0,18 m.

Fibra de coco, como su propio nombre indica este material procede de coco son residuos del tratamiento industrial de la fibra de coco.

Arena de rambla, desde un punto de vista comercial es muy aconsejable promover sustratos que tengan un bajo coste y fácil aprovisionamiento.

FERTIRRIGACIÓN

Para los cultivos sobre sustratos uno de los principales factores que determinan la productividad de los mismos es la fertirrigación y su control. En estos, el aporte de todos los macro y microelementos necesarios para el buen desarrollo de la planta será suministrado únicamente por la solución nutritiva circulante, el agricultor ha de garantizar que el agua y todos los nutrientes que necesita la planta sean suministrados en la cantidad y proporción adecuada para que su crecimiento sea óptimo. Por tanto, estos sistemas requieren de equipos que permitan un adecuado control de la fertirrigación y posibiliten cubrir las necesidades hídricas y nutricionales del cultivo de forma dinámica a lo largo del



día. Los cultivos en sustratos necesitan riegos frecuentes y dosis acordes con las propiedades físicas de cada sustrato y el volumen de reserva hídrica disponible, con la demanda evaporativa y el estado fenológico del cultivo.

Soluciones nutritivas

Las soluciones nutritivas son un medio excelente para regular la cantidad y la proporción relativa de las sales minerales suministradas a las plantas en cualquier cultivo. Se entiende por solución nutritiva, a la solución acuosa que contiene los nutrientes esenciales y necesarios para las plantas, en formas iónicas directamente asimilables por las raíces y en proporciones equilibradas conforme a las relaciones existentes entre los distintos iones. Se caracteriza por tres parámetros principales: pH, concentración salina y equilibrio iónico.

Si los nutrientes y el pH de la solución se mantienen dentro de los niveles adecuados y se vigilan también otras condiciones como luz y temperatura, las plantas crecerán en estas soluciones como si se tratara del suelo más fértil.

Composición de las soluciones nutritivas

En todas las soluciones nutritivas se suministran siempre tres macronutrientes en forma de cationes: K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , otros tres aparecen siempre en forma aniónica: NO_3^- , $PO_4H_2^-$ y SO_4^{2-} . Todos los macronutrientes, por tanto, pueden ser incorporados con el uso de tres sales como son el nitrato cálcico, fosfato mono potásico y sulfato de magnesio, sin embargo a la hora de preparar las soluciones nutritivas se utilizan más sales, como son el nitrato amónico, el nitrato potásico y el nitrato de magnesio, ya que esto nos permite mayor flexibilidad al establecer las proporciones entre los distintos iones. Los fertilizantes empleados en la elaboración de las soluciones nutritivas son abonos líquidos o sólidos especiales de alta solubilidad.

Además de los macronutrientes n, p, k, ca y mg, las plantas requieren de otros nutrientes que son utilizados en muy pequeñas cantidades que se denominan oligoelementos o micronutrientes, estos son: hierro (fe), cobre (cu), cinc (zn), boro (b), manganeso (mn) y molibdeno (mo). La aplicación de estos elementos a los cultivos se suele hacer a partir de complejos comerciales estándar.

Preparación de las soluciones nutritivas

Las soluciones nutritivas de riego se conseguirán a partir de soluciones concentradas. Se dispondrá de al menos dos tanques de soluciones concentradas separadas, debido a la incompatibilidad de ciertos iones para permanecer en disolución, una de las soluciones estará compuesta por los iones fosfato y sulfatos y la otra por los iones calcio. La concentración máxima de las sales en la solución vendrá dada por la solubilidad de estas. Generalmente la solubilidad disminuye al disminuir la temperatura, para los cálculos se tomará la solubilidad de la sal correspondiente a la temperatura menor prevista en el ciclo del cultivo.

El agua de riego contiene sales en disolución, por lo que es recomendable el realizar un análisis previo y así poder tener en cuenta las concentraciones de calcio, magnesio, sulfatos y nitratos, principalmente.

La elección de las sales fertilizantes que deberán ser usadas, depende de una serie de factores: solubilidad y pureza de la sal, disponibilidad de los elementos constituyentes para las plantas, índice de salinidad, iones tóxicos, coste del fertilizante, etc.

pH de las disoluciones de riego y de drenaje

El pH de las disoluciones de riego debe de encontrarse en el intervalo de valores 5,5-6,5, puesto que a excepción de especies adaptadas a vivir en valores extremos de pH el óptimo fisiológico para la mayoría de las especies cultivadas se sitúa entre 5 y 7. Es importante mantener un pH adecuado en las soluciones nutritivas, debido a la influencia de este sobre la solubilidad de varios de sus componentes, a pH mayores de 7 precipita el Fe, Cu, Zn y Mn y aumenta la solubilidad del Mo. Un pH ácido puede inducir carencias de calcio y baja utilización del catión amonio.

El pH final de la solución nutritiva está supeditado a la composición y al pH del agua de riego. En las regiones mediterráneas, generalmente, las aguas presentan considerables concentraciones de iones bicarbonato que provocan reacción básica, lo que implica la necesidad de utilizar ácidos para bajar el pH de la solución nutritiva. La cantidad de ácido a adicionar dependerá de la naturaleza del agua de riego y del ácido que se utilice. Para aguas de riego con una composición química tipo, es conocido que neutralizando los bicarbonatos hasta concentraciones de 0,5 a 0,3 mM (mmoles/l) el pH de la solución nutritiva se sitúa entre 5,5 y 5,3, valor óptimo de la solución nutritiva. Por regla general el ácido nítrico a concentración industrial, es empleado para bajar el pH del agua de riego y para hacer limpieza de la red de riego.

Concentración salina –CE- y equilibrio iónico

La concentración de las sales en las soluciones nutritivas se expresa mediante medida de la conductividad eléctrica. El valor de la conductividad eléctrica (CE) de la solución de riego debe de estar comprendido entre 1,5 y 3,5 dS/m, posibilitando la absorción de los nutrientes por las raíces de las plantas. Los potenciales osmóticos de las soluciones nutritivas, en condiciones normales no suponen un obstáculo a la entrada de agua en las plantas ni presentan problemas de toxicidades específicas.

El problema en la concentración salina de las soluciones puede surgir cuando el agua tenga un contenido en sales elevado, de tal forma que los iones del agua interactúen con los de la disolución nutritiva dando lugar a desequilibrios entre ellos, inhibiendo o promoviendo la absorción de algún elemento presente en la solución. Así tenemos:

Alta concentración de sulfatos	Promueve la absorción de sodio. Dificulta la absorción de calcio
Alta concentración de calcio	Interfiere la absorción de magnesio
Alta concentración de magnesio y sodio	Produce deficiencias de calcio
Alta concentración de cloruros	Compiten con los iones nitratos
Alta concentración de potasio	Reduce la disponibilidad de calcio y magnesio
Alta concentración de hierro	Induce a deficiencias de manganeso

A pesar de los numerosos estudios realizados, es complejo conocer las relaciones existentes entre los distintos elementos.



Dosis y frecuencia de los riegos

El riego en los cultivos sobre sustratos se realiza mediante el aporte discontinuo de un volumen más o menos grande de solución nutritiva, de tal forma que la humedad se mantenga uniforme en el tiempo para que no existan cambios bruscos de CE. La dosis y la frecuencia de riego se determinarán en función de la calidad del agua de riego, de las propiedades físicas del sustrato y del estado fenológico del cultivo.

A la hora de establecer la dosis y frecuencia de los riegos, un parámetro importante a considerar es el porcentaje de disolución de riego que debe ser lixiviada. La solución nutritiva aportada en cada riego es desequilibrada y concentrada en el medio de cultivo debido a la absorción de agua y de nutrientes por la planta en el intervalo entre riegos. Las sales acumuladas deben ser eliminadas mediante el lavado del sustrato, utilizando cantidades adicionales de solución nutritiva de riego sobre las estimadas para el consumo. A la cantidad de solución que percola fuera del medio de cultivo después de cada riego se le llama solución de drenaje o lixiviada. La calidad del agua de riego es el que determina en mayor medida el porcentaje de solución que debe drenar libremente.

Existen diferentes métodos y dispositivos para controlar el riego, como son la medida del potencial matricial del sustrato mediante tensiómetros, medida de la CE en el sustrato, control del volumen de lixiviados, pérdida de peso del sistema utilizando balanzas, determinación del flujo de savia, medidas de la radiación y su relación con la transpiración del cultivo, etc. Todos ellos pueden ir asociados al cabezal de riego que gestiona la fertirrigación del cultivo y de esta manera automatizar en la medida de lo posible la fertirrigación

Pasado y presente de los cultivos sin suelo en Murcia

Con la adopción de las nuevas técnicas de cultivo: enarenado, riego localizado, y protección con plásticos, se produjo tal expansión que en el año 1985 había 1920 ha de cultivo en Mazarrón, que se regaban con aguas procedentes de acuíferos subterráneos que presentaban una grave sobreexplotación.

Este amplio desarrollo agrícola dio lugar al agotamiento y degradación de los suelos. La aparición de la técnica de los CSS junto a la posibilidad de utilizar agua de mejor calidad (procedentes del trasvase Tajo-Segura, plantas desaladoras y aguas residuales), dio lugar a la implantación de cultivos sobre sustratos en esta zona. A finales de los años 80, fue cuando en la zona de Mazarrón-Águilas comenzaron a instalarse los primeros cultivos sin suelo comerciales.

Otra gran zona de producción de hortalizas en la región es el Campo de Cartagena, en ella el cultivo del pimiento de carne gruesa para la exportación, constituye casi un monocultivo bajo invernadero, con una superficie total de, aproximadamente 1600 has y una producción de 148.800 t. En esta zona no es representativa la superficie dedicada a los cultivos sin suelo, debido principalmente a que los problemas que el cultivo del pimiento presenta cuando se realiza sobre sustratos no han sido solucionados. Se supone que las causas que producen estos resultados negativos frente al cultivo tradicional son varias: la poca inercia térmica de los sustratos ante temperaturas extremas, el bajo volumen de



Fig. 5.27 Cultivo de tomate en sustrato perlita con reutilización de lixiviados

sustrato utilizado, la falta de conocimientos del manejo del riego y la fertilización en estas condiciones, y muy principalmente la calidad de la agua de riego que se dispone en esta zona.

La posibilidad de utilizar sustratos para el cultivo del pimiento de carne gruesa bajo invernadero adquiere especial importancia en la zona, desde el momento en que se prohíbe la utilización del bromuro de metilo como desinfectante de suelos agrícola. el continuo cultivo de pimiento en los invernaderos de la comarca del campo de cartagena condujo a una situación en la que el mantenimiento de unos niveles productivos adecuados, requerían la desinfección del suelo con un fumigante total todos los años, siendo hasta ese momento el único biocida total el bromuro de metilo. según el reglamento ce3093/94 de 23 de diciembre de 1994, para el año 2005 quedó totalmente prohibido la utilización del bromuro de metilo. en 1992, se creó el comite internacional sobre opciones técnicas al bromuro de metilo (methyl bromide technical option committe, mbtoc), quién dispuso varias opciones, estando entre ellas la utilización de sustratos para el cultivo del pimiento.

En la actualidad se puede estimar en unas 2000 has la superficie de cultivos sin suelo en la Región de Murcia, establecidas principalmente en estas comarcas agrícolas de Mazarrón-Águilas y en el Campo de Cartagena.

La mayoría de los sistemas de CSS implantados en la región son de los denominados abiertos en los que la solución drenada se infiltra en el suelo dando lugar a perdidas económicas e importantes procesos de contaminación ambiental.

Como alternativa a estos sistemas se encuentran los denominados cerrados, que son aquellos en los que la disolución sobrante se vuelve a incorporar al sistema como parte de la disolución nutritiva que se aplica al cultivo, de tal forma que se consigue eliminar o reducir considerablemente las cantidades de drenajes libres mediante un proceso de reutilización de los mismos.



REUTILIZACIÓN DE LAS SOLUCIONES DE LIXIVIADOS EN LOS CULTIVOS SIN SUELO

En este periodo de implantación y extensión de los cultivos sobre sustratos, la agricultura ha evolucionado hacia una producción integrada que tiene como principal objetivo una producción agrícola económica y de alta calidad que racionaliza el uso de los productos agroquímicos (fertilizantes, plaguicidas, etc.) y del agua, con métodos respetuosos con el medio ambiente y la salud humana. La extensión de estos objetivos generales a los cultivos sobre sustratos, se traduce en una buena gestión de la fertirri-gación, elevando la eficiencia del agua y los fertilizantes.

