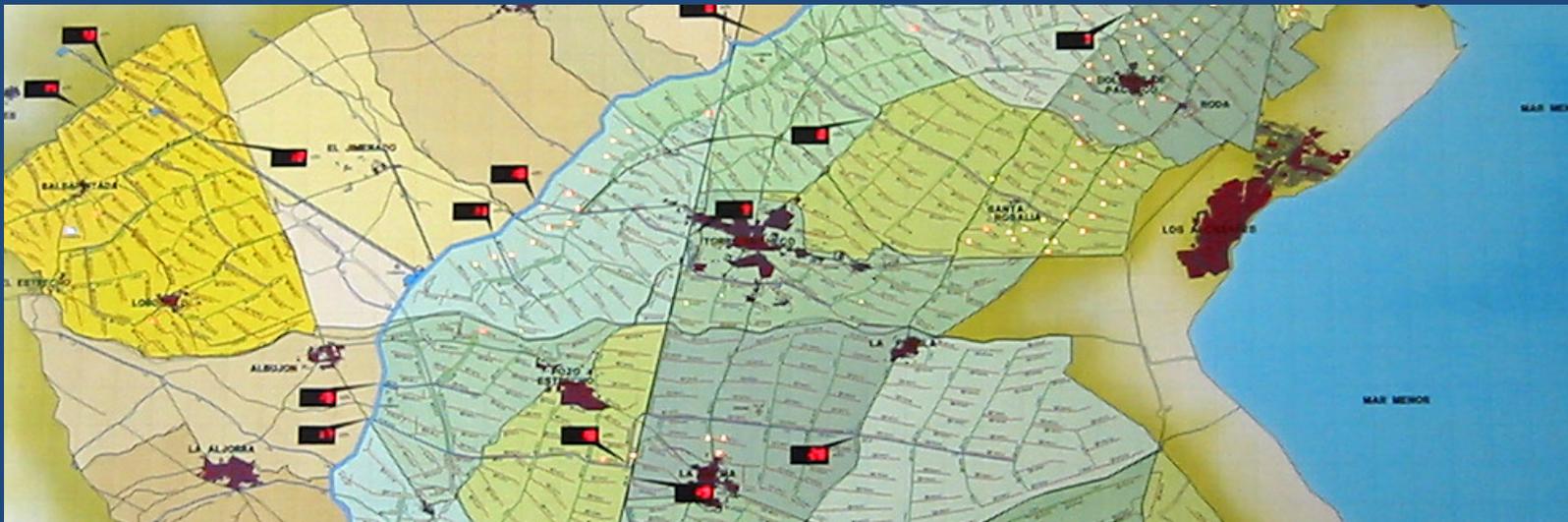




CRCC
COMUNIDAD DE REGANTES
DEL CAMPO DE CARTAGENA



SCRATS
SINDICATO CENTRAL DE REGANTES
DEL ACUEDUCTO TAJO SEGURA



El regadío en la Región de Murcia. Caracterización y análisis mediante indicadores de gestión



Mariano Soto García Victoriano Martínez Álvarez Bernardo Martín Górriz

**El regadío en la Región de Murcia.
Caracterización y análisis
mediante indicadores de gestión**

Mariano Soto García

Doctor Ingeniero Agrónomo. Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena.

Profesor Asociado. E.T.S. Ingeniería Agrónomica. Universidad Politécnica de Cartagena.

Victoriano Martínez Álvarez

Doctor Ingeniero Agrónomo. Profesor Titular de Universidad.

E.T.S. Ingeniería Agrónomica. Universidad Politécnica de Cartagena.

Bernardo Martín Gorríz

Doctor Ingeniero Agrónomo. Profesor Titular de Universidad.

E.T.S. Ingeniería Agrónomica. Universidad Politécnica de Cartagena.

Mariano Soto García
Victoriano Martínez Álvarez
Bernardo Martín Górriz

**El regadío en la Región de Murcia.
Caracterización y análisis
mediante indicadores de gestión**

SINDICATO CENTRAL DE REGANTES
DEL ACUEDUCTO TAJO SEGURA
2014

1ª Edición, 2014

© Copyright

Mariano Soto García
Victoriano Martínez Álvarez
Bernardo Martín Górriz

Edita: Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura
ISBN: 978-84-697-0372-4

Se autoriza la reproducción total o parcial citando la fuente

Impreso en España – Printed in Spain
Imprime: Pictografía, S.L. - Murcia

En muchas ocasiones la cuestión no es el "cuánto y cómo regar", sino el "cuándo dispondré de agua"

Presentación

En la actualidad existe una gran competencia por el uso del agua. Los recursos hídricos se encuentran bajo una fuerte presión debida tanto al crecimiento demográfico como al aumento de la demanda de los distintos sectores económicos, incluido el medioambiente. Además, se espera un agravamiento de esta situación como consecuencia de la progresiva reducción de recursos hídricos disponibles asociada al cambio climático en las zonas áridas y semiáridas, como es el caso de la Región de Murcia. Como resultado de esta situación ya se están produciendo tensiones entre regiones, e incluso entre países, que pueden intensificarse conforme crezca la escasez de agua.

En este contexto los autores han desempeñado una intensa labor investigadora relativa al uso del agua en el regadío de la Región de Murcia durante la década 2002-2011. Esta actividad se enmarca en el proyecto internacional de investigación SIRRIMED “*Sustainable use of IRRigation water in the MEDiterranean region*”, financiado por la Unión Europea. El estudio se ha desarrollado en cinco de las principales y más representativas comunidades de regantes de la Región de Murcia: Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena, Comunidad de Regantes de Lorca, Comunidad de Regantes del Trasvase Tajo Segura Calasparra-Cieza, Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva y Comunidad de Regantes de Miraflores. Todas ellas, a excepción de la Comunidad de Regantes de Miraflores, son miembros del Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura. La puesta en marcha del Trasvase Tajo-Segura convirtió a nuestra Región en una de las mayores zonas de producción de hortalizas al aire libre de Europa.

Este libro, fruto de esta investigación, está fundamentado en otras publicaciones propias del ámbito científico, entre las que destaca la tesis doctoral titulada “*Estudio de la evolución de los regadíos mediante técnicas de benchmarking. Aplicación en la Región de Murcia*”, y los siguientes artículos de investigación, publicados en prestigiosas revistas científicas

internacionales en el ámbito de la energía y de la gestión del agua en el regadío:

- Soto-García, M., Martínez-Álvarez, V., García-Bastida, P.A., Alcón, F., Martín-Górriz, B., 2013. *Effect of water scarcity and modernisation on the performance of irrigation districts in south-eastern Spain. Agricultural Water Management* 124: 11-19.
- Soto-García, M., Del-Amor-Saavedra, P., Martín-Górriz, B., Martínez-Álvarez, V., 2013. *The role of information and communication technologies in the modernisation of water user associations management. Computer Electronics in Agriculture* 98: 121-130.
- Soto-García, M., Martín-Górriz, B., García-Bastida, P.A., Alcón, F., Martínez-Álvarez, V., 2013. *Energy consumption for crop irrigation in a semiarid climate (south-eastern Spain). Energy* 55: 1084-1093.
- Martínez-Álvarez, V., García-Bastida, P.A., Martín-Górriz, B., Soto-García, M., 2014. *Adaptive strategies of on-farm water management under water supply constraints in south-eastern Spain. Agricultural Water Management* 136: 59-67.
- Martín-Górriz, B., Soto-García, M., Martínez-Álvarez, V., 2014. *Energy and greenhouse-gas emissions in irrigated agriculture of SE Spain. Effects of alternative water supply scenarios. Energy. En revisión.*

En definitiva se trata de un gran trabajo de investigación, que caracteriza la situación actual del regadío de la Región de Murcia mediante indicadores de gestión. Además se aportan análisis de gran interés sectorial como los efectos de la escasez de agua y de la modernización sobre las zonas regables, el vínculo entre el uso del agua y la energía en el regadío, o los posibles efectos sobre el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero asociados al uso de agua desalinizada para riego, como alternativa a los recursos hídricos convencionales.

José Manuel Claver Valderas
Presidente del Sindicato Central de
Regantes del Acueducto Tajo-Segura

Agradecimientos

Al proyecto Europeo de Cooperación del VII Programa Marco: *SIRRIMED (Sustainable use of IRRigation water in the MEDiterranean region)*.

A D. José Manuel Claver, presidente del Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo Segura, por su ayuda, asesoramiento, y colaboración.

A D. Francisco Sáez Sáez, presidente de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena. A D. Manuel Martínez Madrid secretario de esta entidad, así como a su junta de gobierno, personal y regantes.

A los presidentes, juntas de gobierno, personal y regantes de la Comunidad de Regantes de Lorca, Comunidad de Regantes del Trasvase Tajo Segura Calasparra-Cieza, Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva, y a la Comunidad de Regantes de Miraflores.

A todos aquellos grandes profesionales de diferentes organismos (Consejería de Agricultura y Agua, Sociedad Estatal de Infraestructuras Agrarias, Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Confederación Hidrográfica del Segura, Instituto Geológico y Minero de España, Entidad de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia, Universidad de Murcia, Universidad Politécnica de Cartagena, Universidad Miguel Hernández, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo Segura, Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena, Comunidad de Regantes de Lorca, Comunidad de Regantes del Trasvase Tajo Segura Calasparra-Cieza, Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva, Comunidad de Regantes de Miraflores, ARADA, Intecsa-Inarsa,...) que han colaborado de manera totalmente desinteresada, y que no hemos nombrado por no hacer interminable este documento.

Índice

Capítulo I. Introducción	19
1.1. Retos actuales del regadío y futuras perspectivas	19
1.2. La modernización de regadíos en España	21
1.3. Consumo y coste energético del regadío	24
1.4. Indicadores de gestión y técnicas de benchmarking	28
1.5. Ámbito del estudio	29
1.6. Objetivos y estructura del estudio	32
Capítulo II. La agricultura de regadío en la Región de Murcia	37
2.1. Antecedentes históricos	37
2.2. Distribución y situación actual	39
2.3. Importancia del regadío en la demanda hídrica	43
2.4. Recursos hídricos disponibles	46
2.5. Escasez de agua y déficit estructural	52
2.6. El proceso de modernización	55
2.7. Problemática medioambiental del regadío	58
Capítulo III. Las comunidades de regantes y su rol en la gestión del regadío	61
3.1. Antecedentes y base legal	61
3.2. Importancia y régimen de funcionamiento	63
3.3. Principales asociaciones	65
3.4. Sistemas de gestión y estado tecnológico	66
3.5. Aplicaciones del sistema de gestión	70
3.6. Necesidades de automatización y telecontrol en redes de riego	74
3.7. Telecontrol de redes de riego	81

Capítulo IV. Comunidades de regantes objeto del estudio	85
4.1. Justificación de las zonas regables seleccionadas	85
4.2. Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC)	86
4.3. Comunidad de Regantes de Lorca (CRLO)	90
4.4. Comunidad de Regantes Trasvase Tajo Segura Calasparra-Cieza (CRTCC)	93
4.5. Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva (CRPC)	95
4.6. Comunidad de Regantes de Miraflores (CRM)	97
4.7. Adquisición y tratamiento de datos	100
Capítulo V. Benchmarking e indicadores de gestión	105
5.1. El proceso de benchmarking y su aplicación al regadío	105
5.2. Antecedentes de la aplicación del benchmarking en regadíos	109
5.3. Indicadores de gestión	111
5.4. Indicadores de gestión seleccionados en este estudio	113
5.5. Propuesta de nuevos indicadores (ARIS ₀ y ARIS _r)	118
5.6. Indicadores de gestión de otros estudios previos	122
Capítulo VI. Caracterización de las comunidades de regantes seleccionadas	125
6.1. Ámbito y metodología del estudio	125
6.2. Indicadores de rendimiento	128
6.3. Indicadores financieros	130
6.4. Indicadores de eficiencia de producción	135
6.5. Discusión y conclusiones	137
Capítulo VII. Efectos de la escasez de agua en las comunidades de regantes	143
7.1. Ámbito y metodología del estudio	143
7.2. Sensibilidad de los indicadores de rendimiento	147
7.3. Sensibilidad de los Indicadores financieros	150
7.4. Sensibilidad de los Indicadores de eficiencia de producción	155
7.5. Discusión y conclusiones	157

Capítulo VIII. Estrategias adaptativas de la gestión del agua en parcela en situaciones de sequía 159

8.1. Ámbito y metodología del estudio	159
8.2. Resultados globales	163
8.3. Cultivos hortícolas de invierno	166
8.4. Cultivos hortícolas de verano	168
8.5. Cultivos hortícolas anuales	169
8.6. Cultivos de invernadero	171
8.7. Cítricos	172
8.8. Sostenibilidad de las estrategias	174
8.9. Discusión y conclusiones	175

Capítulo IX. Efectos de la modernización en las comunidades de regantes 179

9.1. Ámbito y metodología del estudio	179
9.2. Sistema de gestión	183
9.3. Efecto sobre los indicadores de gestión	187
9.4. Efectos sobre la gestión y el servicio de la CRCC	190
9.5. Adaptación de los agricultores a las TICs	193
9.6. Discusión y conclusiones	195

Capítulo X. Consumo de energía en el regadío 199

10.1. Ámbito y metodología del estudio	199
10.2. Escalas de gestión	202
10.3. Consumo de energía por escalas de gestión	207
10.4. Relación entre el consumo de energía y agua	212
10.5. Efectos de la modernización en los indicadores energéticos	217
10.6. Discusión y conclusiones	218

Capítulo XI. Caracterización de emisiones de gases de efecto invernadero. Análisis de escenarios alternativos de suministro hídrico	223
11.1. Ámbito y metodología del estudio	223
11.2. Escenarios propuestos	229
11.3. Caracterización del consumo energético por cultivo	233
11.4. Caracterización de las emisiones de GEI por cultivo	240
11.5. Análisis de los escenarios propuestos	242
11.6. Discusión y conclusiones	245
Capítulo XII. Síntesis y perspectivas	247
Bibliografía	253

Lista de los símbolos principales y acrónimos

AMOPA	Asociación Murciana de Organizaciones de Productores Agrarios
ANCID	Australian National Committee on Irrigation and Drainage
ARIS	Aporte relativo de agua de riego
ARIS ₀	ARIS de referencia
ARIS _r	ARIS relativo
ARWS	Aporte relativo de agua suministrada
CARM	Comunidad Autónoma de la Región de Murcia
CCRR	Comunidad de regantes
CE	Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)
CE _w	Conductividad eléctrica del agua de riego (dS m ⁻¹)
CEN	Costes energéticos (€)
CENSr	Coste energético por unidad de área regada (€ ha ⁻¹)
CENVs	Coste energético por unidad de agua de riego suministrada (€ m ⁻³)
CHS	Confederación Hidrográfica del Segura
CM	Costes mantenimiento (€)
CMS	Costes de manejo del sistema (€)
CMSr	Costes mantenimiento por unidad de área regada (€ ha ⁻¹)
CMSSr	Costes de manejo del sistema por unidad de área regada (€ ha ⁻¹)
CMSVs	Costes de manejo del sistema por unidad de agua de riego suministrada (€ m ⁻³)
CMVs	Costes mantenimiento por unidad de agua de riego suministrada (€ m ⁻³)
CP	Costes personal (€)
CPSr	Costes personal por unidad de área regada (€ ha ⁻¹)
CPVs	Costes personal por unidad de agua de riego suministrada (€ m ⁻³)
CRCC	Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena
CRLO	Comunidad de Regantes de Lorca
CRM	Comunidad de Regantes de Miraflores
CRPC	Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva
CRTCC	Comunidad de Regantes del Trasvase Tajo Segura Calasparra-Cieza
D _g	Necesidades brutas de riego de los cultivos (m ³ ha ⁻¹)
D _n	Necesidades netas de riego de los cultivos (m ³ ha ⁻¹)
Eac	Energía activa consumida (kWh)
EacSr	Energía activa consumida por unidad de superficie regada (kWh ha ⁻¹)

EacVs	Energía específica (kWh m ⁻³)
Ear	Energía reactiva consumida (Var)
EarSr	Energía reactiva consumida por unidad de superficie regada (VAR ha ⁻¹)
EarVs	Energía reactiva consumida por unidad de volumen suministrado (VAR m ⁻³)
ED	Eficiencia de distribución (%)
EEic	Eficiencia energética por cultivo (-)
EgeiP	Emisiones de gases de efecto invernadero por cultivo (kg CO _{2eq} kg ⁻¹)
EgeiSr	Emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de superficie regada (kg CO _{2eq} ha ⁻¹)
EicP	Energía específica por cultivo (MJ kg ⁻¹)
ESAMUR	Entidad de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia
ETo	Evapotranspiración del cultivo de referencia (m ³)
ETc	Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (m ³)
EU	Uniformidad de emisión del sistema de riego (-)
FAO	Food and Agricultural Organisation
FEOGA	Fondo Europeo de Orientación y Garantía Agrícola
GEI	Gases de efecto invernadero
GG	Gastos generales del sistema (€)
GGSr	Gastos generales del sistema por unidad de área regada (€ ha ⁻¹)
GGVs	Gastos generales del sistema por unidad de agua de riego suministrada (€ m ⁻³)
GIS	Sistemas de información geográfica
Gw	Volumen aguas subterráneas (m ³)
ICID	International Commission on Irrigation and Drainage
IDAE	Instituto para Diversificación y Ahorro de la Energía
IGF	Índice General De Fiabilidad (-)
Ing	Ingresos (€)
Inv	Inversiones (€)
IPC	Índice de Precios de Consumo
IPTRID	International Program for Technology and Research in Irrigation and Drainage
ITRC	Irrigation Training and Research Center
IWA	Agua de riego aplicada a los cultivos por unidad de área regada (m ³ ha ⁻¹)

IWMI	International Water Management Institute
Kc	Coeficiente del cultivo
LR _t	Fracción de lavado
maxCE _e	Valor máximo del extracto de saturación del suelo (dS m ⁻¹)
MB	Margen bruto (€)
MBETc	Margen bruto por unidad de agua demandada por los cultivos (€ m ⁻³)
MBSr	Margen bruto por unidad de superficie regada (€ ha ⁻¹)
MBVs	Margen bruto por unidad de agua de riego suministrada (€ m ⁻³)
Nb	Necesidades brutas de agua de riego (m ³)
Nc	Potencia Contratada (kW)
NcSr	Potencia Contratada por unidad de área regada (kW ha ⁻¹)
NP	Número de trabajadores
OCA	Oficinas Comarcales Agrarias
O.M.	Orden Ministerial
PA	Precio del agua (€ m ⁻³)
PCH	Plan de Choque de Modernización de Regadíos
Pef	Precipitación efectiva (m ³)
PEic	Productividad energética por cultivo (kg MJ ⁻¹)
PHCS	Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura
PNR	Plan Nacional de Regadíos
RAS	Relación de adsorción del sodio (mmol l ⁻¹)
Rb	Retornos brutos (€)
RC	Recuperación de Costes (%)
RTU	Unidad de terminal remoto
Sa	Superficie regable (ha)
SCADA	Sistemas de supervisión y adquisición de datos
SCRATS	Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura
Sg	Garantía de suministro (%)
Sr	Superficie regada (ha)
SrNP	Superficie regada por trabajador (ha empleado ⁻¹)
SrSa	Intensidad de cultivo (%)
SrS _T	Intensidad cultivo (%)
SSD	Sistemas de soporte a la decisión
TICs	Tecnologías de la información y la comunicación
T _R	Relación de transpiración
UDA	Unidad de demanda agraria

UFN	Unidad de fertilizante de nitrógeno (UF)
UFNSr	Unidad de fertilizante de nitrógeno por unidad de superficie regada (UF ha ⁻¹)
UFNVs	Unidad de fertilizante de nitrógeno por unidad de agua suministrada (UF m ⁻³)
VP	Valor producción agrícola (€)
VPETc	Valor producción agrícola por unidad de agua demandada por los cultivos (€ m ⁻³)
VPSr	Valor producción agrícola por unidad de superficie regada (€ ha ⁻¹)
VPVs	Valor producción agrícola por unidad de agua de riego suministrada (€ m ⁻³)
Vi	Volumen total de agua de riego aplicada en parcela (m ⁻³)
Vr	Volumen total correspondiente a las concesiones (m ⁻³)
Vs	Volumen suministrado (m ⁻³)
VsSr	Suministro de agua por unidad de área regada (m ³ ha ⁻¹)
VT	Volumen de agua que entra al sistema de la CCRR (m ⁻³)
VTT	Volumen total que entra a la zona regable (m ⁻³)
WAP	Wireless Application Protocol
WMS	Servidor Web Map Server
WP _{GM}	Margen bruto por unidad de agua de riego aplicada (€ m ⁻³)
WP _{VP}	Valor producción agrícola por unidad de agua de riego aplicada (€ m ⁻³)
WP _Y	Rendimiento de los cultivos por unidad de agua de riego aplicada (kg m ⁻³)
σ	Desviación estándar

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

M. Soto García, V. Martínez Álvarez, B. Martín Górriz

El agua es esencial para la vida, para un desarrollo socioeconómico óptimo y para el medio ambiente (Al-Ismaily y Probert, 1998; Molina *et al.*, 2009; Rasouliazar, 2011). Sin embargo, poder satisfacer la demanda hídrica existente y garantizar su calidad se ha convertido en un problema mundial debido a que se trata de un recurso limitado y su consumo se duplica cada 20 años (Clothier, 2008; Pedrero *et al.*, 2010).

1.1. RETOS ACTUALES DEL REGADÍO Y FUTURAS PERSPECTIVAS

Históricamente el agua ha sido el catalizador más importante para el desarrollo humano, prueba de ello es que diversas civilizaciones de la antigüedad se desarrollaron en los valles de los grandes ríos, como el Tigris y Éufrates, el Nilo, el Indo y el Hwang Ho (Grindlay *et al.*, 2011).

En la actualidad los recursos hídricos se encuentran bajo una fuerte presión debido a causas como el crecimiento demográfico mundial, el aumento de la clase media en los países en desarrollo, el cambio climático y la competencia por estos recursos entre los diversos sectores: la agricultura, el abastecimiento de la población, la producción de energía, la industria, el turismo y el medioambiente (Romero *et al.*, 2012). Esta competencia está provocando una mayor competitividad entre países y regiones por los recursos hídricos disponibles, afectando incluso al desarrollo de muchos de ellos (Moreno-Pérez y Roldán-Cañas, 2013).

A nivel mundial el sector agrícola es el mayor consumidor de agua dulce, ya que emplea un 70% del total. En este sentido es importante reseñar que la agricultura de regadío desempeña un papel esencial en la producción mundial de alimentos, dado que produce el 40% de los mismos con menos de un 20% de las tierras cultivadas, siendo un reto importante

para las próximas décadas garantizar la seguridad alimentaria para una población creciente. Hay que tener en cuenta que a escala mundial los cultivos de regadío presentan un rendimiento de aproximadamente 2,7 veces superior a los de secano. Por lo tanto, en el futuro el regadío deberá seguir desempeñando e incluso incrementar su importancia en la producción de alimentos (Zwart *et al.*, 2010; WWAP, 2012).

La superficie regable en el mundo ha pasado de 170 millones de hectáreas en 1970 a 304 millones de hectáreas en 2008, y tiene posibilidades de seguir creciendo, sobre todo en el África Subsahariana y América del Sur (WWAP, 2012). A nivel regional, se pueden observar grandes diferencias, mientras que en el Norte de África la superficie regada representa aproximadamente el 30% del total de las tierras cultivables, en Europa esta proporción no es mayor de un 7% (Schaldach *et al.*, 2012). Respecto a España, la superficie de regadío fue de 3.473.474 ha en 2011, un 20% de la tierra cultivada (ESYRCE, 2011), presentando un consumo del 78% del agua disponible (INE, 2013). En la gestión del regadío español juegan un papel muy importante las comunidades de regantes (CCRRs), dado que distribuyen el agua al 70% de la superficie regable (Berbel *et al.*, 2007).

Para mejorar la gestión y la eficiencia del uso del agua en el regadío, la administración española ha promovido la modernización generalizada de las zonas regables (Playán y Mateos, 2006; Plusquellec, 2009). Estos procesos se han caracterizado principalmente por la sustitución de los sistemas tradicionales de riego por gravedad por sistemas presurizados, y por la incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) en la gestión de las CCRRs. Aunque la modernización ha reducido considerablemente la cantidad de agua consumida por unidad de superficie, ha supuesto un aumento notable del consumo energético debido a la sustitución de los sistemas tradicionales de riego por gravedad por riego presurizado (Jackson *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2011a; Abadía *et al.*, 2012). Por otra parte, diversos autores (Sánchez-Moreno *et al.*, 2011; Martínez-Fernández *et al.*, 2013) defienden el regadío tradicional por considerar que: (a) promueve la conservación y uso sostenible del suelo,

(b) mantiene una alta diversidad biológica, y (c) garantiza la agrobiodiversidad.

Además, algunos sectores de la opinión pública están cuestionando el papel actual de la agricultura de regadío por ser el mayor consumidor de agua, exigiendo que se aumente el caudal ecológico en los ríos y que se preserve para otros sectores, para reducir de esta manera la presión sobre los sistemas acuáticos (López-Gunn *et al.*, 2012). Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la agricultura de regadío juega un papel trascendental para la provisión de alimentos, y es también muy importante desde otros puntos de vista como el socioeconómico, el desarrollo rural, el paisajístico o la biodiversidad (Castañón, 2009; De Stefano y Llamas, 2013).

En este contexto, el regadío se enfrenta a los siguientes retos: (a) aumentar la producción de alimentos; (b) reducir el consumo de agua, gestionando de una manera conjunta y más eficiente los recursos hídricos y energéticos para asegurar la conservación del medio ambiente; y (c) garantizar la cantidad y calidad del agua para las generaciones venideras (García-Vila y Fereres, 2012; Huang *et al.*, 2012; Jacobsen *et al.*, 2012).

De todo lo expuesto se desprende la necesidad de mejorar el manejo del agua en el regadío con la aplicación de nuevas herramientas en su gestión. Una de estas técnicas es el benchmarking (Malano y Burton, 2001; Rodríguez *et al.*, 2008; Córcoles *et al.*, 2010).

1.2. LA MODERNIZACIÓN DE REGADÍOS EN ESPAÑA

La FAO (1997) define la modernización de los regadíos como "*un proceso de mejora técnica y de gestión (en oposición a la mera rehabilitación) de los sistemas de riego con el objetivo de mejorar la utilización de los recursos (mano de obra, agua, economía, medio ambiente) y el suministro del agua a las explotaciones agrícolas*".

La Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre, conocida como Directiva Marco del Agua, incluye criterios medioambientales en la gestión y regulación de los recursos hídricos, la

protección de los mismos ante la contaminación, así como la conservación del medioambiente y de la biodiversidad. La Directiva Marco del Agua establece un marco comunitario de protección y gestión de las masas de agua y fija el año 2015 como fecha para alcanzar el objetivo de conseguir un buen estado ecológico de las mismas. La política española en el ámbito del regadío se adecuó a estas normas y le dio un nuevo enfoque al Plan Nacional de Regadíos (PNR), más en consonancia con las nuevas sensibilidades sociales y ambientales.

Por estos motivos a principios del siglo XXI se impulsa una nueva orientación en la gestión del agua, basada en la garantía de su disponibilidad y calidad, en su gestión eficiente y sostenible, en la potenciación de la regeneración y reutilización, en la obtención de nuevos recursos, en la modernización de regadíos, y en el fomento de la investigación y la incorporación de las nuevas tecnologías. Para aplicar estas nuevas políticas, la administración española ha llevado a cabo las siguientes acciones de planificación en el regadío durante la última década:

- El PNR Horizonte 2008 (MAGRAMA, 2013) cuyo objetivo principal es: *“racionalizar el uso del agua en todas las zonas regables españolas, nuevas o antiguas, armonizando los objetivos de la política del agua con la mejora en las condiciones de vida de los regantes, el desarrollo rural y el aumento de su competitividad en los mercados agrarios”*.
- Plan de Choque (PCH) de Modernización de Regadíos 2006-2008 (MAGRAMA, 2013) destinado a: *“garantizar una mejor gestión de los recursos hídricos y a paliar los daños producidos por la sequía padecida en los años 2004 y 2005. Este Plan, refuerzo del PNR, consiguió la mejora y consolidación de una superficie de 866.898 hectáreas y supuso un ahorro anual de 1.162 hm³ en el consumo de agua”*.
- La Estrategia Nacional para la Modernización Sostenible de los Regadíos Horizonte 2015 (MAGRAMA, 2013) cuyos objetivos son: *“el ahorro de agua, la transferencia de tecnología, el fomento de la utilización de recursos hídricos alternativos, la eficiencia*

energética, la mejora de la renta agraria, la creación de puestos de trabajo adicionales y, en general, el fomento de la sostenibilidad del regadío español”.

La mejora y consolidación de los regadíos afectados por estas actuaciones, en el ámbito del PNR y del PCH representa casi el 90% de la superficie total contemplada en la planificación, y una inversión de más del 80% del total, reflejados en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Actuaciones en el ámbito del PNR y PCH (MAGRAMA, 2013).

	Ejecución PNR y PCH: Periodo 2000-2008			
	Superficie ejecutada		Inversión comprometida	
	(ha)	(%)	(€)	(%)
Mejora y consolidación	895.097	88,8	2.463.652.691	84,1
Regadíos en ejecución	103.836	10,3	355.495.755	12,1
Regadíos sociales	3.429	0,3	19.957.404	0,7
Regadíos privados	6.196	0,6	22.996.998	0,8
Programas de apoyo	-	-	67.394.720	2,3
Total	1.008.558	100	2.929.497.568	100

Estas actuaciones distribuidas por todo el territorio nacional han consistido principalmente en la modernización de infraestructuras de transporte y distribución del agua de riego, así como en los sistemas de aplicación de agua en parcela. De esta forma los esfuerzos de la planificación se han destinado principalmente a la sustitución de las redes de conducciones abiertas por tuberías a presión, con el fin de disminuir las pérdidas en los sistemas de distribución y conseguir un ahorro de agua. También se han implantado las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) en la gestión del regadío (MAGRAMA, 2013).

Algunos estudios han analizado la situación antes y después de los procesos de modernización. Por ejemplo, los efectos de la modernización son evaluados por Rodríguez *et al.* (2011a) en una CCRR típica de Andalucía, llegando a las siguientes conclusiones: (a) la cantidad de agua destinada para el riego de las parcelas se redujo; (b) los costes de operación y mantenimiento del sistema aumentaron considerablemente; y

(c) la energía requerida para bombear el agua a la red de presión es muy superior en comparación con la situación anterior.

1.3. CONSUMO Y COSTE ENERGÉTICO DEL REGADÍO

Tanto el agua como la energía son insumos necesarios para cualquier desarrollo social y económico. Un aumento de las actividades agrícolas e industriales lleva asociado un aumento de la demanda de agua y energía (Jebaraj e Iniyan, 2006). Existe una fuerte interrelación entre el agua y la energía. La energía es consumida en muchos procesos relacionados con el uso del agua: (a) en la captación (aguas superficiales y subterráneas); (b) en el transporte y distribución (uso urbano, industrial y agrícola); y (c) en el tratamiento (potabilización, depuración, y desalinización). Por otro lado son muchos los procesos para producir energía que consumen agua. Además de la producción directa de energía en las centrales hidroeléctricas, también se emplea para la refrigeración de las centrales nucleares, de gas, carbón o fuel, y de las plantas termosolares. Esta interrelación se suele denominar como el "*nexo agua-energía*", y cada vez es más considerada durante los procesos de planificación (Siddiqi y Díaz, 2011; Hardy *et al.*, 2012). Esta constatación de que ambos sectores deben planificarse de manera conjunta y coordinada es muy reciente (Hardy y Garrido, 2010).

La racionalización conjunta del uso del agua y de la energía está ligada al cambio climático, el ahorro de agua implica ahorro de energía y, por tanto, minimiza la emisión de gases de efecto invernadero (Cabrera, 2011). Dado que la agricultura consume a nivel mundial el 70% del agua dulce, el uso sostenible de los recursos hídricos y energéticos en el sector agrícola debe ser prioritario, con una gestión eficiente de los sistemas de riego, consiguiendo de esta manera minimizar los problemas ambientales (Kim y Evans, 2009; Kizilaslan, 2009; WWAP, 2012).

En España el 7% del consumo eléctrico estaba relacionado con el uso del agua en 2007 (Hardy y Garrido, 2010), siendo el regadío uno de los sectores que ha experimentado un aumento considerable del consumo

energético en los últimos años (Carrillo-Cobo *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2011b; Abadía *et al.*, 2012). Hardy y Garrido (2010) estiman que el riego en España tiene un consumo de energía que varía entre 0,28 kWh m⁻³, cuando solo se considera el gasto de energía en la captación y distribución, y 0,34 kWh m⁻³ cuando se tienen en cuenta el tratamiento y transporte. Las variaciones de consumo energético son amplias: un sistema de riego por gravedad y con agua superficial tendrá un consumo energético del orden de 0,02 kWh m⁻³, mientras que localizado y con aguas subterráneas tendrá un consumo energético del orden de 0,68 kWh m⁻³.

La modernización de los regadíos, en la mayoría de CCRRs, ha supuesto un aumento del consumo energético, siendo por tanto necesario maximizar la eficiencia en el manejo del agua y la energía (Rodríguez *et al.*, 2011a). En España Corominas (2009) indicó que mientras el consumo de agua por hectárea se ha reducido de 8.250 m³ ha⁻¹ a 6.500 m³ ha⁻¹ (21%) entre 1950 y 2007, la demanda de energía ha aumentado de 206 kWh ha⁻¹ a 1.560 kWh ha⁻¹ (657%). Debido a este aumento del consumo de energía en las redes colectivas de riego, se está realizando un gran esfuerzo en España por parte de la Administración, centros de investigación, universidades y desde las asociaciones de CCRRs con el objetivo de reducir el consumo energético en el regadío:

- El Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética propone las auditorías energéticas en las CCRRs. El objetivo general de una auditoría energética es evaluar el consumo energético en la CCRR y proponer medidas que le supongan un incremento de la eficiencia energética, y por tanto, un ahorro energético y económico. Desde la publicación por parte del Instituto para Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) del Protocolo de Auditorías Energéticas en Comunidades de Regantes (Abadía *et al.*, 2008a), se han realizado numerosas auditorías en distintas zonas regables de España (Abadía *et al.*, 2010; Moreno *et al.*, 2010a). De forma complementaria a las auditorías energéticas, se está llevando a cabo un proceso de formación e información dirigido a técnicos y agricultores,

destacando las guías: Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío (IDAE, 2005) y Ahorro y Eficiencia Energética en Comunidades de Regantes (Rocamora *et al.*, 2008).

- Los centros de investigación y universidades han publicado numerosos estudios y metodologías, cuya aplicación puede permitir alcanzar ahorros superiores al 20%. Destacan las siguientes: (a) cálculo de la eficiencia global energética del sistema, considerando el funcionamiento de los grupos de bombeo y la distribución espacial de la red de distribución (Abadía *et al.*, 2008b; Abadía *et al.*, 2012); (b) empleo de software específico como Epanet 2.0 (Rossman, 2000) en el análisis de los requerimientos de energía de una red de riego presurizada a la demanda (Rodríguez *et al.*, 2009); (c) agrupamiento de tomas de riego en redes presurizadas reguladas por grupos de bombeo (Jiménez-Bello *et al.*, 2010; Jiménez-Bello *et al.*, 2011); y (d) programación y sectorización de sistemas de distribución por turnos (Carrillo-Cobo *et al.* 2011).
- Desde la Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España se está potenciado el ahorro y la eficiencia energética en el regadío. Destaca el curso de gestor energético en CRRs, realizado en colaboración con el IDAE, la Universidad Miguel Hernández y una empresa de ingeniería.

El incremento del consumo de energía en el regadío ha provocado que el coste energético sea uno de sus mayores problemas. Esta problemática se ha agravado con el incremento en un 120% de las tarifas de energía para el riego en España entre 2008 y 2010 (Rodríguez *et al.*, 2011a). Debido a la liberalización del mercado eléctrico español en 2008, cuando las tarifas especiales para riego desaparecieron, el regadío pasó a utilizar las mismas tarifas que el resto de sectores. Este hecho le ha perjudicado considerablemente, dado que durante los meses de junio y julio, cuando la demanda de riego es mayor, la mayoría de las horas de

funcionamiento se incluyen en el período tarifario más caro (Carrillo-Cobo *et al.*, 2010). Otro factor que le perjudica es que tiene que contratar la máxima potencia que necesita en los meses de máxima demanda para todo el año, cuando en muchas CCRRs hay periodos de varios meses donde no riegan, está problemática se agravó en agosto de 2013 con el aumento de los costes del término de potencia, que ha provocando un incremento considerable de los costes fijos (término de potencia) de la factura eléctrica. Eterra y Murugarren (2010) indican que se ha producido un incremento medio del 82% en el coste energético entre 2005 y 2009 en CCRRs modernizadas en Navarra.

Moreno *et al.* (2010a) concluyen, después de analizar las medidas de ahorro de energía para 15 CCRRs, que el ahorro económico estimado puede ser mayor que el ahorro de energía, debido principalmente a la contratación óptima de las tarifas eléctricas. Bescós *et al.* (2008) indican que el hecho de diseñar las redes de riego a la demanda utilizando las horas punta con el objeto de reducir la potencia instalada y por tanto el coste del término de potencia, no compensa la penalización del 70% en el término de energía que supone el utilizar las horas más caras en cuanto al término de energía. Por otro lado Pulido *et al.* (2006) llegan a la conclusión que la presencia de un depósito de regulación en un sistema de impulsión permite independizar los caudales bombeados de la variabilidad del uso del agua en la red de distribución. De este modo el depósito permite la reducción de los costes energéticos, al poder adaptar el funcionamiento de los grupos de bombeo al tipo de discriminación horaria de las tarifas eléctricas, y al poder conseguir un funcionamiento más regular de las estaciones de bombeo en comparación con la impulsión directa a la red de distribución, aunque esta última opción sea más eficiente desde un punto de vista energético.

El seguimiento de las instalaciones también es importante para conseguir una disminución de los costes energéticos, dado que una desviación de las condiciones óptimas de manejo puede producir un aumento del consumo de energía. Este incremento en el consumo rara vez se conoce debido a la falta de control en muchas CCRRs (Luc *et al.*, 2006).

También se aumenta el ahorro con un mantenimiento apropiado y el uso de variadores de frecuencia (Lamaddalena y Khila, 2012).

Por lo tanto el coste energético de las CCRRs va a depender del tipo de tarifa contratada, el diseño, el manejo y estado de las infraestructuras para la distribución del agua. De ahí la importancia de realizar auditorías energéticas en las CCRRs y llevar un seguimiento permanente de las instalaciones mediante indicadores energéticos.

1.4. INDICADORES DE GESTIÓN Y TÉCNICAS DE BENCHMARKING

El uso de la técnica de benchmarking tiene su origen en la actividad empresarial. Se trata de una herramienta para mejorar los procesos y la excelencia de una organización, que emplea la experiencia adquirida en el estudio de otras organizaciones o procesos similares (Gurutze y Ochoa, 2005).

El Centro de Calidad y Productividad Americano (APQC, 2006) define el benchmarking como *“el proceso de identificar y aprender a partir de las mejores prácticas en cualquier parte del mundo, es una herramienta poderosa en la búsqueda de una mejora continua y de avances importantes”*. Por todo ello se puede considerar que el objetivo principal del benchmarking es una mejora continua de la organización a lo largo del tiempo.

La aplicación de las técnicas de benchmarking para mejorar el funcionamiento del regadío es un fenómeno relativamente reciente (Malano y Burton, 2001; Cakmak *et al.*, 2004; Ghazalli, 2004; Jayatillake, 2004; Borgia *et al.*, 2013), siendo una herramienta muy útil para optimizar el uso del agua y la energía en este sector (Malano *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2008; Córcoles *et al.*, 2010).

El objetivo principal de las técnicas de benchmarking es la mejora de la CCRR analizada mediante la comparación de su funcionamiento actual con el de otras CCRRs, o con ella misma a lo largo del tiempo. De esta manera, es posible determinar qué prácticas conducen al mejor

aprovechamiento y, posteriormente, adaptar estas prácticas a las CCRRs que sean menos eficientes.

El análisis de indicadores de gestión es la principal herramienta del benchmarking. Estos indicadores se obtienen a partir de la combinación de una o varias variables primarias, generalmente disponibles en las CCRRs, con el fin de describir las características principales de las zonas regables estudiadas. La interpretación de los valores obtenidos para cada indicador permite realizar el diagnóstico de una situación, a partir del cual se podrá realizar la toma de decisiones. Este método de comparación de indicadores de gestión ha sido empleado en numerosos trabajos y para distintas zonas regables situadas en diferentes partes del mundo (Melián-Navarro *et al.*, 2010), pero muy pocos investigadores lo han empleado para analizar periodos prolongados. Los indicadores de gestión se han utilizado en este estudio para caracterizar y analizar los regadíos en la Región de Murcia. Los indicadores empleados se basan en la propuesta del “*International Program for Technology and Research on Irrigation and Drainage*” IPTRID (Malano y Burton, 2001), considerando también indicadores adicionales propuestos por autores que han aplicado previamente técnicas de benchmarking en España (Rodríguez, 2003; Córcoles, 2009; Abadía *et al.*, 2010). Los factores que se consideran en la definición de los indicadores son los relacionados con los flujos económicos, la producción agrícola, el medioambiente, el uso del agua y la energía. Los indicadores empleados se han agrupado en cinco grupos: de rendimiento, financieros, de eficiencia de producción, energéticos y ambientales.

1.5. ÁMBITO DEL ESTUDIO

La Región de Murcia sufre en las últimas décadas una escasez estructural de recursos hídricos, resultado de su régimen climático semiárido y del crecimiento de la demanda de agua para la agricultura y otros sectores de gran importancia económica como el turismo. La gran variabilidad climática produce además frecuentes y prolongados periodos de sequía. También presenta grandes riesgos de desertificación por sus

bajas precipitaciones anuales, la torrencialidad de las mismas y el empleo de agua de riego con alta salinidad (Pérez-Sirvent *et al.*, 2003; Acosta *et al.*, 2011).

Esta escasez de agua en la Región de Murcia es un aspecto muy relevante a la hora de garantizar el futuro de la agricultura de regadío, dado que suele ser el primer sector al que se le aplican restricciones en el suministro de agua en los periodos de escasez (García-Vila y Fereres, 2012).

El sector agrícola es un pilar fundamental de la economía de la Región de Murcia. El valor de las exportaciones debidas a este sector fueron de 3.007 M€ en 2011, representando el 55% del total. La producción vegetal contribuyó de forma exclusiva con 1.852 M€ (ECONET, 2013). Respecto a la población empleada directamente en el sector agrario, ésta fue de 76.100 personas en 2011, lo que representó el 13,8% de la población activa ocupada (CARM, 2013).

En el año 2011 la superficie total de las tierras cultivadas en la Región de Murcia fue de 550.948 ha, de esta superficie 187.064 ha fueron de regadío, lo que representó el 34% (CARM, 2013). Por otro lado, el volumen de agua consumido por el regadío en 2011 fue de 575 hm³, representado un 81% del consumo total (INE, 2013). Los cuatro tipos de regadíos característicos que nos podemos encontrar en esta región según Alcón (2007) son: (a) los tradicionales, legalizaciones y ampliaciones de las Vegas del Segura; (b) los creados o redotados con aguas procedentes del Trasvase Tajo-Segura; (c) los que se abastecen con aguas subterráneas; y (d) los abastecidos con la reutilización o desalinización.

Los recursos hídricos de la Región de Murcia dependen de los disponibles en la Cuenca del Segura en cada momento, dado que el 99% de su superficie se encuentra ubicada en la misma. A pesar de las limitaciones en los recursos hídricos, el regadío de esta cuenca es muy rentable, generando un margen neto de 879 M€ año⁻¹ (Calatrava y Martínez-Granados, 2012).

Actualmente existe un déficit estructural de agua en la cuenca de $460 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$, dado que sus recursos no son suficientes para satisfacer la demanda estimada. Los recursos hídricos de la cuenca provienen de diferentes fuentes:

- *Superficiales*. La estimación total de recursos superficiales de la Cuenca del Segura es de $640 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$ (CHS, 2013), pero la disponibilidad de este tipo de recursos sufre gran variabilidad a lo largo del tiempo.
- *Aguas subterráneas*. Muchos de los acuíferos se encuentran sobreexplotados (Molina *et al.*, 2011), con unos consumos de aguas subterráneas medios anuales de 570 hm^3 en la cuenca para el periodo 1980-2009, según estimaciones de la Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua y del Instituto Geológico y Minero de España.
- *Trasvase Tajo-Segura*. La puesta en marcha de este trasvase en 1979 permitió convertir a la Región de Murcia en una de las zonas de mayor producción de hortalizas de Europa (Martínez-Carrasco y Martínez, 2011). El volumen anual asignado para riego agrícola del Trasvase Tajo-Segura es de 400 hm^3 , pero en la práctica el valor medio anual ha sido de 196 hm^3 (CHS, 2013), apenas la mitad del volumen previsto.
- *Desalinización*. Desde la administración, la desalinización se ha planteado en los últimos años como una alternativa para aumentar los recursos hídricos de la Cuenca del Segura, siendo una de las principales actuaciones el Programa AGUA (Maestre-Valero, 2011). Por otro lado, existen agricultores que, para garantizar la disponibilidad de agua, han instalado pequeñas plantas desalobradoras en sus explotaciones agrícolas (Soto-García *et al.*, 2013a).
- *Reutilización*. Los volúmenes de agua depurados durante el periodo 2002-11 en la Región de Murcia han tenido un valor anual medio de 103 hm^3 (ESAMUR, 2013).

1.6. OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DEL ESTUDIO

Este trabajo de investigación se ha desarrollado en el marco del proyecto europeo *SIRRIMED*, “*Sustainable use of IRRigation water in the MEDiterranean region*” (SIRRIMED, 2013), en el que han participado grupos de investigación de 9 países (Egipto, España, Francia, Gran Bretaña, Grecia, Holanda, Italia, El Líbano y Marruecos). En concreto se enmarca dentro del *Workpackage nº 3 “Caracterización de las zonas regables y evaluación comparativa”*. El objetivo de este *Workpackage* ha sido evaluar y comparar, mediante la aplicación de técnicas de benchmarking, las zonas regables seleccionadas de los diferentes países participantes, para así proponer las mejores prácticas de gestión.

En nuestro caso se han seleccionado cinco CCRRs de la Región de Murcia, con una superficie total de 71.954 ha, lo que representó el 38,5% de la superficie regable regional en 2011. Por tanto, la muestra analizada se puede considerar suficientemente representativa del regadío de esta región.