La reutilización de las soluciones drenadas permitiría un gran adelanto en la eficiencia en el uso de los fertilizantes y el agua de riego en estos sistemas de cultivo, y eliminaría parte de las contaminaciones por ellos producidas. La reutilización de los lixiviados o drenajes es un proceso que cobra cada vez mayor importancia. Desde el punto de vista de conservación del medio ambiente contempla:

- La reducción del consumo de agua
- La reducción del consumo de fertilizantes
- La reducción de la contaminación de los suelos

La agricultura en la que se manejan los cultivos sin suelo presenta la tendencia de transformar los sistemas de cultivo abiertos en sistemas cerrados. Este hecho puede tener diferente objetivo o interpretación según la localización de los cultivos (Martínez, 1997). En Centroeuropa, zona de elevada superficie de cultivo sin suelo con un nivel freático muy elevado, el objetivo principal sería eliminar el vertido de los lixiviados y con ello evitar la contaminación de los suelos y de los acuíferos. El Sureste Español, caracterizado por condiciones de semiaridez con escasez de recursos hídricos, la posibilidad de reutilizar toda o parte del agua lixiviada de los cultivos sin suelo repercutiría de forma favorable en el ahorro de agua.

La reutilización de los lixiviados se consigue mediante la mezcla de la disolución drenada con agua de riego más la adición de los fertilizantes necesarios y en las proporciones adecuadas para restablecer el



Fig. 5.28 Invernaderos de cultivo sin suelo con drenaje libre

equilibrio de nutrientes óptimo para cada cultivo y estado fenológico. Las soluciones lixiviadas y reutilizadas son disoluciones en las que el equilibrio iónico previamente establecido se ha roto, debido al consumo de agua y la absorción selectiva de nutrientes por las plantas. El aporte continuo en el agua de riego de elementos que no toma el cultivo puede producir una alta acumulación de estos en el sistema radicular y dar lugar a problemas de toxicidad, elevada conductividad y desequilibrios nutricionales. La reutilización de la solución de drenaje, lo convertiría en un sistema parcialmente cerrado, para el que se precisaría de datos más concretos sobre dosis y frecuencia de riego según demanda del cultivo, ajuste de los nutrientes en la solución de riego inicial y la recirculada, ajuste de estos parámetros al utilizar aguas de riego de baja calidad, cálculo de las tasas de drenaje necesarias, etc. Por tanto la realización del análisis químico de las soluciones de drenaje debe de realizarse de forma rutinaria, según Lorenzo (1997), García y Urrestarazu (1999) es suficiente con un análisis quincenal.

Los trabajos de investigación realizados sobre la reutilización de estos volúmenes de agua lixiviada, ponen de manifiesto la viabilidad del sistema. Lorenzo (1997) con un sistema de cultivo cerrado para pepino, obtuvo resultados productivos superiores a un cultivo abierto con un ahorro de agua del 30%. Coincidiendo con ella Macía y col. (1997) concluye en que la recirculación es totalmente viable, no



Fig. 5.29 Esquema del sistema con reutilización de los lixiviados

encontrando diferencias significativas ni en cantidad ni en calidad de la producción para un cultivo de pimiento con y sin reutilización. Magán y col. (1999) consiguieron reducir el gasto de agua en un 27,8% mediante la reutilización del drenaje en un cultivo de tomate. También en tomate, Pivot y col. (1998) redujeron el consumo de agua en un 51% y Pellicer y col (2000) obtuvieron un ahorro de agua de un 22%, sin causar merma en la producción.

Considerando que en estos procesos lo que se vuelve a utilizar es una solución compuesta por agua y fertilizantes, el ahorro que se produce en el consumo es tanto del disolvente como de los solutos. Magán y col (1999) obtuvieron para un cultivo de tomate un ahorro de fertilizantes en términos económicos que supuso un 43,55, para García y Urrestarazu (1999) el ahorro económico en fertilizantes llegó a ser del 46%. Pellicer y col (2000) del total de elementos nutrientes consumidos por el cultivo, Ca y Mg fueron reutilizados en un 47%, N y K en un 36% y P en un 23%.

La bibliografía hasta aquí expuesta indica una gran complejidad en el manejo de estos sistemas, pero también contempla los beneficios económicos, medio ambientales y en definitiva sociales que el estudio y optimización de los procesos de reutilización de las soluciones de riego en los cultivos sin suelo pueden llevar.



5.2 Servicios de abastecimientos de agua potable

5.2.1 Imparable tendencia alcista de las tarifas

En la última década, el incremento experimentado por las tarifas de los servicios de abastecimiento de agua potable, en la Región de Murcia, duplica la variación del índice general de precios al consumo (Tabla 5.9). Desde 2003, se producen unos cambios drásticos en los servicios que justifican que los gestores particulares o concesionarios soliciten, de las autoridades locales, la revisión de tarifas como la adaptación de los sistemas de abastecimiento a los nuevos criterios sanitarios de la calidad del agua para consumo humano, los continuos aumentos de las tarifas de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla y la incapacidad de las fórmulas polinómicas contempladas en los contratos de concesión para asumir la amplia casuística que se presenta ante la necesaria internalización de los distintos costes de explotación.

Tabla 5.9 Revisión de tarifas de los servicios de abastecimiento de agua potable (% acumulado), 1997-2007

VARIACIÓN	CONSUMO (m ³ /mes)			
	5	10	15	20
Promedio regional	61,60	59,04	58,29	58,77
Índice de precios al consumo (IPC)	33,40			

Las tarifas están diseñadas siguiendo el criterio particular fijado, en cada caso, por las autoridades municipales, conforme al mandato constitucional por el que las Administraciones locales tienen garantizada la autonomía en el ámbito de sus competencias (art. 140). En este sentido, puede afirmarse que, en la Región de Murcia, existen tantas políticas de precios diferentes como servicios. Ello complica sobremedida un análisis global de los sistemas tarifarios de los servicios, en atención a las circunstancias particulares de cada uno de estos.

Entre 1996 y 2007, las tarifas de la MCT, principal proveedor en alta de agua potable para los 79 municipios de Albacete, Alicante, Almería y Murcia integrados en la misma, experimentan un incremento del 70,97%, en tanto que el índice general de precios al consumo acumulado de esos años es del 31,20% (Figura 5.30).

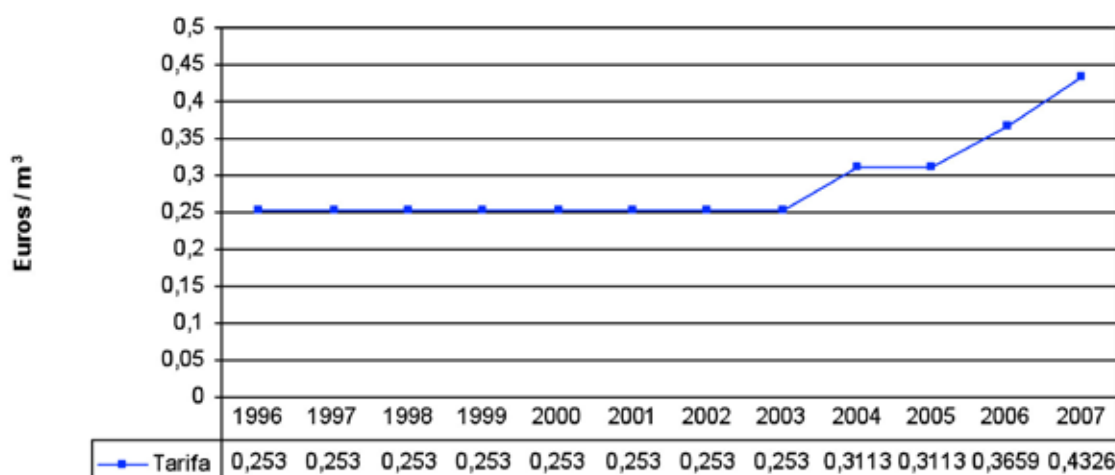


Fig. 5.30 Evolución de las tarifas de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla, 1996-2007

En 2008, según un estudio económico de tarifas de la MCT, elaborado por el ministerio de Medio Ambiente, en el mes de noviembre de 2006, la nueva tarifa prevista se incrementa con respecto a la actual (0,4326 €/m³) en un 18,22% hasta alcanzar los 0,5114 €/m³.

El estudio económico recoge tanto los gastos normales de la conservación y explotación del servicio, como las obligaciones financieras y adquisiciones de aguas trasvasadas a través del acuerdo Tajo-Segura, recursos extraordinarios y agua desalinizada facturada por los concesionarios de las desalinizadoras del Canal de Alicante I y San Pedro del Pinatar (Antonio León), así como los gastos relativos de las de San Pedro del Pinatar II y Alicante II (gestionadas por la propia Mancomunidad), y la de Valdelentisco (gestionada por Aguas de la Cuenca del Segura SA). De este informe, destacaría por su relevancia de cara a las tarifas el proceso de sustitución de agua trasvasada del Tajo por agua desalinizada que, según el referido estudio, entre 2005 y 2008, disminuirá en un 27,65%, pasando de 124,4 a 90,0 hm³/año, en tanto que la dotación de agua desalinizada pasa de 21,8 a 112,0 hm³/año.

Dada la tendencia en estos últimos cuatro años, desde 2004, a incrementarse la tarifa de la MCT, desde el Consejo Asesor Regional de Precios, órgano consultivo de la Administración regional creado por el Decreto 105/1988, de 1 de julio, encargado de dictaminar sobre los precios autorizados de ámbito autonómico, agua potable de abastecimiento y transportes urbanos, al objeto de agilizar la tramitación de las nuevas tarifas, se está aconsejando a los ayuntamientos la adopción de una fórmula polinómica de revisión automática de tarifas sólo en el supuesto de que la MCT modificara las suyas.

Adaptación a los criterios sanitarios de calidad del agua para consumo humano

El Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, establece los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano que deben cumplir tanto las instalaciones que permitan el suministro de agua para el consumo, como los sistemas de control necesarios, todo ello desde la captación del agua y hasta el grifo del consumidor. Esta disposición supone la transposición de la directiva de la Unión Europea 98/83/CE, de 3 de noviembre de 1998, y, por tanto, su incorporación al derecho español. Sustituye a la anterior reglamentación técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público (Real Decreto 1138/1990, de 14 de septiembre).

La norma define las competencias y responsabilidades, los parámetros de calidad del agua de consumo humano, los sistemas de control (autocontrol de la calidad del agua, vigilancia sanitaria y control del agua en el grifo del consumidor), un Sistema de Información Nacional del Agua de Consumo (SINAC), los calendarios de cumplimiento, etc.

La aplicación práctica de la norma, afecta de manera significativa a las cuentas de explotación o de resultados de los servicios en cuanto a control sanitario de depósitos, red de distribución, materiales (sustitución de las redes de fibrocemento), formación de personal dedicado al control de calidad, así como el control de las instalaciones interiores de los abonados al servicio. Estos trabajos suelen ser realizados por otras empresas especializadas. En los presupuestos que acompañan a los documentos justificativos de las variaciones tarifarias, se incluyen partidas finalistas para efectuar el control sanitario, así como obras de explotación y mantenimiento de la red en baja, con tal de satisfacer el nuevo imperativo legal.



Relacionado con la calidad del agua, los servicios, como consecuencia de la aplicación del Real Decreto 909/2001, de 27 de julio y Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis, están obligados a realizar un plan de mantenimiento y desinfección de redes, depósitos e instalaciones municipales susceptibles de producir la enfermedad. Su repercusión económica es valorada por algunos servicios quedando reflejada en la tarifa, por ejemplo, en la cuota variable de abastecimiento en Los Alcázares supone unos 0,0012 €/m³.

Además, se plantea la repercusión económica que para los servicios supone su adaptación a la Directiva Marco del Agua, así como a la normativa regional en materia de calidad del agua, que introduce mayores requerimientos en términos de nuevas determinaciones analíticas a realizar como consecuencia del “Programa Regional de Vigilancia Sanitaria para la Región de Murcia”.