El objetivo general del presente trabajo es “*la ampliación del conocimiento científico sobre el regadío Región de Murcia, estudiando su evolución mediante técnicas de benchmarking*”; incluyendo los siguientes objetivos específicos:

- I. Caracterizar los regadíos de la Región de Murcia mediante el empleo de los indicadores de gestión, el análisis de su evolución y la comparación con otros estudios previos. Se pretende aportar valores de referencia para los gestores de CCRRs o para futuros estudios.
- II. Estudiar, a escala CCRR, la sensibilidad de los indicadores de gestión a la escasez de agua.
- III. Analizar la relación entre la variación de los indicadores y las estrategias seguidas por los agricultores en parcela (riego deficitario, desalinización de aguas salobres, cambios en el patrón de cultivo, etc.) durante los periodos de sequía.

- IV. Estudiar los efectos de la modernización sobre las CCRRs, analizando el papel de las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) en la gestión moderna de estas organizaciones y la adaptación de los regantes a los nuevos servicios proporcionados por las mismas.
- V. Analizar la relación entre el consumo de agua y energía en las tres escalas de gestión del agua de riego: cuenca hidrográfica, CCRR y parcela o explotación.
- VI. Caracterizar el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debidas a las prácticas agrícolas en los principales cultivos, analizando el posible efecto de alternativas futuras de suministro para substituir la disminución de recursos hídricos prevista como consecuencia del cambio climático.

Para lograr estos objetivos, el presente estudio se ha estructurado en 12 capítulos. A continuación se presenta su contenido.

En los Capítulos II, III y V se realiza una síntesis del estado del conocimiento actual sobre: (a) los regadíos de la Región de Murcia, (b) las CCRRs, y (c) las técnicas de benchmarking aplicadas a la agricultura de regadío. En el Capítulo IV se describen las principales características de las cinco CCRRs seleccionadas durante el periodo de estudio 2002-11: Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC), Comunidad de Regantes de Lorca (CRLO), Comunidad de Regantes del Trasvase Tajo Segura Calasparra-Cieza (CRTCC), Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva (CRPC) y Comunidad de Regantes de Miraflores (CRM).

Los regadíos de la Región de Murcia se caracterizan en el Capítulo VI mediante el análisis de la evolución de numerosos indicadores de gestión y su comparación durante un periodo de diez años. Hasta la fecha ningún trabajo ha analizado las zonas regables de la Región de Murcia con profundidad mediante las técnicas de benchmarking, aunque esta técnica ya se había empleado previamente a otras regiones españolas (Rodríguez, 2003; Córcoles, 2009). Con este análisis se complementa el estudio de las áreas más importantes del regadío español mediante la técnica de

benchmarking, permitiendo la comparación con otras regiones y aportando valores de referencia a los gestores de las CCRRs o para futuros estudios.

En los Capítulos VII y VIII se evalúan los efectos de las restricciones en el suministro de agua sobre las zonas regables. Para ello en el Capítulo VII se analiza la sensibilidad de los indicadores de gestión de las cinco CCRRs seleccionadas a la escasez de agua, y en el Capítulo VIII se estudia las estrategias seguidas por los agricultores en parcela (riego deficitario, desalinización de aguas salobres, cambios en el patrón de cultivo, etc.) para cada grupo de cultivos durante estos periodos, información necesaria para la correcta interpretación de las tendencias de los indicadores de gestión (Tanaka y Sato, 2005; García-Vila *et al.*, 2008; Salvador *et al.*, 2011). Para los gestores de las CCRRs es muy interesante identificar cómo contribuye la escasez de agua a los cambios observados en los indicadores de gestión de su organización.

En el Capítulo IX se analizan los efectos de la modernización en la CRCC, comparando los indicadores de gestión antes y después del proceso, considerando años con suministro hídrico similar. Esta CCRR ya disponía de redes de distribución presurizadas con anterioridad a la modernización, al contrario de lo que ocurre generalmente en otras CCRRs de España, cuya modernización se ha caracterizado por la sustitución de los tradicionales sistema de distribución por gravedad por conducciones presurizadas mucho más eficientes (Rodríguez *et al.*, 2011a). Además se analiza el papel de las TICs en la gestión de estas organizaciones, así como la adaptación de los regantes a los nuevos servicios proporcionados por las mismas. La CRCC está aplicando las TICs en la gestión de su zona regable desde 1999, incluyendo sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA); sistemas de soporte a la decisión (SSD); sistemas de información geográfica (GIS); y aplicaciones web y para teléfono móvil.

La relación entre el consumo de agua y energía en la zona de estudio se aborda en el Capítulo X. Se analizan durante el periodo 2002-2011 tres CCRRs cuyos recursos proceden de diferentes fuentes (aguas superficiales, aguas subterráneas, trasvase, reutilización y desalinización),

seleccionando un conjunto de indicadores para caracterizar la interrelación entre el consumo de agua y energía en las tres escalas de gestión del regadío (cuenca, CCRR, y parcela); las otras dos CCRRs incluidas en el presente trabajo no han sido evaluadas dado que no disponían de los datos energéticos necesarios para realizar el análisis. El análisis de la interrelación entre el consumo de agua y energía en el regadío, denominada "*nexo agua-energía*", resulta de gran interés para los responsables de la planificación hídrica en el ámbito de las diferentes administraciones, así como para los gestores de las CCRRs.

En el Capítulo XI se caracteriza el consumo de energía y las emisiones de GEI debidas a las prácticas agrícolas que se realizan en los principales cultivos de la CRCC. Además debido a la reducción prevista de los recursos hídricos disponibles en esta zona a causa del cambio climático, se plantean distintos escenarios futuros para el suministro de agua de riego, que se basan principalmente en el uso de agua desalinizada como alternativa a la progresiva reducción de las fuentes de agua actuales. Se analiza la influencia de la incorporación de estos nuevos suministros de agua tanto en la energía necesaria para el manejo de los cultivos como en las emisiones de GEI.

Por último en el Capítulo XII se realiza una síntesis del estudio y se recogen las principales conclusiones del mismo, indicando las principales medidas a promover en la Región de Murcia para conseguir una agricultura de regadío sostenible.

Capítulo II

LA AGRICULTURA DE REGADÍO EN LA REGIÓN DE MURCIA

M. Soto García, V. Martínez Álvarez, B. Martín Górriz

En este capítulo se realiza una síntesis del estado del conocimiento actual sobre el regadío en la Región de Murcia, abarcando sus antecedentes históricos, el balance entre la demanda y los recursos disponibles, el déficit estructural de agua, los procesos de modernización y la problemática medioambiental.

2.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El regadío y la cultura del agua en la Región de Murcia tienen un arraigo inmemorial, que ha ido desarrollándose y sigue tecnificándose hasta la actualidad. La agricultura de regadío comienza a tener una auténtica entidad con los árabes, no más allá del siglo X. Anteriormente, su aprovechamiento por otras civilizaciones, como la romana, se limitó a tomas directas del río para el desvío de aguas a parcelas aisladas, o abastecimiento de poblaciones, pero carecía del complejo y laberíntico sistema que le confirieron los árabes (Vera, 2005). En el siglo XII la huerta regada por los árabes no sobrepasaría las cinco mil hectáreas de superficie, según los primeros libros de repartimientos a los colonizadores cristianos (García y Olivares, 1968).

Con la Reconquista se produjo una decadencia y abandono de la huerta en toda la Región. En el siglo XVI se produce una expansión agrícola con la introducción de los cítricos y la morera, crecimiento que se prolongó hasta finales del siglo XIX, cuando se agotaron las posibilidades de captar más recursos de las aguas superficiales a partir de azudes en ríos.

A partir de la segunda mitad del siglo XX fue cuando se produjo la gran expansión del regadío, sobre todo, con el empleo de aguas subterráneas y con la llegada del Trasvase Tajo-Segura, que permitió consolidar y/o aumentar las áreas regadas (Morales *et al.*, 2005). Los orígenes del Trasvase, aunque fue mencionado por primera vez en 1902, se remontan al año 1932, cuando el entonces Ministro de Obras Públicas D. Indalecio Prieto, encomendó al Ingeniero D. Manuel Lorenzo Pardo la realización de un plan nacional del aprovechamiento de las aguas. Un año después era presentado el *"Plan Nacional de Obras Hidráulicas"*, que incluía el Trasvase Tajo-Segura, pero al final no se llevó a cabo por diversas causas. La realización del Trasvase se volvió a retomar con la O. M. de 30 de julio de 1966, donde se ordena la redacción del *"Anteproyecto General del Aprovechamiento Conjunto de los Recursos Hidráulicos del Centro y Sureste de España, Complejo Tajo-Segura"*, del cual formaba parte integrante la construcción del Trasvase Tajo-Segura (San Martín, 2011; SCRATS, 2013).

En 1979 llegaron las primeras aguas a la Cuenca del Segura procedentes del río Tajo. De acuerdo con las estimaciones de PWC (2013), si al sector agrícola se le añaden las actividades de comercialización y transformación asociadas al mismo, la industria agroalimentaria vinculada al Trasvase Tajo-Segura aporta en su conjunto 2.364 millones de euros de PIB y más de 100.000 empleos. A pesar de estas cifras el Trasvase Tajo-Segura siempre ha generado una gran polémica entre sus partidarios y detractores (San Martín, 2011), habiendo sido utilizado desde su puesta en marcha como una excusa para criticar al anterior régimen franquista, bajo el cual se habían iniciado las obras. Pero el Trasvase no puede ser considerado como una obra de un régimen político: se gestó durante la II República, las obras se iniciaron con la dictadura, y entró en funcionamiento durante la transición democrática española. En la actualidad sigue siendo muy criticado principalmente por motivaciones territoriales (Melgarejo *et al.*, 2009) y medioambientales. Respecto a esta polémica Melgarejo *et al.* (2010) señalan: *"treinta años después de iniciada la explotación del Acueducto Tajo-Segura, resulta difícil de entender que su*

funcionamiento todavía no se haya normalizado y que todavía se siga cuestionando el suministro de agua”.

La puesta en marcha definitiva del Trasvase Tajo-Segura posibilitó la expansión de la actual horticultura intensiva de la Región de Murcia, que la sitúa entre una de las mayores zonas de Europa de producción de hortalizas al aire libre fuera de temporada (Martínez-Carrasco y Martínez, 2011), hasta el punto de ser conocida como la “*huerta de Europa*” (Pérez-Sirvent *et al.*, 2003). Todo ello ha provocado que la Región de Murcia sea un mosaico de paisajes agrarios, tradicionales y modernos, extensivos e intensivos, con un gran contraste entre el regadío y el seco (Gil, 2006).

2.2. DISTRIBUCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL

La Región de Murcia se ubica en el sudeste de España con una superficie de 11.314 km² (el 2,2% de la superficie del país). El clima puede considerarse como mediterráneo semiárido; las precipitaciones en general son escasas e irregulares, con una media de poco más de 320 mm anuales; las temperaturas son suaves, rondando los 17°C de media y con un alto nivel de insolación, cercano a 3.000 horas anuales (Martínez-Álvarez *et al.*, 2006).

La Región de Murcia se encuentra prácticamente en su totalidad (el 99% de la superficie) en la Cuenca Hidrográfica del Segura (Fig. 2.1), representando un 59% de la superficie total de la misma.

Por comarcas agrarias (Fig. 2.2), en el regadío de la Región de Murcia se pueden observar tanto diferencias en los cultivos (Fig. 2.3) como en los sistemas de riego empleados (Fig. 2.4), siendo sus principales características las siguientes:

1. Altiplano. Históricamente ha tenido áreas de cultivo reducidas, muy antiguas, y siempre concentradas junto a los manantiales que las originaron. Con la construcción de pozos manuales y posteriormente, ya entrado en el siglo XX, de sondeos de gran profundidad, estos riegos experimentaron un gran desarrollo. Los acuíferos que suministran agua a estos regadíos presentan una gran sobreexplotación (Molina *et al.*, 2009).

Los cultivos principales son la vid y los frutales no cítricos (Fig. 2.3). De esta comarca para su estudio se ha seleccionado la Comunidad de Regantes de Miraflores (CRM).



Figura 2.1. Distribución territorial de la Cuenca Hidrográfica del Segura (CHS, 2013).

II. Noroeste. En torno a los ríos Quípar, Argos y Benamor se desarrollaron los regadíos del noroeste desde épocas remotas con las aguas que emanan de sus arroyos. A partir de los años 60 se realizaron numerosos sondeos para complementar los recursos disponibles en los meses de verano y años de sequía. Posteriormente se construyeron embalses de regulación en las tres cuencas. De esta comarca no se ha seleccionado ninguna comunidad de regantes (CCRR) para el estudio, debido a que no presenta una alta tecnificación, con menos de un 50% de riego localizado (Fig. 2.4).

III. Río Mula. Se trata de regadíos tradicionales de origen musulmán que toman sus aguas del Río Mula (Gómez *et al.*, 2005), redotados con aguas subterráneas. Posteriormente con la llegada del Traspase Tajo-

Segura se crearon nuevos regadíos y se redotaron aquellos que sus dotaciones eran insuficientes (Del Amor *et al.*, 1998). Más del 90% de la superficie de regadío se encuentra dedicada a cultivos leñosos (Fig. 2.3). De esta comarca se ha seleccionado para su estudio la Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva (CRPC).

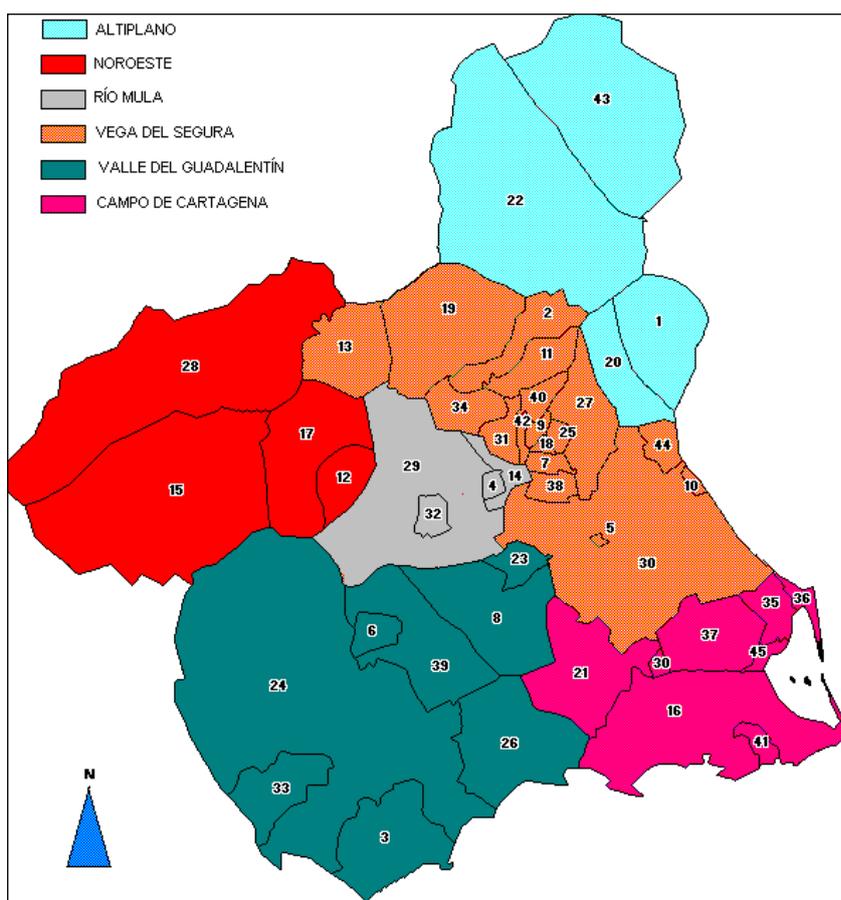


Figura 2.2. Comarcas agrarias y municipios de la Región de Murcia (CARM, 2013).

IV. Vega del Segura. Esta comarca presenta los regadíos tradicionales, con concesiones inmemoriales que se abastecen directamente del río Segura, y los nuevos regadíos, creados en los años 60 y 70 por el Programa de Acción Especial de Riegos del antiguo Instituto Nacional de Colonización, que impulsó la construcción de sondeos (Gómez *et al.*, 2007). Con el Traspase Tajo-Segura se crearon nuevos regadíos y se redotaron aquellos que eran insuficientes. Más del 80% de los cultivos de regadío son leñosos (Fig. 2.3). De esta comarca se ha seleccionado para

su estudio la Comunidad de Regantes del Trasvase Tajo Segura Calasparra-Cieza (CRTCC).

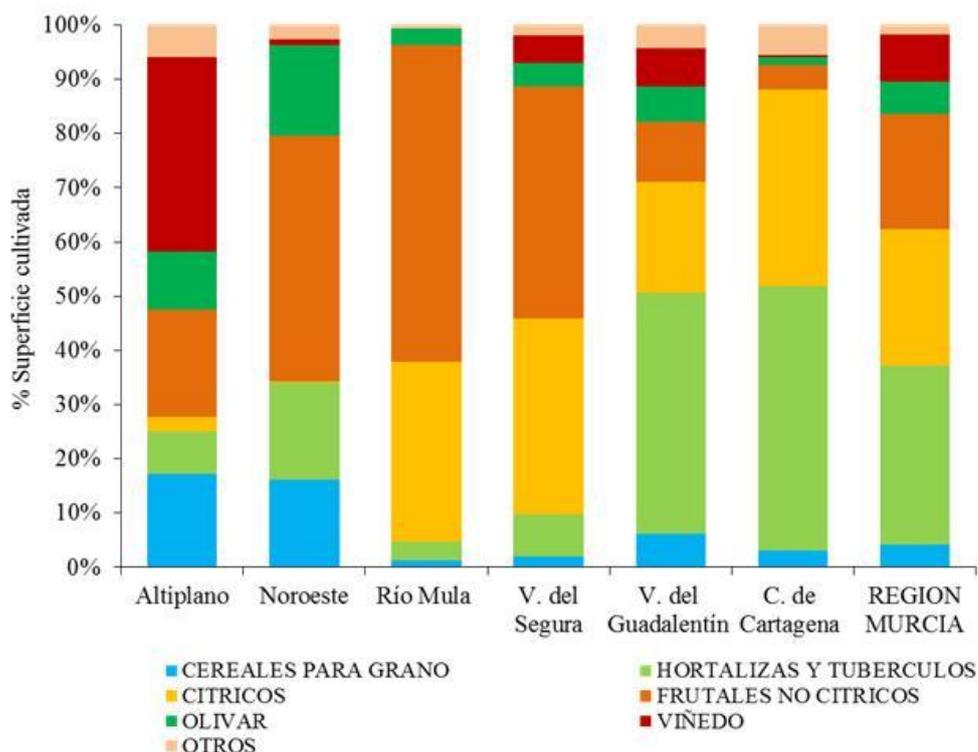


Figura 2.3. Grupos de cultivos por comarcas agrarias. Elaboración propia con datos propuesta PHCS y estadística regional (CARM, 2013; CHS, 2013).

V. Valle del Guadalentín. Esta comarca tiene regadíos tradicionales que se abastecen por el pequeño aluvial del río Guadalentín y por los distintos manantiales de la zona. Estos exiguos caudales fueron reforzados con la construcción de la tercera presa de Puentes en 1884 y, posteriormente, con el embalse de Valdeinfierno. En los años 30, comenzaron los sondeos por todo el valle y en los 60 se crearon las zonas regables del Valle del Guadalentín, alimentadas por los acuíferos ubicados en este valle, y la zona regable de Fortuna y Abanilla, regada con aguas procedentes del acuífero Ascoy-Sopalmo. Con la llegada del Trasvase Tajo-Segura se redotaron algunas zonas y se crearon nuevos regadíos (Martínez y Gómez, 2008). De esta comarca se ha seleccionado la Comunidad de Regantes de Lorca (CRLO) para su estudio.

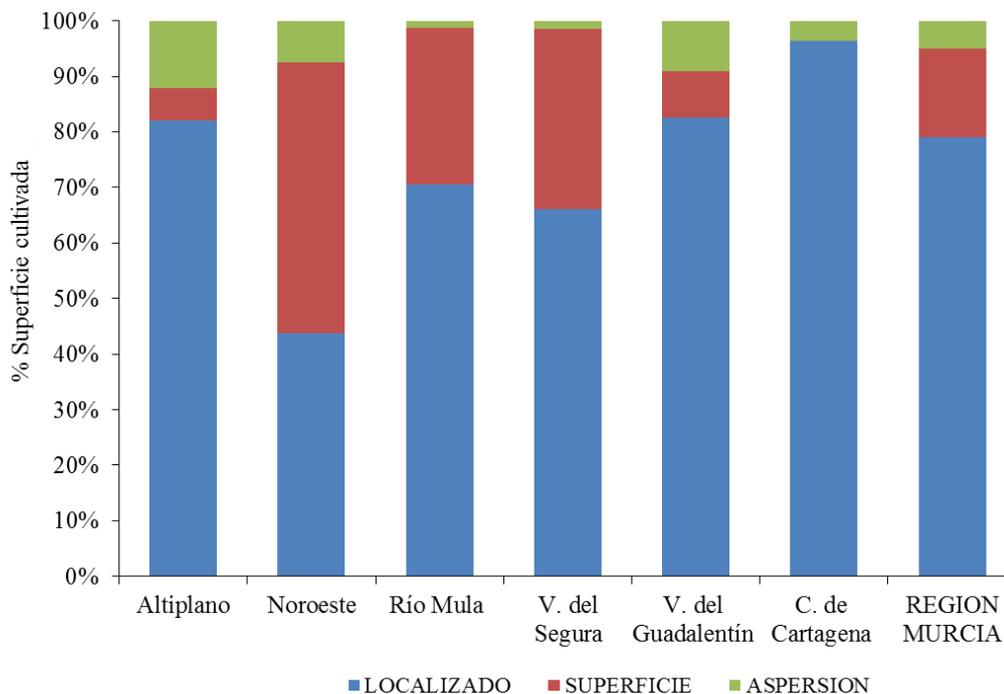


Figura 2.4. Sistemas de riego por comarcas agrarias. Elaboración propia con datos propuesta PHCS y estadística regional (CARM, 2013; CHS, 2013).

VI. Campo de Cartagena. Los regadíos tradicionales comenzaron con la extracción de aguas subterráneas impulsadas por molinos de viento. En los años 60 y 70 se intensificó la extracción de las aguas subterráneas con nuevos sondeos. En los 80, con el funcionamiento del Trasvase del Tajo-Segura, se redotaron y ampliaron los regadíos del Campo de Cartagena. De esta comarca para su estudio se ha seleccionado a la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC).

2.3. IMPORTANCIA DEL REGADÍO EN LA DEMANDA HÍDRICA

Tal como se ha indicado en el Capítulo I, el uso de los recursos hídricos para la agricultura de regadío supone el volumen de demanda más significativo en el ámbito de la Cuenca del Segura, con una demanda estimada de $1.571 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$, frente a la urbana de $217 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$ y la industrial no conectada a las redes municipales de $23 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$ (CHS, 2013).

La gestión de la demanda agrícola se basa en la Unidad de Demanda Agrícola (UDA). El Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (PHCS) identifica a la UDA como “una unidad diferenciable de gestión, bien por su origen de recursos, por sus condiciones administrativas, por su tecnología de riego, por su similitud hidrológica, o por consideraciones estrictamente territoriales”. En la propuesta del Plan Hidrológico de Cuenca 2009/15 (CHS, 2013) se describen 75 UDAs, de las que 49 se encuentran ubicadas completamente o en parte en la Región de Murcia (Figura 2.5). En la Tabla 2.1 se muestran las UDAs agrupadas por comarcas agrarias (CARM, 2013; CHS, 2013).

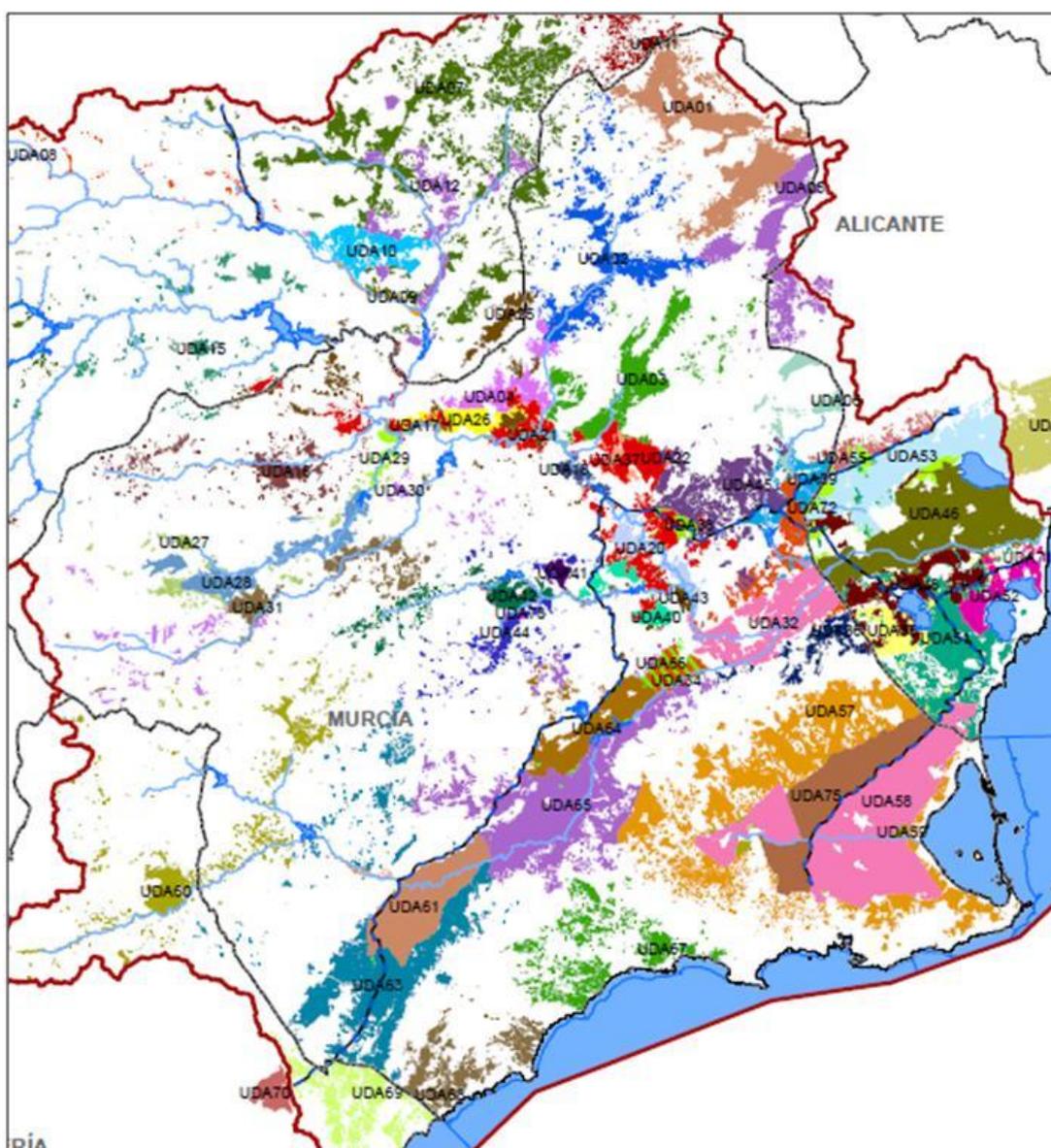


Figura 2.5. UDAs de la Cuenca del Segura en la Región de Murcia (CHS, 2013).

Tabla 2.1. Agrupación de UDAs por comarcas agrarias en la Región de Murcia. Elaboración propia (CARM, 2013; CHS, 2013).

Comarca	UDAs	Superficie bruta (ha)	Superficie neta (ha)	Municipios
I. Altiplano.	1, 2, 5, 6, 7, 55	52.798	24.957	Abanilla, Fortuna, Jumilla y Yecla.
II. Noroeste	14, 15, 16, 27, 28, 30 y 31	22.707	11.941	Bullas, Caravaca de la Cruz, Cehegín y Moratalla
III. Río Mula	41, 42, 43, 44, 73	10.573	4.649	Albudeite, Campos del Río, Mula y Pliego.
IV. Vega del Segura	3, 4, 17, 18, 20, 21, 22, 25, 26, 29, 32, 34, 36,37, 38, 39, 40, 45	87.345	47.804	Abarán, Alcantarilla, Alguazas, Archena, Blanca, Calasparra, Ceutí, Cieza, Las Torres de Cotillas, Lorquí, Molina de Segura, Murcia, Ojós, Ricote, Santomera, Ulea y Villanueva del Río Segura,
V. Valle del Guadalentín	60, 61, 63, 64, 65, 66	108.356	55.945	Aledo, Águilas, Alhama de Murcia, Librilla, Lorca, Mazarrón, Puerto Lumbreras y Totana.
VI. Campo de Cartagena	57, 58, 59, 75	88.990	34.001	Cartagena, Fuente Álamo, Los Alcázares, Murcia, San Javier, San Pedro del Pinatar, Torre- Pacheco y La Unión.
TOTAL		370.769	179.297	

El abastecimiento de las poblaciones está a cargo de la "Mancomunidad de los Canales del Taibilla". Esta organización estatal se creó en 1927 para resolver los graves problemas de abastecimiento de la población que se produjeron en la primera mitad del siglo XX, especialmente en Cartagena. La demanda urbana no se ha estabilizado, debido en gran parte al crecimiento de la actividad turística. La demanda industrial ha evolucionado de una manera similar a la demanda urbana. Una parte de las instalaciones industriales están conectadas a la red urbana, y otras son suministradas directamente por la Mancomunidad de los Canales del Taibilla (Grindlay *et al.*, 2011).

Respecto a la demanda medioambiental, se ha fijado un caudal mínimo ecológico en base a la experiencia, estando pendiente de estudios específicos. Se han considerado unos caudales mínimos en el río Segura de $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ desde Ojós hasta el Azud Mayor o Contraparada, en Murcia, y de $4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ desde la Contraparada hasta la Presa de San Antonio en Guardamar (CHS, 2013). En general, el río Segura presenta unas buenas condiciones en sus tramos de cabecera, e incluso en el curso medio. La situación se agrava a partir de la localidad de Ojós, y, sobre todo, a partir

de la Contraparada. En este punto se produce una importante reducción de los caudales circulantes como consecuencia de las captaciones de agua para el regadío, y también se localizan los mayores vertidos al río, procedentes de las zonas industriales y urbanas de las poblaciones ribereñas de las vegas media y baja (Gallego-Elvira, 2011).

2.4. RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES

Los recursos hídricos de la Región de Murcia están directamente relacionados con los disponibles en la Cuenca del Segura. Estos provienen, tal como se ha indicado en el Capítulo I, de diferentes fuentes: superficiales, Traslase Tajo-Segura, subterráneos, desalinización y reutilización.

El organismo encargado de la gestión de los recursos de la Cuenca del río Segura es la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS). La naturaleza de este organismo es pública, dependiente del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (CHS, 2013). El PHCS de 1998 fija un déficit estructural de agua en torno a $460 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$, dado que los recursos de la misma no son suficientes para satisfacer la demanda estimada. En la Fig. 2.6 se presenta el balance general del PHCS de 1998.

El origen del agua utilizada para riego es muy variable (ETI, 2008), en su mayoría procede de los recursos superficiales (36,7%), subterráneos (30,5%) y del Traslase Tajo-Segura (24,8%). En menor medida (8,0%), procedente de las estaciones depuradoras de aguas residuales y de la desalinización.

Los recursos superficiales estimados por el PHCS de 1998 son $640 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$. Las fuentes principales de los recursos superficiales de la Cuenca, por orden de importancia, son (CHS, 2013): (i) la cabecera (ríos Segura y Mundo hasta su confluencia); (ii) los afluentes de la margen derecha (Moratalla, Argos, Quípar y Mula), que transportan caudales de forma permanente y son consumidos localmente; (iii) los afluentes de la margen izquierda (ramblas del Judío, Moro, Tinajón, Salada y Abanilla) de muy reducida importancia; (iv) el río Guadalentín, que es el afluente más

importante de la margen derecha; y (v) las ramblas litorales, que no suponen aportes significativos a los recursos superficiales de la Cuenca.

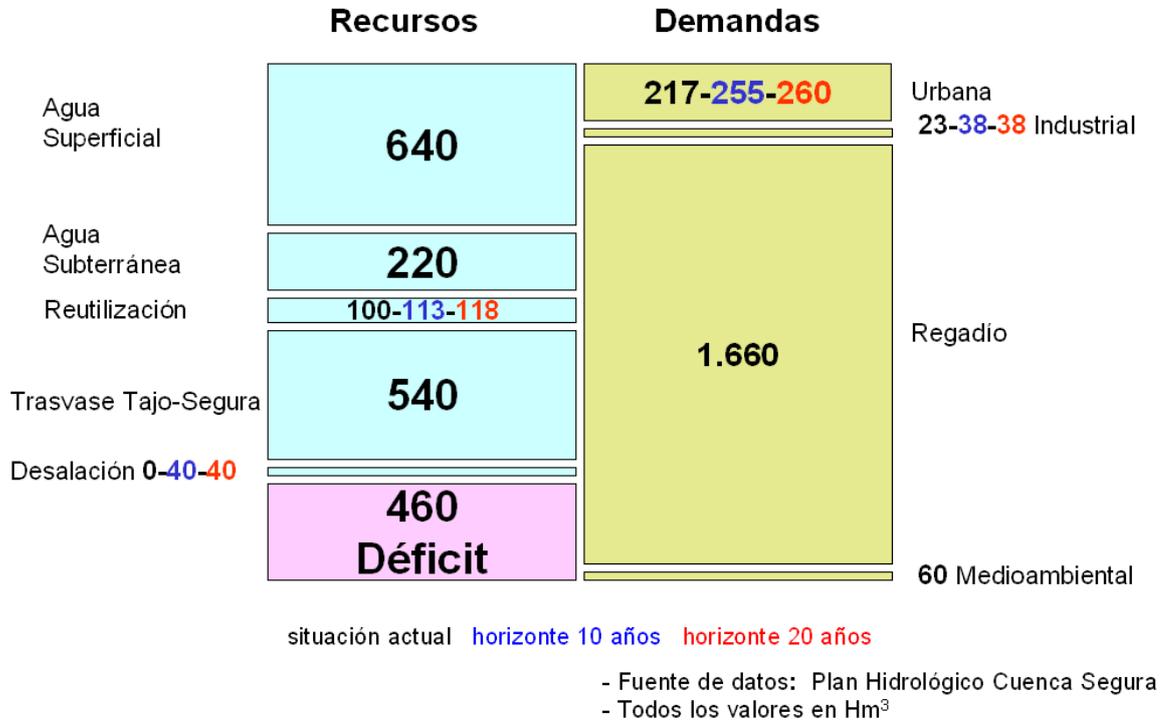


Figura 2.6. Balance de la Cuenca del Segura según el PHCS de 1998 (CHS, 2013).

La disponibilidad de estos recursos superficiales sufre gran variabilidad a lo largo del tiempo, tal como se observa en la Fig. 2.7, donde se recogen las aportaciones realizadas por la Cuenca desde el año hidrológico 1959-60 hasta el año hidrológico 2011-12 (en color azul).

Las aguas superficiales de la Cuenca presentan una conductividad eléctrica (CE) media superior a 3 dS m⁻¹, por tanto existe un riesgo grave de salinización al emplear estas aguas para el riego. La mejor calidad la presenta el agua de la zona de la Vega Alta con una CE de 1,51 dS m⁻¹ y la del Noroeste con una CE de 1,58 dS m⁻¹ (Alcón *et al.*, 2012).

Actualmente las aguas subterráneas son muy importantes para el regadío en la Cuenca. La Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua y el Instituto Geológico y Minero de España han estimado unas extracciones medias anuales para el periodo 1980-2009 de 570 hm³, con un mínimo 424

hm³ y un máximo de 753 hm³. Estos valores son superiores a los 220 hm³ indicados en el PHCS de 1998. Por tanto se ha producido una sobreexplotación sistemática de los acuíferos en la Cuenca desde finales de la década de los 80 (Grindlay *et al.*, 2011; Molina *et al.*, 2011), que se agudiza en períodos de sequía, donde la disponibilidad de otros recursos (superficiales de la Cuenca y recursos del Trasvase Tajo-Segura) disminuyen notablemente, aumentándose las extracciones de aguas subterráneas para satisfacer las demandas hídricas de los cultivos. Por tanto la escasez de agua para riego agrícola es la principal causa de la sobreexplotación de los acuíferos de la Cuenca, dado que los agricultores emplean las aguas subterráneas para compensar la carencia de otras fuentes de agua. El valor medio de la CE de las aguas subterráneas es de 2,64 dS m⁻¹. La mejor CE se da en la zona del Noroeste y en la Vega Alta con valores de 0,60 y 0,73 dS m⁻¹ respectivamente, mientras la zona del litoral presenta unos valores medios muy altos, de 3,97 dS m⁻¹ (Alcón *et al.*, 2012).

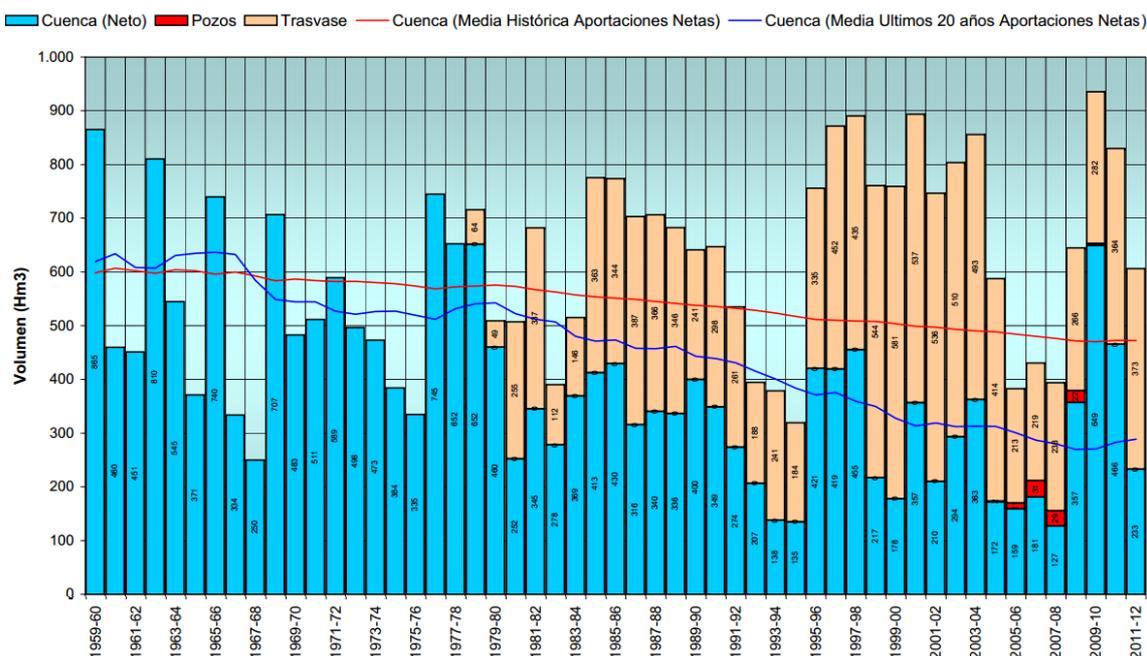


Figura 2.7. Aportación anual de la Cuenca y el Trasvase Tajo-Segura (CHS, 2013).

El Acueducto Tajo-Segura es la infraestructura que conecta el embalse de Bolarque (río Tajo) con el embalse del Talave (río Mundo), en

la Cuenca del Segura. Esta conducción tiene una longitud de 286 km y fue proyectada y ejecutada para transportar un caudal máximo de $33 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Melgarejo, 2009). A partir del embalse del Talave se inician las infraestructuras del Postravase que distribuyen el agua a todas las zonas regables (Fig. 2.8).

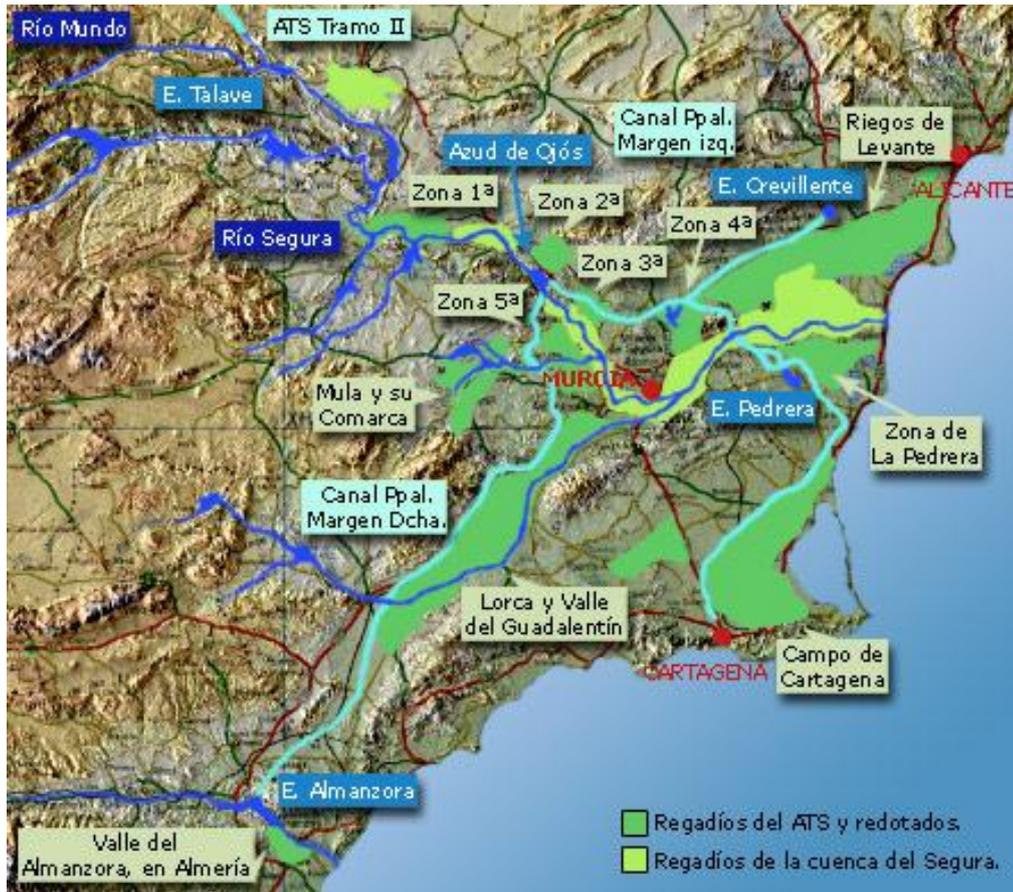


Figura 2.8. Zonas Regables de Postravase (SCRATS, 2013).

El volumen asignado para riego agrícola del Trasvase Tajo-Segura es de 400 hm^3 , aproximadamente el 53% corresponden para nuevos regadíos y el resto para la redotación de regadíos tradicionales. En la Tabla 2.2 se indican las dotaciones para riego del Postravase. Según la tramitación de concesiones de mediados del año 2009, las áreas regables del Postravase comprenden una superficie nominal de 132.724 ha ; de las que 82.257 ha (62%) se ubican en la Región de Murcia (Gómez *et al.*, 2011).

Tabla 2.2. Dotaciones para riego del Postravase (Gómez *et al.*, 2011).

Área de riego	Volumen (hm ³ año ⁻¹)		Superficie de riego (ha)	
	Trasvasados	Propios	Nueva	Redotada
Vegas Alta y Media del Segura	65	50	9.451	8.927
Regadíos de Mula y su Comarca	8	9	1.500	1.050
Lorca y Valle del Guadalentín	65	80	6.731	19.214
Campo de Cartagena	122	31	23.000	9.800
Valle del Almanzora (Almería)	15	-	3.000	-
Riegos de Levante, Vega Baja del Segura y Saladares de Alicante	125	80	27.390	23.293
TOTAL	400	250	71.072	62.284

En la Fig. 2.9 se muestran los volúmenes trasvasados en origen a la Cuenca del Segura. Se observa que los volúmenes trasvasados para abastecimiento no han sufrido grandes variaciones a lo largo del tiempo, al contrario de lo sucedido para riego, donde el valor medio anual ha sido de 196 hm³, casi la mitad del volumen asignado.

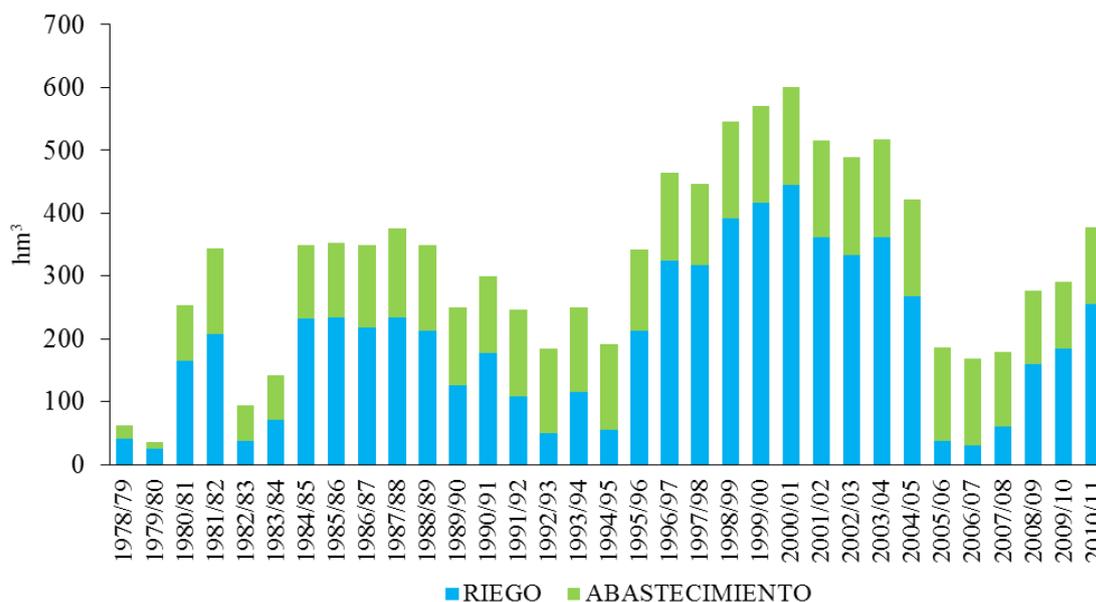


Figura 2.9. Trasvase Tajo-Segura. Volúmenes trasvasados. Elaboración propia (CHS, 2013).