Revisiones ordinarias, la insuficiencia de las fórmulas polinómicas

Con carácter general, las revisiones tarifarias que las empresa gestoras de los servicios anualmente proponen a las Administraciones locales, casi siempre se fundamentan en la aplicación de una determinada fórmula polinómica o paramétrica que fija la retribución o remuneración del concesionario, reflejada en una cláusula particular del contrato que rige la concesión administrativa, resultando un determinado coeficiente de revisión o actualización, incluyendo el aumento experimentado por las tarifas de la MCT. Suele ser un método eficaz para recuperar los aumentos de precios que, puntualmente, todos los años, los proveedores del servicio actualizan, pero insuficiente para dar cobertura a la totalidad de gastos de explotación de los servicios, como los siguientes:

- Regularización ante desequilibrios económicos de la concesión originados por quedar pendientes de aplicación revisiones tarifarias anteriores. Así, con cierta frecuencia se producen revisiones extraordinarias de la retribución del concesionario por no haberse aplicado, en su momento, la subida de tarifas de la MCT (ciclo político de las elecciones municipales).
- Amortización de inversiones pagadas por el concesionario.
- Ampliación de la plantilla de personal.
- Fijación de un canon finalista de mejora de las instalaciones e infraestructuras del servicio.
- Compensar posibles desequilibrios económicos ocasionados por las restricciones de abastecimiento motivadas por la sequía, tal y como sucedió en el cuarto y quinto bimestre de 2003, lo que genera unos mayores costes de personal para realizar las maniobras de corte y apertura.
- Incremento extraordinario de tarifas producto de la modificación del contrato de concesión, con la finalidad de compensar el nuevo canon anticipado y de conseguir el equilibrio económico del servicio.
- Incremento de tarifas por caída del consumo de agua a pesar del incremento del número de abonados, con el fin de recuperar los mayores costes ligados a la ampliación de los trabajos de mantenimiento, conservación y manipulación de las instalaciones.

5.2.2 Tarifas y rendimiento técnico

En la actualidad, el coste medio de cada metro cúbico de agua potable consumida en los distintos servicios municipales del Campo de Cartagena, según el consumo mensual oscile entre 5 y 20 m³, oscila entre un 1,55 y 1,05 euros cada metro cúbico (Tabla 5.10). En su cálculo no intervienen el coste de saneamiento (evacuación de aguas residuales), servicio de competencia municipal, ni el canon de saneamiento (depuración de las aguas residuales), impuesto autonómico regulado por la Ley 3/2000, de 12 de julio, de saneamiento y depuración de aguas residuales de la Región de Murcia.

Tabla 5.10 Tarifas vigentes de los servicios de abastecimiento de agua potable. Coste medio por metro cúbico, 2008 (€/m³)

MUNICIPIOS	CONSUMO (m ³ /mes)			
	5	10	15	20
Alcázares (Los)	1,790	1,165	1,075	1,091
Cartagena	1,742	1,485	1,441	1,492
Fuente Álamo (*)	1,093	0,902	0,865	0,883
San Javier	1,876	1,439	1,217	1,106
San Pedro del Pinatar (*)	1,543	1,085	0,932	0,876
Torre Pacheco	1,376	1,057	1,042	1,065
Unión (La)	1,316	0,996	0,896	0,867
La Manga del Mar Menor- Cartagena	1,678	1,266	1,128	1,060
Promedio	1,552	1,174	1,075	1,055

(*) Última revisión en 2006.

Con relación al los rendimientos técnicos de los servicios, entendidos estos como proporción entre agua registrada y consumos municipales con respecto a la comprada al Taibilla, a nivel del Campo de Cartagena, alcanza un valor promedio, sin realizar ponderaciones respecto del ámbito poblacional o abonados de los servicios, del 79,27%, superior al de la media regional del 77,19% (tabla 5.11).

Tabla 5.11 Servicios de abastecimiento de agua potable. Rendimiento técnico, 2006-2007. Campo de Cartagena

SERVICIO	RENDIMIENTO TÉCNICO (%)
La Manga del Mar Menor- Cartagena	90,69
Cartagena	85,48
Alcázares (Los)	81,56
Unión (La)	78,24
San Javier	76,70
San Pedro del Pinatar	74,44
Torre Pacheco	74,05
Fuente Álamo	73,00
Promedio	79,27



5.2.3 Recomendaciones

5.2.3.1. Tarifarias

- Con carácter general, es recomendable que los servicios municipales de abastecimiento de agua potable adopten un sistema tarifario binomial. Como es sabido, el sistema de facturación binomial se caracteriza por contar con dos componentes, primero, un término fijo, cantidad independiente del consumo realizado que se abona por el hecho de estar conectado al servicio; y, segundo, un término variable, conocido como cuota de consumo que se establece en relación al volumen de agua consumida y registrada por el contador del abonado.
- En el futuro no resulta verosímil la aplicación de una tarifa integrada de los distintos servicios del agua mientras persista una distinta naturaleza jurídica para los mismos, no exista una conciencia unitaria del ciclo integral del agua, y la gestión de cobro se efectúe conjuntamente en el mismo recibo, junto a otros servicios. Parece imparable la tendencia a que la tarifa del agua sea, tal como señala el Libro Blanco del Agua, el resultado es una tarifa agregada cuyos componentes son de naturaleza jurídica diversa, con muy escasa relación con la naturaleza económica del servicio prestado. A ello debe añadirse, en ciertos casos, la inclusión en el recibo del agua de conceptos ajenos a ella, convirtiendo el servicio de abastecimiento en un mero instrumento de recaudación, lo que desvirtúa la percepción del precio pagado por el agua.
- Si en el futuro se sigue con la dinámica de adicionar al recibo del agua potable, ya de por sí encarecido por las tarifas de las fuentes complementarias de suministro ya descritas, otros conceptos tarifarios distintos como tasas de saneamiento y depuración, basuras y limpieza, cánones de la comunidad autónoma y estatales, impuestos y otros cargos, su importe se elevará de forma considerable, lo que hará aconsejable la adopción de medidas para que su cuantía disminuya, ya sea mediante la emisión de recibos de igual contenido pero de periodicidad mensual; o, por otro, su disgregación en al menos sendos recibos independientes e igual periodicidad. Tal vez lo más apropiado sea la emisión de recibos mensuales pensando en las economías domésticas más modestas, sobre todo pensionistas. En cualquier caso, el recibo trimestral debería de suprimirse a fin de facilitar su pago por parte de sectores de población no activos, pensionistas y parados, que cuentan con unos niveles de ingresos bajos.
- Ante la modificación de tarifas que se plantea en el contexto de la revisión de las ordenanzas fiscales, los interventores municipales deben de asegurarse de que la revisión tarifaria propuesta, se fundamenta en estudios de carácter económico-financiero, con el fin de conseguir la adecuación de los ingresos del servicio a las necesidades de gasto existente. Las actualizaciones tarifarias basadas en la evolución interanual del índice general de precios al consumo, resultan poco recomendables. Esta técnica de fácil aplicación no resulta apropiada al no tomar en consideración las distintas singularidades, tanto de explotación como de funcionamiento, de los servicios.
- Los bajos rendimientos técnicos de algunos servicios indican que los gestores privados poco o nada podrán hacer en mejorarlos, si se encuentran sujetos a unos rígidos contratos, en los que el me-

canismo que pone en marcha la revisión tarifa es una encorsetada fórmula polinómica o la mera actualización en consonancia con la evolución interanual del índice general de precios al consumo. Estas fórmulas, por sí mismas, sólo sirven para compensar los incrementos de precios señalados por los proveedores, salvo que los gestores privados o concesionarios dispongan de recursos económicos suficientes, vía erección de un canon municipal finalista, destinado a la mejora de las instalaciones e infraestructuras de los servicios.

- La existencia en la Región de Murcia de macromunicipios con múltiples unidades poblacionales, determina la extensificación de una compleja red mallada de abastecimiento de agua potable, que a efectos tarifarios los consumos domésticos, urbano y rural, deberían de tener un tratamiento diferenciado, al objeto de sufragar estos últimos los costes diferenciales de distribución ocasionados por la dispersión en el territorio de una demanda de agua que en el futuro, con el desarrollo de importantes proyectos urbanísticos en marcha, puede ser origen de disputas entre los abonados al servicio.
- Especial atención debe de prestarse a la creación de tarifas específicas de aplicación exclusiva a: las nuevas urbanizaciones, que cuenten con entidad colaboradora de conservación dotadas de un contador único como es el caso de algunas urbanizaciones de Fuente Álamo desde el año 2006.
- Superada la etapa en que los servicios contaban con graves deficiencias infraestructurales, ha llegado el momento en que los servicios que alcancen un elevado rendimiento técnico, antes de trasladar a tarifas de manera automática la totalidad de sus costes de explotación, deben de pensar en compensaciones de costes, en términos de incrementos o mejora de productividad del servicio, de conformidad con lo previsto en el artículo 7.3 de del Decreto 2.695/1977, de 28 de octubre, sobre medidas relativas a la política de precios.
- Por ahora nada hace pensar que las tarifas de los servicios de abastecimiento de agua potable vayan a experimentar en los años venideros unos incrementos moderados, salvo por incidencias del ciclo político en la solicitud de nuevas tarifas, que lo único que hacen es retrasar las revisiones dando lugar a regularizaciones de tarifas de gran significancia. La tendencia a la sustitución de caudales en alta procedentes del agua desalada, frente a los recursos externos procedentes del Tajo, la amortización de las propias plantas desaladoras de agua, la internalización de los costes de los elementos infraestructurales que ya no cuentan con ayudas de los fondos comunitarios, más otras consideraciones de la evolución futura del coste energético imprevisible, son todos ellos factores determinantes que hacen pensar en unas tarifas siempre en alza.
- En las revisiones periódicas de las tarifas de los servicios de abastecimiento de agua potable, las autoridades municipales deberían de atender al criterio general de que “más vale contar con un buen servicio que con un servicio barato”. Las tarifas baratas son sinónimo de un servicio barato o de escasa calidad. Hoy en día, con un coste de aprovisionamiento del agua en alta tan elevado, disponer de un bajo rendimiento técnico además de representar todo un lujo, visto desde la perspectiva de la sostenibilidad y la asignación óptima de recursos, es tanto como una inicua irresponsabilidad medio ambiental y social.



5.2.3.2. Gestión

- El éxito de las sociedades mixtas frente a la modalidad de gestión indirecta a través de concesionario se justifica por el hecho de que mediante esta fórmula jurídica el servicio consigue la ayuda no de un mero gestor, sino más bien la de un socio tecnológico y financiero capaz de aportar los necesarios recursos financieros. Son frecuentes las situaciones en que los propios contratos de concesión limitan, de manera extraordinaria, las posibilidades reales que el gestor privado pueda tener respecto a un funcionamiento óptimo de los servicios por falta de recursos suficientes. Esto restringe de forma clara los grados de libertad del concesionario para llevar a la práctica determinadas inversiones sin las que resulta imposible mejorar los rendimientos técnicos del servicio. Los recelos que por este motivo puedan generarse en el ámbito de los servicios técnicos municipales, carecen de fundamento.
- En un futuro podría considerarse como algo normal que las empresas concesionarias o mixtas gestionen en su totalidad el ciclo integral del agua: abastecimiento, saneamiento y depuración. Las empresas privadas que de hecho gestionan, conjuntamente, los servicios de abastecimiento y saneamiento obtienen importantes economías de escala derivadas de la versatilidad existente en la utilización de los recursos humanos y técnicos.
- Otra tendencia en relación con la mejora de gestión de calidad de los servicios es que, en los últimos años, las empresas gestoras del servicio, empresas concesionarias y empresas mixtas, están obteniendo el certificado de calidad de AENOR. Los servicios certificados implantan en su ámbito territorial de actuación un sistema de calidad adecuado a la normativa UNE-EN-ISO 9000, lo que les compromete a garantizar dos cosas: primero, que la gestión del agua potable se desarrolle con eficacia, continuidad y dentro del marco legal vigente; y segundo, que las actividades de gestión y atención al cliente mantengan, de igual forma, un nivel de calidad que redunde en la máxima satisfacción de los clientes.

5.2.3.3. Financiación

- Para las autoridades municipales debe de ser relevante la fijación de tarifas autofinanciadoras de los servicios de abastecimiento de agua potable. Hoy en día no tiene mucho sentido situaciones de servicios municipales deficitarios. Los servicios van a necesitar recursos cada vez crecientes para garantizar rendimientos técnicos más elevados. Una vez superada la fase en que se privatizan la práctica totalidad de los servicios municipales de abastecimiento de agua potable, y que los rendimientos de las redes se consiguen aumentar de forma significativa, el siguiente paso va a consistir en que las autoridades locales tendrán que prestar una especial atención al capítulo de inversiones a fin de garantizar un servicio de calidad.
- La generación de recursos económicos cara a la consecución y mantenimiento de un servicio de calidad requiere de instrumentos financieros específicos que, en nuestro caso, podrían señalarse vía canon municipal de carácter finalista o revisión tarifaria. Esto quiere decir que la principal fuente financiera del servicio, las tarifas vigentes, se verán incrementadas en una cantidad variable destinada, en exclusividad, a la mejora y renovación de la red de distribución, acometidas y demás

elementos estructurales. Los recursos financieros que sean precisos movilizar responderán a un plan específico de inversiones cuya elaboración será responsabilidad del gestor privado, mientras que su supervisión y aprobación definitiva recaerá en los servicios técnicos municipales.

- Los recursos financieros de los servicios deberían incrementarse con los autoconsumos municipales ahora gratuitos. Sería recomendable que los consumos realizados por los distintos usos de titularidad de las Corporaciones locales fueran facturados, en su totalidad, al menos a una tarifa especial. La gratuidad absoluta de estos consumos aparte de no fomentar su uso racional, distorsiona el valor real del coste medio de los servicios. Con esto se pretende el control exhaustivo de los volúmenes de consumo efectuados en las distintas dependencias oficiales, a la vez que se evitan situaciones indeseadas de pérdidas en red.
- Debería de acabarse con la práctica muy empleada de almonedear los servicios municipales de abastecimiento de agua potable al mejor postor entre empresas privadas especializadas.. Este fenómeno afecta, en buena medida, a los sistemas de facturación por cuanto hipoteca las tarifas, vía canon de la concesión, en un horizonte temporal que suele superar los 15 años. El problema que genera esta práctica es la reasignación de los recursos económicos así obtenidos para financiar programas de gasto que además de no tener nada que ver con el propio servicio, ni siquiera, en algunos municipios, sirve para cancelar la deuda que mantienen con la Mancomunidad de los Canales del Taibilla. Una cuestión también perjudicial para las Corporaciones locales es la no revisión de las cuotas de amortización del canon adelantado en todos aquellos casos en que su cálculo se realizó tomando como valor actual unos tipos de interés elevados.

5.2.3.4. Mantenimiento y conservación

- La necesidad de prestar un servicio de calidad y continuado de abastecimiento de agua potable a los abonados obliga a las empresas especializadas a dotarse de los medios humanos, técnicos y tecnológicos necesarios, que permitan abordar las incidencias que se puedan presentar en el conjunto de las instalaciones. Desde esta óptica, las operaciones de mantenimiento persiguen un triple objetivo: primero, reducir los costes de explotación; segundo, disminuir la paralización de parte o toda la infraestructura para proceder a las reparaciones correctivas; y, tercero, evitar el envejecimiento prematuro de las instalaciones, aumentando así la vida útil de las mismas y reduciendo de forma importante el coste de amortización anual de la infraestructura del abastecimiento. La experiencia demuestra que un deficiente montaje o una ausencia de ensayos y pruebas de las instalaciones (mantenimiento preventivo) pueden ser la causa de un gran número de fallos parciales o totales. En cualquier caso, todos los sistemas son, en mayor o menor medida, susceptibles de fallar; pero también pueden ser restituidos a su estado operativo óptimo mediante acciones de mantenimiento.
- Mantenimiento preventivo programado. El mantenimiento preventivo requiere un conocimiento en profundidad de los elementos instalados, con objeto de definir las operaciones a realizar y el intervalo temporal de recurrencia. Es fundamental la documentación aportada por el fabricante y la experiencia adquirida en gestión de abastecimientos. El procedimiento de mantenimiento programado



tiene su comienzo en la definición de las operaciones fundamentales y su frecuencia; es decir, se establece un plan de actividades generales que determina la planificación de las operaciones de mantenimiento y conservación, con los objetivos siguientes: a) poner en funcionamiento un sistema de mantenimiento preventivo; b) trazar un esquema lo más simplificado posible sobre las actividades de conservación y mantenimiento; y, c) disponer de una información o historiales resúmenes de la vida y problemática de cada una de las unidades existentes.

5.3 Desalación de aguas salobres

La problemática principal que plantea el uso de la desalación de aguas salobres en la agricultura del Campo de Cartagena se pueden resumir en tres aspectos:

- Elevado consumo de energía de las plantas.
- El vertido de la salmuera en zonas de alto valor ecológico.
- El coste del agua desalada para uso agrícola.

Hay asuntos no resueltos que requieren de investigación y desarrollo tecnológico, del sector como son:

- Reducción de los costes de energía en desalación y una mayor implantación de energías renovables para reducir las emisiones de CO₂.
- La alta concentración de boro en las plantas desaladoras mas antiguas que puede ocasionar problemas en cultivos como los cítricos. Se precisa estudiar la forma de eliminarlo utilizando membranas de mayor rechazo, combinaciones con dobles pasos o resinas y su efecto sobre cultivos y la población. El Real Decreto de vigilancia alimentaria de febrero de 2003 determina que la tolerancia del ser humano al boro no puede sobrepasar una concentración de 1 miligramo por litro (una parte por millón). En los cultivos, especialmente cítricos, el margen es todavía más reducido no pudiendo superar los 0,5 miligramos. Las membranas que se encargan de separar la sal del agua en el proceso de ósmosis inversa no retienen suficientemente el boro de los caudales procedentes del mar. Ello se debe a la temperatura del agua y al hecho de que en verano aumenta la concentración de este elemento en el mar. Si a eso se une el envejecimiento de las membranas, el resultado es que la retención de boro no es óptima, y por tanto hace necesaria su mezcla con otras aguas de menos contenido en boro como las del Trasvase Tajo Segura.
- Necesidad de resolver los rechazos de las plantas a las aguas salobres por la vía de aprovechamientos de sales, sistemas de vertido cero y la ampliación de la red de salmueroductos.
- Estudio de los efectos de los vertidos hipersalinos (salmueras de agua de mar) y de las soluciones a los mismos. Se trata de realizar estudios ambientales rigurosos que optimicen la ubicación de las plantas para minimizar su impacto en el medio ambiente, sobre todo en la pradera de Posedonia Oceánica de la costa mediterránea.



06

**DIRECTORIO DE
ENTES PÚBLICOS
COMPETENTES EN LA
GESTIÓN DEL AGUA**



6.1 Confederación Hidrográfica del Segura (CHS)

El Siglo XX, se abre con la creación de la División Hidráulica del Segura, antecesora de la futura Confederación Hidrográfica del Segura, por el cometido que desempeñaba, siendo un órgano puramente técnico y de ejecución de obras públicas hidráulicas. Así el 25 de abril de 1902 se aprueba el Plan Nacional de Obras Hidráulicas, conocido como Plan de Canales y Pantanos, cuya vigencia dura hasta 1926, en lo que afectaba a la cuenca del río Segura.

Mediante el Real Decreto de 5 de marzo de 1926, elevado a Decreto Ley en mayo del mismo año, se crea la Confederación Sindical Hidrográfica del Segura. Fue la segunda que entra en servicio en España, después de la del Ebro. Es un organismo autónomo, con personalidad jurídica y patrimonio propio, adscrita al ministerio de Fomento. En el Decreto Ley de su creación se establece que el abastecimiento de Cartagena, Murcia y otras poblaciones sólo podía ser atendido por la Mancomunidad de los Canales del Taibilla, creada el 4 de octubre de 1927.



Fig. 6.1 Monumento de la casa del agua de la Confederación del Segura en Santomera

En Murcia, el primer Sindicato Central de Riegos del río Segura nace en 1918, constituyendo un primer escalón de lo que vendría después: la Confederación Hidrográfica del Segura. El sindicato controlaba la mayor parte de la cuenca y su objetivo principal era la defensa de los intereses de los agricultores.



Fig. 6.2 Web de la Confederación Hidrográfica del Segura



Fig. 6.3 Ámbito de actuación de la Confederación Hidrográfica del Segura



6.2 Mancomunidad de Canales del Taibilla (MCT)



Fig. 6.4 Plano general del trazado del canal de la MCT (MCT, 1945)

La Mancomunidad de los Canales del Taibilla es un organismo autónomo adscrito al ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, creado por Real Decreto-Ley de 4 de octubre de 1927, con la denominación inicial de Mancomunidad de Municipios, que cambiaría por la actual en 1946.

Sus fines fundacionales se orientaban al “abastecimiento de agua a la Base Naval de Cartagena, a los ayuntamientos mancomunados o que puedan mancomunarse, a los que alcance el Plan General de Obras y todo lo que se relaciona con el abastecimiento”.

DIRECTORIO DE ENTES PÚBLICOS COMPETENTES EN LA GESTIÓN DEL AGUA



Fig. 6.5 Web de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla



Fig. 6.6 Uso ornamental del agua



6.3 Dirección General de Agua / Entidad de Saneamiento de Murcia (ESAMUR)

La Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (ESAMUR) es una Empresa Pública Regional creada por la Ley 3/2000, de 12 de julio, de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales e Implantación del Canon de Saneamiento, adscrita actualmente a la Consejería de Agricultura y Agua, y especialmente relacionada con la Dirección General de Agua.

Tabla 6.1 Estaciones EDAR en el Campo de Cartagena

NOMBRE	SITUACIÓN	TECNOLOGÍA *	CAPACIDAD DE DISEÑO m ³ /año	USO
La Murta	Operativa	FA - AP	44.165	Vertido
Baños Y Mendigo	Operativa	FA - AP	173.375	Riego
La Tercia	Operativa	FA - AP	49.275	Riego
Sucina	Operativa	FA - AP	91.250	Riego
Corvera	Operativa	FA - AP	109.500	Riego
Valladolises	Operativa	FA - AP + C + F	91.250	Riego
Lobosillo	Operativa	FA - AP	173.375	Riego
Avileses	Operativa	FA - AP	91.250	Riego
Isla Plana-Azohía	En Construcción		0	
Cabezo Beaza	Operativa	FA - C	12.775.000	Riego
El Algar-Los Urrutias	Operativa	L	1.095.000	Vertido
Mar Menor Sur	Operativa	FA - AP	1.825.000	Vertido
La Unión	Operativa	FA - AP + FA	1.496.500	Riego
Portman	Operativa	FA - AP	109.500	Vertido
San Javier	Operativa	L	1.825.000	Riego
Roldan, Lo Ferro, Balsicas	Operativa		0	
El Jimenado	Operativa	TP	36.500	Riego
Torre Pacheco	Operativa	FA - AP + C + F + FA + DU	1.825.000	Riego
San Cayetano	Operativa	TP	1.825.000	Riego
Dolores	Operativa	TP	36.500	Riego
Santa Rosalía	Operativa	TP	36.500	Riego
Hortichuela	Operativa		0	
Cachimanes	Operativa		0	
Los Martínez Del Puerto	Operativa	FA - AP + FL	91.250	Riego
San Pedro Del Pinatar	Operativa	TP	1.825.000	Vertido
Los Alcázares	Operativa	L	1.825.000	Riego
Fuente Álamo	Operativa	FA - AP + FL + C + F + DU	1.642.500	Vertido
La Aljorra	Operativa		0	
El Escobar	En Estudio		0	
TOTAL			29.092.690	

(*) Tecnología aplicada: FA: fangos activos; AP: aireación prolongada; C: coagulación; F: floculación; FA: filtro de anillas; DU: desinfección ultravioleta.