En la última década se han construido numerosas plantas desalinizadoras, ante la necesidad de incrementar los recursos hídricos en la Cuenca en los períodos de sequía. Estas infraestructuras han sido realizadas en su mayor parte por la Administración dentro del Programa

AGUA, aunque también las hay propiedad de CCRRs y particulares. Entre las plantas de desalinización actualmente en funcionamiento para uso agrícola en la Región de Murcia destacan: Valdelentisco (37 hm³), Águilas (30 hm³), Virgen del Milagro (16 hm³), Arco Mar Menor Sur (2,5 hm³) y El Mojón (2,2 hm³). A esta capacidad de producción hay que añadir la proveniente de desalobradoras particulares existentes en explotaciones agrarias. La Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua y el Instituto Geológico y Minero de España estiman la producción total de agua desalada en la Cuenca para riego durante la última década entre 50 y 101 hm³ año⁻¹. Actualmente muchas de estas desalinizadoras solo se ponen en marcha en el caso de no disponer agua de otros recursos, debido principalmente al alto coste de producción causado por su alto consumo energético.

La reutilización de las aguas residuales es un elemento esencial del ciclo natural del agua (Iglesias y Ortega, 2008), y de hecho, la Directiva Marco del Agua (2000/60/CEE) la contempla como medida para solucionar los problemas de la escasez de agua. La reutilización es muy valiosa para la agricultura, dado que garantiza el recurso de forma continua. En diciembre de 2007 se promulgó el Real Decreto 1620/2007 (BOE, 2007), que ha sido un importante paso en la regulación de la reutilización del agua, ya que aclara tanto las responsabilidades de las Administraciones Públicas como las de los concesionarios y los usuarios finales, estableciendo los usos permitidos y los criterios de calidad, de frecuencia mínima de muestreo, de punto de referencia para los métodos analíticos y de conformidad. También especifica los procedimientos relativos a las concesiones de reutilización de aguas (Iglesias *et al.*, 2010). El organismo encargado de la depuración de las aguas urbanas en la Región de Murcia es la Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (ESAMUR). Se trata de una Empresa Pública Regional adscrita a la Consejería de Agricultura y Agua de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. En la Fig. 2.10 se muestra la evolución de los volúmenes de agua depurados durante el periodo 2002-11, que han tenido un valor medio anual de 103 hm³.

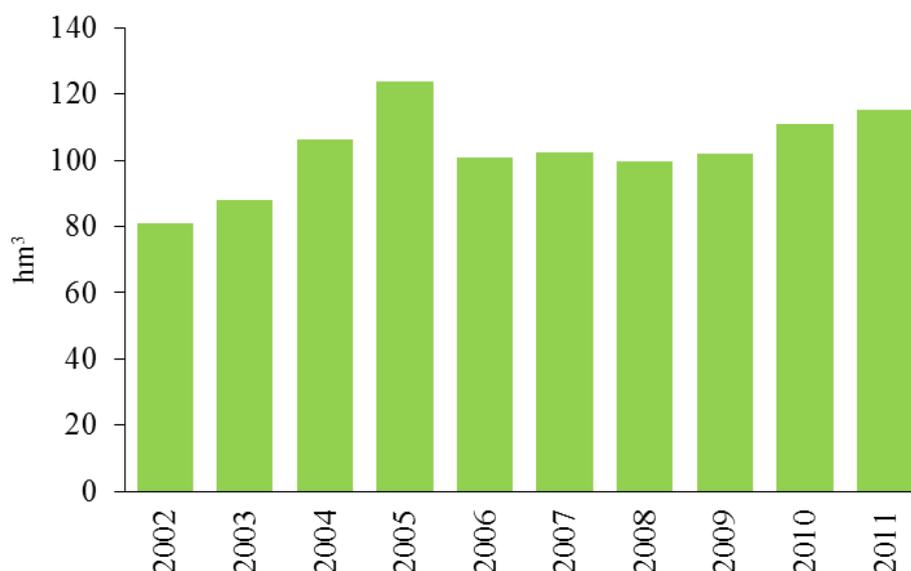


Figura 2.10. Volúmenes de agua depurados durante el periodo 2002-11 en la Región de Murcia. Elaboración propia (INE 2013; ESAMUR 2013).

2.5. ESCASEZ DE AGUA Y DÉFICIT ESTRUCTURAL

La escasez de agua representa el grado en que la demanda supera los recursos hídricos disponibles. Conciernen tanto a la cantidad como a la calidad, ya que los recursos hídricos degradados dejan de estar disponibles para usos más restrictivos. La escasez de agua puede ser debida a diferentes causas (Pereira *et al.*, 2002): (a) la *aridez*, que es un proceso natural que se caracteriza por una baja precipitación, con alta variabilidad espacial y temporal; (b) la *sequía*, que también es un proceso natural, consecuencia de un desequilibrio temporal en la disponibilidad de agua; (c) la *desertificación*, inducida por el hombre, que es un desequilibrio permanente en la disponibilidad de agua, que se combina con la degradación del suelo, un uso del suelo inapropiado, extracción de aguas subterráneas, salinización, aumento de las inundaciones, pérdida de humedales y una reducción de la capacidad de carga de los ecosistemas; y (d) el *estrés hídrico*, también inducido por el hombre, que es un desequilibrio temporal que incluye sobreexplotación de acuíferos, disminución de las reservas en los embalses, reducción y alteración del suelo, reducción de la capacidad de carga de los ecosistemas, y empeoramiento de la calidad del agua.

Si hubiese que buscar un rasgo geográfico característico para la Región de Murcia, éste podría ser el de la aridez, dado que es la región europea donde la escasez de lluvias se presenta con mayor severidad (Vera, 2005). Una de las mayores limitaciones de su agricultura es el agua, tanto en términos de cantidad y calidad, como de disponibilidad de la misma (Montaner, 1992; García, 2007). Existe un claro desequilibrio entre la oferta de recursos y la demanda hídrica en la Región, que pone de manifiesto la necesidad de una gestión eficiente del agua para la agricultura (Arcas y Alcón, 2007).

Aunque la agricultura en esta zona es de las más rentables y competitivas del país, generando una importante entrada de divisas vía exportaciones, el funcionamiento de estos regadíos queda comprometido cuando disminuyen de forma acusada los recursos hídricos. Esta disminución puede responder a (a) fenómenos de índole natural, como las sequías; o (b) por decisiones de tipo político, como la disminución drástica de la transferencia de recursos hídricos externos, *i.e.* del Traspase Tajo-Segura (Gómez *et al.*, 2005). Por tanto, el agua es un factor limitante para el agricultor, al no poder satisfacer las necesidades de sus cultivos. Otro factor relevante es la incertidumbre acerca de la cantidad de agua que va a disponer el agricultor en una campaña de riego (Tobarra y Castro, 2011). Este hecho ha provocado que los agricultores coincidan en manifestar que la escasez de agua es uno de los principales problemas a la hora del manejo del riego, ya que en muchas ocasiones el debate no está en cuánto y cómo regar sino cuándo dispondré de agua para regar (Erena *et al.*, 2008).

Alcalá y Sancho (2002) diferencian los efectos de la escasez de agua a corto plazo con respecto al largo plazo. Estos autores indican que un descenso de la disponibilidad del agua tiene inicialmente un efecto relativamente reducido sobre la producción, pero en la medida en que la escasez se mantenga más de un período, se inicia un proceso de reducción de la superficie regada que llega a extenderse hasta cuatro períodos después de que se detectase por primera vez la escasez de agua.

Como se muestra en la Fig. 2.11 existe poca correlación entre la precipitación y la superficie regada (Sr). Sin embargo, esta correlación sí se da con los volúmenes de agua trasvasados (Fig. 2.12) para riego a la Cuenca del Segura. Por lo tanto la evolución de la superficie regada va a depender más de los volúmenes trasvasados que de las precipitaciones.

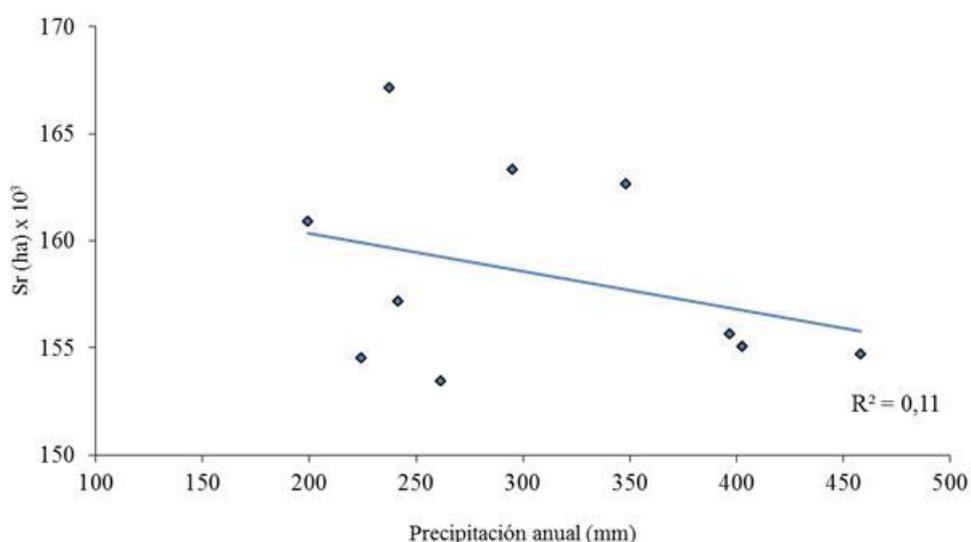


Figura 2.11. Relación entre la precipitación anual respecto a la superficie regada (Sr) en la Región de Murcia durante periodo 2002-11. Elaboración propia (CARM, 2013; ECONET, 2013).

En las épocas de reducción de los recursos procedentes del Trasvase Tajo-Segura, éstos son sustituidos en parte por aguas subterráneas y procedentes de la desalinización. Por tanto, el desequilibrio entre los recursos disponibles y la demanda ha provocado grandes problemas de sobreexplotación de los acuíferos, que se agudizan en los periodos donde los trasvases de agua para riego disminuyen (Fig. 2.13).

Una de las mejores estrategias para hacer frente a la escasez de agua es la implantación de sistemas de gestión modernos, que utilicen modelos y herramientas para estimar la disponibilidad de los recursos hídricos en cada región y su variación en el tiempo. De esta forma se puede buscar un equilibrio entre la oferta y la demanda, favoreciendo la asignación los recursos de agua con criterios sociales, económicos y ambientales (Tarjuelo *et al.*, 2010).

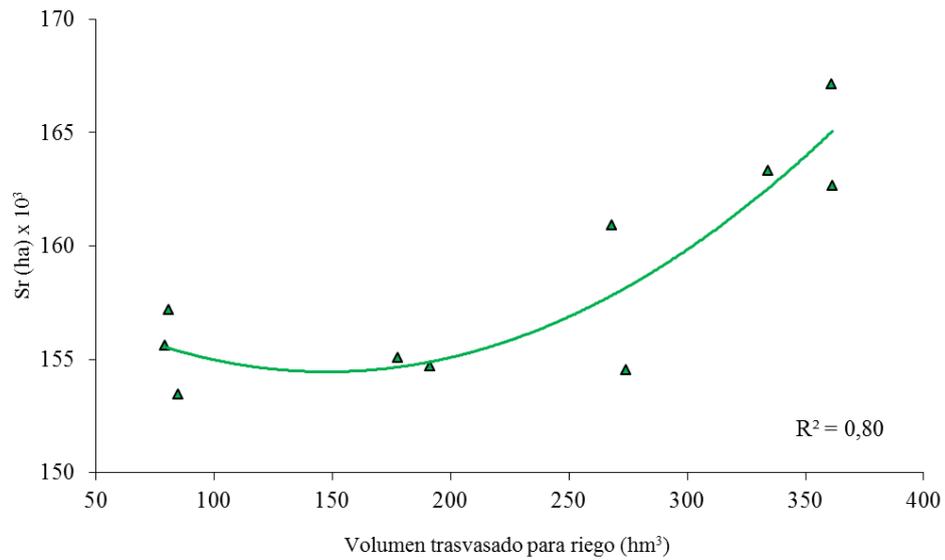


Figura 2.12. Relación entre el volumen anual trasvasado para riego respecto a la superficie regada (Sr) en la Región de Murcia durante el periodo 2002-11. Elaboración propia (CARM, 2013; CHS, 2013).

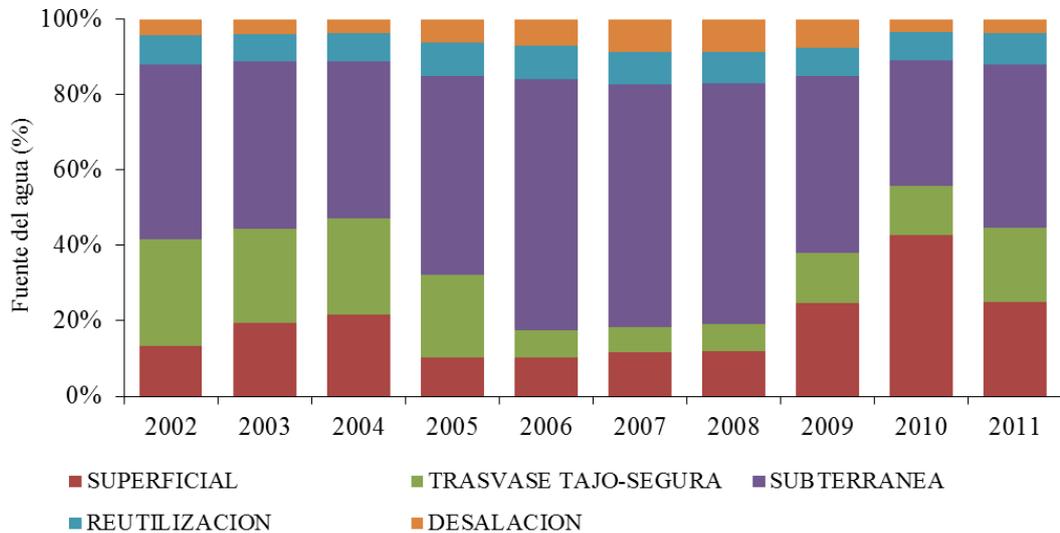


Figura 2.13. Evolución de las fuentes de agua para riego en la Cuenca del Segura. Elaboración propia (INE, 2013; CHS, 2013; ESAMUR, 2013; SCRATS, 2013).

2.6. EL PROCESO DE MODERNIZACIÓN

Desde que en 1985 la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia asumió las competencias en materia de reforma y desarrollo agrario, se centraron sus acciones en la mejora de las infraestructuras del regadío. En

1992 la Consejería de Agricultura y Agua realizó un breve estudio para identificar las principales deficiencias de las infraestructuras agrarias en la Región de Murcia. Los resultados pusieron de manifiesto la necesidad de una modernización general del regadío, con el fin de conseguir su consolidación dada la carencia estructural de agua.

De esta manera se impulsa, promueve y financia la modernización del regadío, basada en: (a) la mejora de infraestructuras; (b) la instalación de sistemas de telecontrol; (c) la innovación y desarrollo a través de los centros de investigación y universidades; y (d) la formación y asesoramiento al agricultor. Esta iniciativa regional se ve reforzada por las políticas nacionales de modernización de regadíos, que se recogen principalmente en el PNR Horizonte 2008 y en el Plan de Choque, ambos presentados en el Capítulo I, y que han contribuido notablemente en la mejora, consolidación y modernización del regadío en la Región de Murcia, tanto a nivel de zona regable como de parcela. Estas políticas se han materializado mediante distintas acciones, entre las que destacan:

- *Convenios realizados en el marco del PNR.* La mayor parte de todas las actuaciones se ha realizado bajo la forma jurídica de un convenio, firmado entre las administraciones y las CCRRs. El acuerdo de financiación ha sido de la siguiente manera: del 100% de la inversión prevista, la Consejería de Agricultura y Agua realiza un 25%; del 75% restante, el 29% los asumen las CCRRs y el resto lo financia y lo ejecuta una sociedad de infraestructuras agrarias (SEIASA), a la que los regantes devolverán la inversión en veinticinco años. De esta última parte no hay que devolver la totalidad cuando exista una aportación de fondos europeos FEOGA (Gómez et al, 2011).
- *Concesión de las ayudas para la mejora, modernización y consolidación de los regadíos.* Este tipo de ayudas suele convocarse anualmente y su procedimiento de concesión se tramita en régimen de concurrencia competitiva, estando destinada a las CCRRs. La ayuda puede llegar hasta el 50% de la inversión realizada, fomentando: (a) la instalación de dispositivos para medir y registrar

el volumen distribuido, (b) la automatización de la red de riego, y (c) la informatización de la gestión. Incluso puede llegar al 60% cuando se cubren las balsas de riego para evitar la evaporación del agua.

- *Concesión de ayudas para el aprovechamiento en regadío de las aguas residuales regeneradas procedentes de las Estaciones Depuradoras.* Este tipo de ayudas también suele convocarse anualmente, con un procedimiento de concesión de las ayudas en régimen de concurrencia competitiva, estando destinada a las CCRRs. La ayuda puede llegar hasta el 70% de la inversión realizada. La finalidad es la consolidación de los regadíos de la Región de Murcia mediante la incorporación de nuevos recursos procedentes de las EDARs de dicho ámbito territorial.
- *Ayudas a la modernización de explotaciones agrarias.* Estas ayudas van dirigidas directamente a los agricultores. En lo referente al riego, potencian la instalación de sistemas de riego que permitan un uso más eficiente del agua y la energía, de manera que, además, permitan utilizar aguas de riego de mediana calidad. La ayuda corresponderá al 40% de la inversión, aumentando a un 50% si se efectúan en zonas desfavorecidas, y se incrementan un 10% cuando se trate de un joven agricultor.

Además, para mejorar la aplicación del agua a nivel parcela, el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA) ofrece el servicio de asesoramiento de riego a través de su página Web (SIAM, 2013).

Todas estas medidas han convertido a la Región de Murcia en un laboratorio de experiencias en modernización de regadíos (Gil, 2010), donde se encuentran involucrados la Administración del Estado, la Administración Regional, los centros de investigación, las universidades, las CCRRs y los regantes. Esta colaboración ha conseguido que la Región de Murcia sea un referente internacional en cuanto a la gestión del agua; y que la técnica de riego más empleada sea el localizado con un 79%. Esta cifra

es la más alta en España, seguida de Andalucía con un 74,7%, siendo la media nacional de un 47,7% (ESYRCE, 2011).

2.7. PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL DEL REGADÍO

El regadío proporciona importantes beneficios a la sociedad: (a) asegura la producción alimentaria; y (b) juega un papel muy importante desde el punto de vista del paisaje, la biodiversidad y la vida rural (Castañón, 2009; De Stefano y Llamas, 2013). Una gestión eficiente de los cultivos también puede conducir a que los mismos actúen como sumidero de CO₂, una vez descontadas las emisiones necesarias para su producción (Victoria-Jumilla, 2010).

Como contrapartida la agricultura de regadío genera un impacto medioambiental por ser una importante fuente de contaminación difusa de las aguas superficiales y subterráneas (Dechmi *et al.*, 2012; Skhiri y Dechmi, 2012), asociada al empleo de fertilizantes (nitrogenados, fosfatos, potásicos, etc.) y productos fitosanitarios (insecticidas, herbicidas, fungicidas); y por el uso intensivo de insumos con un gran consumo energético, como fertilizantes, pesticidas y maquinaria, que está provocando un aumento espectacular de la demanda de energía.

Otro de los principales contaminantes asociados al riego en zonas áridas y semiáridas es la alta concentración de sales disueltas en el agua aplicada. Las concentraciones excesivas de sales son perjudiciales para los cultivos, los suelos y la salud humana (Barros *et al.*, 2012). La salinización de los suelos es uno de los mayores problemas que presentan las áreas bajo prácticas de agricultura intensiva en las zonas áridas y semiáridas.

Por otro lado para poder satisfacer las demandas agrícolas, muchos de los acuíferos han sido sobreexplotados, causando graves problemas de reducción en el nivel piezométrico, intrusión marina, salinización creciente y degradación en la calidad del agua (Grindlay *et al.*, 2011). Los principales problemas de sobreexplotación se encuentran en los acuíferos del Altiplano, Ascoy-Sopalmo y Valle del Guadalentín. Los acuíferos relacionados con los afluentes de la margen derecha (Argos, Quípar,

Moratalla y Mula) también presentan importantes problemas, como el agotamiento de los manantiales y otros están viendo reducidas sus descargas. En total, de las 63 masas de aguas subterráneas actualmente definidas en la Cuenca del Segura, 40 de ellas han sido declaradas con riesgo de sobreexplotación. El problema de sobreexplotación es tan grave que los acuíferos del Altiplano son considerandos los segundos más sobreexplotados del mundo, después de los acuíferos de la Cuenca del río Hai en China (Werner *et al.*, 2013).

Otro problema ambiental importante es la excesiva concentración de nitratos en los acuíferos, por encima del límite máximo admisible establecido por la Unión Europea de 50 mg l⁻¹. En este sentido, los acuíferos de tres zonas han sido declarados como vulnerables (Fernández y Soria, 2011): *Zona 1*, acuíferos Cuaternario y Plioceno en el Campo de Cartagena; *Zona 2*, acuíferos de las Vegas Alta y Media de la Cuenca del Segura; y *Zona 3*, Valle del Guadalentín, correspondiente a los acuíferos del Alto Guadalentín, bajo Guadalentín y Puentes, en el término municipal de Lorca.

Además hay que tener en cuenta la gran diferencia entre la productividad de la agricultura de secano y la de regadío, que provoca una importante tendencia hacia la transformación del secano a regadío, con lo que se agravan todos los problemas medioambientales asociados a la escasez de los recursos hídricos.

Por todo lo expuesto, es necesario seguir fomentando el cumplimiento de las buenas prácticas en la agricultura de regadío para garantizar su sostenibilidad.

Capítulo III

LAS COMUNIDADES DE REGANTES Y SU ROL EN LA GESTIÓN DEL REGADÍO

V. Martínez Álvarez, M. Soto García, B. Martín Górriz

En este capítulo se realiza una síntesis del papel de las comunidades de regantes (CCRRs) en la gestión del agua de riego y del regadío. Se muestran las tecnologías aplicadas por estas organizaciones tanto para su gestión como para la automatización de las infraestructuras hidráulicas empleadas en el manejo del agua de riego.

3.1. ANTECEDENTES Y BASE LEGAL

En muchos países del mundo se ha transferido la distribución del agua en las zonas regables a organizaciones no gubernamentales. Vermillion y Sagardoy (2001) las clasifican en seis tipos básicos: (i) *asociaciones multipropósito de usuarios del agua*, que son los grupos de usuarios del agua que combinan las funciones de gobierno y de gestión, tratándose generalmente de cooperativas de usuarios del agua; (ii) *empresas públicas*, que son normalmente autónomas desde el punto de vista financiero, y tienen objetivos fijados desde el gobierno para suministrar el agua a una zona asignada; (iii) *gobiernos locales* como las poblaciones o las municipalidades, que gestionan en ocasiones las redes de riego; (iv) *distrito de riego*, que es normalmente un tipo de organización local pública o semipública, y suele gozar de ciertos privilegios e inmunidades, que no están al alcance de otras organizaciones del sector privado; (v) *compañías mutuas*, que son generalmente sociedades de responsabilidad limitada, formadas a partir de acciones de la red de riego que pertenecen a los propietarios y regantes; y (vi) *compañías privadas*, que se dan en grandes plantaciones, en las que la red de riego suele estar operada por la compañía privada que gestiona la producción agrícola en la superficie regada.

En España el tipo de organización mayoritaria es la CCRR, que siguiendo la clasificación anterior correspondería a los distritos de riego. Giménez *et al.* (2010) las definen *“como una agrupación de todos los propietarios de una zona regable, que se unen obligatoriamente por Ley, para la administración autónoma y común de las aguas públicas, sin ánimo de lucro. A esa zona concreta de tierra regable se le otorga una concesión de agua para regar, es la superficie de tierra la beneficiaria de la concesión y no el comunero propietario de la misma”*.

Las CCRRs, no aparecen en nuestro derecho histórico claramente definidas, ya que se trataba de asociaciones regidas por sistemas y reglas propias de los romanos y árabes (como las hermandades, sindicatos, juntas, gremios, etc.) dotadas de una organización que permitía la administración y distribución del agua para el regadío de los cultivos. En los textos de derecho histórico de la Región de Murcia, incluso antes de la conquista árabe del siglo VIII, ya aparecían este tipo de asociaciones que, con diferentes denominaciones, poseían un sistema de organización mediante el cual administraban y distribuían el agua destinada al regadío de los cultivos (Alcón, 2007).

Por tanto hay antecedentes históricos que permiten afirmar que la distribución del agua en común, y mediante acequias de riego, data de épocas muy anteriores a los musulmanes, pudiéndose originarse en época romana. Así pues, las CCRRs son instituciones de larga tradición histórica en la distribución de las aguas y en la organización propia del regadío, y se encuentran profundamente enraizadas en la conciencia popular.

Las normas de distribución del agua estaban basadas en la costumbre, que se transmitía por generaciones verbalmente y que contenían experiencias muy contrastadas por sus aplicaciones prácticas. Con el tiempo estas prácticas habituales se plasmaron en Ordenanzas escritas (Del Campo, 2008).

La primera Ley de Aguas data del 3 de agosto de 1866. La segunda Ley de Aguas, del 13 de Junio de 1879, ya incorporó la figura de las CCRRs al ordenamiento jurídico español. En la Ley de Aguas que se

promulgó el 2 de Agosto de 1985 se adopta el modelo de las CCRRs para todo tipo de organizaciones de usuarios de agua. Esta ley fue reformada el 13 de diciembre de 1999, fomentando las CCRRs y potenciando los aspectos medioambientales del uso del agua (Ruiz y Molina, 2010). Finalmente, con el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, se aprobó el texto refundido de la Ley de Aguas.

3.2. IMPORTANCIA Y RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO

En España el 78% de los recursos hídricos consuntivos disponibles son consumidos por el sector agrícola (INE, 2013). Dado que las CCRRs distribuyen el agua al 70% de la superficie regable del país (Berbel *et al.*, 2007), las mismas juegan un papel muy importante en la gestión del regadío. Alcón (2007) indica la importancia de estas organizaciones en un estudio realizado sobre la adopción y difusión de tecnologías del riego en la Región de Murcia, donde llega a la siguiente conclusión: *“la adopción de tecnología, por las CCRRs, como la gestión hídrica, que éstas realizan, mejoran la gestión de los recursos naturales de la Región de Murcia, contribuyendo al mantenimiento de la actividad agraria y la sostenibilidad medioambiental de la Región”*.

Según el Plan Nacional de Regadíos horizonte 2008, existían censadas 7.196 CCRRs en España en 2001, de las que 239 se encuentran en la Región de Murcia, según los datos proporcionados por la Consejería de Agricultura y Agua.

Las principales actividades que realizan las CCRRs son (Sagardoy *et al.*, 1982): (a) adaptar la oferta a la demanda tanto como sea posible, (b) la distribución del agua para riego, (c) el mantenimiento de las infraestructuras, (d) la supervisión de los suministros, (e) el seguimiento de las actividades de mantenimiento y asistencia a los regantes. De todas estas actividades su función principal es la distribución de agua a las parcelas de su zona regable, garantizando en todas y cada una de las tomas la presión y el caudal necesarios.

El régimen de funcionamiento y la organización de las CCRRs está regulado, con carácter general, por el capítulo IV “de las comunidades de usuarios” del título IV “de la utilización del dominio público hidráulico” de la Ley de Aguas (BOE, 2001), destacando:

- *Obligación de constituir CCRR (artículo 81)* a los usuarios del agua de riego de una misma toma o concesión.
- Regulación de las CCRRs *mediante estatutos u ordenanzas (artículo 81)*.
- *Las CCRRs son corporaciones de derecho público (artículo 82)* adscritas al Organismo de cuenca.
- *Facultades de las CCRRs (artículo 83)*: (a) podrán ejecutar por sí mismas, los acuerdos incumplidos que impongan una obligación de hacer; (b) serán beneficiarias de la expropiación forzosa y de la imposición de las servidumbres; (c) vendrán obligadas a realizar las obras e instalaciones que la Administración les ordene, a fin de evitar el mal uso del agua; y (d) las deudas a la CCRR motivadas por la administración y distribución de las aguas, gravarán la finca en cuyo favor se realizaron.
- *Órganos de las CCRRs (artículo 84)*: (a) la Junta o Asamblea General, constituida por todos los usuarios de la CCRR es el órgano soberano de la misma; (b) la Junta de Gobierno, elegida por la Junta General, es la encargada de la ejecución de las ordenanzas y de los acuerdos propios y de los adoptados por la Junta General; y (c) el Jurado de Riego al que le corresponde conocer las cuestiones de hecho que se susciten entre los usuarios de la CCRR en el ámbito de las ordenanzas e imponer a los infractores las sanciones reglamentarias.

Hay que significar que con la aplicación de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CEE), cuyo objeto es establecer un marco para la protección de las aguas superficiales continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas, ha cambiado el papel de las CCRRs. Ahora las CCRRs también pasan a ser responsables del cuidado de los ecosistemas asociados al agua, lo que conlleva como consecuencia

una necesaria gestión de las demandas de agua en contraposición a la tradicional gestión de la oferta (Giménez *et al.*, 2010).

3.3. PRINCIPALES ASOCIACIONES

Las principales asociaciones de CCRRs en España y en la Región de Murcia son:

- *Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España (FENACORE)*. Se trata de una organización sin ánimo de lucro que agrupa a las organizaciones (CCRRs, sindicatos de riegos, etc.) españolas dedicadas a la gestión del agua para riego. Esta asociación se creó en 1955 para establecer y mantener una unidad de criterios de actuación entre todas las entidades implicadas en la gestión del agua para riego. El objetivo fundamental de FENACORE (2013) es: *“defender apolíticamente los intereses y derechos del agua, armonizando el esfuerzo y el trabajo de todas las partes involucradas en el regadío español y colaborando estrechamente con las distintas administraciones públicas en el diseño de la política del agua del país”*.
- *Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura (SCRATS)*. Agrupa a 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, son miembros aquellos que, con derecho para riego de recursos propios de la cuenca del Segura, sólo puedan conducir sus caudales a través de las infraestructuras del Postravase. El SCRATS (2013), 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”*.
- También destacan las asociaciones que agrupan a las comunidades de regantes y usuarios del regadío tradicional de la cuenca del Segura como:
 - *Junta Central de Usuarios Norte de la Vega del Río Segura.*
 - *Junta Central de Usuarios Regantes del Segura.*

- *Junta de Hacendados de la Huerta de Murcia.*

3.4. SISTEMAS DE GESTIÓN Y ESTADO TECNOLÓGICO

La Directiva Marco del Agua exige que: *“los Estados miembros, a más tardar en 2010, tendrán en cuenta el principio de la recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua, incluidos los costes medioambientales y los relativos a los recursos”*, circunstancia por la que se hace imprescindible un control de los caudales consumidos en el regadío.

La adopción de tecnologías para la distribución y control del agua de riego, que corresponde a las CCRRs, se ha venido realizando de forma general a través de los planes de modernización, mejora y consolidación de regadíos (Alcón, 2007). La modernización de las CCRRs ha sido promovida fundamentalmente para controlar los volúmenes suministrados, mejorar la gestión y la eficiencia del uso del agua en sus zonas regables (López-Gunn *et al.*, 2012). Estos procesos de modernización se han caracterizado principalmente por la sustitución de los tradicionales sistemas de distribución de canales abiertos por conducciones presurizadas, y la incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) a la gestión de las CCRRs (Playán y Mateos, 2006; García-Vila *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2011a). La incorporación de estas nuevas tecnologías ofrece muchas oportunidades a los gestores de las CCRRs, dado que pueden contar con diferentes herramientas para optimizar la distribución de agua, prestando un mejor servicio a sus agricultores: sistemas de supervisión y adquisición de datos (SCADA), sistemas de soporte a la decisión (SSD), sistemas de información geográfica (GIS), y aplicaciones Web y para telefonía móvil.

El SCADA realiza el telecontrol y monitorización de la red de riego, y de la propia red de comunicaciones. El sistema permite llevar la información hacia y desde los elementos de operación hasta el centro de control, realizando el análisis y control necesarios sobre los diferentes elementos, y transmitiendo las acciones requeridas para el control de procesos (Bailey y Wright, 2003; Burt y Anderson, 2005). Debe ser robusto a fallos locales,

flexible, modular y permitir fácilmente su expansión (Rijo, 2008). Los sistemas de telecontrol mediante comunicación vía radio han proporcionado oportunidades para implementar la comunicación inalámbrica de datos en la agricultura (Lee *et al.*, 2002; Oksanen *et al.*, 2004; Zhang, 2004). Las ventajas principales de utilizar sensores inalámbricos son la reducción de los costes de cableado, y la facilidad de su instalación y mantenimiento (Dursun y Ozden, 2012).

Los SSD son herramientas potentes para la ayuda a la gestión. Integran datos, modelos matemáticos y el conocimiento del usuario, por lo que permiten la simulación de un gran número de soluciones alternativas al considerar el efecto de los factores más relevantes introducidos al sistema (Zazueta *et al.*, 2006; Richards *et al.*, 2008). La aplicación de los SSD en la gestión de riego se inició a principios de los años 90, siendo de gran utilidad, ya que permite la consideración conjunta del riego, de la hidráulica y de los criterios económicos (Gonçalves y Pereira, 2009; Xu *et al.*, 2011).

Particularmente relevante para la gestión de las CRRs son los GIS, debido a la gran cantidad de datos espaciales georreferenciados que manejan. Un GIS integra hardware, software y los datos disponibles en el sistema; manejando, analizando y mostrando toda la información espacial (Pavan *et al.*, 2011). El WebGIS permite a los usuarios no especializados la rápida generación de mapas temáticos y consultas gráficas (Serrano *et al.*, 2008). Estas aplicaciones presentan un gran potencial para compartir datos, proporcionando un fácil acceso a los usuarios con conocimiento limitado de los GIS; recopilando datos e información personalizada por temas específicos, y apoyando la toma de decisiones (Nelson, 2002; Mathiyalagan *et al.*, 2005; Orellana *et al.*, 2011).

La disponibilidad del uso de Internet en diferentes dispositivos electrónicos (PC, Tablet, Smartphone, Smart TV, etc.) y el sencillo manejo de las diferentes aplicaciones Web está permitiendo establecer nuevos canales de comunicación para el uso de los servicios de las CRRs, tanto para el personal de la misma como para los agricultores.

En las CCRRs donde se aplican las TICs, el sistema de gestión suele estar formado por varias unidades hardware/software, que se encuentran estrechamente relacionadas y que se comunican a través de una sofisticada red de bases de datos y aplicaciones (Fig. 3.1). Las principales aplicaciones que pueden formar el sistema de gestión de una CCRR son: *Aplicación de riegos, GIS, SCADA, aplicaciones de modelización, tratamiento estadístico, teledetección, aplicaciones Web y las aplicaciones para móviles.*

La arquitectura del sistema de gestión suele estar organizada en capas o niveles (Fig. 3.1). Los diferentes niveles son:

1. *El nivel Cliente* es el responsable del intercambio de información entre los diferentes usuarios y el sistema. Proporciona a los usuarios un interfaz amigable, que recibe la entrada de datos de los regantes y del personal de la CCRRs, y muestra la información proporcionada por el sistema. Todos los usuarios tienen acceso remoto al sistema mediante las aplicaciones Web y para telefonía móvil.
2. *El nivel Servidor* conecta a los usuarios con los nodos remotos, y consiste en las diferentes aplicaciones y en las bases de datos del sistema. Las bases de datos empleadas son bases de datos relacionales, en las que se produce el almacenamiento de toda la información, incluyendo datos espaciales e históricos. El propósito de estas herramientas o aplicaciones es llevar la información al interfaz de usuario, proporcionando acceso a toda la información disponible y facilitando la ejecución de las diferentes tareas de la CCRRs. En este nivel se puede incluir un software que conecta con los bancos, para recibir la relación de los ingresos realizados por los agricultores para poder efectuar sus riegos.

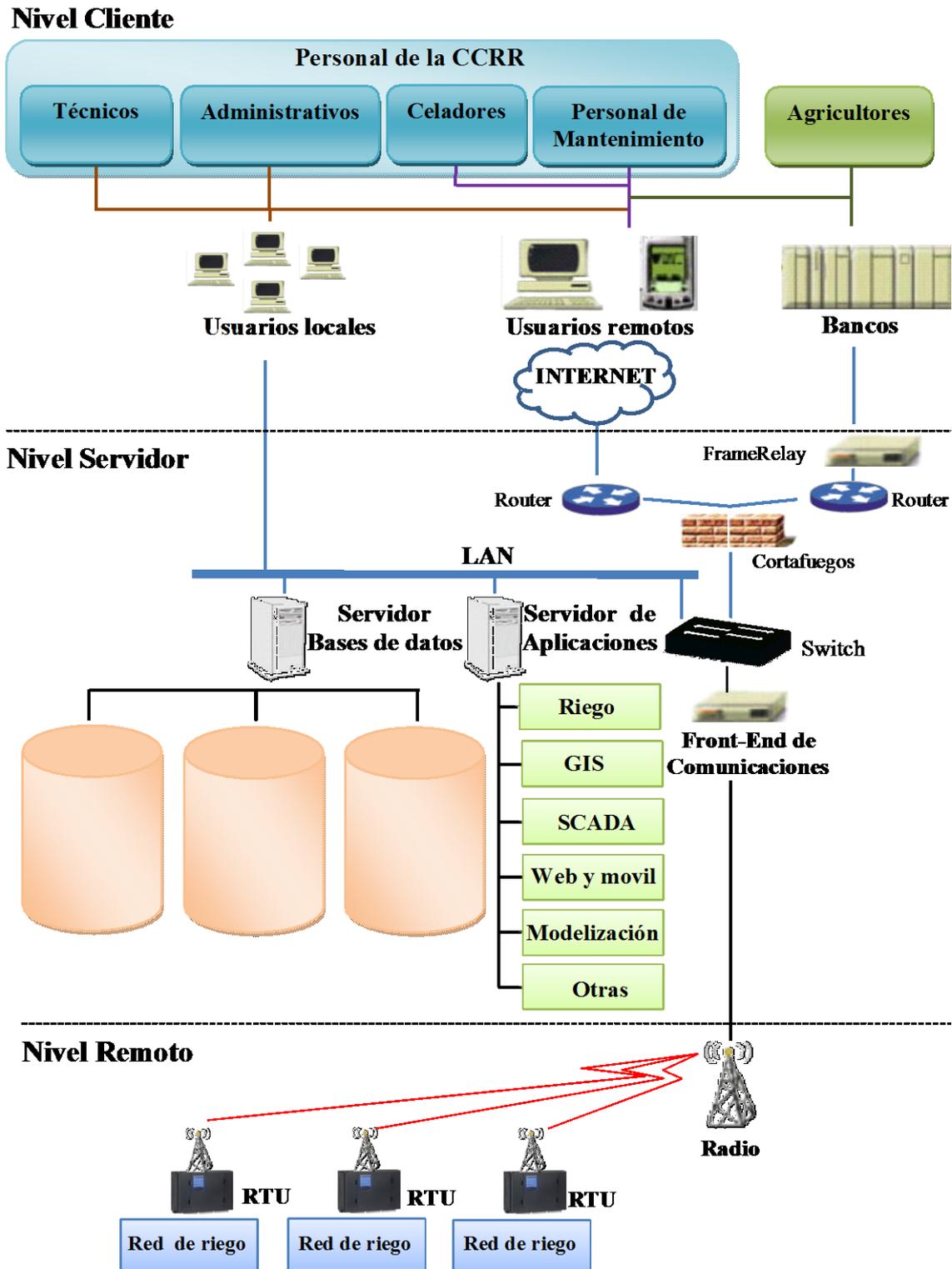


Figura 3.1. Los tres niveles del sistema de gestión de una CCRR.

3. *El nivel Remoto* permite realizar el telecontrol y la supervisión remota de las infraestructuras de riego. Su función es la de garantizar las comunicaciones entre el software del sistema y las unidades de

terminal remoto (RTUs) instaladas junto a los elementos de control. Además monitoriza la red de riego, controlando la integridad del flujo de datos, así como la activación o desconexión de equipos remotos de manera automática o a solicitud del usuario. Los *Front-End* de comunicaciones actúan como enrutadores de las comunicaciones entre las RTUs y el software del SCADA, hacen de interfaz entre los distintos medios de comunicación disponibles, entre la red Ethernet (LAN) del centro de control y la red que da cobertura a las RTUs. Se pueden emplear diversos medios desde comunicación como el cable, la radio, la fibra óptica, la telefonía móvil, etc.

3.5. APLICACIONES DEL SISTEMA DE GESTIÓN

Tal como se ha visto en el apartado anterior, el sistema de gestión de las CRRs (Fig. 3.1) suelen estar formado por diferentes aplicaciones que permiten la optimización de la distribución del agua, facilitando las tareas del personal de la CRRs, así como mejorando el servicio a los regantes. Los técnicos y el personal administrativo pueden ser los usuarios de las siguientes aplicaciones en modo local:

1. *La aplicación de riego* es la encargada de la gestión del censo, de la asignación del agua de riego y de su distribución. Controla tanto las peticiones de riego de los agricultores como los riegos efectuados. En caso de sistema de distribución por turnos, establece los turnos de riego en base al protocolo establecido (cálculo de turnos). Envía al SCADA la programación de los riegos y una vez ejecutados, recibe los datos de los volúmenes suministrados para poder hacer la facturación a cada agricultor, descontando el agua consumida y el dinero de sus respectivos saldos. Esta aplicación puede tener integrado un módulo GIS que permite consultar gráficamente las parcelas de un agricultor y la información sobre la infraestructura hidráulica.
2. En la aplicación *GIS* se realiza la edición de información gráfica de las parcelas e infraestructuras, así como las consultas y mapas temáticos de toda la información disponible. Se puede conectar a

- distintos servidores *Web Map Server* (WMS) que proporcionan información de catastro, ortofotomapas, mapas de suelos, cartografía medioambiental, actuaciones urbanas, etc. El GIS permite una visualización global de toda la zona regable, relacionando toda la información alfanumérica y espacial disponible.
3. La *aplicación de control del SCADA* presenta la información mediante un mapa interactivo que contiene todos los elementos de control. Recibe las ordenes de *la aplicación de riego*, efectúa las operaciones de telecontrol encargadas, y devuelve la información del normal desenvolvimiento de los suministros o de los eventos que se hayan producido (consumos, averías, etc.), que *la aplicación de riego* transmitirá finalmente a los agricultores afectados. Se pueden describir tres niveles de actuación del SCADA: (i) monitorización: los datos suministrados por los sensores instalados en la red de riego son recopilados por el centro de control, y pueden ser observados directamente por el operador o remotamente a través de aplicaciones web y de telefonía móvil; (ii) control manual: el operador puede actuar directamente sobre la infraestructura de riego desde el centro de control o remotamente a través de aplicaciones web; y (iii) control automático: una RTU recibe automáticamente la programación de los riegos procedentes de la aplicación de riego, abriendo la válvula y cerrándola según lo programado, enviando a la *aplicación de riego* el volumen suministrado en base a las lecturas del contador.
 4. Se puede disponer de un *modelo hidráulico de la red*, que estará permanentemente actualizado gracias a la integración GIS–SCADA. El GIS proporciona toda la información actualizada sobre cartografía y características de la red, con lo que se construye el modelo básico. Por su parte, el SCADA proporciona información sobre consumos y actuaciones sobre los elementos de la red en tiempo real, permitiendo conocer la evolución de las variables hidráulicas ante cualquier situación. El modelo así actualizado se emplea para tareas de planificación desde programas como EPANET o GISRed, y

también en la toma diaria de decisiones mediante la integración del modelo en el sistema SCADA (aplicación SCARed).

5. La *aplicación de gestión contable* se encarga de la gestión contable de la CCRRs. Proporciona información sobre la facturación realizada a cada usuario en base a los volúmenes suministrados. Enlaza los ingresos realizados por los usuarios en las entidades bancarias con las cuentas de la CCRRs. De esta manera los citados ingresos quedan automáticamente reflejados en la cuenta de los regantes. Los ingresos para el pago de las cantidades solicitadas por la CCRRs se puede realizar directamente en la sucursal bancaria, en cajeros o mediante banca electrónica. Además se pueden implementar aplicaciones que permitan al regante programar sus riegos a través de un cajero bancario.
6. La función del *módulo de tratamiento estadístico* es analizar todos los datos recopilados por el sistema de gestión, permitiendo realizar de forma periódica y programada las evaluaciones, estudios e informes sobre la evolución de los indicadores deseados.
7. La *Teledetección* permite contrastar la información suministrada por los regantes mediante el uso de imágenes multiespectrales remotas. Se aplica para contrastar información relativa al cultivo implantado, los embalses declarados o uso real del agua suministrada. Esta información puede resultar de gran utilidad para detectar usos fraudulentos del agua.

El acceso remoto al sistema se realiza a través de las *aplicaciones Web* y para *telefonía móvil*. Estas aplicaciones suelen presentar diferentes niveles de acceso: abierto, aplicaciones para los agricultores, y aplicaciones para el personal de la CCRRs (técnicos, celadores, personal de mantenimiento y administrativos). Las aplicaciones permiten a los agricultores acceder a su información y gestionar todas sus tareas relacionadas con los volúmenes de agua suministrados. El personal de la CCRR puede disponer de diferentes aplicaciones Web para: (a) dar servicio a los agricultores, (b) poder supervisar y controlar la distribución del agua, y

(c) registrar las operaciones de mantenimiento. Las principales aplicaciones son:

- *Aplicación celadores*. Permite que los celadores puedan atender a los agricultores y supervisar remotamente los riegos y toda la infraestructura que tienen a su cargo. El acceso por Internet permite una conexión directa con las bases de datos del sistema.
- *Aplicación de incidencias*. Registra las operaciones de mantenimiento preventivo, normativo y de reposición de la infraestructura realizadas por los celadores y el personal de mantenimiento. Por tanto permite a los técnicos, celadores y personal de mantenimiento un seguimiento histórico de las operaciones de mantenimiento, así como de los elementos en que se producen las mismas.
- *WikiCCRR*. Se trata de un sistema de gestión documental compartido que recoge toda la información de gestión técnica de las infraestructuras. Su objeto es compartir y mejorar las comunicaciones y procesos internos entre el personal de la CCRR.
- *WebGIS*. En el *WebGIS* se integran los mapas propios de la CCRRs con ortofotomapas, mapas topográficos y mapas catastrales disponibles en otros servidores.
- *Asesoramiento al regante*. Partiendo de la información agro-climática existente de las distintas estaciones de las redes agrometeorológicas que monitorizan la zona, obtenida diariamente a través de Internet, se determinan las necesidades de riego de los cultivos a escala diaria. Esta información, junto con los datos de las parcelas disponibles en la base de datos, permite determinar las necesidades de cada una de las parcelas, y por tanto realizar el calendario de riegos y programar el funcionamiento de la red de distribución. En esta programación se tendrá en cuenta tanto la optimización de los costes energéticos de la red como sus limitaciones hidráulicas.

3.6.NECESIDADES DE AUTOMATIZACIÓN Y TELECONTROL EN REDES DE RIEGO

La puesta a disposición de los cultivos de las dosis de agua necesarias mediante el riego exige una infraestructura hidráulica, que transporte dicho recurso desde su lugar de origen hasta el mismo punto sobre el que crece el cultivo. En esta infraestructura de distribución se suele diferenciar entre la destinada a llevar el recurso hídrico desde su origen hasta la parcela o sus proximidades (red de riego) y la destinada a distribuir dicho recurso en el interior de la parcela (instalación de riego en parcela).

La gestión y operación eficiente de una red de riego requiere de sistemas de automatización y control que permitan llevar la información hacia y desde los elementos de operación hidráulica, y que muestren el estado de funcionamiento de la red de riego y de la propia red de comunicaciones. La supervisión y control de estos sistemas se realiza, tal como se ha comentado anteriormente, mediante el sistema SCADA. A continuación se describen las principales necesidades de automatización que se pueden presentar en las redes colectivas de riego de las CCRRs.

Uno de los principales objetivos de la gestión del agua de riego es realizar correctamente esta regulación del recurso, con el fin de adecuarlos a las demandas. Para esta función es necesario disponer de depósitos de almacenamiento (balsas de riego), cuyo tamaño generalmente está relacionado con la escala temporal de la regulación que se pretende realizar. Además, las balsas facilitan la optimización del gasto energético. Se puede automatizar el funcionamiento en las balsas mediante la instalación de dispositivos que permitan conocer su nivel de almacenamiento y operar sobre sus válvulas de entrada y salida de agua. Para monitorizar las balsas de riego se suelen incorporar los siguientes dispositivos:

- *Sondas de nivel.* Se utilizan para conocer el nivel de los embalses de regulación. Los más utilizados son los sensores de nivel por ultrasónicos y los sensores de presión. Estos últimos permiten medir

- la altura de la columna de agua por encima de su posición y se sitúan sobre el lecho del embalse a través de un tubo guía.
- *Sistema antidesbordamiento.* Se suele colocar una válvula hidráulica de control en la tubería de entrada al embalse, comandada hidráulicamente por un sistema de flotador. También se pueden instalar sensores en el mecanismo de la boya antidesbordamiento de forma que detecten la posición de la boya en las posiciones extremas de su recorrido, pudiendo emitir una señal de aviso (alarma). En la Fig. 3.2 se muestra el esquema general de funcionamiento del sistema antidesbordamiento.
 - *Detección de fugas.* Para la detección de fugas de agua en los embalses se suele disponer de un sistema de conductos porosos bajo la lámina impermeable (red de drenaje) que desembocan en una arqueta de drenaje. En esta arqueta se instala un sensor para detectar la presencia de caudal en el sistema de drenaje.

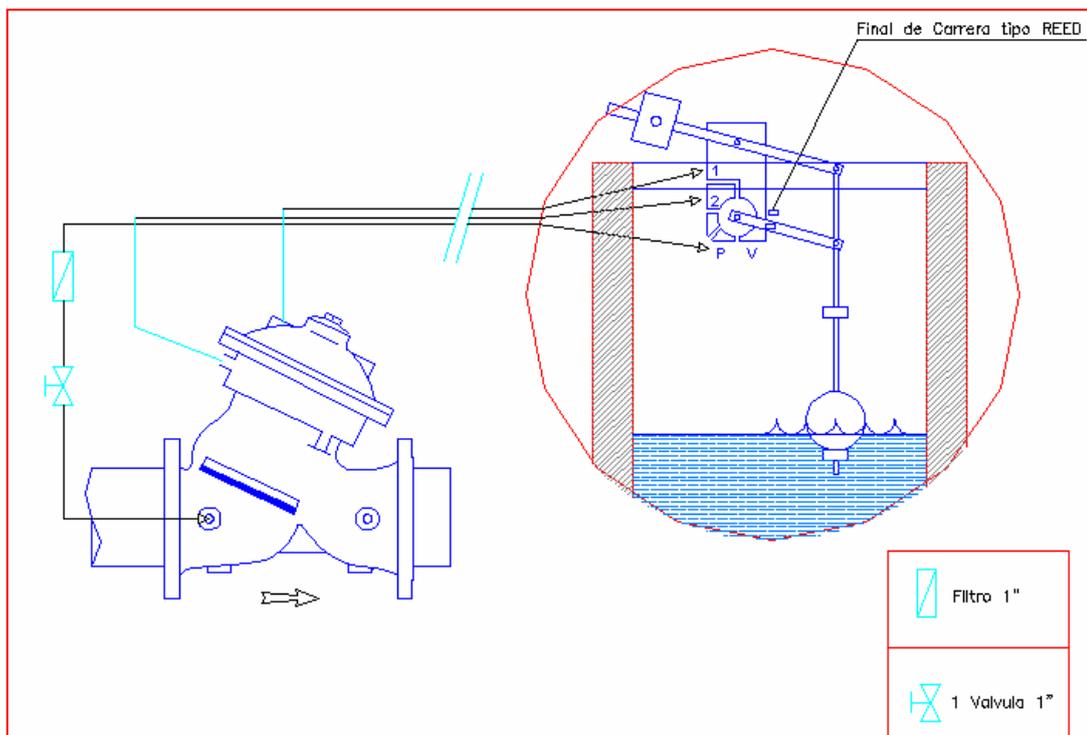


Figura 3.2. Esquema general de funcionamiento del sistema antidesbordamiento.

La automatización de la red de riego debe permitir conocer el estado de funcionamiento de la red en todo momento, así como actuar sobre las

válvulas que regulan el paso de agua en cada línea o toma de riego. Normalmente la red de riego tiene una estructura ramificada, partiendo de la balsa de cabecera, que siempre que resulta posible se sitúa en cotas altas para dotar de suficiente presión a la red de riego. En este caso será necesario un sistema de bombeo que eleve el agua hasta la localización de la balsa. En caso de no disponer de cota suficiente en el embalse, resulta necesaria la instalación de una estación de bombeo directamente conectada con la red de riego (impulsión directa). El sistema de telecontrol de la red estará destinado a controlar remotamente los caudales, presiones y apertura y cierre de válvulas en los distintos puntos de interés de la red (hidrantes, derivaciones, bombeos, etc.). Además, se puede controlar otros parámetros de interés, como por ejemplo el pH y la conductividad eléctrica del agua de riego.

En los puntos o arquetas de derivación de la red se necesita controlar la maniobra de apertura y cierre de las válvulas, así como realizar la toma de datos de los contadores.

Estas actuaciones de control y toma de datos se realizan normalmente con una válvula hidráulica y un contador tipo Woltman. El contador está dotado de un contacto *Reed*, normalmente abierto, que se cierra al paso de un imán cada metro cúbico o fracción de agua suministrada. El caudal se calcula a partir del periodo de tiempo transcurrido entre pulsos.

Las válvulas hidráulicas se controlan mediante un solenoide que se alimenta con un pulso eléctrico de corta duración en los instantes de apertura y cierre. De éste modo el consumo eléctrico para las maniobras es muy reducido.

En la Fig. 3.3 se muestran dos ejemplos de derivación de una tubería secundaria, mientras que la Fig. 3.4 se observan dos arquetas de consumo o hidrantes multiusuario. En ocasiones también se emplean sensores de presión con salida analógica en corriente, colocados en puntos significativos de la red.



Figura 3.3. Arqueta de derivación en tubería secundaria. Izquierda: contador + carrete + válvula hidráulica con solenoide + manómetro. Derecha: filtro cazapiedras + contador + válvula hidráulica con solenoide + ventosa (en amarillo hidrante: contador + válvula hidráulica).



Figura 3.4. Tomas de derivación a parcelas (hidrantes multiusuario). Izquierda: válvula manual + contador + válvula hidráulica con solenoide. Derecha: filtro + contador + válvula hidráulica con solenoide.

En las tuberías principales no suelen instalarse válvulas, siendo la única función del sistema de telecontrol el registro de caudales y presiones en las mismas. Estas actuaciones de toma de datos en tuberías de gran diámetro se realizan generalmente mediante contadores ultrasónicos o electromagnéticos.

El funcionamiento de las estaciones de bombeo se puede automatizar a través de la instalación de un autómata programable. Se puede programar el arranque y parada de los grupos de bombeo o actuar directamente sobre ellos mediante control remoto. Además se suelen monitorizar los siguientes tipos de señales y parámetros en las estaciones de bombeo:

- *Parámetros de consumo eléctrico.* Dada la importancia que tiene el consumo eléctrico en estas instalaciones, se debe instalar un analizador de la red eléctrica que suministre al menos los parámetros de tensión de línea e intensidad de corriente en la instalación.
- *Presión en los calderines antiariete.* En las instalaciones con calderines para mitigar el golpe de ariete se pueden instalar sensores de presión con el fin de comprobar su buen estado de funcionamiento. *Presión en las tuberías de impulsión.* Se instalan sensores de presión en el colector de impulsión de las bombas, de forma que se puede tarar la puesta en marcha o parada de los grupos de bombeo en función de la ecuación de consigna de la red.
- *Presión en la tubería de aspiración.* Con sensores de presión en el colector de aspiración se puede detectar si se produce una bajada de nivel de agua en el depósito de toma o alguna obstrucción en la aspiración.
- *Alarmas.*
- *Medida de parámetros de la calidad del agua:* conductividad, pH, turbidez.
- *Sistemas de prevención y localización de fugas.*

Para evitar la obstrucción de los distintos elementos que forman una red de distribución de agua son de vital importancia los sistemas de filtrado, cuya automatización también se debe considerar. Cuando se trata de sistemas abiertos (acequias), se recomienda instalar los sistemas de filtrado al principio o al final de los canales de distribución, dado que su colocación en tramos intermedios puede producir desbordamiento en caso de obstrucción del sistema de filtrado. En la Fig. 3.5 se muestra un filtro

limpia rejas formado por: rejilla (recoge elementos sólidos en suspensión que transporta el agua), 2 brazos hidráulicos (realizan la limpieza de las rejillas), cinta transportadora (retira los elementos inertes que van recogiendo los brazos mecánicos) y contenedores (en ellos se va acumulando todos los elementos que proceden de la cinta).



Figura 3.5. Filtro limpia rejas situado al final del Canal Principal del Campo de Cartagena.

En los canales abiertos, al igual que ocurre en los embalses, se produce gran proliferación de algas que pueden dañar la infraestructura de distribución. Por este motivo es conveniente la instalación de un sistema de filtrado en cabeza de todas las tuberías de distribución que deriven de ellos. En la Fig. 3.6 se muestra un sistema de filtrado para estas situaciones, que consiste en una especie de noria mecánica, cuya pared perimetral circular es atravesada por el agua. Estas paredes filtrantes están formadas por unas mallas que son las que retienen los elementos inertes del agua. En las arquetas de derivación de las tuberías primarias y secundarias también se suelen instalar filtros para evitar la entrada de elementos que pueda llevar el agua en suspensión y pueda obstruir el contador o evitar el

correcto funcionamiento de la válvula hidráulica. Se denominan habitualmente filtros cazapiedras (Fig. 3.3).



Figura 3.6. Filtro tipo noria en derivación en tubería principal de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena.

Finalmente, cabe indicar que los sistemas de drenaje agrícolas no suelen requerir de automatismos. Sólo en ocasiones, cuando el punto de vertido se encuentra por debajo del nivel al que se derivan las aguas drenadas, será necesaria la instalación de sistemas de bombeo o compuertas. Un claro ejemplo de este tipo de instalaciones se produce en las zonas de riego aledañas a marismas (por ejemplo, el bajo Guadalquivir), donde en función del nivel de la marea, el sistema de drenaje puede producir la evacuación del agua drenada o no. En este caso, suelen instalarse compuertas automáticas, cuya apertura se programa en los momentos de bajamar. También suelen ser necesarios grupos de bombeo de elevado caudal y baja presión cuando el sistema de compuertas resulta insuficiente.

3.7. TELECONTROL DE REDES DE RIEGO

Para un correcto funcionamiento y un adecuado cumplimiento de las expectativas depositadas por el usuario en un sistema de telecontrol de redes de riego es necesario que éste cumpla una serie de requisitos.

- Robustez de los elementos que se van a instalar. El medio en el que se va a instalar el sistema es hostil para los elementos que lo componen (dispositivos electrónicos, radios, cables de comunicación, etc.). Los elementos de control deben estar preparados para soportar niveles altos de temperatura, humedad relativa, e incluso para mojaduras directas debidas al propio sistema de riego. Además el viento transporta mucho polvo y arenilla, y la atmósfera en zonas costeras produce depósitos de salitre en los equipos. También los animales pueden dañar directamente los equipos.
- Seguridad de los sistemas de comunicación y procesos de funcionamiento del sistema. Las instalaciones de telecontrol de riegos abarcan amplias superficies, proporcionando servicio a un número elevado de usuarios. Es necesario que los fallos de funcionamiento de los equipos que se puedan producir no afecten a la totalidad de la red de riego, sino que sean limitados e identificables para reducir al máximo su impacto y el tiempo necesario para el restablecimiento de la zona afectada.
- Antivandalismo. Los equipos que se instalan en campo no están normalmente vigilados, lo que facilita acciones vandálicas o de pillaje. Por esto se hace necesario dificultar al máximo estas actuaciones, protegiendo convenientemente u ocultando los equipos, e intentando dentro de lo posible disminuir el atractivo visual o económico de los mismos.
- Autonomía. El lugar donde se localizan los elementos de control y de actuación no suele tener suministro eléctrico cercano, y dotarles de dicho suministro a partir de las líneas eléctricas más cercanas haría inviable cualquier proyecto. Es preciso, por tanto, dotar al sistema de telecontrol de elementos con alimentación autónoma.

- *Mantenimiento sencillo y económico.* Los propios operarios de la CCRR encargados de manejo del sistema deben poder realizar las tareas de mantenimiento más habituales, que garanticen la estabilidad de las funcionalidades de los elementos del telecontrol sin tener que depender de la empresa instaladora. Para ello, el manejo debe ser suficientemente sencillo y amigable, y los diferentes dispositivos que forman los elementos de campo de fácil chequeo y sustitución.
- *Escalabilidad.* Es muy habitual que se realicen cambios en el número de salidas a parcela, en la localización de hidrantes, etc., por lo que debe permitirse la ampliación o adaptación del telecontrol instalado a las modificaciones que se puedan realizar en la red hidráulica.
- *Uso de estándares comerciales.* Facilitan la sustitución de un elemento por avería o fin de su vida útil por otros iguales o similares de otras marcas existentes en el mercado. Evita la dependencia absoluta de un único fabricante.

Los elementos que suelen formar el sistema de telecontrol en redes de riego son:

- El *centro de control* está compuesto por los siguientes elementos: (a) Clústeres de Servidores donde está el software del SCADA, (b) frontales de comunicaciones (*FRONT END*), (c) Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) y (d) panel sinóptico (Fig. 3.7).
- Las *estaciones concentradoras* realizan la gestión total de las órdenes enviadas por el centro de control, y la adquisición y almacenamiento de datos de la red de riego y de la red de telecontrol, para su posterior transmisión al centro de control. Para ello contienen una tarjeta microcontroladora o PLC que las dota de la suficiente memoria y poder de decisión. Disponen, en el caso de que la comunicación se realice por radio de un sistema propio de alimentación, normalmente por paneles solares de baja potencia, que las dota de autonomía. A las estaciones controladoras se le asigna el control de un número variable de RTUs, por lo que, dependiendo de la topología del sistema y del número de RTUs,

puede haber una, varias o ninguna. Suelen incorporar inteligencia distribuida, de este modo, en caso de avería o falta de comunicación con el centro de control, mantienen en funcionamiento el sistema.

- Las *RTUs* son elementos de extrema importancia, al ser los que realizan las órdenes de apertura y cierre de las electroválvulas para poder efectuar el riego, así como la captación de los pulsos del contador de riego, imprescindible para la facturación a cada usuario del agua consumida. Están ubicadas junto al elemento que ha de controlarse: contador, válvula, etc. Cada vez es más frecuente que las RTUs tengan inteligencia propia, lo que permite prescindir de las unidades concentradoras.



Figura 3.7. Cuadro sinóptico de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena.

Capítulo IV

COMUNIDADES DE REGANTES OBJETO DEL ESTUDIO

B. Martín Górriz, M. Soto García, V. Martínez Álvarez

En este capítulo se muestran las principales características de las comunidades de regantes incluidas en el estudio, justificando su selección y describiendo los procedimientos seguidos con la información recogida para poder llevar a cabo este trabajo de investigación.

4.1. JUSTIFICACIÓN DE LAS ZONAS SELECCIONADAS

Se han seleccionado cinco de las principales y más representativas comunidades de regantes (CCRRs) del regadío murciano (Fig. 4.1): Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC), Comunidad de Regantes de Lorca (CRLO), Comunidad de Regantes del Trasvase Tajo Segura Calasparra-Cieza (CRTCC), Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva (CRPC) y Comunidad de Regantes de Miraflores (CRM). Las cinco CCRRs seleccionadas (CRCC, CRLO, CRTCC, CRPC, CRM) representan una superficie de 71.954 ha, lo que supone un 38,5% del total de la superficie regable de la Región de Murcia en 2011. Cada una de ellas es típica de los regadíos de las comarcas del Campo de Cartagena, del Valle del Guadalentín, de la Vega del Segura, de Río Mula y del Altiplano, respectivamente.

La muestra se puede considerar representativa del regadío de la Región de Murcia por: (i) el porcentaje de superficie regable seleccionada; (ii) el periodo analizado, que se extiende desde 2002 hasta 2011; (iii) las grandes diferencias entre superficies, cultivos y procedencia de los recursos hídricos; (iv) y por ser cada una de las CCRRs representativa de las distintas comarcas agrarias en que se divide la Región de Murcia. Por otra parte, como se indicó en el Capítulo II, no se ha seleccionado ninguna

CCRRs de la comarca del Noroeste dado que la agricultura de regadío de esta zona es poco significativa y presenta escasa tecnificación.

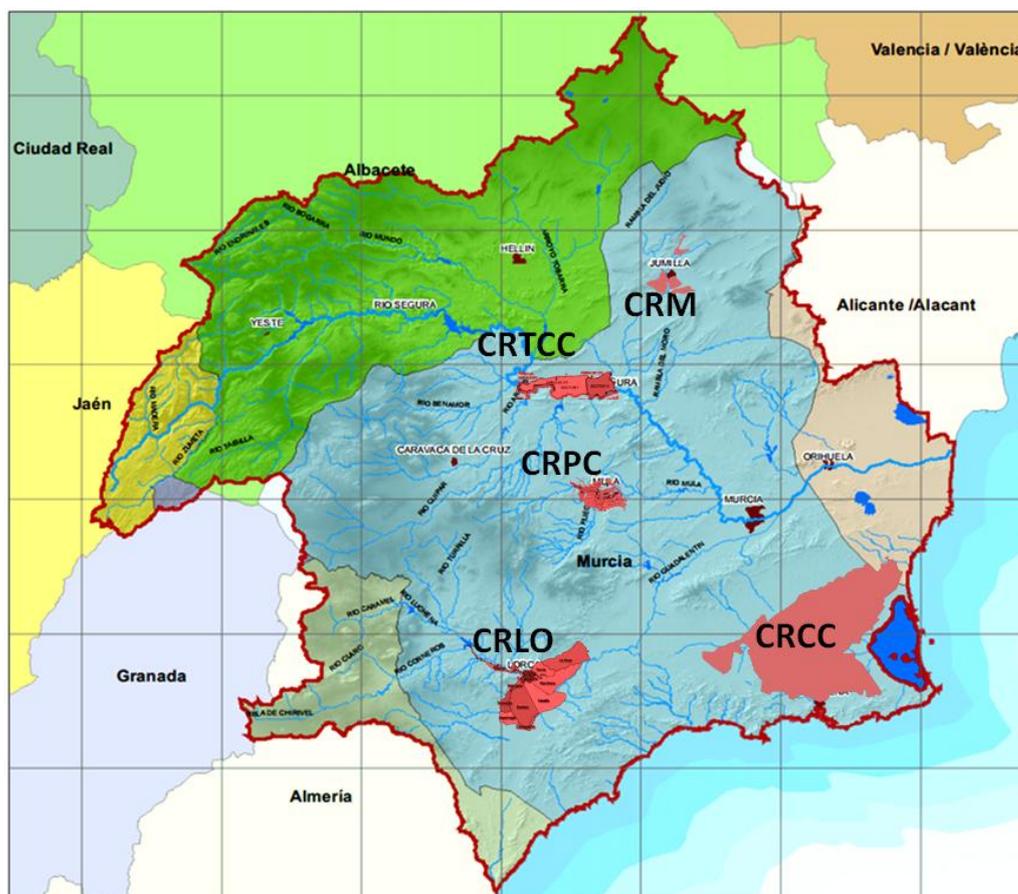


Figura 4.1. Ubicación de las comunidades de regantes analizadas en la Región de Murcia: Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC), Comunidad de Regantes de Lorca (CRCC), Comunidad de Regantes del Trasvase Tajo Segura Calasparra-Cieza (CRTCC), Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva (CRPC) y Comunidad de Regantes de Miraflores (CRM).

4.2. COMUNIDAD DE REGANTES DEL CAMPO DE CARTAGENA (CRCC)

La CRCC se ubica en la Comarca del Campo de Cartagena, que tiene una de las agriculturas de regadío más rentables a nivel regional y nacional (Pérez-Blanco *et al.*, 2011). El clima es mediterráneo semiárido, con una precipitación media anual de 300 mm, y una temperatura media anual de 18°C (Jiménez-Martínez *et al.* 2009).

Esta CCRR se constituyó en el año 1952, pero los primeros riegos no se pudieron realizar hasta 1979, con la llegada de las aguas del Trasvase Tajo-Segura. Comprende una superficie regable de 41.065 ha con 9.506 comuneros, extendiéndose por los términos municipales de Cartagena, Fuente Álamo, Los Alcázares, Murcia, San Javier, San Pedro del Pinatar y Torre Pacheco, en la provincia de Murcia, e incluyendo también El Pilar de la Horadada en la provincia de Alicante (CRCC, 2013). Se trata de una de las CCRRs más grandes y tecnificadas de Europa (Alcón *et al.* 2006). En la Fig. 4.2 se muestra la distribución espacial de la Zona Regable.

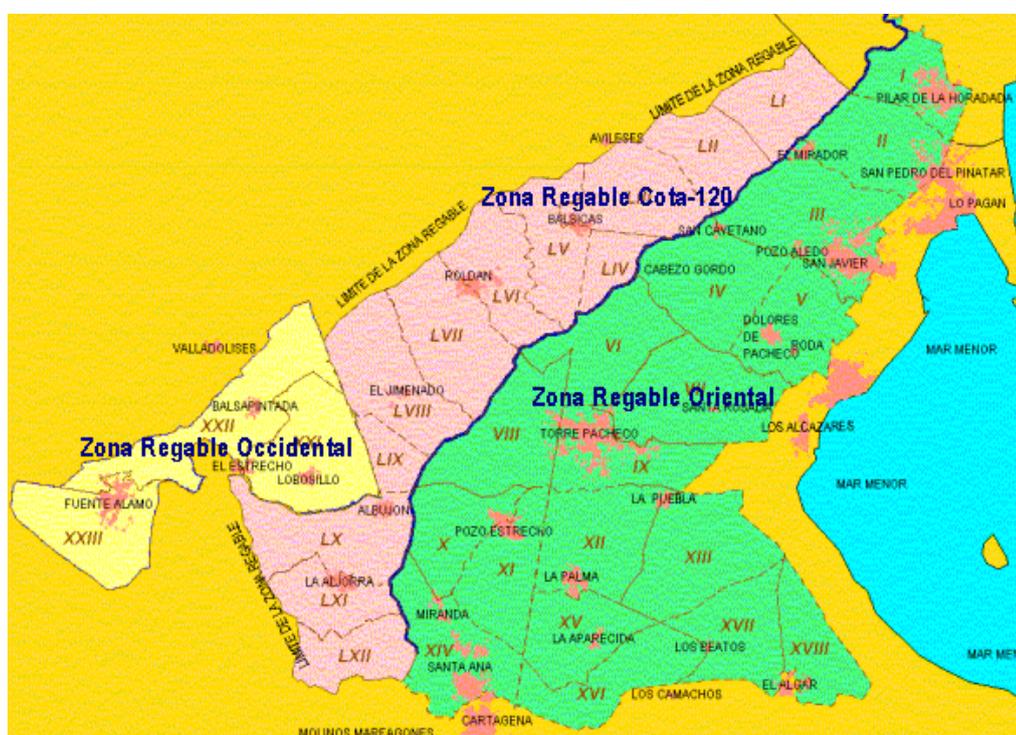


Figura 4.2. Zona Regable de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC, 2013).

El área regada durante el periodo 2002-2011 ha variado entre 30.831 y 34.131 ha en función de la disponibilidad de agua. Los cultivos predominantes en la zona regable (Fig. 4.3), por orden de importancia, son los hortícolas (lechuga, melón, alcachofa y brócoli), los cítricos (limonero, naranja y mandarino) y los cultivos de invernadero (pimiento).

Los recursos hídricos disponibles para riego pueden alcanzar los 141,6 hm³ año⁻¹, que proceden en su mayor parte del Trasvase Tajo-Segura (122 hm³), aunque también se suministra cantidades menores de otras fuentes: superficial de la Cuenca (4,2 hm³), desalinizada (2,2 hm³), y reutilizada (13,2 hm³). Hay que destacar que la fuerte dependencia del Trasvase Tajo-Segura hace que la CRCC esté sometida a una gran irregularidad en la disponibilidad de sus dotaciones de agua, habiéndose alcanzado situaciones muy críticas como, por ejemplo, cuando solo se pudieron distribuir 18 hm³ en 1995.

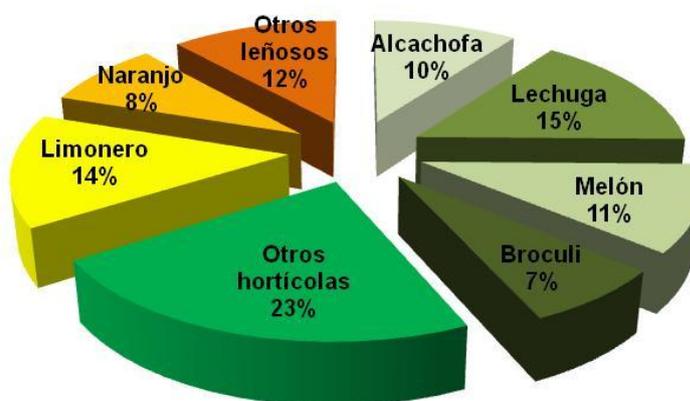


Figura 4.3. Distribución de cultivos de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena.

La CRCC tuvo un intenso proceso de modernización desde 1996 a 2010, que se organizó en tres fases (Soto-García *et al.*, 2007) y alcanzó una inversión económica total de 34 M€. La primera fase comenzó en 1996 y finalizó en 2002, suponiendo la automatización del 17% de la superficie. La segunda fase terminó en 2006, afectando al 57%, y la tercera fase se completó en 2010, actuando sobre el 26% restante. La modernización de la CRCC ha consistido principalmente en: (a) la sustitución de elementos de control y de medida por otros preparados para el telecontrol; (b) la instalación de equipos de medida en balsas y tuberías principales; (c) la agrupación de las estaciones de bombeo; (d) el aumento de la capacidad de almacenamiento y de la red de distribución; y (e) la incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación a la gestión de la CCRR. Este proceso de modernización es continuado con el desarrollo constante

de aplicaciones Web y para teléfono móviles (Del Amor, 2006). La modernización ha permitido un control exhaustivo del agua utilizada por cada comunero, permitiendo a los regantes la gestión de sus riegos a través de Internet o de telefonía móvil (Arcas y Alcón, 2007).



Figura 4.4. Grupos de bombeo de la impulsión de la Trinchera en la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena.

La infraestructura de distribución está constituida por el Canal Principal del Campo de Cartagena, que transporta y distribuye los recursos almacenados en el embalse de La Pedrera hasta las tuberías principales de cada sector de riego, ubicadas a lo largo de sus 64 km de longitud. La CRCC tiene 33 sectores de riego, 18 en la Zona Regable Oriental, 3 en la Occidental y 12 en la Cota 120 (Fig. 4.2), con 1.033 km de tuberías y 25 embalses de regulación con una capacidad total de 2,5 hm³. Las tuberías principales tienen un diámetro comprendido entre 1.800 y 1.600 mm, las primarias entre 300 y 700 mm, y las secundarias, que es donde se ubican las 1.187 tomas de riego, entre 80 y 250 mm. La Impulsión de Fuente Álamo abastece la Zona Regable Occidental mediante 6 bombas, que son capaces de elevar un caudal de 4,64 m³ s⁻¹ a una altura manométrica de 93

mca. La Zona Regable Cota-120 es abastecida por la Impulsión de la Trinchera (Fig. 4.4), con cuatro bombas capaces de elevar un caudal máximo de $1,04 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a una altura manométrica de 90 mca, y la Impulsión del Embalse de Cola, con tres bombas que elevan un caudal máximo de $0,74 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a una altura manométrica de 101 mca.

4.3. COMUNIDAD DE REGANTES DE LORCA (CRLO)

La zona regable de la CRLO, se encuentra enclavada en el Valle del Guadalentín, extendiéndose por los términos municipales de Lorca y Puerto Lumbreras. Esta zona tiene una temperatura media anual de 18°C , y una pluviometría en torno a los 240 mm año^{-1} , características que le confieren una gran aridez, que aumenta de norte a sur, hasta la zona de Águilas, que es la que registra los valores más bajos de precipitación en toda la Región de Murcia.

El regadío de Lorca existe desde la época de la ocupación musulmana en España, pero fue el Rey Alfonso X El Sabio quien dispuso la primera regulación en este sentido; así en el año 1268 estableció dos Reales Decretos: uno, sobre el reparto de las tierras, y otro, para dividir y repartir las aguas claras, las turbias y las de lluvias (CRLORCA, 2013).

La CRLO, con una superficie regable de 12.190 ha y 7.617 comuneros, se constituyó por la Orden Ministerial de Obras Públicas de 24 de noviembre de 1978. Está dividida en dos áreas, la primera de ellas ocupa gran parte del Valle que delimitan las sierras de Tercia y Almenara; y la segunda se extiende en dirección noroeste a lo largo del cauce del río Guadalentín. Este ámbito territorial prácticamente coincide con el regadío tradicional de Lorca, conformado por los Heredamientos de Alcalá, Altritar, Serrata, Hornillo, Sutullena y Alberquilla, Real, Tercia y Albacete; y con la agregación de la zona de ampliación del Plan Coordinado en el sector de Torrecilla (Fig. 4.5). La CRLO se divide en 6 grandes sectores de riego, que se corresponden aproximadamente con la divisoria de servicio de los canales principales de la red tradicional, los cuales se despliegan en forma radial a partir de la población de Lorca.



Figura 4.5. Zona Regable de la Comunidad de Regantes de Lorca (CRLORCA, 2013).

La superficie regada durante el periodo 2002-2011 ha variado entre 16.237 y 11.933 ha en función de la disponibilidad de agua. Los cultivos predominantes en la zona regable (Fig. 4.6) son los hortícolas (85,2% en 2.011). Por orden de importancia, los principales hortícolas son brócoli, lechuga y alcachofa. Los máximos recursos hídricos disponibles son de 54,01 hm³ año⁻¹ (SCRATS, 2013), procediendo en su mayor parte del Trasvase Tajo-Segura (29,06 hm³), además de otras fuentes menores: superficiales de la Cuenca (4,20 hm³), superficiales propios (6,00 hm³), subterráneas (13,00 hm³) y reutilizada (1,75 hm³). A estos recursos hay que añadir la concesión de 23 hm³ procedentes de la desaladora de Águilas, otorgada por la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS) en septiembre de 2011(CHS, 2013). Con estos recursos se regularizaron 11.254 ha de regadío consolidado, que pasaron a formar parte de la CRLO. La planta desaladora de Águilas comenzó su funcionamiento en Junio de 2012.

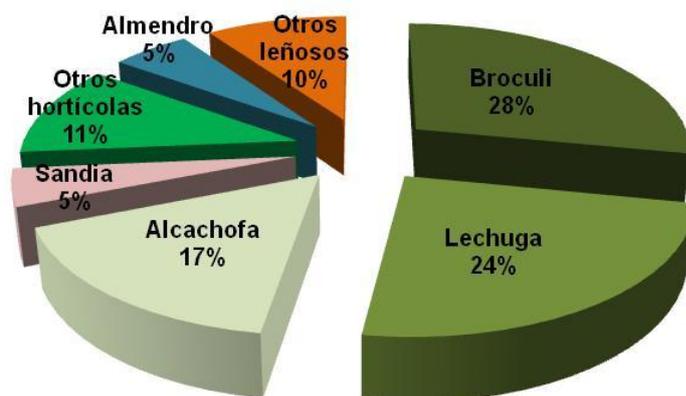


Figura 4.6. Distribución de cultivos de la Comunidad de Regantes de Lorca.



Figura 4.7. Tomas de derivación a parcelas (hidrantes multiusuario) de la Comunidad de Regantes de Lorca.

En el periodo 1992-2007 se llevó a cabo el proceso de modernización, que alcanzó una inversión de unos 133 M€. Entre las principales inversiones destacan: las mejoras en la Casa Mata (lugar de bombeo y distribución de la mayoría de los recursos de la CRLO), los embalses de regulación (A. Botia de 400.000 m³, Leonés de 400.000 m³, Torrecilla de 200.000 m³, La Hoya de 175.000 m³, y Jeresa de 110.000 m³), la red de tuberías principales (entre 500 y 1.600 mm de diámetro) y secundarias (entre 200 y 400 mm de diámetro), la instalación de hidrantes a nivel de parcela (Fig. 4.7), la instalación de automatismos, y la

informatización del sistema (Martínez y Gómez, 2008). Está pendiente la modernización del Heredamiento de la Tercia y la finalización en el Heredamiento de las Riberas (Gómez *et al.*, 2011).

4.4. COMUNIDAD DE REGANTES TRASVASE TAJO SEGURA CALASPARRA-CIEZA (CRTCC)

La CRTCC se ubica en la Vega Alta del Segura. Presenta una superficie regable de 3.983 ha, con 350 comuneros. Se extiende por los municipios de Cieza (65%) y Calasparra (35%). Se trata de nuevos regadíos creados con la llegada de las aguas procedentes del Trasvase Tajo-Segura.

El área regada durante el periodo 2002-2011 ha variado entre 3.131 y 2.865 ha, siendo los cultivos principales los frutales de hueso (melocotonero, ciruelo y albaricoquero; Fig. 4.8). En la actualidad, el 100% de las parcelas de la zona regable disponen de riego localizado.

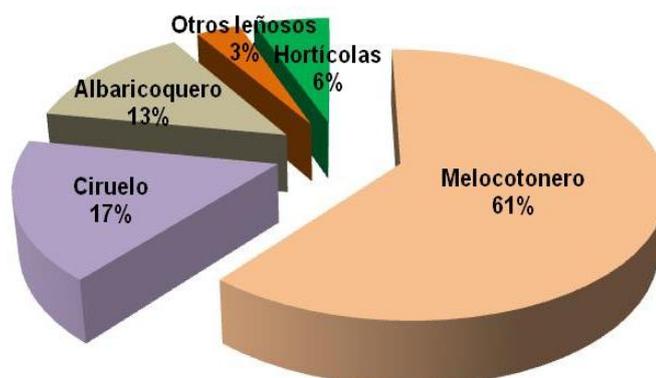


Figura 4.8. Distribución de cultivos de la Comunidad de Regantes del Trasvase Tajo Segura Calasparra-Cieza.

Los máximos recursos hídricos disponibles son de 13,49 hm³ año⁻¹ (SCRATS, 2013), procedentes del Trasvase Tajo-Segura. En los periodos de escasez, debidamente autorizados por la CHS, la CRTCC puede tomar agua de los denominados pozos de sequía, que captan los recursos del acuífero Sinclinal de Calasparra.

La zona regable se divide en dos sectores con independencia hidráulica (Fig. 4.9). La infraestructura principal que proporciona agua a la zona es la del aprovechamiento del Trasvase Tajo-Segura, captándose las aguas en la margen izquierda del río Segura a la altura de la población de Calasparra mediante una impulsión con un caudal de $1,58 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Las redes primarias están dotadas de contadores volumétricos, existiendo además contadores a nivel parcela. El sistema está diseñado para funcionar a la demanda y sin restricciones (SCRATS, 2013).



Figura 4.9. Zona Regable de la Comunidad de Regantes del Trasvase Tajo Segura Calasparra-Cieza (SCRATS, 2013).

Las infraestructuras de la CRTCC, incluidas las obras de modernización. Consisten principalmente en: (a) cinco embalses con capacidad de 45.000 m^3 , 130.000 m^3 , 200.000 m^3 , 600.000 m^3 y 850.000 m^3 ; (b) la adecuación de la red general y de distribución; (c) edificio para sede social, oficinas y atención al regante de la CCRR; (d) la instalación de hidrantes a nivel parcela (Fig. 4.10); y (e) el automatismo y telecontrol. Toda esta mejora y modernización del regadío ha supuesto una inversión de $8.000.000\text{€}$ hasta 2010 (Gómez *et al.*, 2011).



Figura 4.10. Hidrante a nivel de parcela de la Comunidad de Regantes del Trasvase Tajo Segura Calasparra-Cieza.

4.5. COMUNIDAD DE REGANTES PANTANO DE LA CIERVA (CRPC)

La Comunidad de Regantes del Pantano El Corcovado (hoy La Cierva, CRPC) se crea en 1935, y es tutelada por la CHS hasta 1966. La CRPC se ubica en el término municipal de Mula. El clima es semiárido, con una precipitación media anual de unos 280 mm, y con una temperatura media entre 16 y 17°C (Del Amor *et al.*, 1998). Se trata de regadíos tradicionales de la época musulmana, que fueron redotados con el Trasvase Tajo-Segura.

La CRPC presenta una superficie de 1.947 ha, con 1.750 comuneros. El área regada durante el periodo 2002-2011 ha variado entre 1.935 ha y 1.797 ha, siendo los cultivos principales (Fig. 4.11) los frutales de hueso (albaricoquero y melocotonero) y los cítricos (naranja, limonero y mandarino). En la actualidad, el 98,5% de las parcelas de la zona regable disponen de riego localizado.

Esta CCRR fue pionera en la modernización de sus regadíos (Del Amor *et al.*, 1998; Gómez *et al.*; 2011) y en la sustitución del tradicional riego de superficie por riego localizado (Fig. 4.12). A esta CCRR se le concedió el “Premio Iberdrola 1997 a la Innovación Tecnológica en la

Gestión y el Uso del Agua” ya que a finales del siglo XX era un referente en cuanto a modernización de regadíos a nivel mundial.

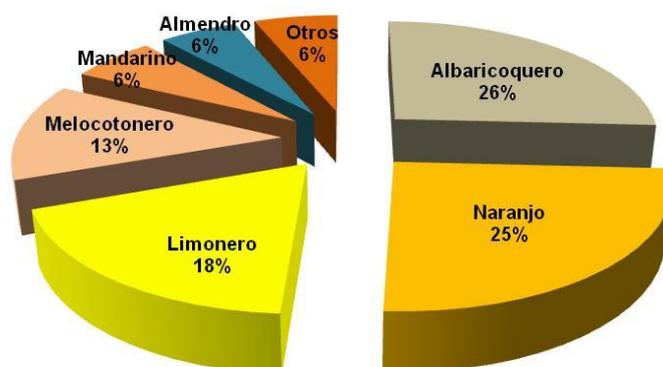


Figura 4.11. Distribución de cultivos de la Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva.



Figura 4.12. Sustitución riego tradicional por riego localizando en parcela en la Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva.

Los máximos recursos disponibles anualmente en la CRPC totalizan 8,5 hm³: 0,6 hm³ de recursos superficiales de la Cuenca, 4 hm³ del Trasvase Tajo-Segura y 3,9 hm³ de aguas subterráneas procedentes de los pozos “Pradillo” y “Corral de Comba”. La zona regable se encuentra dividida en 7 sectores de riego (Fig. 4.13), que regulan sus caudales mediante las correspondientes 7 balsas de riego, que atesoran una capacidad total de 580.000 m³. A partir de cada una de las balsas parten las redes de riego de cada sector. La longitud total de tuberías es de 83 km, con diámetros entre

110 y 700 mm. Existen tres estaciones de bombeo y en la cabecera de cada sector hay una estación de filtrado. Dado que dispone de hidrantes con registro de caudales a nivel parcela, el sistema se encuentra totalmente automatizado y permite el riego a la demanda (Del Amor *et al.*, 1998).



Figura 4.13. Zona Regable de la Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva (SCRATS, 2013).

4.6. COMUNIDAD DE REGANTES DE MIRAFLORES (CRM)

La CRM se ubica en el término municipal de Jumilla, en la comarca del Altiplano. Este municipio se caracteriza por la ausencia de cursos de agua permanente y quedó excluido de las infraestructuras del Acueducto Tajo-Segura. La demanda hídrica de los cultivos es satisfecha mediante recursos subterráneos, que se encuentran sobreexplotados actualmente (Molina *et al.*, 2009). En la zona predomina el clima mediterráneo continental, con precipitaciones anuales medias entre 300 y 350 mm, y temperaturas medias que oscilan entre 13 y 18°C (Nicolás *et al.*, 2012).

La CRM fue declarada de interés nacional por el Decreto 1534/1963 de 4 de julio, aprobándose el Plan General de Colonización de la zona regable con aguas subterráneas por el Decreto 2440/1964 de 9 de julio. El antiguo Instituto Nacional de Colonización llevó a cabo las obras del Plan y realizó diversos sondeos profundos con el fin de aportar los recursos requeridos para la transformación en regadío de esta zona (Gómez, 1997).

La superficie regable de la CRM es de 1.515 ha, distinguiéndose dos subzonas (Fig. 4.14): subzona de Jumilla, con 1.350 ha, y subzona de La Alquería y Fuente del Pino, con 165 ha (Nicolás *et al.*, 2012). El área regada durante el periodo 2002-2011 ha variado entre 1.283 ha y 1.182 ha, siendo los cultivos principales (Fig. 4.15) el peral (46,3%), el melocotonero (32,2%) y el albaricoquero (6,5%).

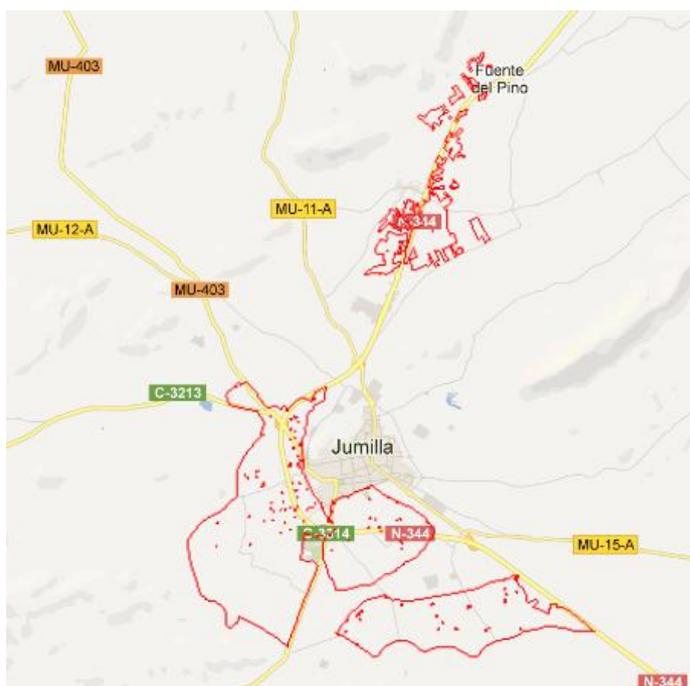


Figura 4.14. Zona Regable de la Comunidad de Regantes Miraflores.

Los máximos recursos disponibles anualmente son 3,85 hm³, provenientes de 6 pozos: Grajas I, Alquería, Vereda, Puntillas, Escarabaja y Loma de Hellín. Estos recursos se han ampliado en 1,5 hm³ en 2013, con la reutilización de las aguas procedentes de la EDAR de Jumilla.

Las principales infraestructuras de la CRM consisten en: (a) 6 embalses reguladores con una capacidad de 715.000 m³; (b) cabezales de filtrado para cada sector de riego; (c) redes de tuberías generales y secundarias que distribuyen el agua por toda la zona regable; (d) hidrantes individualizados para cada regante que controlan la dotación de agua asignada; y (e) un sistema de telecontrol (Fig. 4.16) por cable y vía radio,

que permite controlar tanto las infraestructuras de la CCRR como el suministro de agua asignada a cada comunero. El riego es a la demanda, con una dotación de $2,4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ ha}^{-1}$. Se trata de la CCRR más tecnificada de su comarca.

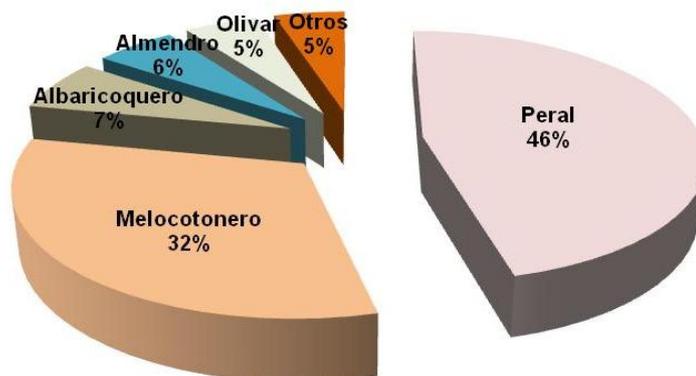


Figura 4.15. Distribución de cultivos de la Comunidad de Regantes Miraflores.

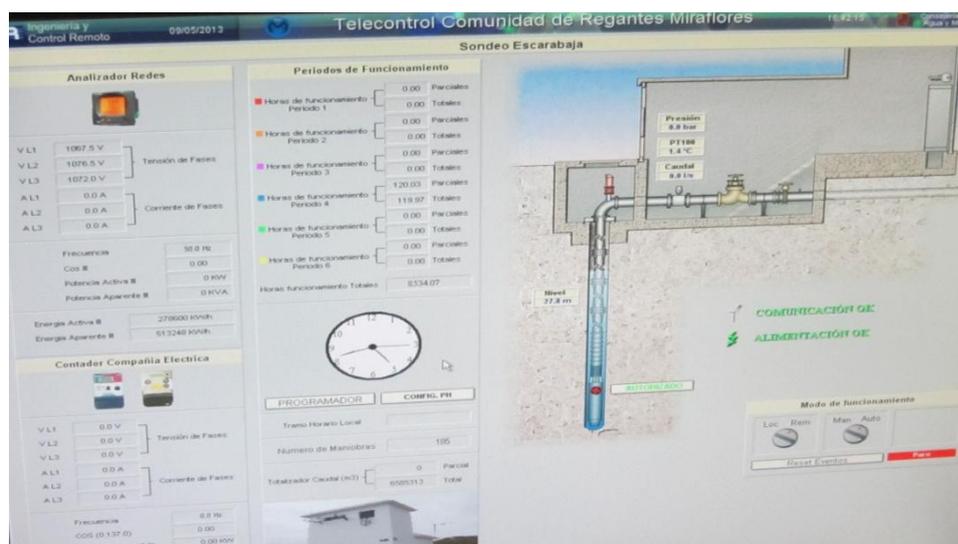


Figura 4.16. Interfaz del telecontrol de la Comunidad de Regantes Miraflores.