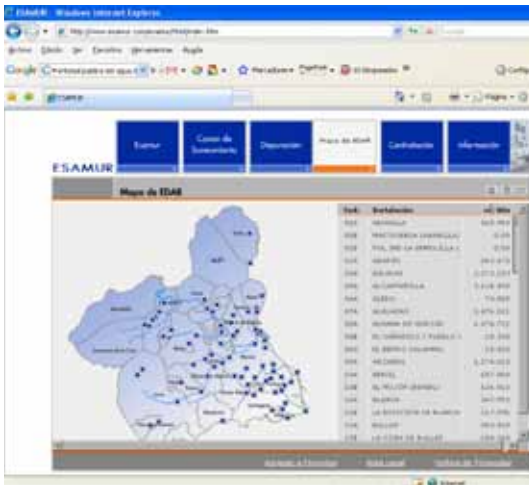


Fig. 6.7 Web de ESAMUR



Fig. 6.8 Vista de la depuradora de Torre Pacheco (Julio 2007)

La Ley de Saneamiento le asigna a ESAMUR la tarea de recaudar y gestionar el canon de saneamiento, aplicando estos recursos económicos a las tareas de explotación, mantenimiento y control de las instalaciones públicas de saneamiento y depuración de aguas residuales.

ESAMUR inicia su actividad el 1 de julio de 2002, fecha establecida por la Ley 3/2002, de 20 mayo, de Tarifa del Canon de Saneamiento para el inicio de la exacción del canon de saneamiento.

Mediante convenios suscritos con los diferentes ayuntamientos de la región, que ostentan la titularidad de las infraestructuras, la Entidad asume la gestión y control de las instalaciones de saneamiento y depuración existentes y la puesta en marcha de las nuevas obras que, principalmente, la Consejería de Agricultura y Agua, y otras administraciones, construyen en el marco del Plan General de Saneamiento de la Región de Murcia.

6.4 Ente Público del Agua de Murcia (EPA)



Fig. 6.7 Web del Ente Público del Agua



Fig. 6.10 Vista de la desaladora en el Valle de Escombreras



Es una entidad pública empresarial de la Región de Murcia que tiene por finalidad promover la disponibilidad y el abastecimiento de agua y procurar autorizaciones y concesiones necesarias para disponer de recursos hídricos. Dispone de una desaladora ubicada en Escombreras, con capacidad estimada de producción en 2010 de 20 hm³, que supondrá una inversión de 117 millones de euros. Ocupa una superficie de 35.100 m² destinados al cumplimiento de los fines del Ente, que son, entre otros, promover la disponibilidad y el abastecimiento del agua para los distintos usos en el marco de la economía regional. Está situada junto a las centrales de ciclo combinado, por la facilidad que supone para conseguir el suministro energético y evitar otros posibles impactos medioambientales.

Otra de las labores del Ente es el desarrollo de programas específicos para el consumo responsable del agua. Dichos programas se basan en la divulgación de buenas prácticas de uso del agua en los hogares y en las industrias.

6.5 Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC)

Las comunidades de regantes son corporaciones de derecho público que agrupan a los usuarios de agua para regadío y que se constituyen por ley para velar por el buen orden y uso racional del agua. Tiene funciones de administración y distribución de las aguas, imponiendo a los usuarios unas cuotas que cubran sus costes de funcionamiento. También disponen de funciones de policía y de capacidad sancionadora, constituyendo uno de los ejemplos más importantes de autorregulación por parte de los propios usuarios.

Este tipo de organización demuestra ser un instrumento eficiente para gestionar las cuestiones relacionadas con el agua, e inspira diversos tipos de asociaciones de usuarios en todo el mundo, particularmente, en el Mediterráneo y América.



Fig. 6.11 Web Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena

Las comunidades se agrupan en juntas centrales de usuarios, en este caso, el Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura (SCRATS), coordinando de manera integral la utilización de los recursos hídricos en todas las áreas dependientes de las aguas regadas con el acueducto Tajo Segura. La Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena fue fundada en 1952, y en la actualidad cuenta con 9.372 comuneros asociados.

6.6 Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura (SCRATS)

El Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura se constituye mediante Orden de 19 de noviembre de 1982, que aprueba sus estatutos iniciales, siendo una junta central de usuarios de las aguas previstas a Trasvasar en la Ley de Aguas de 1985, ostentando naturaleza jurídica de corporación de derecho público.

Los miembros originarios son todas las comunidades de regantes y usuarios individuales, titulares de derecho al uso para riego de las aguas trasvasadas a través del acueducto Tajo-Segura. Además, también lo son aquellos que, con derecho para riego de recursos propios de la cuenca del Segura, sólo puedan conducir sus caudales a los predios correspondientes a través de las infraestructuras del

postrasvase, pudiendo integrarse también en la corporación aquellas entidades o usuarios individuales que teniendo derecho al uso o aprovechamiento distinto del regadío de aguas conducidas a través de dichas infraestructuras, así lo soliciten.

El Sindicato, como único representante de la colectividad que agrupa, tiene como fin primordial defender los derechos e intereses generales de todos sus miembros, así como ordenar y vigilar el uso coordinado de sus propios aprovechamientos.



Fig. 6.12 Web del Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo Segura



07

**DIRECTORIO DE
ORGANISMOS DE I+D+i
CON ACTIVIDAD EN EL
CAMPO DE CARTAGENA**



7.1 Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA)

Objetivos

El IMIDA es un organismo público de investigación, con la condición de organismo autónomo, que tiene como objetivo prioritario la atención de las necesidades de investigación que demande el sector agrario de la Región de Murcia.

Web: <http://www.imida.es>

Líneas de investigación relacionadas con el agua y los cultivos de regadío

- Optimización de los recursos hídricos disponibles: Riego deficitario en cítricos y viñedo.
- Tecnología de los cultivos sin suelo.
- Reutilización de aguas residuales depuradas en el riego agrícola.
- Xerojardinería de bajas necesidades hídricas
- Servicio de información agraria y laboratorio de calidad de materiales de riego.
- Desalinización de aguas.
- Sistemas de Información Geográfica y Teledetección.



Fig. 7.1 Web del IMIDA



7.2 Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)

Objetivos

Docencia e investigación. Tradición en estudios superiores de índole tecnológica y económica y en investigación básica y aplicada. Los grupos de I+D de la UPCT, 'Gestión de Recursos Hídricos' y 'Suelo-Agua-Planta (SAP)', realizan labores de investigación, desarrollo, docencia e innovación. El primero, principalmente en lo relativo a la planificación y gestión de los recursos hídricos; y, el segundo, centrado.

Web: <http://www.upct.es>

Líneas de investigación relacionadas con el agua y los cultivos de regadío

- Desalinización de aguas.
- Optimización de los recursos hídricos.
- Programación del riego.
- Riego deficitario controlado.
- Indicadores de estrés hídrico en planta.

Ejemplo de proyecto

'Optimización del riego deficitario controlado en almendros a través de la programación con dendrómetros'. AGL2007-66279-C03-03/AGR. Financiación: MEC y FEDER.

Objetivo: Mejorar la programación del riego de plantaciones frutales en riego por goteo, a partir de la utilización del árbol como indicador de sus propias necesidades. En definitiva, incrementar la eficiencia de uso del agua. Para ello, se actualizará a escala diaria y de forma automática el programa de riegos existente, el del día anterior, siempre y cuando el estado hídrico del árbol así lo indique. La actualización de los programas se realizará en base a la información proveniente de sensores en planta, dendrómetros. Las lecturas de estos sensores reflejan las condiciones hídricas del árbol en tiempo real y están correlacionadas con las reinantes en el entorno del árbol, clima y suelo.



Fig. 7.3 Web de la Universidad Politécnica de Cartagena

7.3 Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS)

Objetivos

Docencia e investigación. Tradición en estudios índole Tecnológica y Económica y en investigación básica y aplicada. Estudio de la desertificación y degradación del suelo en ambientes mediterráneos y métodos de rehabilitación de las áreas afectadas.

Web: <http://www.cebas.csic.es>

Líneas de investigación relacionadas con el agua y los cultivos de regadío

- Conservación de suelos y aguas.
- Riego deficitario en cítricos y frutales.
- Riego con aguas salinas
- Modelización hidrológica

Ejemplo de proyecto

TempQsim (temporal quality simulation), Comisión Europea, Programa EESD (EVK-CT-2002-00112).

Objetivo: Evaluar experimentalmente la cantidad y calidad de las aportaciones hídricas y su incidencia en el ecosistema del Mar Menor y desarrollar modelos hidrológicos que sirvan como instrumento para planificar la conservación y regeneración de su valor ambiental.

Otros proyectos de interés: Sobre el riego deficitario controlado con aguas salinas en cítricos en el Campo de Cartagena en colaboración con la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena.

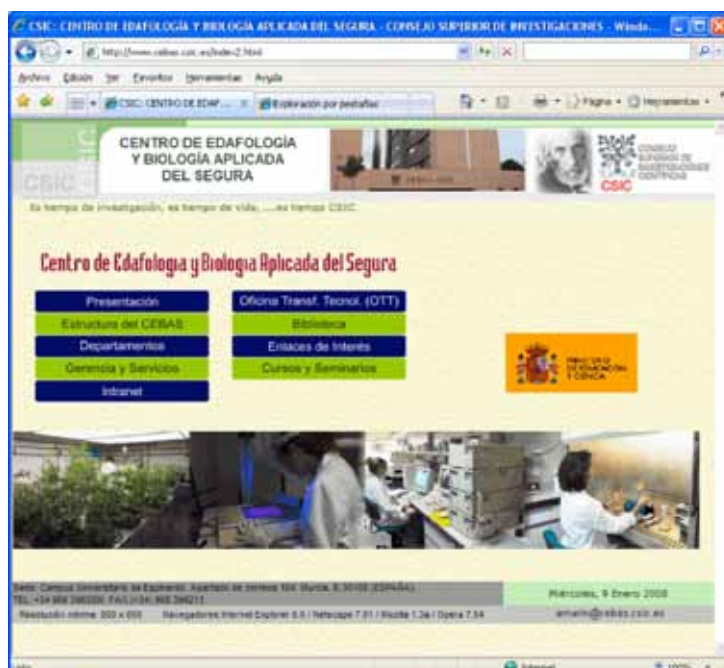


Fig. 7.4 Web del CEBAS



7.4 Universidad de Murcia (UMU)

Objetivos

Docencia e investigación. Tradición en estudios superiores de índole tecnológica y económica y en investigación básica y aplicada. Departamentos de Ecología é hidrología, Análisis geográfico regional, Edafología, Instituto Universitario del Agua y Medio Ambiente.

Web: <http://www.um.es>

Líneas de investigación relacionadas con el agua y los cultivos de regadío

- Cartografía de suelos.
- Estudios sobre los recursos hídricos.
- Estudios de costes de la desalinización de aguas.
- Teledetección aplicado a cambios del uso del suelo.

Ejemplo de proyecto

Estudio de la evolución de los usos del suelo. Fundación Instituto Euromediterráneo de Hidrotecnia.

Objetivo: Proyecto de teledetección aplicada a la realización de mapas a partir de imágenes de satélite para determinar los diferentes usos de suelo de la Región de Murcia, de la cuenca del río Segura y del sureste de España durante los últimos 30 años.



Fig. 7.5 Web de Universidad de Murcia

7.5 Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

Objetivos

Investigar, desarrollar y aplicar técnicas de análisis, evaluación y protección contra la contaminación de terrenos y acuíferos.

Web: <http://www.igme.es>

Líneas de investigación relacionadas con el agua y los cultivos de regadío

- Seguimiento de la calidad de las aguas subterráneas.
- Modelización de acuíferos.
- Estudios hidrogeológicos

Ejemplo de proyecto

Sistema de Información de las Aguas Subterráneas -IGME

Objetivo: El Sistema de Información del Agua Subterránea-IGME integra y pone a disposición de los usuarios, tanto las bases de datos de aguas subterráneas institucionales de carácter puntual y larga trayectoria en la toma de datos, como las bases espaciales hidrogeológicas y temáticas en formato digital, de más reciente creación, que se encuentran en soportes y sistemas diversos.

El objetivo primordial que persigue la implantación del SIAS (Sistema de Información del Agua Subterráneas) del IGME, es facilitar a técnicos, especialistas y usuarios en general, el acceso a la información hidrogeológica, mediante procedimientos simples e independientes de los soportes institucionales del IGME.