La modernización comenzó en 1994 y finalizó en 1997, realizándose en tres fases: (i) la modernización de la infraestructura principal (conducción general y embalses reguladores), (ii) la modernización de las redes secundarias, transformándolas en tuberías presurizadas para los cinco sectores de riego en que se divide la zona regable (La Huerta, Salinas, El Molar, Santa Ana, Alquería-Fuente del Pino), y (iii) la

automatización y control informático de la red de riego (Gómez, 1997). Estos planes de modernización supusieron una inversión total de 6,6 M€ (Gómez *et al.*, 2007).

4.7. ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS

Para llevar a cabo este estudio fue necesario obtener gran cantidad de información descriptiva y cuantitativa de las zonas regables seleccionadas. Se tomaron datos referidos tanto a nivel de parcela, como de CCRR y del conjunto de la Cuenca. También se obtuvo la información agroclimática requerida para la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos en cada zona.

Los datos a nivel de cuenca sobre el consumo de agua y energía asociados al suministro de cada una de las CCRRs se obtuvieron de los órganos encargados de su producción y distribución, que en función de la procedencia del recurso son: la CHS (aguas superficiales y Traslase Tajo-Segura), el Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura (SCRATS, Traslase Tajo-Segura), la Entidad de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia (ESAMUR, reutilización de aguas residuales depuradas), los gestores de los sondeos implicados (aguas subterráneas) y los gestores de la planta desalobradoradora (desalinización).

Los datos de las CCRRs fueron facilitados por sus gestores, procediendo en todos los casos de registros de sus bases de datos y de sus memorias anuales:

- La superficie de los cultivos considerados se ha obtenido a partir de los parcelarios de las CCRRs y de la Estadística Agraria Regional de Murcia (CARM, 2013).
- El volumen de agua suministrada a cada CCRR (agua que entra al sistema, VT) se ha tomado de las lecturas de los contadores existentes en sus puntos de aportación de agua.
- El volumen suministrado por las CCRRs (V_s) se ha obtenido como la suma anual del volumen facturado a los regantes, en

base a la lectura de todos los contadores instalados en la red de distribución.

- Los indicadores financieros se han tomado de las cuentas anuales de las CCRRs.
- Los indicadores energéticos se han calculado a partir de la información recogida en las facturas eléctricas mensuales.

Los datos climáticos necesarios para el cálculo mensual de la evapotranspiración de referencia (ET_o) mediante el método de Penman-Monteith, así como la precipitación durante el periodo de estudio, se obtuvieron de las distintas estaciones agrometeorológicas automáticas ubicadas en las CCRRs analizadas. La ET_c y la precipitación efectiva (P_{ef}) se calcularon siguiendo las directrices indicadas en la metodología FAO (Brouwer y Heibloem, 1986; Allen *et al.*, 1998), mientras que los coeficientes de cultivo se han ajustado a las condiciones locales siguiendo los valores recomendados por el Sistema de Información Agraria de Murcia (<http://siam.imida.es>).

La información relativa a los cultivos, como rendimientos, precios medios o costes de producción, se ha elaborado a partir de datos de la estadística regional (CARM, 2013), de la estadística nacional (MAGRAMA, 2013), de la Asociación Murciana de Organizaciones de Productores Agrarios (AMOPA), de las Oficinas Comarcales Agrarias (OCAs) y de encuestas realizadas a los agricultores de la zona.

Para poder caracterizar el comportamiento y analizar las estrategias de los agricultores a nivel parcela, se realizó una encuesta a los regantes de la CRCC entre diciembre de 2011 y febrero de 2012. La encuesta se estructuró en cuatro grandes bloques de preguntas para caracterizar la actividad de los agricultores durante la campaña 2011 y 2008: (a) datos agrícolas por cultivo (sistemas de cultivo y de riego, inputs y producción), (b) el agua de riego aplicada por cultivo, (c) el manejo del agua de riego en las explotaciones (se preguntó específicamente sobre el volumen de las aguas subterráneas empleadas para los cultivos), y (d) las estrategias adaptativas durante los periodos de escasez de agua. La encuesta consistió en entrevistas personales semi-estructuradas, ya que este método

permite guiar la entrevista e interactuar con los agricultores, pudiendo realizar preguntas adicionales en función de sus respuestas. Para reducir el error de la muestra se siguió un procedimiento de muestreo aleatorio por zonas. La población total de parcelas (23.498) se dividió en tres zonas, coincidiendo con las zonas regables de la CRCC (Fig. 4.2). Dentro de cada zona se tomó una muestra aleatoria simple, con la única condición que hubiera representación de todos los grupos de cultivo. El tamaño total de la muestra fue de 1.190 parcelas, abarcando una superficie de 2.467 hectáreas, lo que representa un 7,62% de la superficie regada en 2011.

Para la gestión y análisis de toda esta información se han utilizado bases de datos (MS Access), hojas de cálculo (MS Excel), sistemas de información geográfica (GeoMedia y AutoCAD Map) y programas de tratamiento estadístico (StatGraphics). A partir de los datos obtenidos se realizó el cálculo de los indicadores de gestión, que consisten en la combinación de varias de las variables medidas. El valor obtenido de los indicadores de gestión se ha contrastado con los publicados en la bibliografía existente. Para poder analizar la evolución de los indicadores financieros y de productividad a lo largo del periodo de estudio, se ha actualizado su valor mediante el IPC nacional, tomando como base el año 2011 (INE, 2013).

Unos de los principales problemas a la hora de calcular los indicadores de gestión es la fiabilidad de los datos considerados, dado que un cierto error o incertidumbre es inherente a cualquier proceso de medición o estimación (Burt, 2001). Por este motivo es prácticamente imposible obtener un error inferior al 5% en el estudio de las zonas regables (Burt *et al.*, 1997). En nuestro caso, los datos obtenidos en las CCRRs seleccionadas tienen la incertidumbre asociada a la precisión de los equipos de medida empleados (agua y energía), que en todos los casos se sitúa por debajo del 5%, o la estipulada en los procedimientos de elaboración de la estadística nacional (Ley 12/1989, de 9 de mayo, de la Función Estadística Pública) y regional (Ley 6/2002, de 25 de junio, de estadística de la Región de Murcia).

Para calcular la incertidumbre de los datos obtenidos se ha seguido la metodología indicada por Rodríguez (2003), y que se basa en el cálculo del Índice General de Fiabilidad (IGF). En la Tabla 4.1 se muestra el valor del IGF para cada tipo de variable considerada.

Tabla 4.1. Índice General de Fiabilidad (Rodríguez, 2003).

Tipo de variables	Valor
Valores Climáticos (VC)	1,8
Estación meteorológica en la zona regable	1
Valores de organismos regionales o nacionales	0,8
Extrapolación de zonas próximas	0,5
Interpolación entre años	0,1
Medición de Caudales (MC)	2
Existencia de datos de contadores	1
Aforadores en puntos intermedios	0,5
Estimación del personal de la CCRR	0,2
Infraestructura de la Red (IR)	0,5
Datos del proyecto	1
Estimación del personal de la CCRR	0,2
Datos de Cultivos (DC)	1,5
Datos propios de la Comunidad de Regantes	1
Datos de organismos regionales o nacionales	0,8
Datos obtenidos de forma indirecta	0,3
Estimación de Perdidas (EP)	2
Diferencia en medidores de caudal (entre 1º y 3º nivel)	1
Diferencia en medidores de caudal intermedios	0,6
Estimación del personal de la CCRR	0,1
Capacidad de Suministro (CS)	0,7
Proyecto	1
Estimación del personal de la CCRR	0,4
Variables Financieras (VF)	1,5
Presupuestos detallados	1
Datos suministrados por el personal	0,7
Presupuestos no detallados	0,3
Estimación del personal de la CCRR	0,1

El valor representativo de IGF para cada CCRR se obtendría a partir de los valores recogidos en la Tabla 4.1, aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{IGF} = 1,8 \text{ VC} + 2 \text{ MC} + 0,5 \text{ IR} + 1,5 \text{ DC} + 2 \text{ EP} + 0,7 \text{ CS} + 1,5 \text{ VF} \quad (1)$$

La interpretación de IGF se realiza teniendo en cuenta los siguientes valores de referencia:

muy mala < 3, pobre 3-5, aceptable 5-7, buena 7-9 y muy buena > 9

En la Tabla 4.2 se muestra el valor del IGF para cada una de las CCRRs analizadas. A partir de los valores obtenidos se puede considerar

que la fiabilidad de los datos manejados es muy buena para la CRCC y buena para el resto de las CCRRs.

Tabla 4.2. Valores del Índice General de Fiabilidad para las CCRRs objeto del estudio.

Comunidad de regantes	IGF
Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC)	9,64
Comunidad de Regantes de Lorca (CRLO)	8,89
Comunidad de Regantes Tránsito Tajo Segura Calasparra-Cieza (CRTCC)	7,53
Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva (CRPC)	7,23
Comunidad de Regantes de Miraflores (CRM)	8,35

Capítulo V

BENCHMARKING E INDICADORES DE GESTIÓN

V. Martínez Álvarez, M. Soto García, B. Martín Górriz

En este capítulo se realiza una síntesis del conocimiento actual sobre las técnicas de benchmarking aplicadas al regadío, presentándose los indicadores de gestión que se emplean en el presente trabajo. Además se mostrarán los trabajos de investigación que han empleado previamente estas técnicas en otras zonas regables de España y el resto del mundo. Para finalizar, también se muestra el valor obtenido para los principales indicadores del regadío en otros estudios previos realizados en España.

5.1. EL PROCESO DE BENCHMARKING Y SU APLICACIÓN AL REGADÍO

El benchmarking, tal como se conoce actualmente, fue desarrollado en Estados Unidos durante los años setenta (Campalans, 2001). Tiene su origen en la actividad empresarial, como un medio para mejorar su gestión y, de este modo, el rendimiento de la organización. Su uso está muy extendido tanto en el sector público como privado.

Definir el benchmarking no es una tarea sencilla, más bien lo contrario (Gurutze y Ochoa, 2005). A continuación se recogen tres definiciones de benchmarking muy extendidas: (i) el Centro de Calidad y Productividad Americano (APQC, 2006) lo define como *“el proceso de identificar y aprender a partir de las mejores prácticas en cualquier parte del mundo, es una herramienta poderosa en la búsqueda de una mejora continua y de avances importantes”*; (ii) Malano y Burton (2001) lo definen como *“un proceso de aprendizaje de tu propio funcionamiento pasado y de la actuación de los demás en la búsqueda de la mejora continua”*; y (iii) Rodríguez (2003) define esta técnica *“como una estrategia para localizar*

las mejores prácticas de la industria, se encuentren donde se encuentren, y tratar de adaptarlas a la empresa interesada”.

Por tanto el objetivo principal del benchmarking es una mejora continua de la organización a lo largo del tiempo. El benchmarking implica que para mejorar hay que comparar, ya sea internamente con lo realizado anteriormente o con las metas futuras, o externamente con organizaciones que presenten las mejores prácticas.

Las técnicas de benchmarking se pueden dividir en cuatro categorías diferentes (Córcoles, 2009):

- *Benchmarking interno.* Se produce en las grandes empresas que presentan múltiples divisiones, incluso internacionales. Los datos e información son de fácil acceso dado que son de la propia compañía y no existen problemas de confidencialidad. Bajo estas circunstancias se pueden plantear procesos de benchmarking tan amplios como se deseen.
- *Benchmarking competitivo.* Consiste en compararse directamente con los competidores directos, de este modo se conocerán las ventajas y desventajas de la organización estudiada. La mayor dificultad consiste en la obtención de datos e información de la competencia.
- *Benchmarking genérico.* Consiste en buscar y encontrar las mejores prácticas y procedimientos que no estén implantados en la organización estudiada y que sí presenta la competencia.
- *Benchmarking funcional.* Se centra en la posibilidad de identificar competidores funcionales o líderes de la industria, que no son competidores directos, para utilizarlos en el proceso de benchmarking.

La aplicación de técnicas de benchmarking para mejorar el funcionamiento de las comunidades de regantes (CCRRs) es un fenómeno relativamente reciente (Malano y Burton, 2001; Rodríguez *et al.*, 2008; Borgia *et al.*, 2013).

El proceso de aplicación de benchmarking en el regadío (Malano y Burton, 2001; Malano *et al.*, 2004) presenta seis fases (Fig. 5.1): (1) *identificación y planificación*, (2) *toma de datos*, (3) *análisis*, (4) *integración*, (5) *acción*, y (6) *seguimiento y evaluación*.

En la fase nº 1, denominada *identificación y planificación*, (i) se definen el propósito del estudio y los resultados que se pretenden obtener del proceso de benchmarking; (ii) se seleccionan las zonas regables donde se va a aplicar esta técnica; (iii) se identifican los factores principales que influyen en la gestión; (iv) se identifican los procesos a analizar; (v) se seleccionan los indicadores de gestión; y (vi) se identifican los datos requeridos y como se va a recopilar y procesar la información.



Figura 5.1. Fases en el proceso de benchmarking aplicado al regadío.

La fase nº 2, denominada *toma de datos*, consiste en la recopilación de los datos que se van a utilizar para calcular los indicadores de gestión. Estos datos tienen que ser consistentes y fácilmente comparables. Este es un aspecto importante que tiene que ser previsto, dado que los datos a

recopilar van a estar condicionados por los indicadores de gestión seleccionados en la fase nº 1.

En la fase nº 3, denominada *análisis*, se comparan los indicadores de las zonas regables seleccionadas, identificando los puntos débiles de cada organización, cuales son las causas que lo provocan y cómo se pueden solucionar. De esta manera el benchmarking aplicado al regadío no es solo una comparación entre zonas regables, sino que también se incorpora un diagnóstico y análisis de las CCRRs estudiadas. Una vez que se identifican las causas que provocan una disfunción, se pueden tomar las medidas oportunas para solucionarla. Esta etapa del proceso de benchmarking puede necesitar mucho tiempo y ser muy difícil de realizar.

En la fase nº 4, denominada *integración*, la estrategia y el plan de acción desarrollado a partir de la fase de análisis deben integrarse en los procesos y procedimientos operativos de la organización a fin de lograr el cambio deseado. Es crucial que los responsables del programa de benchmarking tengan la autoridad para realizar los cambios necesarios, y que el proceso de cambio esté totalmente integrado dentro de los procesos y procedimientos de gestión de la organización.

En la fase nº 5, denominada *acción*, se ponen en marcha los nuevos procesos y procedimientos para lograr los cambios deseados. En esta etapa también se realiza un seguimiento y evaluación de los nuevos procesos y procedimientos implementados, para asegurar que se consiguen los objetivos previstos y, en caso de ser necesario, se tomen las medidas correctivas oportunas.

La fase nº 6, denominada *seguimiento y evaluación*, consiste en el continuo seguimiento en la gestión de la CCRR, para comprobar que se han conseguido los objetivos previstos con las medidas propuestas. Hay que tener en cuenta que estos objetivos pueden variar con el tiempo. Esta circunstancia pone de manifiesto las características de evaluación y aprendizaje continuo que suponen las técnicas de benchmarking (Córcoles, 2009).

Las técnicas de benchmarking también se pueden aplicar para analizar a lo largo del tiempo los efectos de ciertos procesos en una zona regable. En este sentido García-Vila *et al.* (2008) estudiaron el impacto de la escasez de agua en la agricultura de una CCR del sur de España. Para ello analizaron la evolución del patrón de cultivos, del manejo del riego y las estrategias seguidas por los agricultores en periodos con restricciones en el suministro de agua. El efecto de la escasez de agua mediante distintos tipos de indicadores también ha sido analizado por otros autores (Quiroga e Iglesias, 2009; Lawes y Kingwell, 2012; Serra y Pons, 2013).

5.2. ANTECEDENTES DE LA APLICACIÓN DEL BENCHMARKING EN REGADÍOS

En este epígrafe se presentan algunos programas y estudios del regadío realizados mediante la técnica de benchmarking.

A nivel mundial destacan las siguientes iniciativas:

- El *Australian National Committee on Irrigation and Drainage* (ANCID) fue pionero en el empleo del benchmarking con su primer informe para la campaña de riego 1997-98. El objetivo pretendido con esta metodología era el manejo de los recursos de manera sostenible a tres niveles (ambiental, económico y social), a través del empleo de las mejores prácticas. Los indicadores desarrollados por esta iniciativa se centraron en los suministradores de agua de riego a zonas regables (Malano *et al.*, 2004; Córcoles, 2009).
- El *Proceso De Evaluación Rápido (RAP)* es empleado para el diagnóstico de proyectos internacionales (Burt, 2001). Esta herramienta fue desarrollada por la *Food and Agricultural Organisation* (FAO) y el *Irrigation Training and Research Center* (ITRC) of California Polytechnic State University y se concreta como un proceso de recolección y análisis de datos, que dura entre 1-2 semanas, incluidos los trabajos de oficina y campo. Provee un examen sistemático de las infraestructuras y procesos

usados para el transporte y distribución del agua a todos los niveles dentro del proyecto (desde la fuente hasta las parcelas). Se desarrollan una serie de indicadores para tener: (i) una línea base de información para ser comparada frente a los resultados futuros una vez realizada la modernización, (ii) el Patrón de Referencia para la comparación entre proyectos de riego, y (iii) una base para realizar recomendaciones específicas para la modernización y la mejora del servicio de distribución del agua.

- *Benchmarking de sistemas de riego y drenaje* es una iniciativa internacional conjunta entre el Banco Mundial, el *International Program for Technology and Research in Irrigation and Drainage* (IPTRID), la *International Commission on Irrigation and Drainage* (ICID), el *International Water Management Institute* (IWMI), y la FAO. A partir de esta iniciativa surgió la guía realizada por Malano y Burton (2001), que supone la principal referencia internacional para la aplicación de las técnicas de benchmarking en el regadío.
- *Cropcheck: Modelo participativo de agricultores de benchmarking para mejorar la productividad* (Lacy, 2011). Este programa de benchmarking, que se está aplicando en Australia, identifica las mejores prácticas de las explotaciones agrícolas en relación a la maximización de los rendimientos de los cultivos agrícolas, persiguiendo por tanto un aumento de la rentabilidad agrícola.
- *Mapa global de benchmark de la productividad del agua para el trigo* (Zwart et al, 2010). Este modelo de productividad de agua para trigo realizado mediante teledetección empezó a aplicarse a principios de este siglo, y en él se pretende una comprensión completa de los patrones espaciales por país o cuenca hidrográfica, como sistema de apoyo a la decisión, y de qué medidas tomar para hacer más productiva el agua en la agricultura.

En España destacan las siguientes aplicaciones de esta técnica en el estudio de CCRRs:

- Rodríguez (2003) realizó un estudio de *la gestión del agua de riego y aplicación de las técnicas de benchmarking a las zonas regables de Andalucía*, donde se consideran 9 CCRRs durante los años 1996-2002. Para realizar este estudio empleó la aplicación IGRA (Aplicación de los Indicadores de Gestión en las zonas Regables), que es una sencilla herramienta para facilitar la gestión de la información necesaria para la aplicación del benchmarking a las CCRRs (Rodríguez *et al.*, 2005).
- Córcoles (2009) estudió *la gestión del agua y la energía en el regadío mediante técnicas de benchmarking*, analizando 7 CCRRs de Castilla-La Mancha durante el periodo 2006-2008 (Córcoles *et al.*, 2010).
- Melián-Navarro *et al.* (2010) aplicaron los indicadores de benchmarking para *comparar dos CCRRs de Sudeste español con dos CCRRs de la zona de Beira Interior en Portugal*.
- Abadía *et al.*(2010) analizaron, desde un punto de vista energético, 22 CCRRs, 15 de Castilla-La Mancha, 2 de la Región de Murcia y 5 al sur de la Comunidad Valenciana en un *estudio comparativo sobre las medidas de ahorro energético y económico en CCRRs*.

5.3. INDICADORES DE GESTIÓN

La técnica de benchmarking considera diferentes indicadores para describir las principales características de la gestión de las zonas regables analizadas. Los indicadores de gestión describen una gran variedad de procesos del riego a través de las variables relacionadas, de tal manera que una gran cantidad de información se reduce a un solo índice. Los indicadores seleccionados deben ser: (i) fáciles de obtener a partir de datos recogidos de manera sistemática en la CCRR, (ii) en su mayoría orientados

hacia los aspectos relacionados con la gestión de la CCRR, y (iii) adecuados para el propósito de cada estudio específico.

Las técnicas de Benchmarking persigue esta optimización de la gestión utilizando como herramienta la evaluación comparativa de indicadores (Borgia *et al.*, 2013). Estos indicadores deben ser útiles tanto para caracterizar a la CCRR estudiada como para poder evaluar su gestión y compararla con otras. Los indicadores proporcionados por esta técnica y su estudio estadístico son fundamentales para entender donde los sistemas de riego funcionan correctamente y donde se pueden mejorar (Zwart *et al.*, 2010). Por tanto los indicadores de gestión se pueden considera como la principal herramienta de las técnicas de benchmarking. A nivel de CCRR la implementación del benchmarking persigue una mejora general en los servicios prestados. De esta manera puede mejorar su productividad y la eficiencia de los recursos empleados, consiguiendo un regadío más productivo y sostenible, y colaborando en la mejora de la calidad de vida de la población rural (Malano *et al.*, 2004).

La principal referencia de la aplicación de técnicas de benchmarking a las zonas regables, tal como se ha comentado en el epígrafe anterior, es la guía de Malano y Burton (2001). Esta guía, a petición del Banco Mundial, propone un grupo de indicadores con el objetivo de estandarizar la aplicación de esta metodología a escala global y, de esta manera, optimizar el uso del agua. Muchos trabajos han propuesto y aplicado indicadores de gestión en numerosas regiones del mundo (Fernández *et al.*, 2007; Kazbekov *et al.*, 2009; Zwart *et al.*, 2010; Awan *et al.*, 2011; Montoro *et al.*, 2011; Pereira *et al.*, 2012; Borgia *et al.*, 2013), pero muy pocos los han aplicado a periodos tan prolongados como es nuestro caso.

Desde la publicación de la guía de Malano y Burton (2001) diversos autores (Uysal y Atis, 2010; Pereira *et al.*, 2012) han ido proponiendo nuevos indicadores, o revisando los ya establecidos, con el fin de completar, mejorar, y facilitar la interpretación de los resultados. Rodríguez *et al.* (2005) desarrollaron nuevos indicadores financieros ampliando la propuesta de la guía de Malano y Burton (2001). Concretamente, proponen tres nuevos indicadores financieros, que se relaciona con los costes

energéticos, con los costes generales de la CCRR y con los pagos de cánones al organismo de cuenca. Posteriormente, Córcoles *et al.* (2010) desarrollaron nuevos indicadores relacionados con la productividad y el medioambiente, introduciendo además nuevos indicadores relacionados con el consumo de energía en las CCRRs. Recientemente Abadía *et al.* (2010) han completado la propuesta de indicadores energéticos.

A nivel parcela han sido muchos los investigadores que han propuesto y aplicado indicadores similares para la comparación y búsqueda de las mejores prácticas agrícolas. En este sentido, el aporte relativo de agua de riego (ARIS) es el indicador más utilizado con el fin de analizar la eficiencia en el manejo del agua en parcela para los distintos cultivos y sistemas de riego (Salvador *et al.*, 2011; Moreno-Pérez y Roldán-Cañas, 2013). Sin embargo, como se verá el Epígrafe 5.5, se plantea cierta discrepancia a la hora de interpretar sus resultados. También es habitual analizar cuál es la productividad del agua en parcela (Fernández *et al.*, 2007; Lorite *et al.*, 2007; Katerji *et al.*, 2008) de forma que se evalúa la viabilidad de las explotaciones mediante indicadores como el rendimiento por volumen de agua de riego aplicada (WP_Y), el valor de la producción por volumen de agua de riego aplicada (WP_{VP}) o el margen bruto por volumen de agua de riego aplicada (WP_{GM}).

5.4. INDICADORES DE GESTIÓN SELECCIONADOS EN ESTE ESTUDIO

Los indicadores empleados en el presente trabajo (Tabla 5.1) se basan en la propuesta del “*International Program for Technology and Research on Irrigation and Drainage*” IPTRID (Malano y Burton, 2001), considerando adicionalmente otros indicadores propuestos por distintos autores (Rodríguez, 2003; Córcoles, 2009; Abadía *et al.*, 2010). Se dividen en 5 grupos:

- *Indicadores de Rendimiento*: Relacionan la disponibilidad de agua con la superficie, necesidades de los cultivos y eficiencia de distribución.

- *Indicadores Financieros:* Relacionan los diferentes costes con la superficie y el volumen de agua.
- *Indicadores de Eficiencia de Producción:* Relacionan el valor de la producción agrícola con la superficie y el volumen de agua.
- *Indicadores Energéticos:* Relacionan el consumo energético con la superficie y el volumen de agua.
- *Indicadores Medioambientales:* consideran la calidad del agua de riego y los impactos ambientales, como el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debidas a las prácticas agrícolas.

Tabla 5.1. Descripción y método de cálculo de los indicadores de gestión empleados.

Nombre del indicador y acrónimo	Unidad	Clasificación	Descripción y cálculo
Superficie regable (Sa)	ha	De rendimiento	Superficie de todas las parcelas que se riegan durante el año o que son susceptibles de ser regadas por disponer de equipamiento fijo para este fin; se incluyen tanto las que se riegan de forma continua como eventual.
Superficie regada (Sr)	ha	De rendimiento	Es la superficie regada total, constituida por la superficie regada de cada parcela. Es la superficie de las parcelas que han recibido aporte de agua de riego durante la campaña. Está relacionada con la intensidad de cultivos, pudiendo ser superior a la Sa, ya que una misma parcela con dos cultivos durante la campana supone una Sr del doble de su superficie.
Volumen derechos (Vr)	m ³	De rendimiento	Volumen de agua sobre el que la CCRR tiene derechos.
Volumen que entra al sistema de la CCRR (VT)	m ³	De rendimiento	Volumen de agua de riego que entra al sistema de la CCRR.
Volumen total que entra a la zona regable (VTT)	m ³	De rendimiento	VT + la precipitación efectiva + agua de otra procedencia distinta a la CCRR.
Volumen suministrado (Vs)	m ³	De rendimiento	Volumen de agua de riego suministrado a las explotaciones agrícolas. Es el volumen facturado a los regantes en base a las lecturas de los contadores instalados.
Evapotranspiración de los cultivos (ETc)	m ³	De rendimiento	Es la evapotranspiración total anual de todos los cultivos de la zona regable de la CCRR.
Precipitación efectiva (P _{ef})	m ³	De rendimiento	Fracción de la precipitación total que es aprovechada por los cultivos.
Necesidades brutas (Nb)	m ³	De rendimiento	Son las necesidades brutas de todos los cultivos de la zona regable de la CCRR.

Garantía de suministro (Sg)	%	De rendimiento	VT/Vr Relación entre la cantidad de agua que entra al sistema y el volumen sobre el que se tiene derecho.
Intensidad de cultivo (SrSa)	%	De rendimiento	Representa en% la superficie que se está regando en la CCRR respecto a la superficie regable.
Intensidad cultivo (SrSr)	%	De rendimiento	Representa en% la superficie de un cultivo respecto a la superficie regable.
Eficiencia de distribución (ED)	%	De rendimiento	Vs/VT Representa las pérdidas de distribución de agua de la CCRR.
Suministro de agua por unidad de área regada (VsSr)	m ³ ha ⁻¹	De rendimiento	Vs/Sr
Agua de riego aplicada a los cultivos por unidad de área regada (IWA)	m ³ ha ⁻¹	De rendimiento	VsSr+Ow donde Ow es el volumen total anual procedente de otros recursos, principalmente aguas subterráneas (no suministrados por la CCRR) por unidad de área regada
Aporte relativo de agua suministrada (ARWS)	-	De rendimiento	(Vs+Pef)/ETc
Aporte relativo de agua de riego (ARIS)	-	De rendimiento	Vs/(ETc-Pef)
Costes de manejo del sistema (CMS)	€	Financiero	Costes de manejo del sistema. Los CMS se refieren a los gastos que se originan como consecuencia de los servicios prestados con el riego. Los CMS incluyen: coste de personal relacionado con el riego (CP), coste de mantenimiento (CM), coste energético (CEN), costes de gestión de la sociedad (CGS), costes de la Junta Central de Regantes (CJC) y otros costes diversos (OC). CMS se expresa como un valor anual al final de cada campaña.
Gastos generales del sistema (GG)	€	Financiero	Gastos generales. Este grupo está relacionado con los gastos necesarios para el funcionamiento de la sociedad, constituido por los CP (costes de personal), CM (costes de mantenimiento), CGS (costes de gestión de la sociedad) y OC (otros costes diversos), calculado como un valor anual al final de la campaña: GG = CP + CM + CGS + OC
Costes personal (CP)	€	Financiero	Son los costes de personal.
Costes mantenimiento (CM)	€	Financiero	Son los costes de mantenimiento de la infraestructura de la CCRR.
Costes energéticos (CEN)	€	Financiero	Incluyen el coste de energía (facturada) empleada para el bombeo del agua, y para dar presión a la red de riego. En las CCRRs de estudio, corresponden a los costes de la energía utilizada para la captación y bombeo del agua, incluyendo los derivados de las captaciones, así como el rebombeo, desde los embalses de almacenamiento.
Ingresos (Ing)	€	Financiero	Ingresos totales anuales de la CCRR
Retornos brutos (Rb)	€	Financiero	Son los pagos que hacen los regantes a la CCRR. Se incluye el pago por el agua suministrada como

Inversiones (Inv)	€	Financiero	otras cuotas. Son las inversiones realizadas en los últimos 10 años
Número de trabajadores (NP)	-	Financiero	Número de trabajadores totales de la CRR
Precio del agua (PA)	€ m ⁻³	Financiero	Precio del agua (valor medio ponderado pagado por el agricultor)
Superficie regada por trabajador (SrNP)	ha empleado ⁻¹	Financiero	Sr/NP
Recuperación de costes (RC)	%	Financiero	100·Rb/CMS Proporción de recuperación de los costes de la explotación.
Costes de manejo del sistema por unidad de agua de riego suministrada (CMSVs)	€ m ⁻³	Financiero	CMS/Vs
Costes de manejo del sistema por unidad de área regada (CMSSr)	€ ha ⁻¹	Financiero	CMS/Sr
Gastos generales del sistema por unidad de agua de riego suministrada (GGVs)	€ m ⁻³	Financiero	GG/Vs
Gastos generales del sistema por unidad de área regada (GGSr)	€ ha ⁻¹	Financiero	GG/Sr
Costes personal por unidad de agua de riego suministrada (CPVs)	€ m ⁻³	Financiero	CP/Vs
Costes personal por unidad de área regada (CPSr)	€ ha ⁻¹	Financiero	CP/Sr
Costes mantenimiento por unidad de agua de riego suministrada (CMVs)	€ m ⁻³	Financiero	CM/Vs
Costes mantenimiento por unidad de área regada (CMSr)	€ ha ⁻¹	Financiero	CM/Sr
Coste energético por unidad de agua de riego suministrada (CENVs)	€ m ⁻³	Financiero	CEN/Vs
Coste energético por unidad de área regada (CENSr)	€ ha ⁻¹	Financiero	CEN/Sr
Valor producción agrícola (VP)	€	De eficiencia de producción	Valor total de la producción agrícola. Cantidad total que reciben los agricultores por la venta de la producción de las cosechas, dependiendo de los precios de mercado de cada cultivo.
Margen bruto (MB)	€	De eficiencia de producción	Valor de la producción bruta agrícola (VP) del que se deducen determinados costes globales generados por la producción agrícola.
Valor producción agrícola por unidad de agua demandada por los cultivos (VPETc)	€ m ⁻³	De eficiencia de producción	VP/ETc
Valor producción agrícola por unidad de agua de riego suministrada (VPVs)	€ m ⁻³	De eficiencia de producción	VP/Vs
Valor producción agrícola por unidad de superficie regada (VPSr)	€ ha ⁻¹	De eficiencia de producción	VP/Sr
Margen bruto por unidad de agua demandada por los cultivos (MBETc)	€ m ⁻³	De eficiencia de producción	MB/ETc

Margen bruto por unidad de agua de riego suministrada (MBVs)	€ m ⁻³	De eficiencia de producción	MB/Vs
Margen bruto por unidad de superficie regada (MBSr)	€ ha ⁻¹	De eficiencia de producción	MB/Sr
Rendimiento de los cultivos por unidad de agua de riego aplicada (WP _Y)	kg m ⁻³	De eficiencia de producción	Y/IWA donde Y es el rendimiento de los cultivos por unidad de área regada
Valor producción agrícola por unidad de agua de riego aplicada (WP _{VP})	€ m ⁻³	De eficiencia de producción	VPSr/IWA Donde VPSr es el valor de la producción agrícola por unidad de superficie regada
Margen bruto por unidad de agua de riego aplicada (WP _{GM})	€ m ⁻³	De eficiencia de producción	MBSr/IWA donde MBSr es el valor de la producción agrícola por unidad de superficie regada
Potencia Contratada (Nc)	kW	Energético	Es la potencia total contratada por la CCRR.
Energía activa consumida (Eac)	kWh	Energético	Es la energía activa (facturada) consumida para la distribución del riego.
Energía reactiva consumida (Ear)	VAR	Energético	Es la energía reactiva (facturada) consumida para la distribución del riego.
Potencia Contratada por unidad de área regada (NcSr)	kW ha ⁻¹	Energético	Nc/Sr
Energía específica (EacVs)	kWh m ⁻³	Energético	Eac/Vs
Energía activa consumida por unidad de superficie regada (EacSr)	kWh ha ⁻¹	Energético	Eac/Sr
Energía reactiva consumida por unidad de volumen suministrado (EarVs)	VAR m ⁻³	Energético	Ear/Vs
Energía reactiva consumida por unidad de superficie regada (EarSr)	VAR ha ⁻¹	Energético	Ear/Sr
Unidad de fertilizante de nitrógeno (UFN)	UF	Medioambiental	Unidades de fertilizante de nitrógeno consumidas en la zona regable
Conductividad Eléctrica (CE)	dS m ⁻¹	Medioambiental	Conductividad eléctrica del agua de riego
Relación de adsorción del sodio (RAS)	mmol l ⁻¹	Medioambiental	Relación de adsorción del sodio
Eficiencia energética por cultivo (EEic)	-	Medioambiental	Cociente entre energía del producto recolectado (MJ ha ⁻¹) y la energía de los insumos (MJ ha ⁻¹) empleados durante el cultivo
Productividad energética por cultivo (PEic)	kg MJ ⁻¹	Medioambiental	Cociente entre rendimiento del cultivo (kg ha ⁻¹) y energía de los insumos (MJ ha ⁻¹) empleados durante el cultivo
Energía específica por cultivo (EicP)	MJ kg ⁻¹	Medioambiental	Inversa de la productividad energética por cultivo (PEic)
Emisiones de GEI por cultivo (EgeiP)	kg CO _{2eq} kg ⁻¹	Medioambiental	Cociente entre las emisiones de GEI de los insumos (kg CO _{2eq} kg ⁻¹) y el rendimiento del cultivo (kg ha ⁻¹)
Emisiones de GEI por unidad de superficie regada (EgeiSr)	kg CO _{2eq} ha ⁻¹	Medioambiental	Cociente entre las emisiones de GEI de los insumos (kg CO _{2eq}) y la superficie regada (ha)
Unidad de fertilizante de nitrógeno por unidad de	UF m ⁻³	Medioambiental	UFN/Vs

agua (UFNVs)	suministrada			
Unidad de fertilizante de nitrógeno por unidad de superficie regada (UFNSr)		UF ha ⁻¹	Medioambiental	UFN/Sr

5.5. PROPUESTA DE NUEVOS INDICADORES (ARIS₀ Y ARIS_r)

El ARIS es un indicador que muestra en qué medida se están cubriendo las necesidades hídricas de los cultivos. Numerosos autores (Fernández *et al.*, 2007; Rodríguez *et al.*, 2011a; Moreno-Pérez y Roldán-Cañas, 2013) indican que el valor adecuado de ARIS debe estar entorno a 1, de forma que si es inferior se está realizando riego deficitario, y si es superior el riego es excesivo. Clemmens y Molden (2007) explican que para obtener conclusiones generales a partir del ARIS, se deben conocer bien los sistemas de riego. Salvador *et al.* (2011), añaden que para satisfacer las necesidades de riego de los cultivos el valor adecuado de ARIS ha de ser de como mínimo 1,11, dado que en el caso más optimista el sistema de riego alcanza una eficiencia de aplicación del 90%. Además, si se tienen en cuenta las necesidades de lavado de sales en función del tipo de cultivo y la salinidad del agua de riego, el valor adecuado de ARIS aún puede ser más alto. Para tener en cuenta estos factores y determinar si realmente se están cubriendo las necesidades hídricas de los cultivos se proponen dos modificaciones del ARIS que reducen la incertidumbre en la interpretación de los resultados: ARIS₀ y ARIS_r.

Para poder determinar si la cantidad de agua aplicada a los cultivos es la adecuada, ha sido necesario definir un nivel de referencia, que será las necesidades brutas de riego (D_g) de los cultivos. En este estudio se ha utilizado la metodología propuesta por Keller y Bliesner (1990) para calcular D_g de los cultivos bajo sistemas de riego por goteo, considerando la salinidad del agua aplicada.

El empleo de agua con mayor conductividad eléctrica va a incrementar el valor de D_g , ya que cuando se riega con agua salina es necesario realizar un lavado de sales mediante el incremento de la dosis de agua que demanda el cultivo, lo que se conoce como fracción de lavado

(LR_t). Para sistemas de riego localizado, LR_t se calcula mediante la expresión:

$$LR_t = \frac{CE_w}{2(\max CE_e)} \quad [1]$$

Dónde CE_w es la conductividad eléctrica del agua de riego ($dS\ m^{-1}$), y $\max CE_e$ ($dS\ m^{-1}$) el valor máximo del extracto de saturación del suelo que corresponde a una reducción de un 100% del rendimiento del cultivo.

Las pérdidas que se producen por percolación pueden ser aprovechadas para el lavado de sales, por lo que en el cálculo de D_g se pueden dar dos situaciones:

i) Si $LR_t \leq 0.1$ ó $T_R > 1.0/(1.0-LR_t)$.

$$D_g = \frac{D_n T_R}{EU/100} \quad [2]$$

ii) Si $LR_t > 0.1$ ó $T_R < 1.0/(1.0-LR_t)$.

$$D_g = \frac{100D_n}{EU/(1,0 - LR_t)} \quad [3]$$

Dónde D_n son las necesidades netas de los cultivos, T_R es la relación de transpiración (dependiente del suelo, clima y profundidad radicular), y EU es la uniformidad de emisión del sistema de riego. Sabiendo que:

$$ARIS = \frac{IWA}{ET_c - Pe} = \frac{IWA}{D_n} \quad [4]$$

Para definir un nivel válido de referencia ($ARIS_0$) que nos sirva para determinar cuál ha de ser el valor adecuado del $ARIS$, se ha de cumplir que $IWA = D_g$, de forma que $ARIS_0 = D_g/D_n$. Los valores de $ARIS_0$ se pueden

obtener sustituyendo las expresiones [2] y [3] de Keller y Bliesner para el cálculo de D_g , en la expresión [4] del ARIS, resultando:

i) Si $LR_t \leq 0.1$ ó $T_R > 1.0/(1.0-LR_t)$.

$$ARIS_0 = \frac{T_R}{EU/100} \quad [5]$$

ii) Si $LR_t > 0.1$ ó $T_R < 1.0/(1.0-LR_t)$.

$$ARIS_0 = \frac{100}{EU/(1,0 - LR_t)} \quad [6]$$

En la Fig. 5.2 se observan las curvas obtenidas de $ARIS_0$ en un rango de CE_w de 0 a 4 $dS\ m^{-1}$, para los distintos grupos de cultivo. El $ARIS_0$ marca el valor que debe alcanzar el ARIS para que se cubra la D_g . Se aprecia como a partir de valores de 0,8 $dS\ m^{-1}$ de CE_w , ya existen grupos de cultivos dónde las pérdidas por percolación no son suficientes para cubrir los requerimientos de lavado, por lo que es necesario incrementar la aplicación de agua y, por tanto, los niveles de $ARIS_0$.

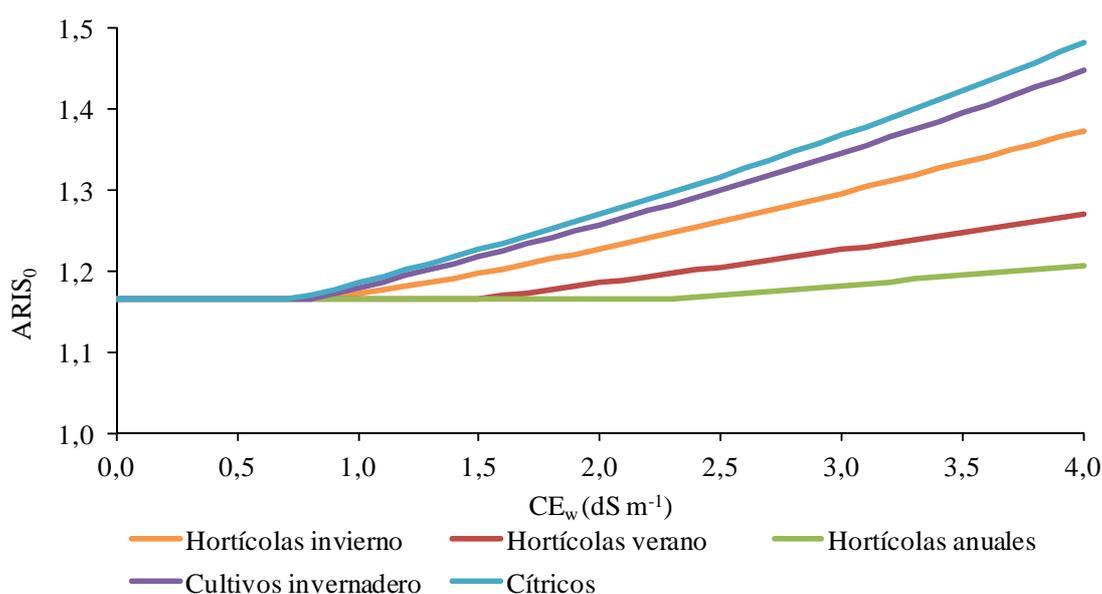


Figura 5.2. Evolución de los indicadores $ARIS_0$ en función de la conductividad del agua para riego (CE_w), para los diferentes grupos de cultivos estudiados.

Con la finalidad de facilitar la interpretación de los resultados obtenidos se incluye un nuevo indicador denominado ARIS relativo ($ARIS_r$):

$$ARIS_r = \frac{ARIS}{ARIS_0} = \frac{IWA}{D_g} [7]$$

Este indicador relaciona el ARIS con el $ARIS_0$, de tal forma que valores entorno a 1 de $ARIS_r$ indican una dosis de riego adecuada para satisfacer la D_g de los cultivos. Asimismo, valores inferiores a 1 indican infradotación, mientras que valores superiores muestran excesos en la aplicación de agua de riego. En la Fig. 5.3 se expone un ejemplo en el que un mismo nivel de ARIS puede significar infradotación (punto B) o exceso (punto A), en función de la calidad del agua utilizada, dado que cambia la posición relativa del ARIS con respecto a la curva de referencia del $ARIS_0$. Al mismo tiempo, en este ejemplo se aprecia como los valores de $ARIS_r$ se sintetiza toda esta información, facilitando la interpretación de los resultados.

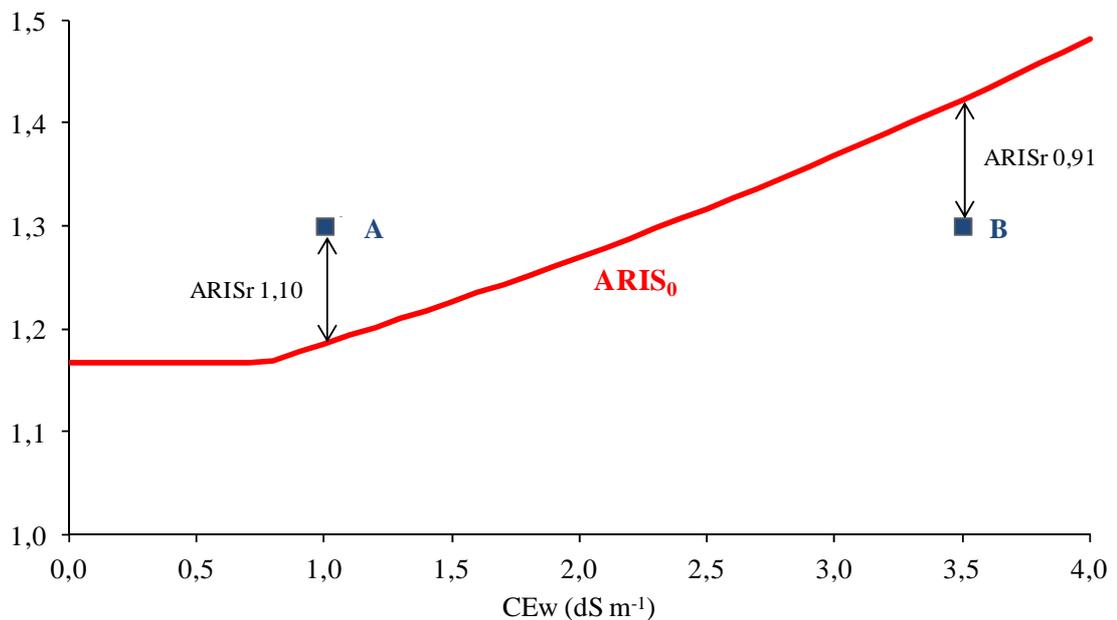


Figura 5.3. Ejemplo que muestra que para un mismo ARIS (punto A y B) puede significar un déficit o un exceso del riego, dependiendo de la conductividad eléctrica del agua aplicada para riego (CE_w).