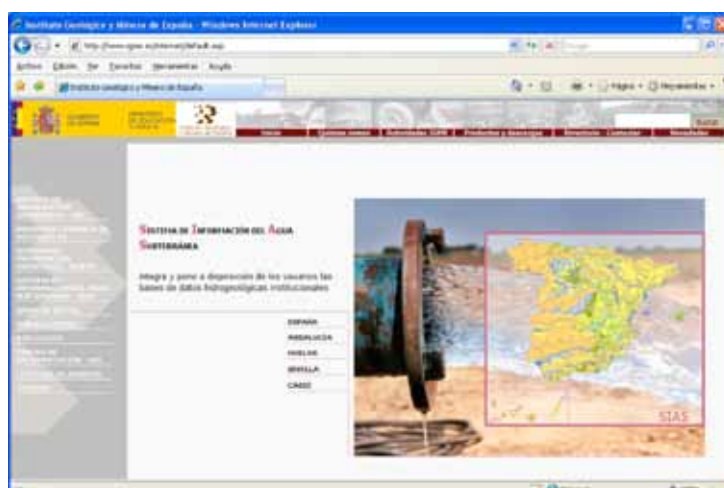


Fig. 7.6 Web del IGME



7.6 Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia (EMUASA)

Objetivos

Desarrollar proyectos para aprovechar los conocimientos y experiencias de sus técnicos en la gestión del agua para el abastecimiento municipal.

Web: <http://www.emuasa.es>

Líneas de investigación relacionadas con el agua y los cultivos de regadío

- Sistema de gestión integrada a Clientes.
- Sistema de tele lectura de contadores.
- Laboratorio de bajos caudales.
- Telemando y Telecontrol de saneamiento y depuración.
- Sistemas de recuperación energética.

Ejemplo de proyecto

HIDRONITREX ®. Proceso patentado por Aguas de Murcia para eliminar los nitratos de las aguas, convirtiéndolos en nitrógeno atmosférico. Los beneficios conseguidos con la tecnología Hidronitrex son los siguientes:

- Supone un sistema que se convierte en una nueva opción dentro del abanico de posibles tratamientos a aplicar a las aguas con altos contenidos de nitratos, con una ventaja añadida sobre los demás sistemas, como es la producción de un subproducto totalmente inocuo con el medio ambiente.
- Una significativa reducción de los costes de los productos químicos empleados, ya que se cambia de la filosofía de “un solo uso” a la de “reciclaje y reutilización de los reactivos empleados”.
- Se eliminan los subproductos contaminantes del agua procesada, mientras que los sistemas actualmente en funcionamiento se mueven dentro del rango entre el 5% y el 20%.
- Se podrán construir plantas totalmente automatizadas, al no utilizar procesos biológicos.

Se consigue con ello aliviar los importantes problemas que se producen por los altos niveles de contaminación de las aguas subterráneas, debido a las prácticas agrícolas y a los vertidos de aguas residuales sin tratamiento y mejorar la calidad del agua abastecida.



Fig. 7.7 Web de EMUASA

7.7 Fundación Instituto Euromediterráneo de Hidrotecnia (IEH)

Objetivos

El Instituto Euromediterráneo de Hidrotecnia tiene su origen en la Recomendación 1471/2000 de la Asamblea Parlamentaria del Consejo de Europa de fecha 25 de septiembre del 2000, aprobada posteriormente por su comité de ministros en respuesta adoptada en la 748ª reunión de Delegados de Ministros el 3 de abril del 2001.

Constituido como fundación el 23 de julio del 2001, opera sin ánimo de lucro y con independencia funcional. Tiene nacionalidad española, aunque de conformidad con su vocación de fundación Internacional puede extender su ámbito de actuación a todo el territorio del Consejo de Europa y, en especial, a toda el área euro mediterránea, con la misión de promover y fomentar la cooperación y coordinación entre quienes trabajan en los temas del agua.

Web: <http://www.f-iea.es>

Líneas de investigación relacionadas con el agua y los cultivos de regadío

- Convocatorias de proyectos y becas de investigación.
- Cursos de formación de expertos.
- Plataformas de encuentro y debate sobre el uso del agua.



Fig. 7.8 Web de la Fundación Instituto Euromediterráneo de Hidrotecnia



7.8 Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

Objetivos

Con la entrada en vigor de la Ley 28/2006, de 18 de julio, de Agencias estatales para la mejora de los servicios públicos, se autorizó al Gobierno para la creación de la Agencia Estatal de Meteorología. Ello se ha producido de forma efectiva con la aprobación de su Estatuto por Real Decreto 186/2008 de 8 de febrero de 2008 publicado en el Boletín Oficial del Estado de 14 de febrero. La AEMET tiene una sede en Murcia situado en Guadalupe.

Web: <http://www.aemet.es>

Líneas de investigación relacionadas con el agua y los cultivos de regadío

- Predicciones meteorológicas.
- Estudios meteorológicos.

Ejemplo de proyecto

Balance Hídrico Nacional del Servicio de Aplicaciones Agrícolas e Hidrológicas del I.N.M.

Objetivo: Seguimiento de la precipitación y la reserva de humedad del suelo, la cual se actualiza cada diez días y se presenta en mapas en los que se muestran su distribución geográfica.

Los parámetros que se calculan son: Precipitación (mm.) acumulada desde el 1 de septiembre hasta la fecha de referencia, Porcentaje que representa la precipitación acumulada desde el 1 de septiembre hasta la fecha sobre el valor normal correspondiente (calculado con referencia al período 1971-2000), Precipitación (mm.) acumulada durante el mes anterior al que está en curso. Porcentaje que representa la reserva de humedad del suelo en la fecha de referencia sobre el correspondiente valor máximo (o de saturación).

Con referencia a la metodología seguida para la evaluación del balance hídrico, cabe destacar las siguientes características: Los datos de entrada del modelo son, por una parte, los obtenidos de los análisis en rejilla del modelo numérico de predicción meteorológica HIRLAM-INM, con resolución 0.2°. La evapotranspiración de referencia (ET₀) se estima mediante el método de Penman-Monteith (en la versión modificada del mismo propuesta por la F.A.O., 1990).



Fig. 7.9 Web de la Agencia Estatal de Meteorología

7.9 Instituto Geográfico Nacional (IGN)

Objetivos

El Instituto Geográfico Nacional, que depende actualmente del Ministerio de Fomento, fue creado en 1870 con los siguientes objetivos iniciales: realizar trabajos relativos a la determinación de la forma y dimensiones de la Tierra, triangulaciones geodésicas de diversos órdenes, nivelaciones de precisión, triangulación topográfica, topografía del mapa y de catastro, así como las cuestiones relativas a pesos y medidas.

Actualmente coordina los planes nacionales de ortofoto aérea, el Plan Nacional de Teledetección y elabora mapas de usos del suelo como el SIOSE y el CORINE en colaboración con las CCAA.

Web: <http://www.ign.es>

Líneas de investigación relacionadas con el agua y los cultivos de regadío

- Elaboración de cartográfica básica y de usos del suelo.
- Plan Nacional de Teledetección.
- Plan Nacional de Ortofoto Aérea.
- Infraestructuras de datos espaciales.

Ejemplo de proyecto

Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España-SIOSE, cuyo objetivo es integrar la información de las Bases de Datos de coberturas y usos del suelo de las Comunidades Autónomas y de la Administración General del Estado. El SIOSE se enmarca dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio en España (PNOT), que coordina y gestiona el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

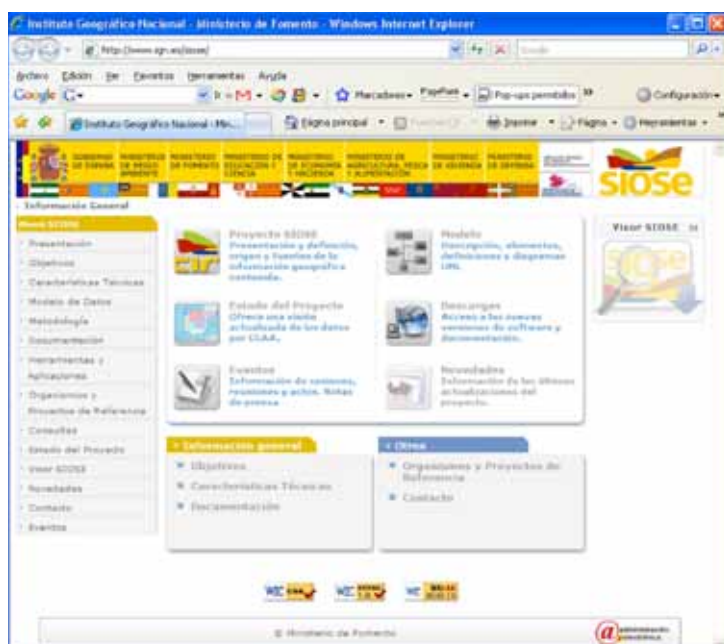


Fig. 7.10 Web del Instituto Geográfico Nacional



08

BIBLIOGRAFÍA



Abadía Sanchez, R. 2003. Optimización del diseño y gestión de redes colectivas de distribución de agua para riego por goteo de cultivos leñosos. Aplicación al regadío de Mula (Murcia). Tesis Doctoral. Universidad Miguel Hernández. Alicante.

Albacete, M.; Solís, L.; Quintana, J.L.; Gil, F.; Gómez, A.; Gómez, A. y Sánchez, M. 2001. Bases para una gestión sostenible de las aguas subterráneas del Campo de Cartagena. VII Simposio de Hidrogeología. AEH. Tomo XXIII, pp. 13-24. AEH-IGME. Madrid.

Alcón, F.; De Miguel, M.D.; Fernández-Zamudio, M.A. 2006. Modelización de la difusión de la tecnología de riego localizado en el Campo de Cartagena. Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros 210, 227-245.

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. y Smith, M. 1998. "Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements." (FAO - irrigation and drainage paper 56: FAO, Rome.)

Aragón, R. 1999. Delimitación de acuíferos. En: "Atlas del Medio Natural de la Región de Murcia". ITGE-CPTOP. pp. 43-45.

Aragón, R.; Solís, L. y Hornero, J. 1999. Características químicas de las aguas subterráneas de la cuenca del Segura. Aptitud de uso y principales fuentes de contaminación. En: "La contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente". ITGE-AIH. pp. 363-372.

Arriaga y Juan, E. 1999. "El precio del agua en España. Comisión VI AEAS", XVIII Jornadas Técnicas, Asociación Española de Abastecimientos de Aguas y Saneamiento (AEAS '99), Cáceres, mayo, Tomo II, pp. 253-299.

ATS. 1979. Trasvase Tajo Segura: Una empresa de estado. Cámara de Comercio, Industria y Navegación de Murcia.

Asamblea Regional de Murcia. 2005. Murcia y el agua: Historia de una pasión. Murcia.

Blanco Orozco, M. 2002. "Simplificación en las tarifas del agua: tendencia o necesidad", XXII Jornadas Técnicas, Asociación Española de Abastecimientos de Aguas y Saneamiento (AEAS '02), Torremolinos, mayo, Tomo II, pp. 131-164.

Box, M. 1992. El regadío medieval en España: época árabe y conquista romana. En Hitos históricos de los regadíos españoles. Editores: A. Gil y A. Morales. MAPA, Madrid.

CARM 2000. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Zona Regable del Campo de Cartagena. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua.

CARM. 2008. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Mapa Topográfico Regional. Consejería de Obras Públicas de Murcia.

CARM. 2006. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Memoria 2003-2005. Consejería de Agricultura y Agua. Murcia.

CARM. 2007 (a). Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. El agua y la agricultura de la Región de Murcia: Un modelo de eficiencia. Consejería de Agricultura y Agua.

CARM. 2007 (b). Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Plan de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia 2007-2010.

CARM. 2007. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Anuario Estadístico de la Región de Murcia. Murcia: Consejería de Economía y Hacienda.

Cason, T. N. y Uhlener, R. T. 1991. Agricultural Productions Impact on Water and Energy Demand - A Choice Modeling Approach. *Resources and Energy* 13(4):307-321.

Castañedo Rodríguez, M. y Cózar Marcilla, C. 2003. "Los costes del agua", XXIII Jornadas Técnicas, Asociación Española de Abastecimientos de Aguas y Saneamiento (AEAS '03), Salamanca, junio, Tomo II, pp. 265-284.

Castel, J.R. 1999. Riego deficitario controlado. Aplicación a frutales. En: Ahorro y Reutilización de Agua. M17 – II Máster en gestión y uso eficiente del agua. Universidad Politécnica de Valencia. p. 6.3-6.15.