5.6. INDICADORES DE GESTIÓN DE OTROS ESTUDIOS PREVIOS

En este apartado se recogen los indicadores de gestión obtenidos de otros estudios previos realizados en CCRRs españolas, entre los que destacan los realizados por Rodríguez (2003) en Andalucía y Córcoles (2009) en Castilla La Mancha, tal como se ha comentado anteriormente. En la Tabla 5.2 se muestran los valores de los indicadores obtenidos en dichos estudios, además de los publicados por Melián-Navarro *et al.* (2010) y Rodríguez *et al.* (2011b) en otros trabajos más específicos. Todos los valores monetarios se han actualizado mediante el IPC (INE, 2013), tomando como base el año 2011.

Además de estos estudios, existen otras pequeñas aportaciones cuya información puede resultar interesante. Cabe mencionar las siguientes:

- En un estudio comparativo sobre el consumo de energía en CCRRs, Abadía *et al.* (2010) analizaron a 15 CCRRs de Castilla-La Mancha durante el año 2007 obteniéndose el valor de los siguientes indicadores: VsSr ($3.120 \pm 2.429 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), CENSr ($200 \pm 141 \text{ € ha}^{-1}$) y CENVs ($0,12 \pm 0,11 \text{ € m}^{-3}$). En el mismo también se analizaron a 5 CCRRs de la Comunidad Valenciana durante el 2007, obteniéndose los siguientes valores de los indicadores: VsSr ($1.736 \pm 832 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), CENSr ($245 \pm 184 \text{ € ha}^{-1}$) y CENVs ($0,08 \pm 0,02 \text{ € m}^{-3}$).
- Jiménez-Bello *et al.* (2011), en un estudio para minimizar el consumo energético, también analizaron una CCRR de la Comunidad Valenciana durante el periodo 2006-10, en el mismo se indicó que el volumen suministrado de agua por unidad de área regada (VsSr) estuvo comprendido entre 3.257 y $4.154 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, y la eficiencia de distribución (ED) entre el 98 y el 99%.

Todos estos valores serán discutidos en el Capítulo VI, donde se comparan (Tabla 5.2) con los obtenidos en las CCRRs analizadas en nuestro estudio.

Tabla 5.2. Valores de indicadores de gestión de otros estudios previos.

	Andalucía	C. La Mancha	Andalucía	Alicante
	1997-2002	2006-08	2006-2007	2009
	5 CCRRs	7 CCRRs	10 CCRRs	2 CCRRs
	Rodríguez (2003)	Córcoles (2009)	Rodríguez <i>et al.</i> (2011b)	Melián-Navarro <i>et al.</i> (2010)
ED (%)	91±5	87±9		97
VsSr (m³ ha⁻¹)	4.334±1.968	3.458±2.301	2.589±1.138	2.203
ARIS	1,20±0,56	1,09±0,26	0,93±1,00	
CMSSr (€ha⁻¹)	452±200	370±192		474
CMSVs (€m⁻³)	0,13±0,06	0,13±0,05	0,12±0,05	0,23
GGSr (€ha⁻¹)	105±46	127±44		
GGVs (€m⁻³)	0,03±0,01	0,06±0,04		
CPSr (€ha⁻¹)	49±12	72±28		
CPVs (€m⁻³)	0,01±0,01	0,03±0,03		
CMSr (€ha⁻¹)	21±13	26±24		69
CMVs (€m⁻³)	0,01±0,00	0,02±0,02		0,03
CENSr (€ha⁻¹)	227±164	241±164		146
CENVs (€m⁻³)	0,06±0,04	0,07±0,02	0,04±0,024	0,07
RC (%)	98±10	106±10		
VPSr (€ha⁻¹)	5.526±4.250	3.857±1.457		
VPVs (€m⁻³)	1,51±0,97	1,67±1,04	2,84±2,70	
MBSr (€ha⁻¹)		1.607±841		
MBVs (€ha⁻¹)		0,63±0,43		

Valor medio ± desviación estándar

Capítulo VI

CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES DE REGANTES SELECCIONADAS

M. Soto García, B. Martín Górriz, V. Martínez Álvarez

En el presente capítulo se caracterizan los regadíos de la Región de Murcia mediante el análisis comparativo de los indicadores de gestión y de su evolución en las comunidades de regantes (CCRRs) seleccionadas.

Se pretenden definir los valores característicos de los indicadores de gestión en la zona de estudio, para que sirvan de referencia a los gestores en otras zonas regables en futuros trabajos. Este capítulo representa un complemento a los estudios realizados por varios autores en otras regiones españolas, pretendiendo aportar la información correspondiente de los regadíos de la Región de Murcia a la visión general de la situación del regadío en España.

6.1. ÁMBITO Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Muchos países en todo el mundo han transferido la distribución del agua de riego a organizaciones de usuarios. En el caso particular de España este encargo lo han asumido las CCRRs, según se ha expuesto ya en el Capítulo III. La gestión eficiente de los recursos hídricos en el regadío murciano se considera fundamental para amortiguar los efectos desestabilizadores que sobre la renta y el empleo agrario provoca la escasez estructural de agua en la Región de Murcia (Arcas y Alcón, 2007).

Para conseguir mejoras en la gestión y manejo del agua en las CCRRs resulta necesario desarrollar herramientas que evalúen su funcionamiento. Según se ha indicado en el Capítulo V, el análisis de la evolución de los indicadores de gestión a lo largo del tiempo puede mejorar el conocimiento sobre el efecto de los procesos o circunstancias específicas que le suceden a las CCRRs. Se trata de una aplicación parcial

de las técnicas de benchmarking, pero pueden ser suficientes para comprender los aspectos que más afectan a la calidad de la gestión del agua de riego.

La metodología para llevar a cabo este estudio se ha estructurado en varias fases. En primer lugar se seleccionaron un conjunto adecuado de indicadores para poder caracterizar las CCRRs. A continuación, se calculó el valor de estos indicadores para el período analizado (2002-2011) en las 5 CCRRs seleccionadas: Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC), Comunidad de Regantes de Lorca (CRLO), Comunidad de Regantes del Traslase Tajo Segura Calasparra-Cieza (CRTCC), Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva (CRPC) y Comunidad de Regantes de Miraflores (CRM). Finalmente, se compararon los resultados con los publicados en otras CCRRs españolas con red de distribución presurizada.

Los indicadores de gestión de benchmarking empleados en el presente estudio, tal como se ha indicado en el Capítulo V, se basan en la propuesta del “International Program for Technology and Research on Irrigation and Drainage” IPTRID (Malano y Burton, 2001), considerando otros indicadores adicionales propuestos por autores que han aplicado previamente técnicas de benchmarking en España (Rodríguez, 2003; Córcoles, 2009; Abadía *et al.*, 2010).

En la Tabla 5.1 del Capítulo V se relacionan todos los indicadores que se han calculado, con la excepción de algunos indicadores ambientales, que se excluyeron del estudio debido a que las CCRRs no suelen realizar ningún tipo de medida para su control, circunstancia por la cual este tipo de indicadores presenta una alta incertidumbre (Córcoles, 2010). Los indicadores energéticos se analizan en el Capítulo X, mientras que en el Capítulo XI se recogen los indicadores medioambientales relacionados con el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero debidas a las prácticas agrícolas.

La Tabla 6.1 recoge las principales características de las cinco CCRRs seleccionadas (CRCC, CRLO, CRTCC, CRPC y CRM), que ya

fueron descritas con detalle en el Capítulo IV. Se trata, tal como se ha indicado anteriormente, de CCRRs representativas de las diferentes comarcas agrarias de la Región de Murcia (Campo de Cartagena, Valle del Guadalentín, Vega del Segura, Comarca del Río Mula y el Altiplano), y con grandes diferencias entre superficies, cultivos y procedencia de los recursos hídricos. En total representan el 38,5% de la superficie regable de la Región de Murcia en 2011.

Tabla 6.1. Principales características de las CCRRs analizadas en el periodo 2002-11.

	Comunidades de regantes				
	CRCC	CRLO	CRTCC	CRPC	CRM
Superficie regada (Sr; ha) ^a	30.831-34.131	11.933-16.237	2.882-3.131	1.797-1.935	1.182-1.283
Volumen suministrado (Vs; hm ³) ^{ab}	17,88-104,50	28,00-55,04	6,84-12,06	3,51-6,35	3,38-4,86
Comuneros (n.)	9.506	7.617	350	1.750	972
Recursos (%) ^{ab}					
Superficiales	1-10	8-20	-	1-7	-
Subterráneos	0-20	27-64	0-82	47-97	100
Trasvase Tajo-Segura	70-97	12-51	18-100	2-53	-
Desalinización	1-7	-	-	-	-
Reutilización	0-2	4-6	-	-	-
Sistema de distribución	Turnos	Demanda	Demanda	Turnos	Demanda
Cultivos principales ^a	Lechuga (15%)	Brócoli (28%)	Melocotonero (61%)	Albaricoquero (26%)	Peral (46%)
	Limonero (14%)	Lechuga (24%)	Ciruelo (17%)	Naranja (25%)	Melocotonero (32%)
	Melón (11%)	Alcachofa (17%)	Albaricoquero (13%)	Limonero (18%)	Albaricoquero (7%)
Método riego	Localizado (96%)	Localizado (84%)	Localizado (100%)	Localizado (98%)	Localizado (100%)

^a rango en el periodo 2002-11

^b para CRLO y CRPC rango entre 2002-10

Finalmente cabe recordar que durante el periodo de estudio tres de las CCRRs han tenido procesos de modernización (CRCC, CRLO y CRTCC), mientras la CRPC y la CRM ya estaban modernizadas con anterioridad.

6.2. INDICADORES DE RENDIMIENTO

Los indicadores de rendimiento definen la idoneidad con la que opera el sistema de distribución de agua de riego de la CCRR, así como el nivel de satisfacción de las necesidades de riego de los cultivos. La Tabla 6.2 muestra los valores de los indicadores seleccionados en este grupo.

Tabla 6.2. Indicadores de rendimiento más significativos en el periodo 2002-11.

	Comunidades de regantes					Valor medio
	CRCC	CRLO	CRTCC	CRPC	CRM	
SrSa (%)^a	78,0 ±2,5	61,7 ±6,4	74,9 ±2,3	96,3 ±2,6	92,1 ±3,0	80,6 ±13,1
ED (%)^{ab}	95,3 ±5,2	96,8 ±2,3	94,2 ±3,1	95,1 ±1,1	96,1 ±2,8	95,5 ±3,2
VsSr (m³ ha⁻¹)^{ab}	1.984 ±941	2.776 ±527	3.121 ±626	2.771 ±529	3.292 ±340	2.779 ±762
ARIS^{ab}	0,45 ±0,22	0,75 ±0,14	0,46 ±0,09	0,51 ±0,09	0,47 ±0,06	0,53 ±0,17

^a valor medio ± desviación estándar en el periodo 2002-2011

^b para CRLO y CRPC periodo 2002-10

La intensidad de cultivo media (SrSa) fue del 80,6%, ligeramente inferior a la media regional para ese mismo periodo (83,4%). Cuando el ratio SrSa es menor al 100% se considera bajo (Uysal y Atis, 2010), tal como ocurre para todas las CCRRs analizadas durante el periodo de estudio. La CRPC y la CRM son las CCRRs que tienen un valor más alto de SrSa. La mayor variabilidad de SrSa la presenta la CRCC y la CRLO (Fig. 6.1a), dado que tienen una mayor proporción de cultivos hortícolas, y la superficie de estos cultivos sufre gran variación en función de los recursos hídricos disponibles, según se indica en los Capítulos VII y VIII.

La eficiencia de distribución (ED) es muy alta en todas las CCRRs analizadas, con un valor medio superior al 95%. Como se muestra en la Fig. 6.1b, solo hay dos años en los que alguna de las CCRRs analizadas presenta un ED por debajo del 90%. Hay que destacar que en la CRCC la ED alcanzó valores cercanos al 99% en los años normales, mientras que fue inferior al 90% en los años donde se produjo restricción en el suministro hídrico. Para el resto de CCRRs analizadas la ED media estuvo comprendida entre el 94% y el 97%. Estos valores implican un

funcionamiento excelente del sistema de distribución para todas las CCRRs analizadas.

El volumen suministrado por unidad de área regada ($VsSr$) pone de manifiesto la gran irregularidad en el suministro de agua (Fig. 6.1c). $VsSr$ presenta un máximo de $4.093 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en el año 2002 para la CRTCC y un mínimo de $558 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en la CRCC en el año 2006. La CRCC es la que más variación sufre en el periodo de estudio, causada por su gran dependencia del Traslase Tajo-Segura, mientras que la CRM es la que menos variaciones presenta, por ser todos sus recursos de origen subterráneo. Como se puede observar en la Tabla 6.2 la CRM es la que ha distribuido un mayor volumen de agua a sus agricultores. El valor medio de $VsSr$ para el conjunto de las CCRRs estudiadas fue de $2.779 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

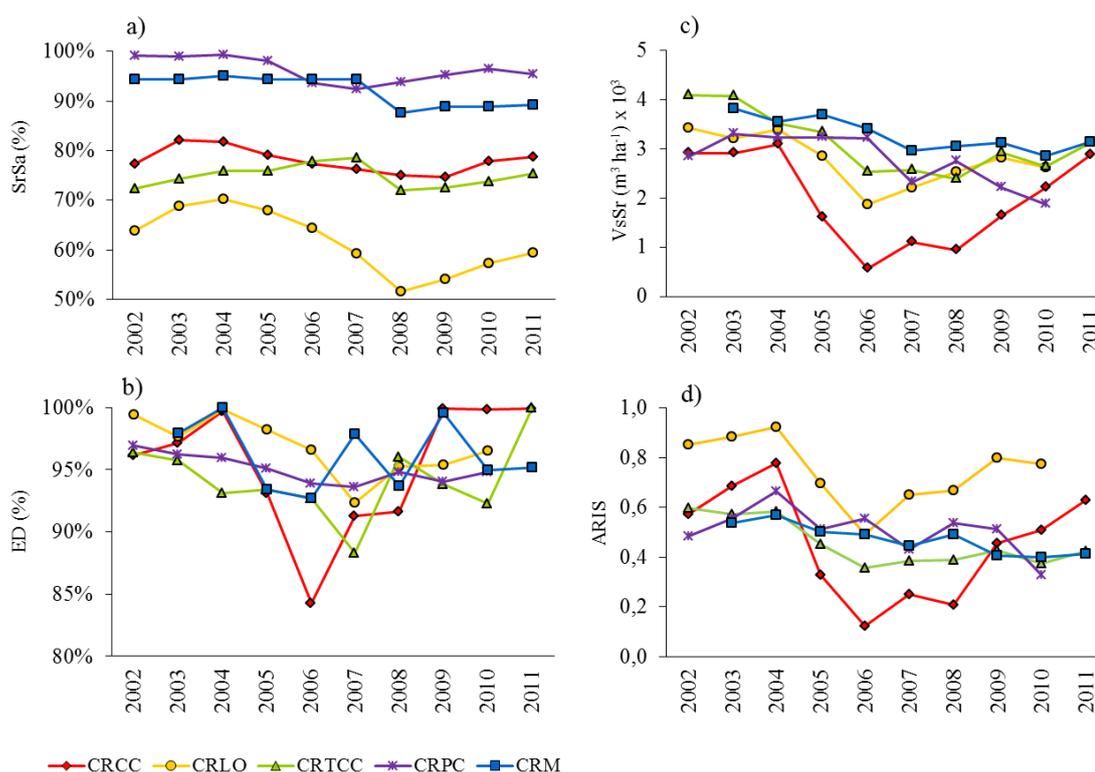


Figura 6.1. Evolución de los indicadores de rendimiento: a) SrSa, b) ED, c) VsSr y d) ARIS.

El aporte relativo de agua de riego (ARIS) mostró valores muy diferentes en cada una de las CCRRs (Fig. 6.1d). Los valores más altos se dieron en la CRLO y en la CRCC, al tener una mayor proporción de cultivos

hortícolas. El ARIS presenta valores inferiores a 1 en todas las CCRRs, lo que indica que el VsSr no cubre las necesidades hídricas de los cultivos (diferencia entre la ETc y Pef), produciéndose por tanto un riego deficitario.

6.3. INDICADORES FINANCIEROS

Los indicadores financieros miden la eficacia con la que la CCRR utiliza los recursos económicos para prestar sus servicios. La gestión económica en el manejo de los recursos hídricos es especialmente importante en este estudio, ya que el agua es el factor más limitante para la producción agrícola en el sureste de España (Berbel *et al.*, 2011). En la Tabla 6.3 se muestran los valores obtenidos para los indicadores financieros de las CCRRs estudiadas.

Tabla 6.3. Indicadores financieros más significativos en el periodo 2002-11.

	Comunidades de regantes					Valor medio
	CRCC	CRLO	CRTCC	CRPC	CRM	
PA (€ m ⁻³) ^{ab}	0,19 ±0,04	0,22 ±0,04	0,16 ±0,03	0,21 ±0,02	0,16 ±0,04	0,19 ±0,04
SrNP (ha empleado ⁻¹) ^a	1.033 ±37	312 ±25	1.192 ±255	268 ±7	310 ±12	623 ±422
CMSSr (€ ha ⁻¹) ^{ab}	362 ±148	582 ±61	893 ±325	408 ±48	1.037 ±110	650 ±315
CMSVs (€ m ⁻³) ^{ab}	0,20 ±0,06	0,21 ±0,03	0,31 ±0,16	0,15 ±0,03	0,32 ±0,06	0,24 ±0,10
GGSr (€ ha ⁻¹) ^{ab}	91 ±23	163 ±20	115 ±23	199 ±44	219 ±47	157 ±59
GGVs (€ m ⁻³) ^{ab}	0,06 ±0,04	0,06 ±0,01	0,04 ±0,01	0,07 ±0,03	0,07 ±0,01	0,06 ±0,03
CPSr (€ ha ⁻¹) ^{ab}	47 ±4	116 ±14	30 ±6	98 ±10	88 ±15	76 ±34
CPVs (€ m ⁻³) ^{ab}	0,03 ±0,02	0,04 ±0,01	0,01 ±0,00	0,04 ±0,01	0,03 ±0,01	0,03 ±0,02
CMSr (€ ha ⁻¹) ^{ab}	16 ±5	46 ±19	85 ±21	100 ±42	131 ±38	75 ±50
CMVs (€ m ⁻³) ^{ab}	0,01 ±0,01	0,02 ±0,01	0,03 ±0,01	0,04 ±0,02	0,04 ±0,01	0,03 ±0,02
CENSr (€ ha ⁻¹) ^{ac}	27 ±6	72 ±13	134 ±79	110 ±53	299 ±63	126 ±105
CENVs (€ m ⁻³) ^{ac}	0,02 ±0,01	0,03 ±0,01	0,05 ±0,03	0,04 ±0,02	0,09 ±0,02	0,04 ±0,03
RC (%) ^{ab}	95,7 ±16,7	107,4 ±10,1	79,5 ±22,9	115,9 ±23,8	84,1 ±5,8	96,5 ±21,5

^a valor medio ± desviación estándar en el periodo 2002-2011

^b para CRLO, CRTCC y CRPC periodo 2002-10

^c para CRLO y CRPC periodo 2002-10

El precio del agua de riego (PA) pagado por los regantes varía entre 0,11 y 0,27 € m⁻³, siendo el valor medio de 0,19 € m⁻³. En todas las CCRRs

analizadas la tarifa es función del consumo de agua efectuado, aunque también se producen derramas en función de la superficie, como es el caso sobre todo de la CRM. Este sistema tarifario, variable en función del consumo de cada regante, se aplica en la mayoría de las CCRRs de la Región de Murcia, debido al alto precio, a la baja disponibilidad y la escasa garantía del agua (Arcas y Alcón, 2007). Que el agricultor pague el agua en función de la cantidad consumida, en lugar de por superficie regable, resulta en un uso más eficiente del agua de riego (Rodríguez, 2003). Además hay que tener en cuenta que estas tarifas, para las CCRRs que toman recursos procedentes del Trasvase Tajo-Segura o de la Cuenca, están influenciadas en todo momento por las tarifas vigentes para dichos recursos, establecidas por el Estado.

En la Tabla 6.4 se pueden ver las tarifas para riego vigentes durante el periodo de estudio en el Trasvase Tajo-Segura y en la Cuenca del Segura. También se indica la fecha de su entrada en vigor. Estas tarifas afectan a todas las CCRRs analizadas, a excepción de la CRM, donde todos sus recursos son subterráneos.

Tabla 6.4. Tarifas (€ m⁻³) Trasvase Tajo-Segura y de peaje de la Cuenca (SCRATS, 2013).

Tarifas para riego	22/02/2001	12/10/2002	07/03/2004	01/02/2005	1/10/2009
Trasvase Tajo-Segura	0,0833	0,0872	0,0866	0,0996	0,1741
Peaje Cuenca	0,0326	0,0248	0,0123	0,0170	0,0551

El coste de manejo del sistema por unidad de área regada (CMSSr) es el indicador financiero más representativo, ya que engloba todos los costes a los que la CCRR debe hacer frente para su funcionamiento (Rodríguez, 2003). Este indicador presenta un valor medio de 650 € ha⁻¹, con una variación interanual considerable. Como se puede observar en la Fig. 6.2a, en todas las CCRRs salvo la CRPC (este indicador tiende a incrementarse a lo largo del periodo de estudio. Los principales motivos de esta tendencia son la subida de la tarifa del Trasvase Tajo-Segura y al peaje de la Cuenca (Tabla 6.4), el incremento de los costes energéticos y la repercusión de los costes de amortización de la modernización. Como se

puede advertir en la Fig. 6.2a la CRM es la que presenta mayores CMSSr, debido sobre todo al importante coste energético asociado a la captación de las aguas subterráneas. Esta circunstancia también se observa en la CRTCC durante los años en que se ponen en marcha los pozos, para paliar en parte la falta de los recursos procedentes del Trasvase Tajo-Segura.

El coste de manejo del sistema por unidad de agua de riego suministrada (CMSVs) tiene un valor medio de 0,24 € m⁻³, presentado un comportamiento similar a los CMSSr (Fig. 6.2b) por el incremento de los costes energéticos y la amortización de la obras de modernización, pero con mayores oscilaciones dada su vinculación al VsSr. Los valores más bajos de este indicador se presentan en la CRPC y la CRCC.

Los gastos generales por unidad de área regada (GGSr) varían entre 67 y 293 € ha⁻¹, con una tendencia clara al alza durante el periodo de estudio (Fig. 6.2c), debido sobre todo a la amortización de la modernización. El valor medio es de 157 € ha⁻¹. Siendo la CRM la que mayor GGSr presenta, y la CRCC la que menor. En general se observa un efecto de escala en este indicador, dado que presenta los valores menores en aquellas CCRRs con mayor superficie (CRCC), y valores elevados en las menores (CRM y CRPC).

Los gastos generales por unidad de agua de riego suministrada (GGVs) tienen un valor medio de 0,06 € m⁻³, con una tendencia claramente alcista, como sucede para GGSr y CMSVs.

El coste de personal por unidad de área regada (CPSr) varía entre 22 y 137 € ha⁻¹, con un valor medio de 76 € ha⁻¹. La CRTCC y la CRCC son las que presentan valores menores de CPSr (Fig. 6.2e), mientras que la CRLO presenta los mayores al disponer claramente de un mayor número de empleados. En todas las CCRRs se ha producido un incremento a lo largo del periodo de estudio de este indicador, debido principalmente a una mayor cualificación del personal para el manejo de las infraestructuras colectivas de distribución modernizadas.

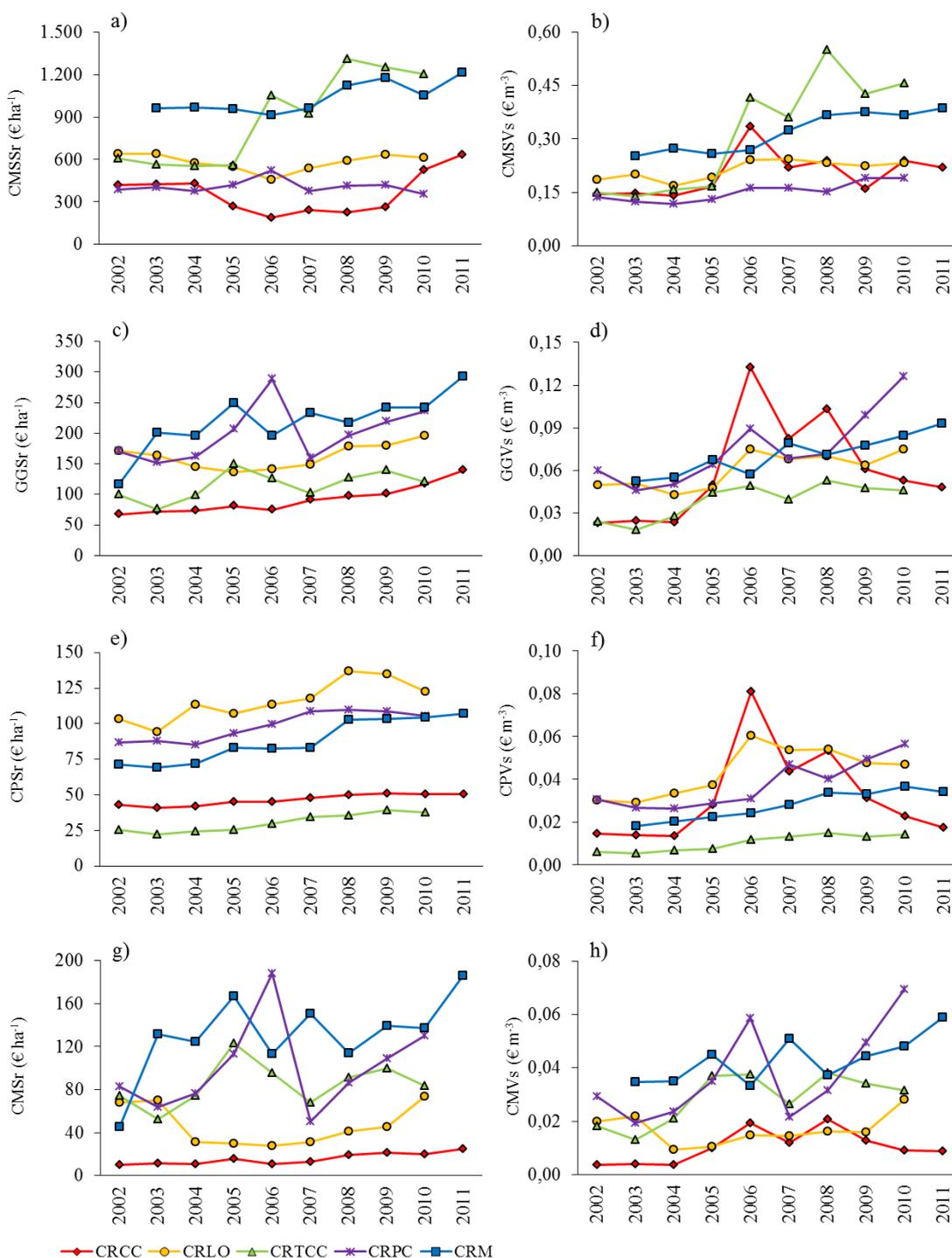


Figura 6.2. Evolución de los indicadores financieros: a) CMSSr, b) CMSVs, c) GGSr, d) GGVs, e) CPSr, f) CPVs, g) CMSr y h) CMVs.

El coste de personal por unidad de agua de riego suministrada (CPVs) sigue la misma tendencia que CPSr, pero con mayores

fluctuaciones (Fig. 6.2f) dada su relación con VsSr. El valor medio obtenido para este indicador ha sido de $0,03 \text{ € m}^{-3}$ (Tabla 6.3).

El coste de mantenimiento por unidad de área regada (CMSr) tiene un valor medio de 75 € ha^{-1} , pero en función del año y de la CCRR seleccionada varía entre un mínimo de 10 € ha^{-1} para la CRCC en 2002 y un máximo de 188 € ha^{-1} para la CRPC en 2006. La CRCC y la CRLO son las que presentan un valores menores, mientras que la CRM tiene los mayores (Fig. 6.2g). En todas las CCRRs se ha producido un incremento de estos costes a lo largo del tiempo.

El coste de mantenimiento por unidad de agua de riego suministrada (CMVs) tienen un valor medio de $0,03 \text{ € m}^{-3}$. Sigue la misma tendencia que CMSr, pero con mayores fluctuaciones dada su relación con VsSr (Fig. 6.2h).

El valor medio del coste energético por unidad de área regada (CENSr) fue de 126 € ha^{-1} (Tabla 6.3). Este valor varía considerablemente en función de la CCRR y el año, oscilando entre 15 € ha^{-1} para la CRCC en el año 2006 y 430 € ha^{-1} para la CRM en 2009. En la Fig. 6.3a se observa que el valor más alto lo presenta la CRM, ya que sus recursos son 100% de origen subterráneo. La Fig. 6.3a también muestra cómo se produce un aumento considerable en el CENSr de la CRTCC, la CRPC y la CRLO en el periodo de sequía 2006-2009, ya que estas CCRRs disponen de aguas subterráneas (Tabla 6.1), aumentando el consumo de las mismas para paliar la falta de recursos procedentes del Trasvase Tajo-Segura en el periodo sequia, con el consiguiente incremento del coste energético. Hay que destacar el gran incremento del CENSr en 2009 para la CRM, motivado por la liberalización del mercado eléctrico español en 2008, año en que las tarifas especiales para riego desaparecieron, perjudicando la contratación eléctrica para el regadío, tal como se expuso en el Capítulo I.

El coste energético por unidad de agua de riego suministrada (CENVs) tiene un valor medio de $0,04 \text{ € m}^{-3}$ (Tabla 6.3), pero como ocurre con CENSr presenta grandes variaciones a lo largo del tiempo. Además de lo comentado en el párrafo anterior para CRM, CRLO, CRTCC y CRPC, se

observa un considerable incremento de CENVs en el periodo 2006-2008 para la CRCC, causado principalmente por el incremento en el porcentaje de agua desalinizada durante dicho periodo de sequía, caracterizada por un gran consumo energético, tal como se indica en el Capítulo X.

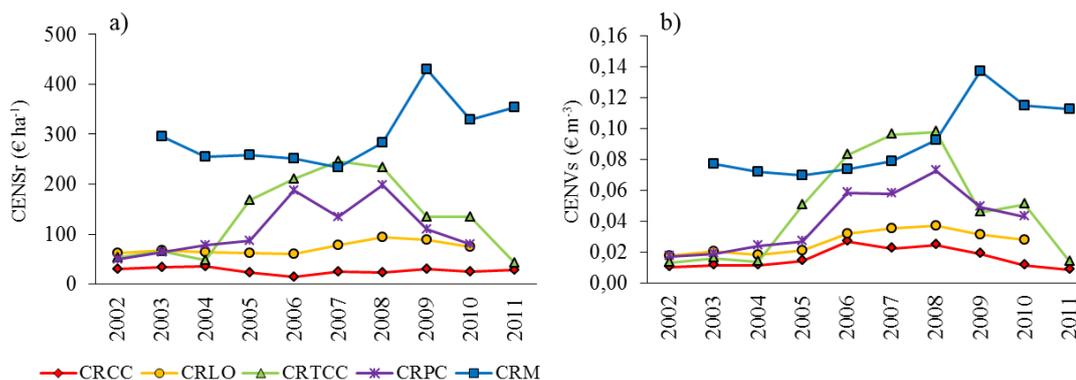


Figura 6.3. Evolución de los indicadores financieros relacionados con el consumo energético: a) CENSr y b) CENVs.

La recuperación de costes (RC) es muy alta, superior al 96% de media, dado que la tarifa predominante en las CCRRs es volumétrica, y las CCRRs suelen interrumpir el suministro de agua a aquellos comuneros que no estén al corriente de sus pagos.

6.4. INDICADORES DE EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN

Los indicadores de eficiencia de producción definen la eficacia con la que los agricultores utilizan el agua en la producción de sus cultivos, así como el valor económico obtenido. En la Tabla 6.5 se muestran los valores de los indicadores de eficiencia de producción para las CCRRs estudiadas.

El valor de la producción agrícola por unidad de superficie regada (VPSr) presenta un valor medio de 11.023 € ha⁻¹, valor muy alto en comparación con otras regiones españolas (Salvador *et al.*, 2011; Córcoles *et al.*, 2010; Rodríguez-Díaz *et al.*, 2008). Este indicador presenta grandes fluctuaciones a lo largo de periodo de estudio (Fig. 6.4a), producidas por su dependencia directa de los precios agrícolas. En la Fig. 6.4a se puede ver

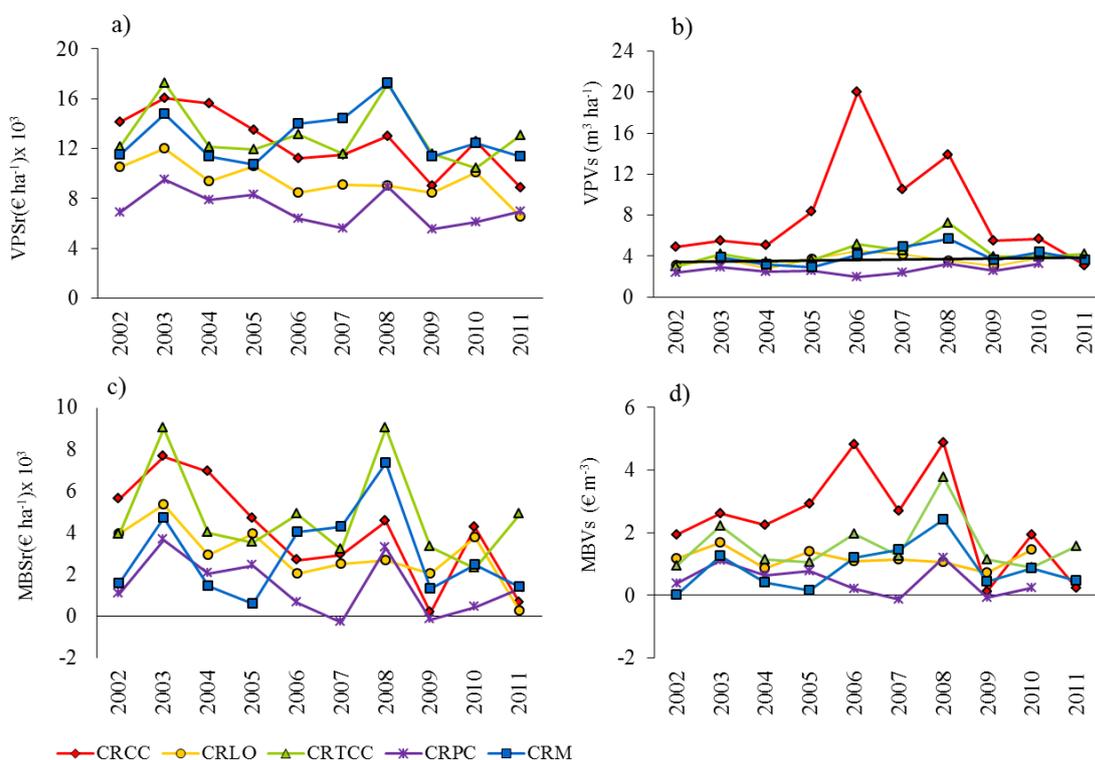
cómo los valores más altos se producen en la CRTCC, la CRCC y la CRM, y los más bajos en la CRPC. Este comportamiento en CRPC se debe al gran minifundio existente en esta CCRR, y a que sus cultivos no incluyen los más productivos (López, 2006).

Tabla 6.5. Indicadores de eficiencia de producción más significativos en el periodo 2002-11.

	Comunidades de regantes					Valor medio
	CRCC	CRLO	CRTCC	CRPC	CRM	
VPSr (€ ha⁻¹)^a	12.536 ±2.455	9.423 ±1.494	13.032 ±2.335	7.217 ±1.397	12.907 ±2.106	11.023 ±3.031
VPVs (€ m⁻³)^{ab}	8,25 ±5,23	3,59 ±0,56	4,32 ±1,18	2,64 ±0,43	4,02 ±0,85	4,64 ±3,12
MBSr (€ ha⁻¹)^a	4.016 ±2.446	2.960 ±1.408	4.814 ±2.349	1.454 ±1.377	2.929 ±2.120	3.235 ±2.228
MBVs (€ m⁻³)^{ab}	2,44 ±1,59	1,17 ±0,29	1,59 ±0,89	0,48 ±0,48	0,96 ±0,70	1,36 ±1,12

^a valor medio ± desviación estándar en el periodo 2002-2011

^b para CRLO y CRPC periodo 2002-10



El valor de la producción agrícola por unidad de agua de riego suministrada (VPVs) presenta un valor medio de 4,64 € m⁻³ (Tabla 6.5), muy alto en comparación con otras regiones españolas. VPVs presenta una variación mayor que VPSr por su vinculación con VsSr (Fig. 6.4b y 6.4a), además del efecto de las fluctuaciones en los precios agrícolas. Los mayores valores de este indicador, como era de esperar, se producen en los periodos de escasez de agua (Fig. 6.4b y Fig. 6.1c), según se analiza en el Capítulo VII.

El margen bruto por unidad de agua de riego suministrada (MBVs) y por unidad de superficie regada (MBSr) siguieron una evolución paralela a VPVs y VPSr respectivamente (Fig. 6.4c y Fig. 6.4e), pero con mayores fluctuaciones a lo largo del tiempo, ya que además de la variación de los precios de los cultivos también están afectados por el precio de los input agrícolas, como por ejemplo el PA (Tabla 6.3). El valor medio de MBSr y MBVs fue de 3.235 € ha⁻¹ y 1,36 € m⁻³ respectivamente (Tabla 6.5).

6.5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El empleo de los indicadores de gestión es una herramienta eficaz para la caracterización de las CRRs, así como para identificar las deficiencias en su gestión y determinar qué medidas se pueden tomar para mejorarlas. Los valores de estos indicadores están determinados por una compleja combinación de factores técnicos, económicos y socio-culturales.

A lo largo de los 10 años estudiados los indicadores han presentado importantes variaciones en las CRRs analizadas. Por lo tanto, el enfoque tradicional que maneja indicadores de gestión como valores más o menos constantes que caracterizan a una zona regable es inadecuado bajo condiciones de estrés hídrico. Las variaciones en la disponibilidad de agua tienen un gran efecto en el valor de los indicadores, por lo que su determinación debe realizarse considerando siempre periodos de tiempo suficientemente significativos. Por lo tanto, de acuerdo con García-Vila *et al.* (2008), se llega a la conclusión de que la mejora de la gestión del riego mediante la evaluación comparativa en áreas sujetas a periodos de

escasez de agua requiere un buen conocimiento del funcionamiento del sistema durante periodos de tiempo prolongados.

Del análisis de los indicadores de rendimiento se desprende que: (a) la actividad agrícola en las cinco CCRRs estudiadas es bastante estable, tal como la intensidad de cultivo ($SrSa$) pone de manifiesto, ya que se basa en cultivos con producciones de alto valor; (b) la eficiencia de distribución (ED) es tan alta que prácticamente ya no tiene mejora; (c) el volumen suministrado por superficie regada ($VsSr$) es muy variable a lo largo del tiempo y presenta una ligera tendencia a la baja; y (d) los volúmenes suministrados por las CCRRs no satisfacen las necesidades hídricas de los cultivos, dado que el aporte relativo de agua de riego (ARIS) en todos los casos es menor que 1.

Del estudio de los indicadores financieros se deduce que: (a) por lo general su tendencia es al alza; (b) la escala influye en los indicadores, que disminuyen su valor por unidad de agua de riego suministrada o por unidad de área regada conforme aumenta el tamaño de las CCRRs; y (c) los costes se incrementan cuando en situaciones de sequía se sustituyen recursos superficiales por subterráneas o procedentes de la desalación, que en ambos casos presentan mayores costes energéticos.

El valor de los indicadores de eficiencia en la producción es muy alto, con fluctuaciones frecuentes asociadas sobre todo a la gran variación de los precios agrícolas y a los efectos de las frecuentes restricciones de agua en el rendimiento de los cultivos.

Del estudio de los indicadores se deduce que las CCRRs analizadas pueden mejorar en los siguientes aspectos:

- La CRCC presenta las mayores fluctuaciones en el $VsSr$, dado que la mayor parte de sus recursos proceden del Trasvase Tajo-Segura, el cual es muy irregular. Por lo tanto, sus esfuerzos deben orientarse a reducir los factores que afectan a la regularidad de los trasvases, muchas veces de origen político, y a la búsqueda e incorporación de recursos alternativos. En este sentido hay que destacar la incorporación de recursos

procedentes de la reutilización de aguas urbanas depuradas y la desalación de aguas salobres, que ya se están llevando a cabo.

- La CRLO tiene los mayores costes laborales por unidad de superficie regada, a pesar de ser la segunda CCRR en tamaño. Por tanto se recomienda un estudio de la plantilla con el fin de optimizar sus funciones y conseguir una progresiva disminución de la misma. Los datos indican que ya se ha realizado una reducción del 20% del personal durante el periodo de estudio, por lo que parece que ya se ha iniciado la corrección propuesta.
- La CRTCC presenta un incremento considerable de los costes de manejo del sistema durante los periodos de escasez de recursos procedentes del Trasvase Tajo-Segura, ya que éstos son sustituidos en parte por recursos subterráneos. La dependencia de estos recursos subterráneos provocando que durante los periodos de sequía los costes de manejo del sistema se dupliquen, por el mayor costes energéticos de los mismos. Se recomienda la búsqueda de recursos alternativos con un menor consumo energético que los de las aguas subterráneas, según se analiza en el Capítulo X.
- La CRPC tiene margen de mejora en los costes laborales, por lo que también es de aplicación lo indicado para la CRLO. Por otro lado el valor de la producción agraria es el menor de las cinco CCRRs analizadas, por lo que también deben orientar sus esfuerzos hacia la reducción del minifundio y la sustitución de los cultivos actuales por otros con una mayor cuota de mercado.
- La CRM es la que presenta unos mayores costes de manejo del sistema, debido básicamente a los costes energéticos por la captación de los recursos subterráneos, que representan el 100% de los recursos disponibles. Una manera de reducir estos costes es emplear recursos alternativos. En este sentido ya se han incorporado recursos procedentes de la reutilización en el año 2013. También sus esfuerzos deben ir encaminados en la reducción de sus gastos generales.

En la Tabla 6.6 se incluye una comparación de los indicadores obtenidos en nuestro estudio con los publicados por Rodríguez (2003) en Andalucía, Córcoles (2009) en Castilla la Mancha y Melián-Navarro *et al.* (2010) en Alicante, considerando únicamente las CCRRs con redes presurizadas.

Tabla 6.6. Comparativa de los resultados obtenidos en este trabajo con otros estudios previos.

	R. Murcia	Andalucía	C. La Mancha	Alicante
	2002-11	1997-2002	2006-08	2009
	5 CCRRs	5 CCRRs	7 CCRRs	2 CCRRs
		Rodríguez (2003)	Córcoles (2009)	Melián-Navarro <i>et al.</i> (2010)
ED (%)	96 ±3	91±5	87±9	97
VsSr (m³ ha⁻¹)	2.779 ±762	4.334±1.968	3.458±2.301	2.203
ARIS	0,53 ±0,17	1,20±0,56	1,09±0,26	
CMSSr (€ ha⁻¹)	650 ±315	452±200	370±192	474
CMSVs (€ m⁻³)	0,24 ±0,10	0,13±0,06	0,13±0,05	0,23
GGSr (€ ha⁻¹)	157 ±59	105±46	127±44	
GGVs (€ m⁻³)	0,06 ±0,03	0,03±0,01	0,06±0,04	
CPSr (€ ha⁻¹)	76 ±34	49±12	72±28	
CPVs (€ m⁻³)	0,03 ±0,02	0,01±0,01	0,03±0,03	
CMSr (€ ha⁻¹)	75 ±50	21±13	26±24	69
CMVs (€ m⁻³)	0,03 ±0,02	0,01±0,00	0,02±0,02	0,03
CENSr (€ ha⁻¹)	126 ±105	227±164	241±164	146
CENVs (€ m⁻³)	0,04 ±0,03	0,06±0,04	0,07±0,02	0,07
RC (%)	96,5 ±21,5	98±10	106±10	
VPSr (€ ha⁻¹)	11.023 ±3.031	5.526±4.250	3.857±1.457	
VPVs (€ m⁻³)	4,64 ±3,12	1,51±0,97	1,67±1,04	
MBSr (€ ha⁻¹)	3.235 ±2.228		1.607±841	
MBVs (€ ha⁻¹)	1,36 ±1,12		0,63±0,43	

De esta comparación se concluye que para las CCRRs analizadas: (a) la ED es muy alta; (b) el VsSr es claramente inferior al del resto de regiones, excepto las de Alicante; (c) son las únicas donde no se cubren las necesidades hídricas de los cultivos, (d) los costes de manejo del sistema son superiores, y (e) el valor de la producción agrícola es muy alto. A partir de los datos mostrados en la Tabla 6.6 se deduce que disponer de una alta ED lleva asociado unos mayores costes de manejo de sistema, así como

que las CCRRs con sistemas de redes presurizadas deben tener como objetivo una ED superior al 95%.

Finalmente, cabe indicar que el orden de magnitud de los indicadores financieros en los 4 estudios realizados es muy similar (Tabla 6.6). Por tanto, estos valores suponen una referencia válida (o benchmark) para CCRRs con sistemas de distribución presurizados en el ámbito mediterráneo, representando un nivel mínimo a conseguir en los costes del sistema cuando se produce la transformación de una CCRR con riego tradicional por canales abiertos a redes presurizadas.

Capítulo VII

EFFECTOS DE LA ESCASEZ DE AGUA EN LAS COMUNIDADES DE REGANTES

V. Martínez Álvarez, M. Soto García, B. Martín Górriz

En este capítulo se estudia, a escala de comunidad de regantes (CCRR), la sensibilidad de los indicadores de gestión a la escasez de agua. Además, en el siguiente capítulo se analizan las estrategias seguidas por los agricultores a escala de parcela durante los periodos de sequía. Estos análisis a distinta escala son complementarios y permitirán una interpretación más amplia de los resultados obtenidos.

Las relaciones entre la intensidad de la sequía y los cambios observados en los indicadores de gestión resultan de notable interés para los gestores de las CCRRs.

7.1. ÁMBITO Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

En las últimas décadas se ha producido un aumento considerable en la demanda de agua en los países mediterráneos debido a: (a) el aumento de la población; (b) el desarrollo urbanístico; (c) el desarrollo económico y social; (d) y especialmente al desarrollo de la agricultura de regadío. Como resultado de este incremento la demanda de agua ha llegado a superar los recursos hídricos renovables en algunas regiones. Este déficit hídrico provoca una fuerte competencia por el uso del agua disponible entre los distintos agentes o sectores implicados, incluido el medioambiente, que está desembocando en frecuentes conflictos entre los usuarios (Iglesias *et al.*, 2007; MedWSD, 2007). En el futuro se espera un agravamiento de esta problemática debido, en gran parte, a la reducción prevista de los recursos hídricos disponibles en estas regiones a causa del cambio climático. Esta reducción afectará especialmente a las zonas con clima mediterráneo

semiárido (Pereira, 2004; Barros *et al.*, 2011; García-Ruiz *et al.*, 2011; Koutroulis *et al.*, 2013), como es el caso de la Región de Murcia.