Certain, F. y Pérez Novo, J. 2007. "Coste del agua en Europa. Estudio tarifario comparativo Europa-España", XXVII Jornadas Técnicas, Asociación Española de Abastecimientos de Aguas y Saneamiento (AEAS '07), Málaga, mayo, Tomo II, pp. 271-287.

Chalmers, D.J.; Mitchell, P.D. y Vanheek, L. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 106: 307-312.

CHS. 1997. Confederación Hidrográfica del Segura. Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura. [En Línea]: <http://www.mma.es/>

CHS. 2005. Confederación Hidrográfica del Segura. Memoria de la Cuenca del Segura. [En Línea]: <http://www.mma.es/>

CHS 2007. Confederación Hidrográfica del Segura. Memoria de la Cuenca del Segura.

CHS 2005. Confederación Hidrográfica del Segura. Informe de los artículos 5, 6 y 7 de la DMA en la Cuenca del Segura.

CHS 2007. Confederación Hidrográfica del Segura. Plan especial de sequía de la Cuenca del Segura. [En Línea]: <http://www.mma.es/>

Conejero, W.; Alarcón J.J.; García-Orellana, Y.; Abrisqueta, J.M. y Torrecillas, A. 2007. Daily sap flow and maximum daily trunk shrinkage measurements for diagnosing water stress in early maturing peach trees during the post-harvest period. *Tree Physiology* 27: 81-88

Conesa, C. 1990. El Campo de Cartagena. Clima e hidrología de un medio semiárido. Ayuntamiento de Cartagena. **Universidad de Murcia.**

Consejo Económico y Social de la Región de Murcia. 1995. Recursos hídricos y su importancia en el desarrollo de la Región de Murcia. Murcia. Consejo Económico y Social.

Consejo Superior de Cámaras. 2008. Base de Datos de Comercio Exterior. [En Línea]: <http://aduanas.cameras.org/>

CRCC. 2007. Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena: 25 años de la llegada del agua del Tajo-Segura al Campo de Cartagena. Fundación Caja Murcia.

CRCC. 2000. Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena. Plan de mejora y modernización de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena.

Dasberg, S. y Or, D. 1999. Drip Irrigation. Berlin: Springer.

Dieperink, C.; Brand, L., y Vermeulen, W. 2004. Diffusion of energy-saving innovations in industry and the built environment: Dutch studies as inputs for a more integrated analytical framework. *Energy Policy* 32(6):773-784.



- Domingo, R. 1994.** Respuesta del limonero fino al riego deficitario controlado. Aspectos fisiológicos. 1-237. 1994. Universidad de Murcia.
- Domingo, R.; Ruiz-Sánchez, M.C.; Sánchez-Blanco, M.J. y Torrecillas, A. 1996.** Water relations, growth and yield of Fino lemon trees under regulated deficit irrigation. *Irrigation Science* 16: 115-123.
- Domingo, R.; Ruiz Sánchez, M.C.; Nortes, P. A.; Torrecillas, A. y Pérez Pastor, A. 2001.** Respuesta productiva de albaricoqueros “Búlida” al riego deficitario. *ITEA 97V 2*: 123-133.
- Domingo, R.; Nortes, P.A.; Egea, G.; Torres, R. y Pérez Pastor, A. 2005.** Utilización de sensores en planta para la programación del riego y uso eficiente del agua en la agricultura. *Vida Rural*. 217: 42-46.
- Doorenbos, J. y Pruitt, W.O. 1988.** Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO Riegos y Drenajes. 24. Ed. FAO. Roma. 194 pp.
- Egea, G. 2008.** Caracterización y modelización de la respuesta agronómica y fisiológica del almendro al riego deficitario. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena. 309 pp.
- English, M. y Raja, S.N. 1996.** Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 32: 1-14.
- Erena, M.; Rincón, L. 1996.** Spatial and temporal distribution of rainfall in the Murcia Region. DGXII UE. International Conference on Mediterranean Desertification: Research Results and Policy Implications. Creta.
- Erena, M.; Rincón, L.; Navarro, E. y Garrido, R. 1998.** Los sistemas de información geográfica como herramientas en la caracterización agroclimática. *Riegos y Drenajes XXI*, N ° 103.
- Erena, M.; Rincón, L.; Navarro, E.; López, J. A.; Caro, M; Fontes, C. y Soler. 1999.** La gestión de usuarios y el cálculo de necesidades hídricas en el SIAM. XVII Congreso Nacional de Riegos y Drenajes. Murcia.
- Erena, M.; Caro, M.; Navarro, E.; López, J. A.; García, P. y Barrancos, G. 2000.** Las nuevas tecnologías y el cálculo de necesidades hídricas a escala regional-SIAM. II Congreso Nacional de los regadíos españoles. CEDEX. Madrid.
- Erena, M.; Montesinos, S. 2007.** Cálculo de la demanda agraria mediante SIG y Teledetección: Aplicación al Campo de Cartagena, Master en Planificación y Gestión de recursos hídricos, Tomo II, 2ª Edición, pp. 315-330, Murcia.
- ESAMUR. 2007.** Memoria del año 2007.MAPA. Madrid.
- ESYRCE. 2006.** Encuestas sobre superficies y rendimientos de cultivos del año 2006, MAPA, 2007.
- Fereres, E. y Goldhamer, D. 2000.** Avances recientes en la programación de los riegos. *Ingeniería del Agua* 7, 47-54.
- Fereres, E. y Goldhamer, D.A. 1990.** Deciduous fruit and nut trees. En: *Irrigation of Agricultural Crops* (Steward, B.A., Nielsen, D.R., Eds.). *Agronomy* nº 30. Published by ASA, CSSA y SSSA, Madison. Wisconsin. USA, p. 987-1017.
- Fereres, E. y Soriano, M.A. 2007.** Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58 (2): 147-159.
- Fernández, M.; Orgaz, F.; Fereres, E.; López, J.; Céspedes, A.; Bonachela, S. y Gallardo, M. 2001.** Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernaderos en el sudeste español. Almería: CAJA MAR (Caja Rural de Almería y Málaga).

Fishelson, G. y Rymon, D. 1989. Adoption of agricultural innovations: The case of drip irrigation of cotton in Israel. *Technological Forecasting and Social Change* 35(4):375-382.

Fundación Caja Murcia 2005. La cultura del agua en la Cuenca del Segura. Murcia. 2005.

Fundación biodiversidad 2007. Ministerio de Medio Ambiente. [En Línea]:<http://www.mma.es>.

García-Orellana, Y.; Ruiz-Sánchez, M.C.; Alarcón, J.J.; Conejero, W.; Ortuño, M.F.; Nicolás, E. y Torrecillas, A. 2007. Preliminary assessment of the feasibility of using maximum daily trunk shrinkage for irrigation scheduling in lemon trees. *Agricultural Water Management*. 89: 167-171.

García Lozano, M. y Urrestarazu, M. 1999. Recirculación de la disolución nutritiva en las condiciones de los invernaderos de la europa del sur. ed. caja rural de granada, 171 pp.

García M. y Urrestarazu M., 1999. Recirculación de la disolución nutritiva en las condiciones de los invernaderos de la Europa del sur. Ed. Caja Rural de Granada.

Gil Meseguer, E. y Gómez Espín, J.M. 1999. "Medio físico", en Región de Murcia, Instituto de Fomento de la Región de Murcia, pp. 21-31.

Gómez, M.D.; Rincón, L.; Pellicer, C.; Sáez, J.; Abadía, A. y Pérez, A. 1999. Consumo de agua y nutrientes de un cultivo de tomate en hidroponía. *Actas de Horticultura*, nº 26: 406-412.

Goldhamer, D.; Soler, M.; Salinas, M.; Fereres, E.; Cohen, J.; Girona, J. y Mata, M. 1999. Comparison of continuous and discrete plant-based monitoring for detecting tree water deficits and barriers to grower adoption for irrigation management. *Acta Horticulturae* 537(1):431-448.

Goode, J. E. y Higgs, K. H. 1973. Water, osmotic and pressure potential relationships in apple leaves. *Journal of Horticultural Science* 48, 203-215.

Gris Martínez, J. 1995. "Las aguas subterráneas en los abastecimientos a poblaciones en la región de Murcia", *Las aguas subterráneas en la ley de aguas española: un decenio de experiencia*, Murcia, marzo, 1995. Tomo II.

Gris Martínez, J. 1995. "Las tarifas de los servicios municipales de abastecimiento de agua potable en la Región de Murcia", *Agua y Futuro*, Asamblea Regional de Murcia, pp. 259-274.

Gris Martínez, J. 2001. "Los servicios municipales de abastecimiento de agua potable en la región de Murcia", *Reflexiones sobre el futuro del agua en el siglo XXI*, libro homenaje a Emilio Pérez Pérez, Caja de Ahorros del Mediterráneo, pp. 117-166.

Howell, J. 2000. Drops of life in the history of irrigation. *Irrigation Journal* 50(1): 8-15.

Huber, B. 1932. Beobachtung und Messung pflanzlicher Saftstrome. *Berichte der Deutschen botanischen Gesellschaft* 50, 89-109.

ITGE. 1994. Las aguas subterráneas del Campo de Cartagena. Murcia.

IGME. 2001. Las aguas subterráneas: Un recurso natural del subsuelo. Fundación Marcelino Botín. Madrid.

INE. 2007. Instituto Nacional de Estadística. Datos sobre uso del agua en año el 2005 [En Línea]: <http://www.ine.es>

Instituto Nacional de Metereología. 2008. Balance hídrico nacional. [En Línea]:<http://www.inm.es>

Jones, H.G. 1983. Estimation of An Effective Soil-Water Potential at the Root Surface of Transpiring Plants. *Plant Cell and Environment* 6, 671-674.



- Jones, H. 2004.** Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 55 (407): 2427-2436.
- Keller, J. y Bliesner, R.D. 1990.** *Sprinkler and Trickle Irrigation*. Nueva York: Chapman y Hall.
- Klepper, B.; Browing, U.D. y Taylor, H.M. 1971.** Stem diameter in relation to plant water status. *Plant Physiology* 48, 683-685.
- Kozlowsky, T.T. y Winget, C.H. 1964.** Diurnal and seasonal variation in radii of tree stems. *Ecology* 45, 149-155.
- Lorenzo, P. 1997.** Gestión de la fertirrigación en los sistemas de cultivo en sustratos. *Actas de Horticultura*.
- Macia, H.; Juaristi, B.; Etxeandia, A.; Domingo, M. y Amenabar, R. 1997.** Recirculación de soluciones nutritivas en "cultivo sin suelo" en pimiento de Gernika. *Actas de Horticultura* 20:817-824.
- Magán, J.J.; Romera, M. P.; Cánovas, F. y Fernández, E.J. 1999.** Ahorro de agua y nutrientes mediante un sistema de cultivo sin suelo con reuso del drenaje en tomate larga vida. XVII Congreso Nacional de Riegos. Murcia. *Actas*, pp. 186-193.
- MAPA. 2006.** El sector agroalimentario español. [En Línea]: <http://www.mapa.es/es/ministerio/pags/hechoscifras/introhechos.htm>.
- MAPA. 2007.** Hechos y cifras de la agricultura, la pesca y la alimentación en España. [En Línea]: <http://www.mapa.es/es/ministerio/pags/hechoscifras/introhechos.htm>.
- Marfá, O. 1994.** Los cultivos sin suelo. Algunas reflexiones. *Hortofruticultura* 3: 39-48.
- Martínez, T. 1997.** Hidroponía en cultivos hortícolas. 3er Forum Internacional de Horticultura y Tecnología de la Fertilización y la Hidroponía. Ediciones de Horticultura. Valencia.
- MCT. 1945.** Mancomunidad de Canales del Taibilla. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Martínez-Cachá, A. 2004.** Impacto económico de las sequías en el sureste agrario español. Murcia: Fundación Universitaria San Antonio.
- Martínez, D. 2003.** Estudio de la viabilidad técnico-económica de la desalación de agua de mar por osmosis inversa en España. Consejería de Agricultura, Agua y Medio ambiente de Murcia.
- Montesinos, S. 1990.** Teledetección: su utilización en la cuantificación y seguimiento de recursos hidráulicos aplicados al regadío. Proceso digital de imágenes LANDSAT TM de la Mancha Occidental. En *Informaciones y Estudios* 51. MOPU. Madrid.
- Mitchell, P.D. y Chalmers, D.J. 1982.** The effect of reduced water supply on peach tree growth and yields. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 107: 853-856.
- Mitchell, P.D.; Jerie, P.H. y Chalmers, D.J. 1984.** The effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 109: 604-606.
- Mitchell, P.D.; Vandenende, B.; Jerie, P.H. y Chalmers, D.J. 1989.** Responses of Bartlett pear to withholding irrigation, regulated deficit irrigation, and tree spacing. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 114 (1): 15-19
- Mingo Calvo, C. y Lozano Gómez, S. 2003.** "Tarifas: parámetros. Incidencia del censo", XXIII Jornadas Técnicas, Asociación Española de Abastecimientos de Aguas y Saneamiento (AEAS '03), Salamanca, junio, Tomo II, pp. 247-264.