Teniendo en cuenta la importancia del regadío en los países mediterráneos, donde consumen el 64% del agua disponible, llegando incluso al 90% en algunos acuíferos y cuencas, la reducción de la demanda hídrica para riego es prioritaria actualmente (Berbel *et al.*, 2011). Este objetivo puede alcanzarse mediante la mejora del manejo del agua tanto a escala de CCRR y como de parcela (Playán y Mateos, 2006; Hsiao *et al.*, 2007).

A escala de CCRR, como ya se ha comentado en capítulos anteriores, el benchmarking es una herramienta adecuada para mejorar la gestión y la eficiencia del uso del agua. El análisis de indicadores de gestión puede ser especialmente útil para analizar los efectos de la escasez de agua en la agricultura de regadío. Como consecuencia, el seguimiento de estos indicadores se está convirtiendo en un instrumento cada vez más aplicado en la gestión de las CCRRs. La correcta interpretación de su evolución permite explicar los factores que afectan al cambio y la tendencia del funcionamiento de estas organizaciones (Droogers y Kite, 1999; Loritee *et al.*, 2004; Playán y Mateos, 2006; Uysal y Atis, 2010).

A escala de parcela, el riego localizado ha adquirido una importante relevancia en el sureste de España, dada su capacidad para mejorar la eficiencia en la aplicación del agua de riego (Alcón *et al.*, 2011, Rodríguez *et al.*, 2011a). Otra adaptación necesaria, que ya se está produciendo en muchas zonas deficitarias, es el cambio en los patrones de cultivos hacia alternativas con menor demanda hídrica (García-Vila *et al.*, 2008; Moreno-Pérez y Roldán-Cañas, 2013). Finalmente, en la última década se está promoviendo el uso de tecnologías específicas de ahorro de agua en parcela, como son el riego deficitario controlado (Geerts y Raes, 2009) o la instalación de coberturas de sombreo en balsas de riego (Martínez-Álvarez *et al.*, 2009).

En el Capítulo VIII se caracteriza, para los principales grupos de cultivo, el comportamiento de los agricultores en los periodos con

restricciones en el suministro, dado que este tipo de análisis es recomendado por diversos autores para la correcta interpretación de las tendencias de los indicadores de gestión en CCRRs (Tanaka y Sato, 2005; García-Vila *et al.*, 2008; Salvador *et al.*, 2011).

La metodología para desarrollar este estudio se ha estructurado en varias fases. En primer lugar se seleccionaron un conjunto adecuado de indicadores de gestión para caracterizar los efectos de la escasez de agua sobre las CCRRs. En la Tabla 7.1 se describen estos indicadores, así como las expresiones empleadas para su cálculo.

La sensibilidad a la escasez de agua de cada uno de los indicadores de gestión se ha estudiado mediante análisis de regresión entre dichos indicadores y los valores de $VsSr$ para cada una de las CCRRs seleccionadas: Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC), Comunidad de Regantes de Lorca (CRLO), Comunidad de Regantes del Trasvase Tajo Segura Calasparra-Cieza (CRTCC), Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva (CRPC) y Comunidad de Regantes de Miraflores (CRM). Las principales características de estas CCRRs se han descrito en el Capítulo IV.

El ARIS es la relación entre el volumen de agua de riego anual suministrada a las parcelas agrícolas (Vs) y las necesidades netas de los cultivos. Mide la idoneidad del volumen de agua suministrado por la CCRR a las explotaciones agrícolas. Para la interpretación de ARIS en la CRCC se debe tener en cuenta que los agricultores extraen agua salobre en parcela, que se mezclan con el agua suministrada por la CCRR. La proporción de esta mezcla es variable, de forma que el porcentaje de uso de las aguas subterráneas es proporcional a la escasez de agua, es decir inversamente proporcional a Vs .

Todos los valores monetarios relacionados con los indicadores financieros y de eficiencia de la producción se han actualizado a 2011 mediante el IPC para evitar los efectos de la inflación.

Tabla 7.1. Descripción y método de cálculo de los indicadores de gestión empleados.

Nombre del indicador y acrónimo	Unidad	Clasificación	Descripción y cálculo
Suministro de agua por unidad de área regada (VsSr)	m ³ ha ⁻¹	De rendimiento	Vs/Sr donde Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios y Sr es la superficie total regada.
Intensidad de cultivo (SrSa)	%	De rendimiento	100 · Sr/Sa donde Sr es la superficie total regada y Sa es la superficie regable.
Eficiencia de distribución (ED)	%	De rendimiento	100·Vs/VT donde Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios y VT el volumen anual que entra al sistema de la CCRR
Aporte relativo de agua suministrada (ARWS)	-	De rendimiento	(Vs+Pef)/ETc donde Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios, Pef representa la precipitación efectiva anual y ETc es la evapotranspiración total anual de los cultivos.
Aporte relativo de agua de riego (ARIS)	-	De rendimiento	Vs/(ETc-Pef) donde las variables son las mismas que en ARWS.
Costes de manejo del sistema por unidad de agua de riego suministrada (CMSVs)	€ m ⁻³	Financiero	CMS/Vs donde CMS son los costes anuales que se originan a consecuencia de los servicios prestados con el riego y Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios.
Costes de manejo del sistema por unidad de área regada (CMSSr)	€ ha	Financiero	CMS/Sr donde CMS son los costes anuales que se originan a consecuencia de los servicios prestados con el riego y Sr es la superficie total regada.
Coste energético por unidad de agua de riego suministrada (CENVs)	€ m ⁻³	Financiero	CEN/Vs donde CEN son los costes energéticos anuales facturados y Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios.
Coste energético por unidad de área regada (CENSr)	€ ha ⁻¹	Financiero	CEN/Sr donde CEN son los costes energéticos anuales facturados y Sr es la superficie total regada.
Valor producción agrícola por unidad de agua de riego suministrada (VPVs)	€ m ⁻³	De eficiencia de producción	VP/Vs donde VP es el valor total de la producción agrícola y Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios.
Valor producción agrícola por unidad de superficie regada (VPSr)	€ ha ⁻¹	De eficiencia de producción	VP/Sr donde VP es el valor total de la producción agrícola y Sr es la superficie total regada.
Margen bruto por unidad de agua de riego suministrada (MBVs)	€ m ⁻³	De eficiencia de producción	MB/Vs donde MB es el margen bruto de la producción agrícola y Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios.
Margen bruto por unidad de superficie regada (MBSr)	€ ha ⁻¹	De eficiencia de producción	MB/Sr donde MB es el margen bruto de la producción agrícola y Sr es la superficie total regada.

7.2. SENSIBILIDAD DE LOS INDICADORES DE RENDIMIENTO

La Fig. 7.1 muestra la relación entre la intensidad de cultivo (SrSa) y VsSr. Se observa para la CRCC, la CRLO, la CRPC y la CRM que cuanto mayor es el VsSr, mayor es la SrSa. La relación presenta cierta histéresis para el caso de la CRCC (línea de trazos en la Fig. 7.1a), ya que la recuperación de SrSa comienza con una año de retraso respecto al último año seco. El análisis mediante regresión lineal indica una correlación moderada para la CRCC ($R^2 = 0,44$) y la CRM ($R^2 = 0,47$), siendo escasa para el caso de CRLO ($R^2 = 0,18$) y CRPC ($R^2 = 0,18$), y prácticamente inexistente para CRTCC ($R^2 = 0,06$).

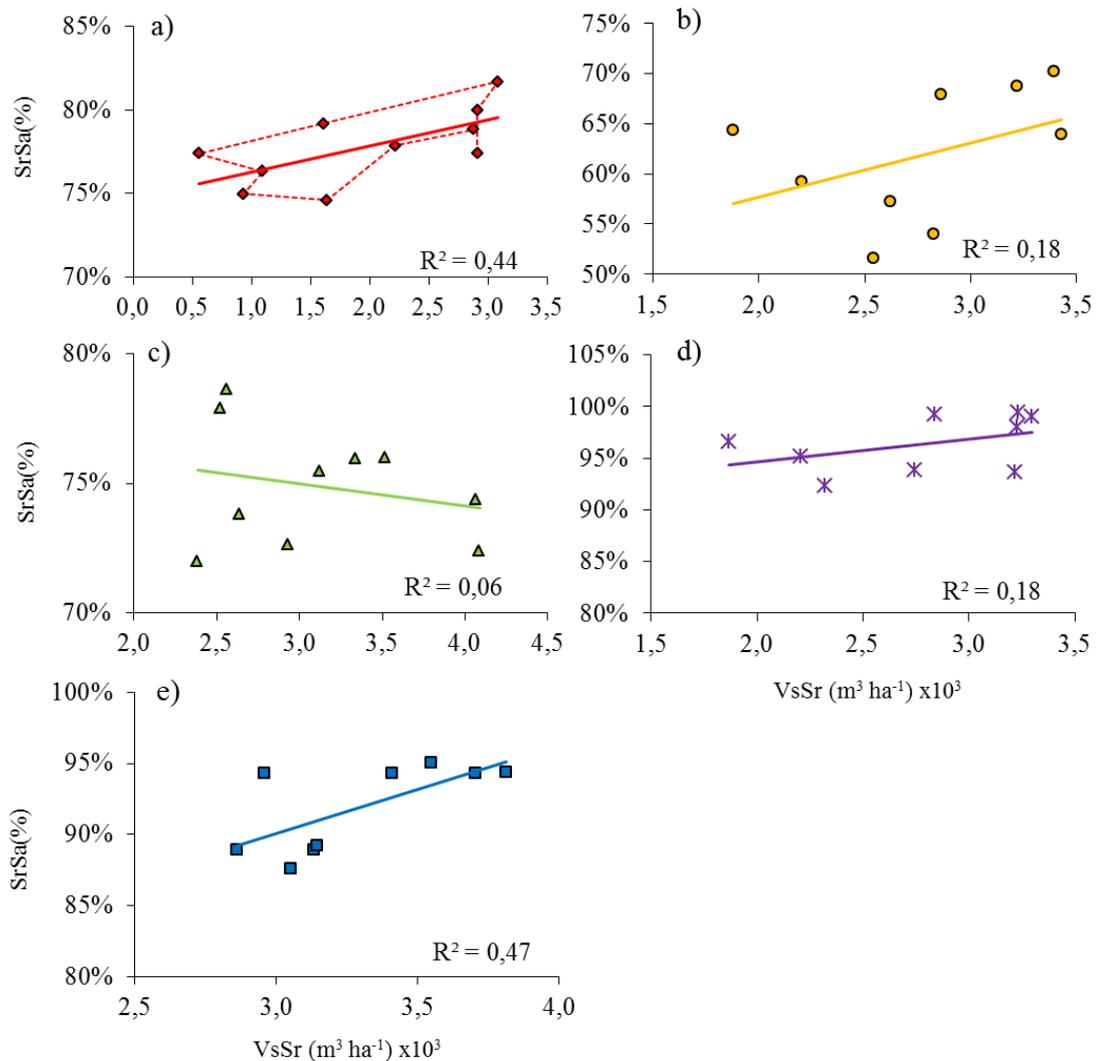


Figura 7.1. Análisis mediante regresión lineal de la relación entre los indicadores SrSa y VsSr. a) CRCC, b) CRLO, c) CRTCC, d) CRPC, y e) CRM.

La eficiencia de distribución (ED) presenta una tendencia a aumentar con el incremento de VsSr (Fig. 7.2). Esta relación se ajustó bien con una función potencial, que muestra una correlación muy significativa para la CRCC ($R^2 = 0,77$), moderada para CRLO ($R^2 = 0,47$), siendo esta correlación escasa para CRPC ($R^2 = 0,19$) y CRTCC ($R^2 = 0,16$), e inexistente para CRM. Este comportamiento de la ED se relaciona con las pérdidas de agua en el sistema de distribución de las CCRRs, debido a (1) las fugas en la red de distribución y (2) las pérdidas por evaporación en las balsas (Martínez-Álvarez *et al.*, 2009). Dado que, con independencia de la situación de suministro, las redes se mantienen en carga y las balsas no se suelen vaciar, estas pérdidas se mantuvieron estables, representando un porcentaje mayor de VsSr a medida que aumenta la escasez de agua.

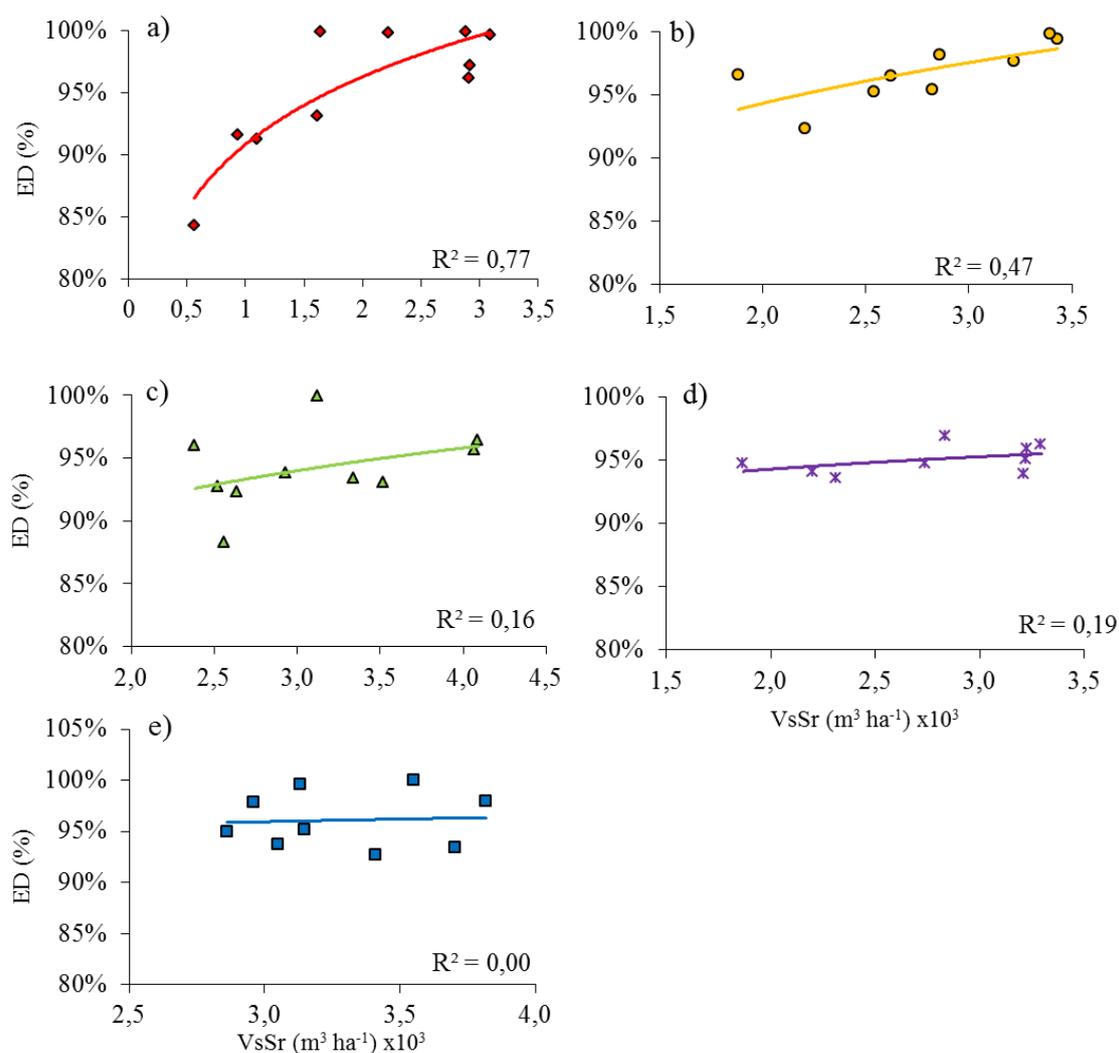


Figura 7.2. Análisis mediante regresión potencial de la relación entre los indicadores ED y VsSr. a) CRCC, b) CRLO, c) CRTCC, d) CRPC, y e) CRM.

La relación del aporte relativo de agua de riego (ARIS) con VsSr es claramente lineal para todas las CCRRs (Fig. 7.3), tal como era de esperar, ya que Vs interviene en el cálculo de ambos indicadores: CRCC ($R^2 = 0,95$), CRLO ($R^2 = 0,87$), CRTCC ($R^2 = 0,88$), CRPC ($R^2 = 0,64$) y CRM ($R^2 = 0,61$). El ARIS presenta valores decrecientes a medida que aumentaba la escasez de agua. Los valores mínimos se dan en la CRCC, alcanzando valores en torno a 0,21 (de 0,17 a 0,27). Teniendo en cuenta que valores menores de 1 indican riego deficitario, es evidente que durante todo el periodo de estudio y en todas las CCRRs los agricultores realizaron riego deficitario, mientras que los valores más bajos, correspondientes a los años más secos, son más propios de riegos de socorro.

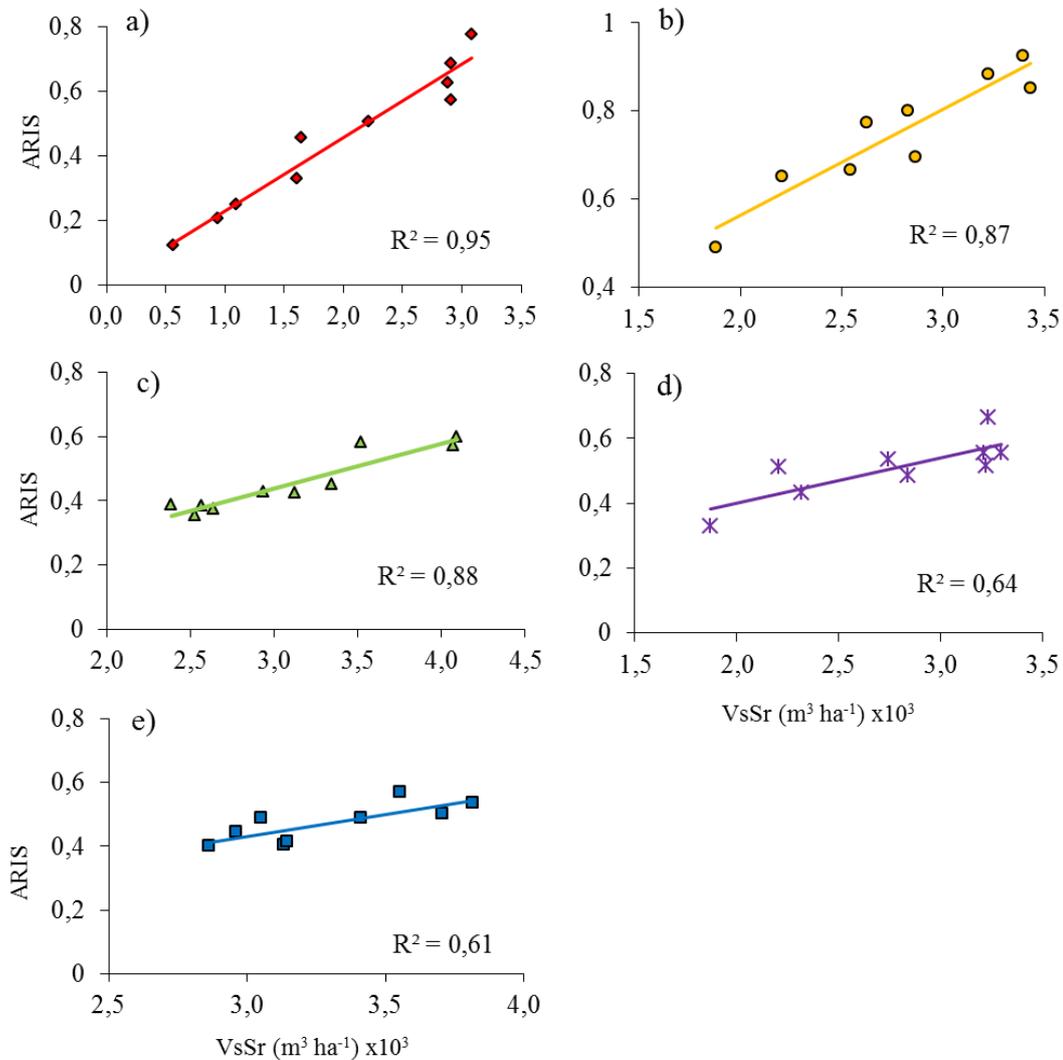


Figura 7.3. Análisis mediante regresión lineal de la relación entre los indicadores ARIS y VsSr. a) CRCC, b) CRLO, c) CRTCC, d) CRPC, y e) CRM.

7.3. SENSIBILIDAD DE LOS INDICADORES FINANCIEROS

Como ya se ha comentado en el Capítulo VI, en todas las CCRRs analizadas la tarifa está definida en función del consumo de agua efectuado por cada agricultor. El precio del agua (PA) se incrementa conforme disminuye el volumen suministrado (Fig. 7.4), comportamiento que se puede justificar por la estructura de costes, tal como se explica posteriormente. La Fig. 7.4 muestra una correlación moderada, mediante una función potencial negativa, entre PA y VsSr para CRTCC ($R^2 = 0,42$), CRPC ($R^2 = 0,66$) y CRM ($R^2 = 0,55$), siendo la correlación reducida para CRCC ($R^2 = 0,18$) y CRLO ($R^2 = 0,22$).

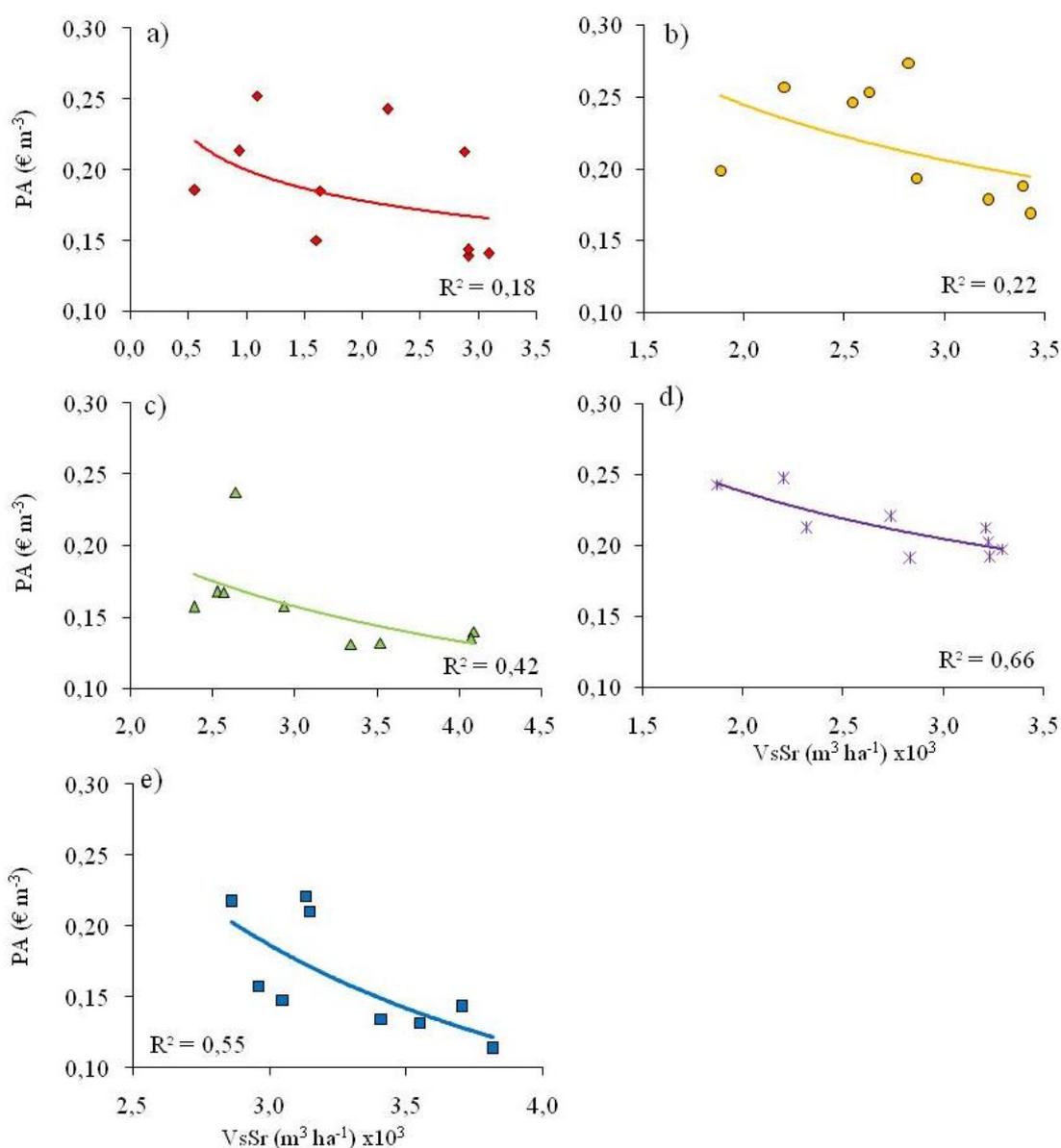


Figura 7.4. Análisis mediante regresión potencial de la relación entre los indicadores PA y VsSr. a) CRCC, b) CRLO, c) CRTCC, d) CRPC, y e) CRM.

El coste de manejo del sistema por unidad de agua de riego suministrada (CMSVs) se correlaciona muy bien con VsSr mediante una función potencial negativa en cada una de las CCRRs (Fig. 7.5): CRCC ($R^2 = 0,83$), CRLO ($R^2 = 0,74$), CRTCC ($R^2 = 0,88$), CRPC ($R^2 = 0,71$) y CRM ($R^2 = 0,76$). En la Fig. 7.5 se observa como CMSVs decrece conforme aumenta el valor de VsSr, pero con una estabilización de la pendiente para valores elevados de VsSr.

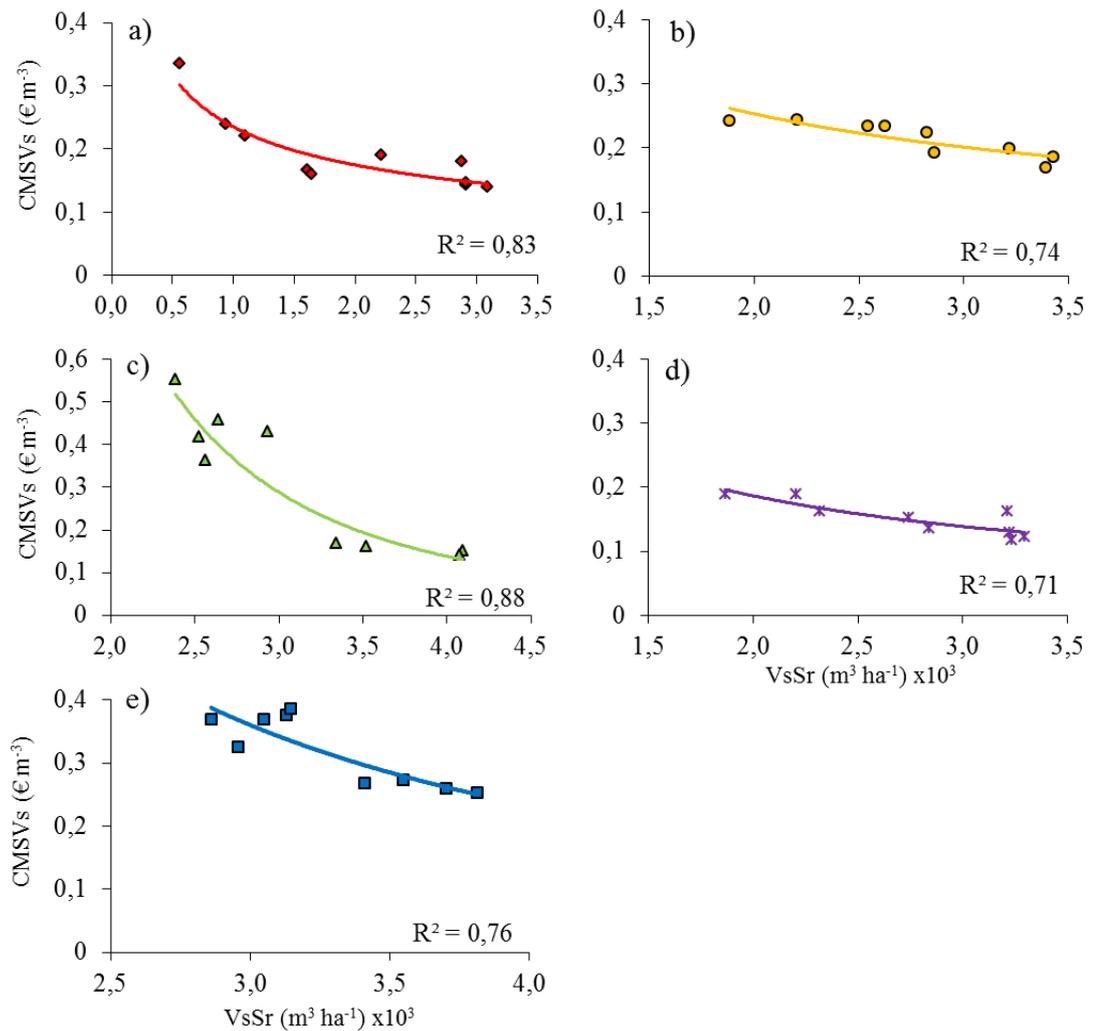


Figura 7.5. Análisis mediante regresión potencial de la relación entre los indicadores CMSVs y VsSr. a) CRCC, b) CRLO, c) CRTCC, d) CRPC, y e) CRM.

Este comportamiento se puede justificar por la estructura de los costes de manejo del sistema, que consta de costes fijos y variables, siendo el impacto de los costes fijos relativamente bajo cuando aumenta el

volumen suministrado. En el caso de CRTCC (Fig. 7.5c) el incremento tan pronunciado de CMSVs por la escasez de agua se debe al aumento del consumo de aguas subterráneas, que tiene asociado un importante incremento de los costes energéticos y de los costes relacionados con el funcionamiento de los sondeos necesarios para su extracción.

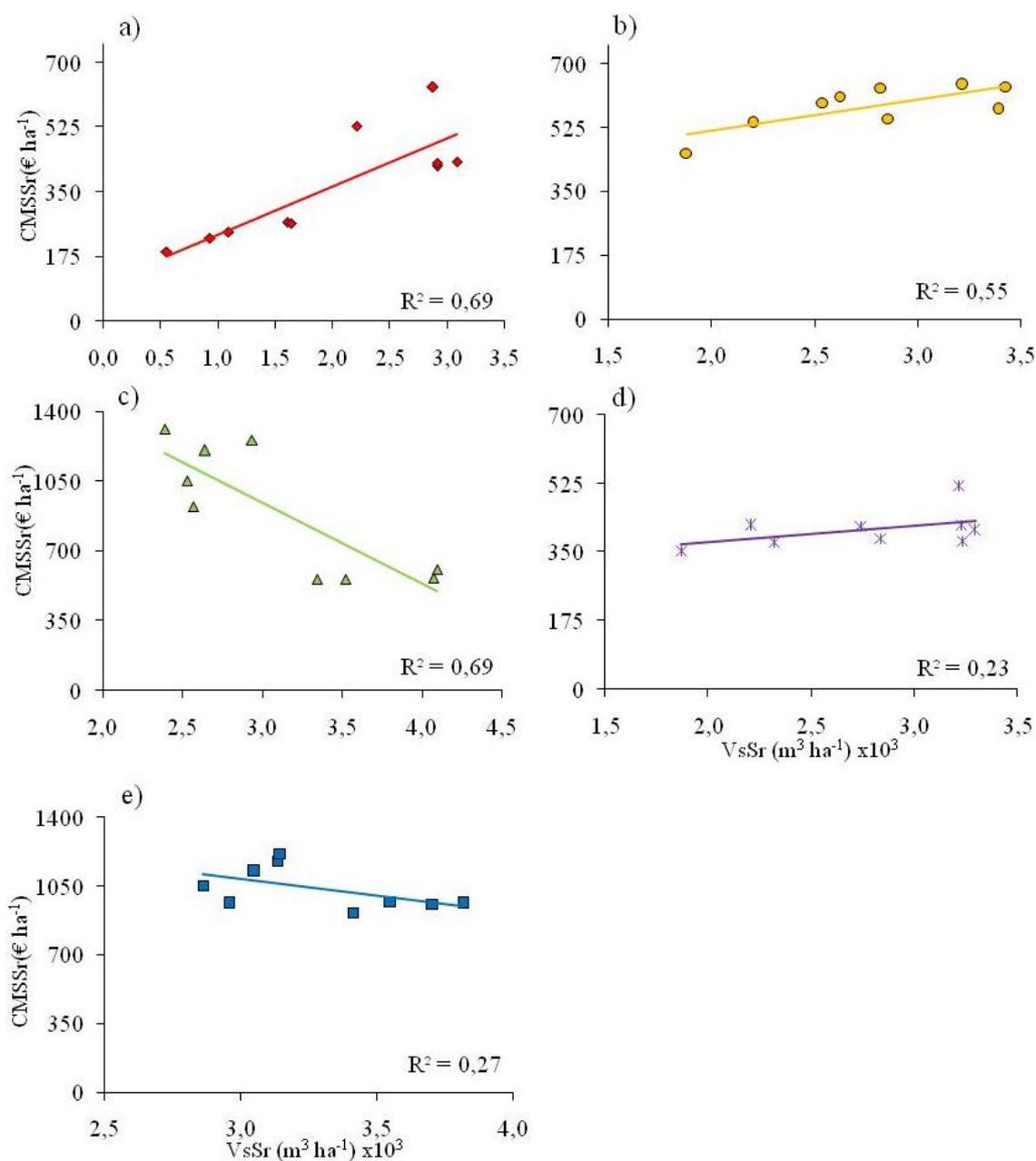


Figura 7.6. Análisis mediante regresión lineal de la relación entre los indicadores CMSSr y VsSr. a) CRCC, b) CRLO, c) CRTCC, d) CRPC, y e) CRM.

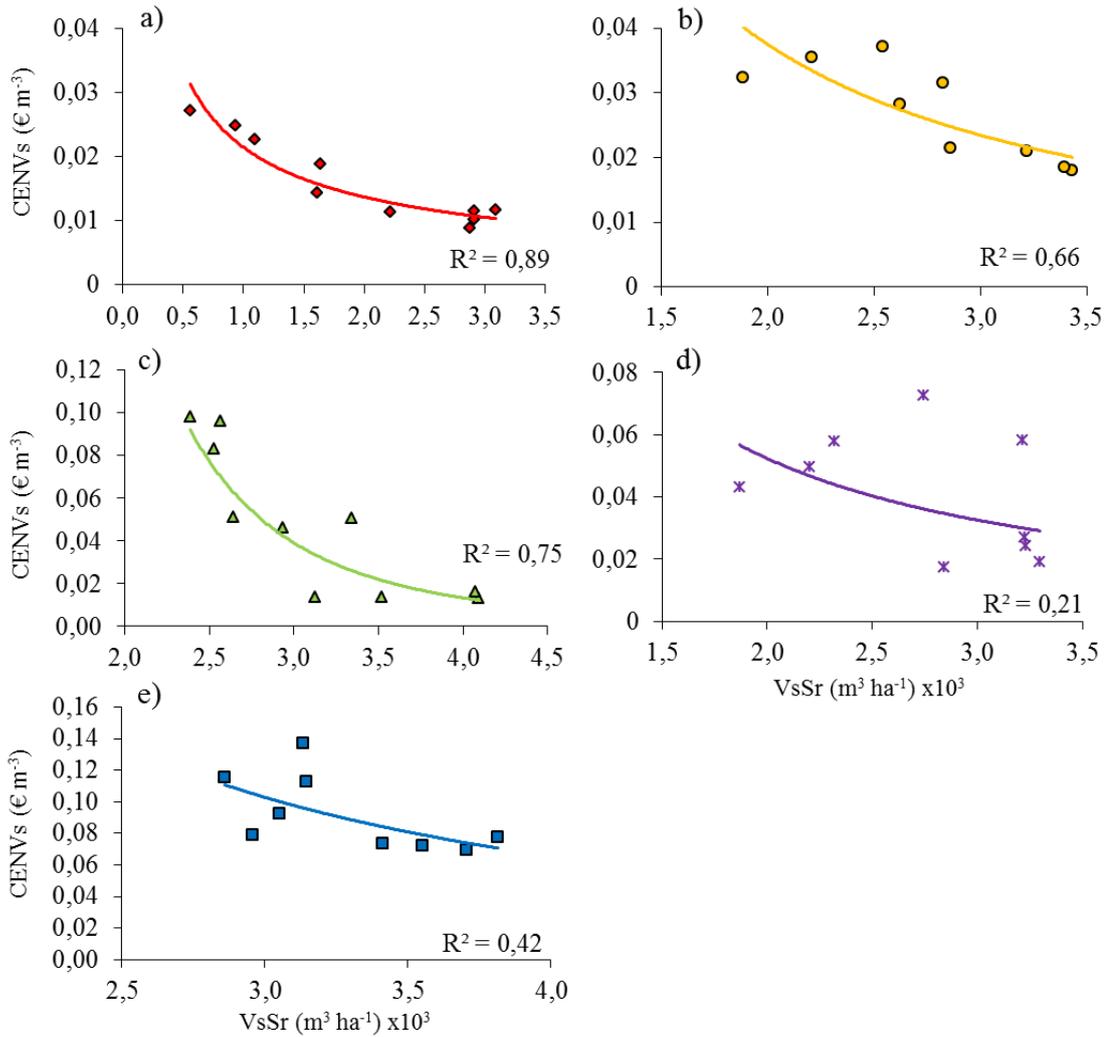


Figura 7.7. Análisis mediante regresión potencial de la relación entre los indicadores CENVs y VsSr. a) CRCC, b) CRLO, c) CRTCC, d) CRPC, y e) CRM.

La Fig. 7.7 muestra la relación, mediante una función potencial negativa, entre el coste energético por unidad de agua de riego suministrada (CENVs) y VsSr en cada una de las CCRRs. Para todas las CCRRs la disminución de VsSr supone un incremento de CENVs, comportamiento que se puede asociar a la estructura del coste energético, que presentan una parte fija (término de potencia) y otra variable (término de energía). Por tanto, cuando disminuye VsSr, hay una mayor repercusión de los costes fijos. CENVs muestra un descenso progresivo en la CRCC (Fig. 7.7a) y la CRLO (Fig. 7.7b), pero es más intenso en la CRTCC (Fig. 7.7c) ya que, tal como se ha comentado, en los periodos de sequía se emplean aguas subterráneas con mayores costes energéticos.

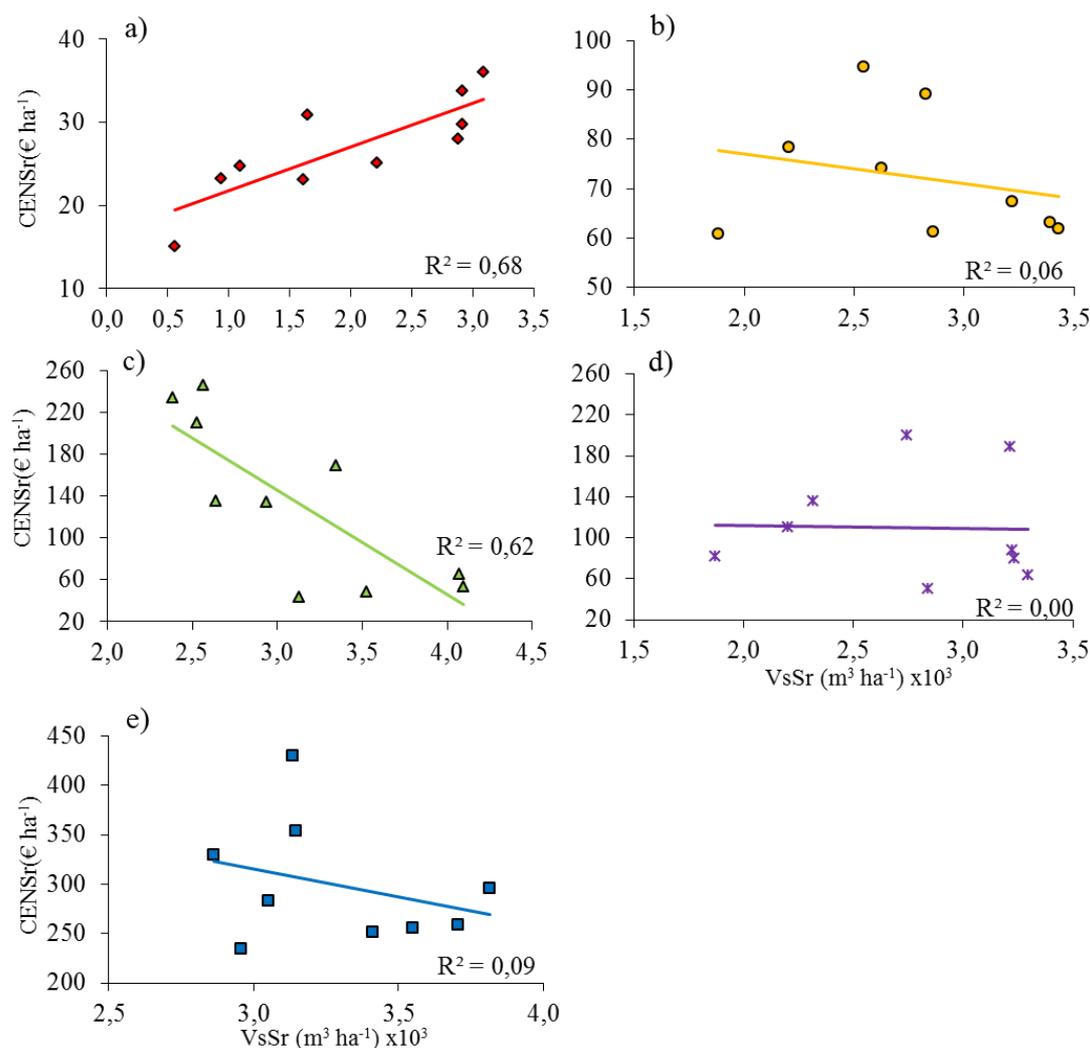


Figura 7.8. Análisis mediante regresión lineal de la relación entre los indicadores CENSr y VsSr. a) CRCC, b) CRLO, c) CRTCC, d) CRPC, y e) CRM.

El coste energético por unidad de área regada (CENSr) presenta una clara relación lineal con VsSr (Fig. 7.8). La correlación es alta para la CRCC ($R^2 = 0,68$) y la CRTCC ($R^2 = 0,62$), siendo prácticamente nula para las otras tres CRRs (Fig. 7.8b; 7.8d y 7.8e). Destacar nuevamente el diferente comportamiento de la CRTCC (Fig. 7.8c), donde se observa un claro incremento del CENSr cuando ante la escasez de recursos en el Traspase Tajo-Segura se recurre a los recursos subterráneos, tal como se ha comentado anteriormente.

7.4. SENSIBILIDAD DE LOS INDICADORES DE EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN

La relación entre el valor de la producción agrícola por unidad de agua de riego suministrada (VPVs) y VsSr (Fig. 7.9) se ajusta a una función potencial negativa, con una correlación alta ($R^2 = 0,89$) para el caso de la CRCC (Fig. 7.9a), que es la que presenta una mayor variación en VsSr. Para el resto de CCRRs analizadas la correlación es moderada (Fig. 7.9b, Fig. 7.9c y Fig. 7.9e), excepto para la CRPC que fue escasa (Fig. 7.9d).

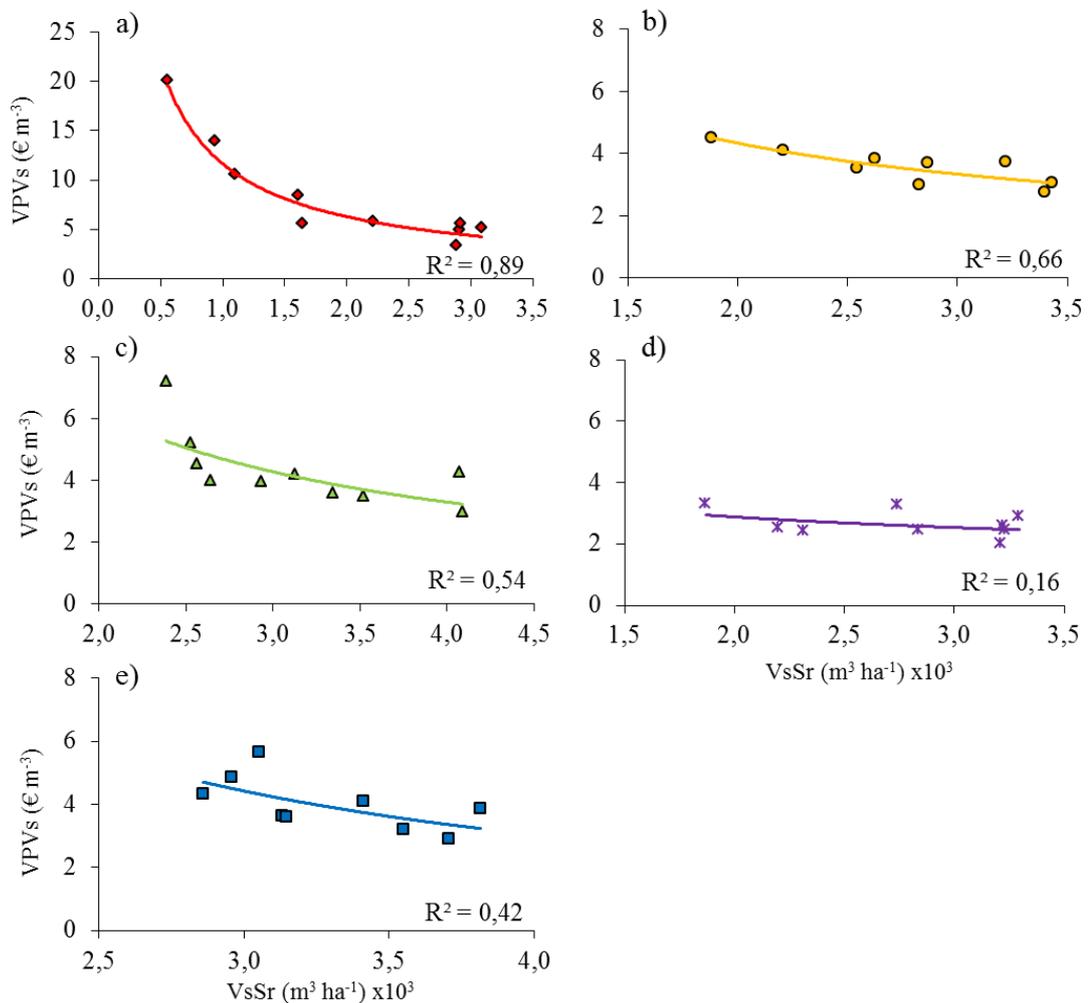


Figura 7.9. Análisis mediante regresión potencial de la relación entre los indicadores VPVs y VsSr. a) CRCC, b) CRLO, c) CRTCC, d) CRPC, y e) CRM.