MMA. 2005. Estudio inicial para la identificación y caracterización de las masas de agua subterránea de las cuencas intercomunitarias. CHS.

MMA. 2007. Precios y costes de los servicios del agua en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.

Mora, V.; Rodríguez, T. y Aragón, R. 1988. Intrusión marina fósil en el Campo de Cartagena (Murcia). En: Tecnología de la intrusión en acuíferos costeros (TIAC '88). IGME. Tomo III, 221-236.

Ortuño, M.F.; García-Orellana, Y.; Conejero, W.; Ruiz-Sánchez, M.C.; Alarcón, J.J. y Torrecillas, A. 2006. Stem and leaf water potentials, gas exchange, sap flow and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. *Trees-Structure and Function* 20: 1-8.

Ortuño, M.F.; Brito, J.J.; Conejero, W.; García-Orellana, Y. y Torrecillas, A. 2009 (a). Using continuously recorded trunk diameter fluctuations for estimating water requirements of lemon trees. *Irrigation Science* (Aceptado para publicar. DOI: 10.1007/s00271-008-0144-x).

Ortuño, M.F.; García-Orellana, Y.; Conejero, W.; Pérez-Sarmiento, F. y Torrecillas, A. 2009 (b). Assessment of maximum daily trunk shrinkage signal intensity threshold values for deficit irrigation in lemon trees. *Agricultural Water Management* 96: 80-86.

Os, E.A. Van, 1995. Engineering and Environmental Aspects of Soilless Growing Systems. *Acta Horticulturae*. 396:25-32.

Pagán, E.; Pérez-Pastor, A.; Domingo, R.; Robles, J.M.; Nortes, P.A.; Egea, G.; Botía, P.; García-Oller, I.; Porras, I. y Caro, M. 2006. Effects of regulated deficit irrigation on trunk and fruit growth in Fortune mandarin. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 11: 695-696.

Pagán, E.; Pérez-Pastor, A.; Domingo, R.; Nortes, P.A. y Egea, G. 2007. Programación del riego deficitario en almendro con dendrómetros. Optimización del uso del agua. XXV Congreso Nacional de Riegos. Pamplona (España).

Pagán, E.; Pérez-Pastor, A.; Domingo, R.; Conesa, J.M.; Robles, J.M.; Botía, P.; I. García-Oller I. y Caro, M. 2008. Feasibility Study of the Maximum Daily Trunk Shrinkage for Scheduling Mandarin Trees Irrigation. X Congreso of the European Society for Agronomy. Bolonia (Italia).

Pellicer, C.; Rincón, L.; Pérez, A.; Abadía, A. y Sáez, J. 2000. Comportamiento del cultivo de pimiento sobre los sustratos perlita, lana de roca y fibra de coco. II.- Parámetros de la nutrición. *Agrícola Vergel* 227: 740-745.

Pellicer, C. 2003. Fertirrigación del cultivo de tomate sobre sustratos. *Vida Rural*, 164: 42-46.

Pellicer, C.; Balsalobre, E.; Rincón, L. y Sáez, J. 1998. Deficiencias Nutricionales y otras alteraciones fisiológicas. En: *La Sanidad del Cultivo de Tomate*. Ed. M.V.PHYTOMA-ESPAÑA, S.L, 255- 284.

Pellicer, C.; Jiménez, J.; Abadía, A.; Pérez, A. y Ruiz, M. 2002. Cultivo de tomate sobre sustrato perlita Reutilización de las soluciones lixiviadas. *Agrícola Vergel*, 254: 278- 283.

Pellicer, C.; Jiménez, J.; Abadía, A.; Rincón, L. y Sáez, J. 2002. Consumo y ahorro de agua y nutrientes de un cultivo de tomate con reutilización de lixiviados. VI Jornadas de Sustratos de la SECH. *Actas de Horticultura*(en prensa).

Pellicer, C.; Rincón, L.; Sáez, J.; Abadía, A.; Pérez, A. y Balsalobre, E. 2001. Reutilización de lixiviados en un cultivo de tomate sobre sustrato perlita. *Actas de Horticultura*, nº 37: 950-956.

Pellicer, C.; Rincón, L. y Sáez, J. 1995. Componentes y equilibrios de las soluciones nutritivas de riego en plantaciones comerciales. *Hortolnformación*, 3: 39- 44.



Pellicer, C. 1999. Mejora de la eficiencia de la fertirrigación en los sistemas de cultivos sobre sustratos inertes: reutilización de la solución de drenaje. Memoria de las actividades I+D 1998-1999 centro de Investigación y Desarrollo Agroalimentario. Región de Murcia. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente.

Perdigó Solà, J. 2006. “El precios de los servicios de agua: tarifas o tributos”, XXVI Jornadas Técnicas, Asociación Española de Abastecimientos de Aguas y Saneamiento (AEAS´06), A Coruña, junio, Tomo II, pp. 249-262.

Pérez, A.; Pellicer, C.; Abadía, A.; Rincón, L.; Sáez, J. y Balsalobre, E. 2000. Evaluación de los parametros de fertirrigación en cultivo de pimiento en sustratos. *Actas de Horticultura* 32: 95-107.

Pérez, A.; Rincón, L.; Sáez, J.; Pellicer, C.; Gómez, M.D. y Abadía, A. 1997. Respuesta del rendimiento del cultivo del tomate en diferentes sustratos inorgánicos. *Actas de Horticultura*, nº19: 435-442.

Pérez, A.; Abadía, A.; Pellicer, C.; Rincón, L.; Sáez, J. y Marín, C. 2000. Comportamiento del cultivo del pimiento sobre los sustratos perlita, lana de roca y fibra de coco. I.- Parámetros del riego. *Agrícola Vergel* 225: 597- 602.

Pérez-Pastor, A. 2001. Estudio agronómico y fisiológico del albaricoquero en condiciones de infradotación hídrica. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena. 225 pp.

Pérez-Pastor, A.; Ruiz-Sánchez, M.C.; Domingo, R. y Torrecillas, A. 2004. Growth and phenological stages of ‘Búlida’ apricot trees in south-east Spain. *Agronomie* 24: 93-100.

Pérez-Pastor, A.; Domingo, R.; Torrecillas, A. y Ruiz-Sánchez, M.C. 2009. Response of apricot trees to deficit irrigation strategies. *Irrigation Science* (DOI 10.1007/s00271-008-0136-x. Published online: 1 November 2008).

Pérez-Pérez, J.G.; Romero, P.; Navarro, J.M. y Botía, P. 2008 (a). Response of sweet orange cv ‘Lane late’ to deficit irrigation (DI) in two rootstocks. I: Water relations, gas exchange and vegetative growth. *Irrigation Science*, 26 (5):415-425.

Pérez-Pérez, J.G.; Romero, P.; Navarro, J.M. y Botía, P. 2008 (b). Response of sweet orange cv ‘Lane late’ to deficit irrigation (DI) in two rootstocks. II: Flowering, fruit growth, yield and fruit quality. *Irrigation Science*. 26(6):519-529.

Pérez-Pérez, J.G.; Robles, J.M. y Botía, P. 2009. Influence of deficit irrigation in phase III of fruit growth on fruit quality in ‘lane late’ sweet orange. *Agric. Water Manage.* (2009), doi:10.1016/j.agwat.2009.01.008.

Pérez Ruzafa, A. y Aragón, R. 2003. Implicaciones de la gestión y el uso de las aguas subterráneas en el funcionamiento de la red trófica de una laguna costera. En: *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: litoral mediterráneo* (ed. Fornés, J. M. y Llamas, M. R.). Fundación Marcelino Botín. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, pp. 215-245.

Porta Visa, F. 2001. “La tarificación del agua en la Unión Europea: repercusión económica de la Directiva Marco en el sector urbano del agua en España”, XXI Jornadas Técnicas, Asociación Española de Abastecimientos de Aguas y Saneamiento (AEAS´01), Lleida, mayo, Tomo II, pp. 73-114.

León, A.; Del Amor, F. y Torrecillas, A. 1986. El riego en la Región de Murcia: Apuntes para una historia reciente. Programa de Asesoramiento en Riegos CEBAS-Consejería de Agricultura, ganadería y Pesca. Murcia.

PAR. 1987. Manejo del riego: Fichas agronómicas. Programa de Asesoramiento en Riegos CEBAS-Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca. Murcia

Pizarro, F. 1996. Riegos localizados de alta frecuencia. Madrid: Ed. Mundi Prensa.

Pivot, D.; Reist, A. y Gillioz, J.M. 1998. Greenhouse tomato yields in soil and four substrate with a recycled nutrient solution. *Revue Suisse de Viticulture, d'Arboriculture et d'Horticulture*. 30:321-325.

Richards, J.A. 1986. Remote Sensing Digital Image Analysis. Springer-Verlag. New York 281 p.

Rincón, L.; Erena, M.; García, A.; García, F. y Abadía, A. 1998. The agrarian service of Murcia Region- SIAM. 1st Inter-Regional Conference on Environment-Water: Innovative Issues in Irrigation and Drainage. Lisboa.

Rincón, L. 2005. La fertirrigación de la lechuga Iceberg. Serie divulgación técnica 02. IMIDA. 183 pp.

Rincón, L.; Pérez, A.; Pellicer, C.; Sáez, J. y Abadía, A. 2002. Comportamiento productivo de un cultivo de tomate en fibra de coco de primer año. VI Jornadas de Sustratos de la SECH, Actas de Horticultura(en prensa).

Rodríguez Furones, A. y Lozano Gómez, S. 2005. "Los aspectos tarifarios de la Directiva Marco del Agua", XXV Jornadas Técnicas, Asociación Española de Abastecimientos de Aguas y Saneamiento (AEAS'05), Palma de Mallorca, mayo, Tomo II, pp. 275-284.

Romero, P.; Navarro, J.M.; Pérez-Pérez, J.G.; García-Sánchez, F.; Gomez-Gomez, A.; Martínez, V. y Botia, P. 2006. Deficit Irrigation and rootstock: their effects on water relations, vegetative development, yield, fruit quality and mineral nutrition of clementine mandarin. *Tree Physiology*, 26:1537:1548.

Ruiz-Sánchez, M.C.; Egea, J.; Galego, R. y Torrecillas, A. 1999. Floral biology of Búlida apricot trees subjected to postharvest water irrigation withholding. *Annals of Applied Biology* 135: 523-528.

Sánchez-Blanco, M.J. y Torrecillas, A. 1995. Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de riego deficitario controlado en cultivos leñosos. En: *Riego Deficitario Controlado. Fundamentos y Aplicaciones*. Colección Cuadernos VALUE I. UE-Mundi Prensa, Madrid. ISBN 84-7114-590-1, p. 43-63.

Sánchez-Blanco, M.J.; Torrecillas, A.; León, A. y del Amor, F. 1989. Growth of Verna lemons under different irrigation regimes. *Advances in Horticultural Science* 3: 109-111.

Smith, M. 1993. Cropwater: A computer program for irrigation planning and management. Food and Agricultural Organisation (FAO), Irrigation and Drainage Paper 46. Roma. 126 pp.

Torrecillas, A.; Domingo, R.; Galego, R. y Ruiz-Sánchez, M.C. 2000. Apricot tree response to withholding irrigation at different phenological periods. *Scientia Horticulturae*. 85: 201-215.

Vélez, J.E.; Intrigliolo, D.S. y Castel, J.R. 2007. Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage. *Agricultural Water Management*. 90: 197-204.



Instituto Murciano de Investigación y
Desarrollo Agrario y Alimentario