El valor de la producción agrícola por unidad de superficie regada (VPSr) muestra una moderada relación lineal positiva con VsSr en CRLO

(Fig. 7.10b) y CRPC (Fig. 7.10d) siendo esta relación lineal escasa para la CRCC (Fig. 7.10a) y prácticamente inexistente para CRTCC (Fig. 7.10c) y CRM (Fig. 7.10e). Esta escasa correlación deja claro que el valor económico de la producción depende en gran medida de otras variables diferentes al rendimiento de los cultivos, como son principalmente los precios agrícolas. Como se advierte en la Fig. 7.10 la escasez de agua provoca una reducción del valor de la VPSr en la mayor parte de las CRRs estudiadas. Esta reducción se debe a una disminución del rendimiento de los cultivos, debido a la baja disponibilidad de agua y a un aumento de la conductividad eléctrica de la misma, tal como se muestra en el Capítulo VIII.

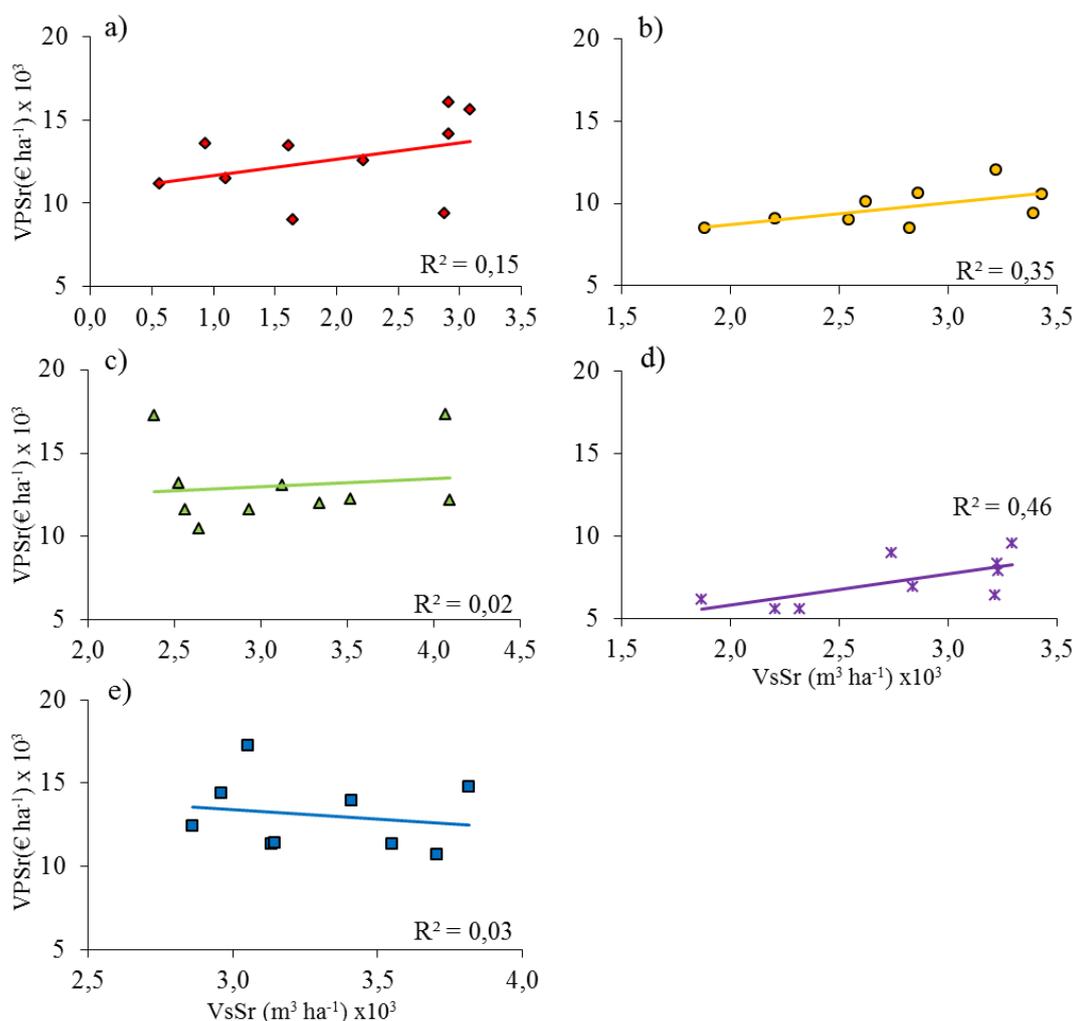


Figura 7.10. Análisis mediante regresión lineal de la relación entre indicadores VPSr y VsSr. a) CRCC, b) CRLO, c) CRTCC, d) CRPC, y e) CRM.

Los demás indicadores de eficiencia de producción (margen bruto por unidad de agua de riego suministrada, MBVs, y el margen bruto por unidad de superficie regada, MBSr) siguieron una evolución paralela a VPVs y VPSr respectivamente. Sin embargo, su correlación con VsSr fue bastante peor para ambos indicadores, lo que indica que, además del precio agrícola, otros factores externos como el valor de los inputs agrícolas afectan de forma más importante que VsSr en las variaciones de valor de margen bruto. Al igual que sucede con VPSr, la reducción en el volumen suministrado induce a una reducción en el margen bruto por unidad de superficie regada.

7.5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este capítulo se ha evaluado la sensibilidad de los indicadores de gestión de CCRRs que han sufrido restricciones de distinta intensidad en el suministro de agua a lo largo del periodo de estudio. El valor de los indicadores muestra, en general, una gran variabilidad durante el periodo analizado, siendo la escasez el principal factor responsable de esta variación para la mayor parte de los indicadores considerados.

Todos los indicadores definidos como un ratio con el volumen suministrado (CMSVs, CENVs, VPVs y MBVs) varían de forma inversamente proporcional a VsSr, relación que en la mayoría de los casos se explica bien con funciones potenciales negativas. Sus valores en los años secos generalmente triplican a los que corresponden a los años normales, por lo que su uso en estudios de benchmarking en CCRRs con escasez de agua debe ser manejado con cautela, especialmente cuando los datos disponibles son sólo de unos pocos años. Por otra parte, los indicadores definidos como un ratio con la superficie regada varían de forma directamente proporcional a VsSr. Algunos de ellos presentan una correlación moderada con funciones lineales (CMSSr y CENSr), mientras que otros (VPSr y MBSr) no presentaron prácticamente correlación. Por lo tanto los indicadores financieros se muestran los más estables ante variaciones del suministro de agua.

Los efectos más destacables de la escasez de agua sobre los indicadores de gestión en las CCRRs estudiadas fueron: (a) una reducción de la intensidad de cultivo ($SrSa$), de la eficiencia de distribución (ED) y del aporte relativo de agua de riego ($ARIS$); (b) un aumento de los costes de manejo del sistema ($CMSVs$) y energéticos ($CENVs$) por unidad de agua de riego suministrada; y (c) una disminución en el valor de la producción agrícola ($VPSr$) y del margen bruto ($MBSr$) por unidad de superficie regada. Hay que destacar que, al contrario de lo esperado, en algunas CCRRs ha aumentado el coste energético ($CENSr$) por unidad de superficie regada con la disminución de $VsSr$, debido al empleo de las aguas subterráneas para paliar la reducción de sus recursos disponibles de otras fuentes.

Capítulo VIII

ESTRATEGIAS ADAPTATIVAS DE LA GESTIÓN DEL AGUA EN PARCELA EN SITUACIONES DE SEQUÍA

V. Martínez Álvarez, M. Soto García, B. Martín Górriz

En este capítulo se analizan las estrategias seguidas por los agricultores (riego deficitario, desalinización de aguas salobres, cambios en el patrón de cultivo, etc.) durante los periodos con restricciones en el suministro de agua para riego. El trabajo se centra en explotaciones agrícolas de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC), zona caracterizada por un fuerte déficit estructural de agua.

8.1. ÁMBITO Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Posteriormente a la publicación de la guía de Malano y Burton (2001) para la aplicación de las técnicas de benchmarking en comunidades de regantes (CCRRs), han sido muchos los investigadores que han propuesto y aplicado indicadores similares para la comparación y búsqueda de las mejores prácticas en parcela. En este sentido, el aporte relativo de agua de riego (ARIS) es el indicador más utilizado. Su finalidad es cuantificar la adecuación de la cantidad de agua aplicada a los cultivos en relación con sus necesidades de riego (Salvador *et al.*, 2011; Moreno-Pérez y Roldán-Cañas, 2013). Sin embargo, como se indicó en el capítulo V, se plantean ciertas discrepancias a la hora de interpretar sus resultados.

El objetivo de este capítulo es analizar el efecto de la escasez de agua en la gestión de explotaciones de regadío del sureste español mediante la aplicación de indicadores a escala de parcela. Concretamente el estudio se localiza en la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC), abarcando los principales grupos de cultivo de la zona. En esta CCRR el volumen suministrado por superficie regada anualmente, en ausencia de restricciones, debería ser de $3.500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Un análisis

clúster mediante el método de conglomerados de Ward, aplicado durante el periodo de estudio y en función del volumen anual suministrado de agua por unidad de área regada ($VsSr$), dio lugar a tres grupos diferentes que fueron denominados: "años normales" (2002, 2003, 2004 y 2011), "años secos" (2005, 2009 y 2010) y "años muy secos" (2006, 2007 y 2008). El valor medio de $VsSr$ de estos grupos fue de 2.947, 1.821 y 863 $m^3 ha^{-1}$, respectivamente. Por lo tanto, el volumen anual teórico de 3.500 $m^3 ha^{-1}$ no suele alcanzarse.

En este estudio se ha caracterizado la gestión del agua de riego en dos periodos con grandes diferencias en la disponibilidad de agua; el 2011, año característico de una situación normal de suministro; y el 2008, año de una gran restricción en el suministro del agua. Este tipo de análisis es recomendado por diversos autores (Tanaka y Sato, 2005; García-Vila *et al.*, 2008; Salvador *et al.*, 2011) para la correcta interpretación de las tendencias de los indicadores de gestión en CCRRs, tal como se ha comentado en el Capítulo VII.

La metodología seguida ha sido la evaluación de indicadores relativos al manejo del agua de riego y a la productividad de las explotaciones. Cabe destacar que también se incluye la nueva propuesta metodológica para el cálculo y manejo del indicador ARIS expuesta en el Capítulo V. Para facilitar la representación e interpretación de los resultados, se ha optado por realizar la siguiente agrupación en base a la similitud agronómica de los cultivos: hortícolas de invierno (lechuga, brócoli, apio, coliflor y patata), hortícolas de verano (melón y sandía), hortícolas anuales (alcachofa), cultivos de invernadero (pimiento), y cítricos (naranja, limonero y mandarino). Estos cultivos representan el 84% de la superficie media cultivada en el periodo 2002/2011 en la CRCC. Los indicadores empleados en este capítulo han sido seleccionados entre los propuestos en la literatura (Tabla 8.1).

El indicador intensidad de cultivo (SrS_T) ofrece información sobre la importancia relativa que tiene un determinado cultivo o grupo de cultivos dentro de la CCRR. El análisis de su evolución en el tiempo muestra las

tendencias en el ajuste del patrón de cultivos seguida por los agricultores ante distintas situaciones, como por ejemplo la escasez de agua.

Tabla 8.1. Descripción y método de cálculo de los indicadores de gestión empleados.

Nombre del indicador y acrónimo	Unidad	Clasificación	Descripción y cálculo
Intensidad cultivo (SrS_T)	%	De rendimiento	Representa en % la superficie de un cultivo respecto a la superficie regable.
Suministro de agua por unidad de área regada ($VsSr$)	$m^3 ha^{-1}$	De rendimiento	Vs/Sr donde Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios y Sr es la superficie total regada.
Eficiencia de distribución (ED)	%	De rendimiento	$100 \cdot Vs/VT$ donde Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios y VT el volumen anual que entra al sistema de la CCRR
Agua de riego aplicada a los cultivos por unidad de área regada (IWA)	$m^3 ha^{-1}$	De rendimiento	$VsSr+Ow$ donde Ow es el volumen total anual procedente de otros recursos, principalmente aguas subterráneas (no suministrados por la CCRR) por unidad de área regada
Aporte relativo de agua de riego (ARIS)	-	De rendimiento	$IWA/(ETc-Pef)$ donde Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios, Pef representa la precipitación efectiva anual y ETc es la evapotranspiración total anual de los cultivos.
ARIS de referencia ($ARIS_0$)	-	De rendimiento	D_g/D_n (ver Epígrafe 5.5) donde D_g son las necesidades brutas de riego de los cultivos y D_n son las necesidades netas de riego de los cultivos
ARIS relativo ($ARIS_r$)	-	De rendimiento	IWA/D_g (ver Epígrafe 5.5)
Rendimiento de los cultivos por unidad de agua de riego aplicada (WP_Y)	$kg m^{-3}$	De eficiencia de producción	Y/IWA donde Y es el rendimiento de los cultivos por unidad de área regada
Valor producción agrícola por unidad de agua de riego aplicada (WP_{VP})	$€ m^{-3}$	De eficiencia de producción	$VPSr/IWA$ Donde $VPSr$ es el valor de la producción agrícola por unidad de superficie regada
Margen bruto por unidad de agua de riego aplicada (WP_{GM})	$€ m^{-3}$	De eficiencia de producción	$MBSr/IWA$ donde $MBSr$ es el valor de la producción agrícola por unidad de superficie regada

Para analizar la eficiencia en el manejo del agua de riego se han utilizado los indicadores $VsSr$, IWA, $ARIS_0$ y $ARIS_r$. El $VsSr$ es el volumen

de agua distribuido por la CCRR, el IWA muestra el volumen de agua que aplica el agricultor en la parcela (tras añadir el agua de otras fuentes, principalmente aguas subterráneas). El $ARIS_0$ y $ARIS_r$ son una adaptación del ARIS tradicional. Estos indicadores han sido propuestos con el fin de determinar si el riego es excesivo o deficiente atendiendo no sólo a las necesidades hídricas de los cultivos, sino también a otros parámetros relacionados con la calidad del sistema de riego o del agua. En el Epígrafe 5.5 del Capítulo V se establece la metodología de cálculo de $ARIS_0$ y $ARIS_r$.

También se ha analizado la productividad del agua (WP). WP se calcula habitualmente en términos de masa de producción o de valor monetario (Ahmad *et al.*, 2004). En este estudio WP se ha utilizado tanto en términos de masa WP_V ($kg\ m^{-3}$) como en términos monetarios WP_{VP} y WP_{GM} ($€\ m^{-3}$).

Para el cálculo de los indicadores seleccionados ha sido necesario obtener información cualitativa y cuantitativa de la zona regable. Se tomaron tanto datos de la parcela como de la CRCC. Además se ha accedido a la información agroclimática necesaria para la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos. La superficie de cultivos o regada (S_r) se ha elaborado a partir del sistema de información geográfica de la CRCC, donde se dispone de un registro histórico de los cultivos implantados en cada parcela (Soto-García *et al.*, 2013b). El VsS_r se ha obtenido de la suma anual del volumen facturado a los regantes, registrado por el sistema de supervisión y adquisición de datos de la CRCC.

También ha sido necesario conocer la cantidad de agua que realmente aplican los agricultores en parcela (IWA), junto a los rendimientos obtenidos y los costes de producción por cultivos. Con este fin se realizó una encuesta, tal como se describe en el Epígrafe 4.7 del Capítulo IV, relativa a las campañas de 2008 (año muy seco) y 2011 (año normal). Por último, para calcular el $ARIS_0$ y $ARIS_r$, se ha obtenido información sobre los sistemas de riego y la calidad del agua aplicada. En este sentido, los valores de la conductividad eléctrica del agua de riego (CE_w) provienen de las encuestas realizadas (Tabla 8.2). Los datos para cada cultivo del valor máximo de conductividad eléctrica del extracto de

saturación del suelo que corresponde a una reducción de un 100% del rendimiento del cultivo ($\max CE_e$) se han tomado de Ayers y Westcot (1985). Merriam y Keller (1978) consideran que un buen sistema de riego localizado debe tener valores mayores de 0,8 de uniformidad de emisión del sistema de riego (EU); el valor considerado para la CRCC ha sido $EU = 0,9$, siguiendo los resultados obtenidos en un estudio del CENTER (2000). El valor tomado del ratio de transpiración (T_R) ha sido de 1,10, siguiendo las recomendaciones de Keller y Bliesner (1990).

Los valores de los indicadores por grupos de cultivo representan la media ponderada, en función de su superficie cultivada, de los valores obtenidos para cada cultivo. Los valores globales para la CRCC se han obtenido ponderado los valores para cada cultivo mediante la superficie ocupada en la CRCC en cada año de estudio.

Tabla 8.2. Valores máximos del extracto de saturación del suelo que corresponden a una reducción de un 100% del rendimiento de los grupos de cultivos considerados ($\max CE_e$), y conductividad eléctrica del agua de riego (CE_w) aplicada a los difentes grupos de cultivos estudiados para 2008 (año muy seco) y 2011 (año normal).

	$\max CE_e$ ($dS\ m^{-1}$)	CE_w 2011 ($dS\ m^{-1}$)	CE_w 2008 ($dS\ m^{-1}$)
Hortícolas de invierno	11,1	$1,6 \pm 0,5$	$3,1 \pm 0,9$
Hortícolas de verano	16,0	$2,3 \pm 0,6$	$3,3 \pm 0,6$
Hortícolas anuales	24,0	$2,6 \pm 0,1$	$3,5 \pm 0,7$
Cultivos de invernadero	8,6	$1,1 \pm 0,1$	$1,9 \pm 0,7$
Cítricos	8,0	$1,5 \pm 0,3$	$2,8 \pm 0,5$
Total cultivos	11,8	$1,8 \pm 0,5$	$3,0 \pm 0,8$

8.2. RESULTADOS GLOBALES

Antes del análisis por grupos de cultivos se muestra la comparación de los valores globales de los indicadores en la CRCC para 2008 (año muy seco) y 2011 (año normal). El $VsSr$ medio del periodo 2002-11 fue de $1.984\ m^3\ ha^{-1}$, un 59,7% inferior a la media española en ese mismo periodo, que fue de $4.920\ m^3\ ha^{-1}$ (INE, 2013; ESYRCE, 2011). Además del bajo nivel de $VsSr$ en relación a otras regiones de España, la Fig. 8.1 muestra como su valor en el año 2011 ($2.878\ m^3\ ha^{-1}$), considerado año de suministro normal,

es aproximadamente la mitad de las necesidades brutas de riego ($D_g = 5.604 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Por esta circunstancia, se estima en función de los datos obtenidos en las encuestas que los agricultores realizaron unas extracciones medias del acuífero de $1.875 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, para satisfacer en la medida de lo posible las necesidades de los cultivos. En el año 2008, el $V_s S_r$ disminuyó hasta $936 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y se intensificaron estas extracciones hasta llegar a los $3.721 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Por tanto, el agua aplicada a los cultivos (IWA) es prácticamente la misma, pero con una salinidad superior (valor medio de $1,8 \text{ dS m}^{-1}$ en 2011, frente a $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ en 2008).

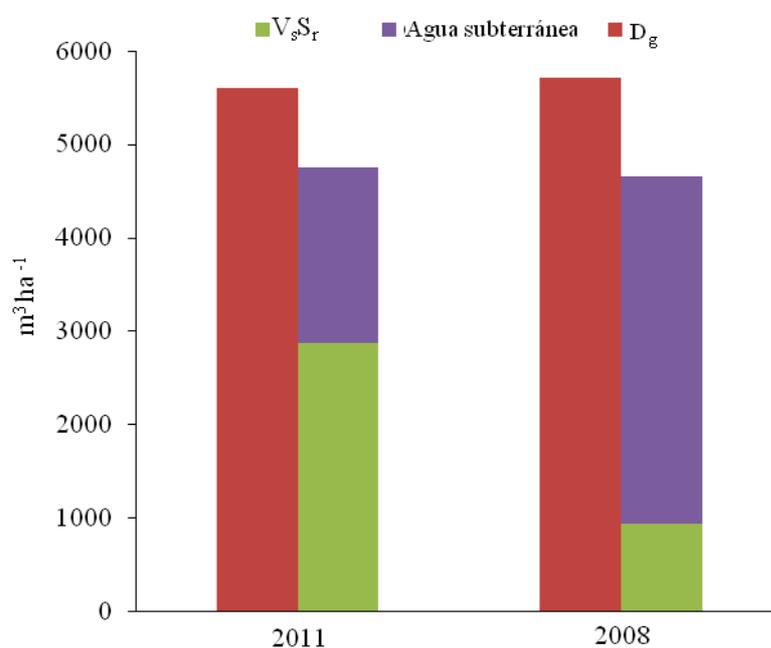


Figura 8.1. Comparación entre las necesidades brutas de riego requeridas por los cultivos (D_g) y el agua de riego aplicada (IWA = $V_s S_r$ + Agua subterránea), para un año de suministro normal de agua (2011) y un año seco (2008) en la CRCC.

Como se muestra en la Tabla 8.3 WP_Y es de $6,69 \text{ kg m}^{-3}$ en 2011, disminuyendo un 11% en 2008 como consecuencia de la baja disponibilidad de $V_s S_r$ y el manejo de agua de riego con una mayor salinidad, que influye claramente en el rendimiento y en la elección de los cultivos (como se verá en los siguientes epígrafes), aunque bien es cierto que este indicador es poco apropiado para el análisis global de la CCRR, dada la diversidad de cultivos. En ausencia de factores externos, los mayores rendimientos obtenidos en 2011 deberían dar lugar a un mayor valor de la producción

(WP_{VP}), pero los valores de WP_{VP} en 2008 fueron mayores en un 48,93%. Este hecho se atribuye a factores externos, concretamente al brote de la bacteria *E. coli* localizado en Alemania en mayo de 2011. Este brote en un principio se relacionó erróneamente con las exportaciones de pepino español, ocasionando un importante efecto negativo sobre las exportaciones y los precios de todo tipo de cultivos españoles, circunstancia que se denominó “crisis del pepino” (Erdozain *et al.*, 2013). El WP_{VP} fue 1,87 y 2,78 € m⁻³ en 2011 y 2008 respectivamente. Por otro lado, el valor de WP_{GM} en 2011 fue de 0,05 € m⁻³, mientras que en 2008 fue de 0,98 € m⁻³, evidenciando que el efecto negativo de la “crisis del pepino” de 2011 en el valor de la producción fue mayor que el de la disminución de los rendimientos provocado por la escasez de agua suministrada en 2008.

Tabla 8.3. Valores medios ponderados en función de la superficie de los indicadores de gestión para la CRCC, y porcentaje de variación entre el año muy seco (2008) con respecto al año normal (2011).

Indicadores CRCC	Año normal (2011)	Año muy seco (2008)	% variación normal-muy seco
S_rS_T (%)	78,82	74,95	-4,90
V_sS_r (m ³ ha ⁻¹)	2878	936	-67,48
IWA (m ³ ha ⁻¹)	4753	4657	-2,02
ARIS ₀	1,22	1,31	7,05
ARIS _r	0,85	0,82	-3,83
WP_Y (kg m ⁻³)	6,69	5,95	-11,00
WP_{VP} (€ m ⁻³)	1,87	2,78	48,93
WP_{GM} (€ m ⁻³)	0,05	0,98	1.826,75

El valor de S_rS_T se redujo un 4,90% en el año seco con respecto al año de suministro normal. Como se verá más adelante, esta disminución tan pequeña se justifica por las distintas estrategias de adaptación a la escasez de agua suministrada seguidas por los agricultores para cada grupo de cultivo.

En el año de suministro normal el ARIS₀ fue de 1,22, mientras que en el año seco alcanzó el valor de 1,31, produciéndose un incremento en D_g como consecuencia directa del uso del agua de mayor salinidad, que requiere de una mayor fracción de lavado. El valor de ARIS_r < 1 en 2011

indica que, a pesar de tratarse de una año de suministro normal, el riego no es suficiente para cubrir las necesidades brutas de los cultivos. En 2008, el valor de $ARIS_r$ fue un 3,83% inferior al de 2011, indicando unas condiciones de mayor estrés hídrico en los cultivos.

8.3. HORTÍCOLAS DE INVIERNO

El IWA presentó diferente relación con la ET_c para cada grupo de cultivos. Para hortícolas de invierno, IWA fue mayor que la ET_c , debido principalmente a que, después del trasplante de las plántulas y con el fin de favorecer el arraigo y la lixiviación de la sales en la capa de suelo superficial, el suelo se mantiene a la capacidad de campo mediante riego por aspersión (Sutton y Merit, 1993; De Pascale y Barbieri, 1995). Este riego excesivo con respecto a las necesidades de agua de los cultivos tiene una duración de unas tres semanas y provoca que IWA supere sobre un 20% a la ET_c .

Como se muestra en la Tabla 8.4, este manejo derivan en un $ARIS_r = 1,26$ en el año de suministro normal de agua. En 2008, a pesar de la escasez de agua suministrada, el $ARIS_r$ se mantuvo estable (Fig. 8.2c); para ello tuvieron que aplicar IWA similares, como se observa en la Fig. 8.2a, siendo el grupo de cultivos con valores más bajos de este indicador. En la Tabla 8.2 también se observa que la CE_w fue de $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ en 2011, y se incrementó hasta $3,1 \text{ dS m}^{-1}$ en 2008, lo que produjo un aumento en $ARIS_0$ del 9,10% para el año seco.

En la Fig. 8.2b se observa que este grupo de cultivos es el más extendido en la CRCC, con una S_rS_T en 2011 del 23,25%. Además se puede apreciar como en 2008 disminuyó S_rS_T con respecto a 2011 un 10,11%, siendo junto a los hortícolas de verano, los únicos cultivos que contribuyeron al descenso del valor global de S_rS_T en el CCRR durante el año muy seco.

Tabla 8.4. Valores medios ponderados en función de la superficie de los indicadores de gestión para los hortícolas de invierno, y porcentaje de variación entre el año muy seco (2008) con respecto al año normal (2011).

Indicadores (Hortícolas de invierno)	Año normal 2011	Año muy seco (2008)	% variación normal-muy seco
$S_r S_T$ (%)	23,25	20,90	-10,11
IWA ($m^3 ha^{-1}$)	2.854 ± 524	2.843 ± 459	$-0,46 \pm 3,21$
$ARIS_0$	$1,20 \pm 0,02$	$1,31 \pm 0,06$	$9,10 \pm 2,91$
$ARIS_r$	$1,26 \pm 0,30$	$1,28 \pm 0,39$	$0,92 \pm 3,20$
WP_Y ($kg m^{-3}$)	$9,05 \pm 3,35$	$8,14 \pm 3,50$	$-10,85 \pm 1,51$
WP_{VP} ($€ m^{-3}$)	$2,46 \pm 1,10$	$3,41 \pm 1,28$	$36,39 \pm 23,19$
WP_{GM} ($€ m^{-3}$)	$0,15 \pm 0,63$	$1,12 \pm 0,79$	$484,43 \pm 887,05$

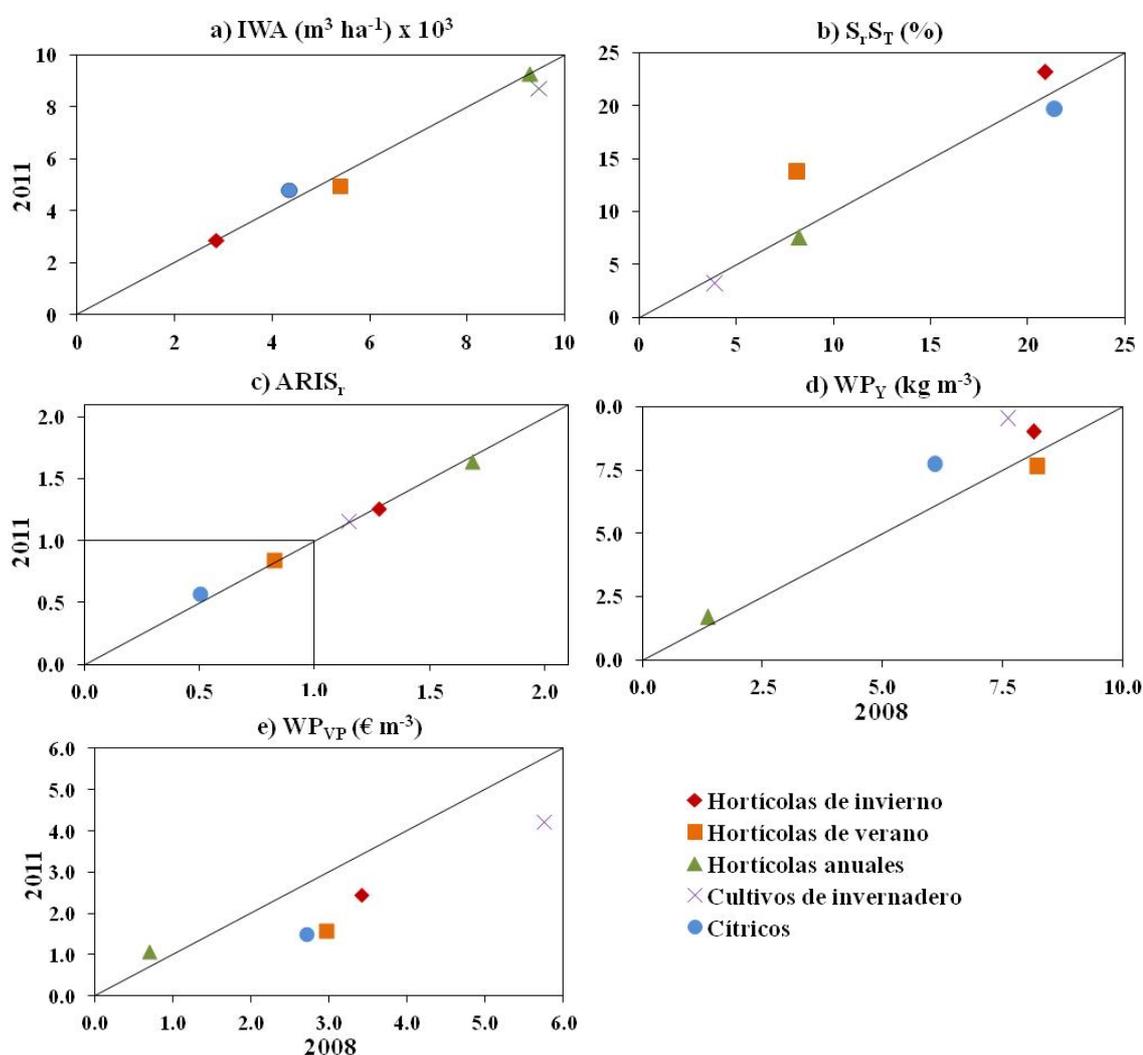


Figura 8.2. Variación por grupos de cultivos de los indicadores de gestión entre el año muy seco (2008) y el año de suministro normal (2011): a) IWA, b) $S_r S_T$, c) $ARIS_r$, d) WP_Y , y e) WP_{VP} .

En cuanto a la productividad del agua, en la Fig. 8.2d se observa cómo se trata de uno de los grupos de cultivo con mayor WP_Y , con un valor de $9,05 \text{ kg m}^{-3}$ en 2011, aunque el uso de agua con mayor salinidad en el año 2008 tuvo efectos negativos, disminuyendo estos valores hasta $8,14 \text{ kg m}^{-3}$. Como se muestra en la Fig. 8.2e, este grupo de cultivos es el segundo con valores más altos de WP_{VP} . También es, y es junto a los cítricos, el único grupo de cultivos que no tuvo valores negativos de WP_{GM} en ninguno de los años estudiados. En la Fig. 8.2e se puede observar el efecto negativo de factores externos sobre los precios comentados en el epígrafe anterior, presentándose valores más altos en 2008 que en 2011.

8.4. HORTÍCOLAS DE VERANO

Los hortícolas de verano (melón y sandía) se suelen cultivar con un acolchado de film de plástico para conservar la humedad del suelo, y la fila se cubre con otro film plástico para promover la precocidad. El riego se suele reducir generalmente en la fase final del cultivo (frutos maduros), dando como resultado que IWA sea ligeramente inferior a la ETc.

Los hortícolas de verano son sensibles a la salinidad durante la etapa de plántula, siendo el agua suministrada por la CCRR esencial para el correcto desarrollo del cultivo en esta fase. Posteriormente, la tolerancia a la salinidad aumenta a medida que se desarrollan, por lo que en la última fase del cultivo es posible el riego con agua salobre subterránea, práctica que beneficia la calidad organoléptica del fruto. Este manejo del riego da lugar a valores de $ARIS_r$ próximos a 1 (Fig. 8.2c). En la Tabla 8.5 se observa que en el 2011 el valor de $ARIS_r$ fue de 0,84, indicando riego deficitario, provocado sobre todo por esa última fase del cultivo en la que el lavado de sales no es tan importante. En 2008 se mantiene el valor del $ARIS_r$ (Fig. 8.2c), para lo cual los agricultores tuvieron que incrementar las dosis de riego, pasando de un IWA de $4.947 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en 2011 a $5.405 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en 2008 (Fig. 8.2a).

Tabla 8.5. Valores medios ponderados en función de la superficie de los indicadores de gestión para los hortícolas de verano, y porcentaje de variación entre el año muy seco (2008) con respecto al año normal (2011).

Indicadores (Hortícolas de verano)	Año normal 2011	Año muy seco (2008)	% variación normal-muy seco
S _r S _T (%)	13,80	8,07	-41,53
IWA (m ³ ha ⁻¹)	4.947±815	5.405±879	10,15±1,63
ARIS ₀	1,20±0,02	1,24±0,03	3,43±2,29
ARIS _r	0,84±0,14	0,82±0,16	-2,81±2,61
WP _Y (kg m ⁻³)	7,67±1,56	8,21±2,01	6,92±5,02
WP _{VP} (€ m ⁻³)	1,59±0,31	2,96±0,65	52,40±15,37
WP _{GM} (€ m ⁻³)	-0,03±0,29	1,48±0,44	-

El valor alcanzado de SrS_T es de 13,80% en 2011. La Fig. 8.2b muestra como es el grupo de cultivo más sensible a la escasez de agua, según este indicador, con una disminución del 41,53% en 2008. Los hortícolas de verano y de invierno son de ciclo corto, circunstancia que permite a los agricultores ajustar, a corto plazo, su superficie de cultivo a la disponibilidad de agua. Esta posibilidad justifica la disminución de SrS_T de estos grupos de cultivo durante los periodos con mayor escasez de agua. La Tabla 8.5 muestra altos valores de WP_Y para este grupo de cultivos, alcanzando un valor de 7,67 kg m⁻³ en 2011. Además se aprecia que son los que presentan menor variación en este indicador en el año seco con respecto al normal (6,92%), mostrando baja sensibilidad a la escasez de VsSr. La disminución del precio en 2011 afectó de forma importante los valores de WP_{VP} y WP_{GM}, de forma que se obtuvieron valores mayores para el año seco que para el año normal (Fig. 8.2e), llegando incluso a registrarse pérdidas de 0,03 € m⁻³ (WP_{GM} negativo, Tabla 8.5).

8.5. HORTÍCOLAS ANUALES

La alcachofa (hortícolas anuales) es un cultivo muy especial en cuanto al manejo del riego. Se requiere que el suelo se encuentre a capacidad de campo durante toda la época de cosecha (de diciembre a abril) para evitar la floración de su yema comestible, resultando los valores de Vi casi el doble de la ETc. La alcachofa es también tolerante a la

salinidad del agua de riego (Rhoades *et al.*, 1992), y se puede regar directamente con aguas de hasta $3,4 \text{ dS m}^{-1}$ (Gil-Ortega, 1999).

El valor de SrS_T fue del 7,58% en 2011. La Tabla 8.2 muestra que la alcachofa es el cultivo que mejor tolera la salinidad de los grupos estudiados, hecho que es bien conocido por los agricultores. Esto, junto a que se trata de un cultivo bianual, favorece que en periodos de escasez de agua suministrada se mantenga o incluso incremente SrS_T (8,21% en 2008). Además su elevada tolerancia a la salinidad permite a los agricultores reservar el agua de mejor calidad para otros cultivos más sensibles. Como consecuencia, es el cultivo en el que se manejan mayores valores de CE_w (Tabla 8.2), siendo de $2,6 \text{ dS m}^{-1}$ en 2011 y $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ en 2008.

El $ARIS_r$ fue de 1,64 (Tabla 8.6) en 2011, valor muy elevado debido a las particularidades en el manejo del riego ya comentadas. En la Fig. 8.2c se aprecia como el valor de este indicador se mantiene estable en el año seco, habiendo aplicado los agricultores cantidades similares de IWA en ambos años (Fig. 8.2a). Es junto a los cultivos de invernadero, el grupo de cultivos que alcanza mayor IWA.

Tabla 8.6. Valores medios ponderados en función de la superficie de los indicadores de gestión para los hortalizas anuales, y porcentaje de variación entre el año muy seco (2008) con respecto al año normal (2011).

Indicadores (Hortalizas anuales)	Año normal 2011	Año muy seco (2008)	% variación normal-muy seco
SrS_T (%)	7,58	8,21	8,37
IWA ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	9.285 ± 2.514	9.278 ± 2.610	$-0,12 \pm 6,73$
$ARIS_0$	$1,17 \pm 0,00$	$1,19 \pm 0,02$	$2,18 \pm 1,30$
$ARIS_r$	$1,64 \pm 0,45$	$1,68 \pm 0,46$	$2,83 \pm 0,60$
WP_Y (kg m^{-3})	$1,73 \pm 0,66$	$1,34 \pm 0,54$	$-19,07 \pm 6,40$
WP_{VP} (€ m^{-3})	$1,09 \pm 0,42$	$0,70 \pm 0,27$	$-33,13 \pm 5,48$
WP_{GM} (€ m^{-3})	$0,29 \pm 0,25$	$-0,10 \pm 0,18$	-

Como se muestra en la Fig. 8.2d, este grupo de cultivos obtiene los valores más bajos de WP_Y . Se produce un descenso notable de WP_Y en el año seco debido al uso de agua con mayor salinidad ($1,73$ y $1,34 \text{ kg m}^{-3}$ en 2011 y 2008 respectivamente). Este descenso pone de manifiesto que, a

pesar de la alta tolerancia del cultivo a la salinidad, el tamaño y calidad del fruto se ve afectado por el uso de aguas con alta salinidad (Gil-Ortega, 1999). En cuanto a WP_{VP} (Fig. 8.2e) y WP_{GM} revelan un comportamiento totalmente opuesto al resto de grupos de cultivos, obteniendo mayores valores en 2011 que en 2008, como era de esperar dada la disminución en el tamaño y calidad de la producción. Este resultado pone de manifiesto que la alcachofa no se vio afectada por la “crisis del pepino”, básicamente por producirse su cosecha en diferente época que dicho suceso.

A pesar del bajo valor de WP_Y y el elevado IWA necesario para su producción, la alcachofa juega un papel muy importante en esta CCRR, puesto que está muy bien adaptada a las condiciones de escasez de agua suministrada, consumiendo aguas salobres en lugar de la proporcionada por la CCRR en épocas de escasez.

8.6. CULTIVOS DE INVERNADERO

Este grupo de cultivos se caracteriza por tener altas inversiones en instalaciones y elevados costes de explotación. También se trata del segundo grupo con mayor sensibilidad a la salinidad (Tabla 8.2). Los resultados presentan valores de $ARIS_r$ cercanos a 1, siendo su valor en el año de suministro normal de agua de 1,16. En la Fig. 8.2c se aprecia como este valor se mantiene estable en el año seco, para lo cual los agricultores han incrementado el IWA un 11,11% (Tabla 8.7). En la Fig. 8.4a se puede observar que también es el grupo de cultivo que alcanza el mayor valor de IWA ($9.462 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en 2008).

Como se muestra en la Fig. 8.2b es el que menos superficie representa, con un SrS_T de 3,29% en 2011, aunque se ha incluido en este estudio debido a su alto valor comercial y gran capacidad productiva. Su importancia económica justifica que su SrS_T se mantenga en los periodos de escasez de agua (3,85% en 2008), para lo cual los agricultores recurren a la instalación de desalobradoras, dada su baja tolerancia a la salinidad. La Tabla 8.2 muestra como en 2011 su valor de CEw es el más bajo (1,1

dS m⁻¹), incrementándose en el año de escasez hasta los 1,9 dS m⁻¹, que sigue siendo la más baja de todos los cultivos.

Tabla 8.7. Valores medios ponderados en función de la superficie de los indicadores de gestión para los cultivos de invernadero, y porcentaje de variación entre el año muy seco (2008) con respecto al año normal (2011).

Indicadores (Cultivos de invernadero)	Año normal 2011	Año muy seco (2008)	% variación normal-muy seco
S _r S _T (%)	3,29	3,85	17,15
IWA (m ³ ha ⁻¹)	8.705±2.788	9.462±2.954	11,11±8,83
ARIS ₀	1,19±0,01	1,24±0,05	5,22±3,48
ARIS _r	1,16±0,37	1,14±0,36	-1,26±2,74
WP _Y (kg m ⁻³)	9,56±1,73	7,60±1,91	-20,66±15,46
WP _{VP} (€m ⁻³)	4,24±0,87	5,79±1,50	28,97±33,97
WP _{GM} (€m ⁻³)	-0,98±0,62	0,97±0,67	-

Se trata del grupo de cultivos que adquiere mayores valores de WP_Y (Fig. 8.2d), alcanzando los 9,56 kg m⁻³ en el año normal. El incremento de la salinidad en el agua de riego durante el año seco afectó negativamente a este indicador (WP_Y = 7,60 kg m⁻³ en el año seco). La Fig. 8.2e muestra que fue el grupo de cultivos más afectado por la disminución de los precios en 2011, con nefastas consecuencias en la rentabilidad de las producciones, que tuvieron un valor de WP_{GM} de -0.98 €m⁻³.

8.7. CÍTRICOS

Los agricultores que cultivan cítricos suelen reducir, en base a su experiencia, las dosis de riego (70% ETC) en aquellas etapas del desarrollo del cultivo que presentan menor sensibilidad al déficit hídrico. Esta técnica podría denominarse riego deficitario sin control específico.

Este grupo de cultivos es el más vulnerable a los periodos de escasez de agua, debido tanto a su baja tolerancia a la salinidad (Tabla 8.2) como a la necesidad de garantizar su supervivencia y productividad a largo plazo (cultivos plurianuales). Por esta circunstancia hay agricultores que han instalado plantas desalobradoras en sus explotaciones, que ponen

en marcha durante los periodos con restricciones de agua, dando lugar a que la CE_w sea baja en ambos años de estudio.

Tabla 8.8. Valores medios ponderados en función de la superficie de los indicadores de gestión para los cítricos, y porcentaje de variación entre el año muy seco (2008) con respecto al año normal (2011).

Indicadores (Cítricos)	Año normal 2011	Año muy seco (2008)	% variación normal-muy seco
S_rS_T (%)	19,77	21,33	7,89
IWA ($m^3 ha^{-1}$)	4.793±1666	4.343±1558	-8,07±5,94
ARIS ₀	1,22±0,02	1,34±0,05	11,10±2,76
ARIS _r	0,57±0,15	0,50±0,13	-15,04±2,91
WP _Y ($kg m^{-3}$)	7,76±1,86	6,07±1,59	-19,98±4,35
WP _{VP} ($€ m^{-3}$)	1,52±0,75	2,70±1,67	77,26±26,83
WP _{GM} ($€ m^{-3}$)	0,37±0,20	1,50±0,87	301,77±134,23

Los cítricos alcanzan un S_rS_T de 19,77% en 2011 (Tabla 8.8), por lo que se trata del segundo grupo de cultivos en cuanto a superficie. Al tratarse de cultivos plurianuales, los agricultores se ven obligados a mantener la superficie regada, incluso en momentos de escasez de agua suministrada, lo cual explica que se mantenga S_rS_T en 2008 (Fig. 8.2b).

El riego deficitario de los agricultores de cítricos ha dado lugar a un valor del ARIS_r en 2011 de 0,57 (Tabla 8.8). En el año seco el valor de ARIS_r fue de 0,50, indicando una intensificación del riego deficitario.

Existen estudios (por ejemplo García-Tejero *et al.*, 2011) que demuestran que el riego deficitario en cítricos, si se hace de forma correcta, puede lograr niveles de producción aceptables, unidos a un ahorro significativo de agua. En este caso el valor de WP_Y en 2011 fue de 7,76 $kg m^{-3}$. La intensificación del riego deficitario en 2008, unido a la sensibilidad de los cítricos a la salinidad, dio lugar a una disminución de la WP_Y del 19,98%. Además, 2008 fue el tercer año consecutivo de escasez de agua, y el uso continuado de aguas salinas pudo incrementar el efecto negativo sobre las producciones (García-Sánchez *et al.*, 2003).

Como sucede para la mayoría de cultivos, el WP_{VP} fue mayor en 2008 que en 2011 (2,70 vs. 1,52 $€ m^{-3}$). La Fig. 8.2e muestra que los cítricos sólo superan a los cultivos hortícolas anuales en WP_{VP}. Sin

embargo, a pesar de sus moderados valores de WP_{VP} , es el grupo de cultivos con mayor WP_{GM} (0,37 y 1,5 € m⁻³ en 2011 y 2008 respectivamente).

8.8. SOSTENIBILIDAD DE LAS ESTRATEGIAS

Como se ha mostrado, las estrategias de adaptación descritas permiten a los agricultores mantener su actividad durante los períodos de escasez de agua con sólo pequeños efectos en los indicadores de productividad estudiados. Sin embargo, se debe analizar su sostenibilidad en el medio y largo plazo.

La distribución de agua en la CRCC comenzó en 1979, pero desde entonces nunca se ha distribuido la cantidad de agua teórica ($VsSr = 3.500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Prácticamente durante la mitad de su periodo de existencia la CRCC ha estado sometida a importantes restricciones de agua, repartiendo menos del 50% de la cantidad teórica. Además se prevé un agravamiento de esta precaria situación de cara al futuro como consecuencia del cambio climático. En este sentido, son muchos los estudios que proyectan una reducción de los recursos hídricos disponibles en los países mediterráneos, incrementándose el estrés hídrico en el sur de Europa (IPCC, 2008). También, debido a una reducción de los recursos hídricos disponibles y a un aumento de la demanda en la cuenca del Tajo, se podría producir una reducción de los volúmenes del trasvase Tajo-Segura. Por lo tanto, si no se proporcionan recursos hídricos alternativos (reutilización, otros trasvases, desalinización de agua salobre o agua de mar), será factible un escenario futuro de escasez de agua a largo plazo en la CRCC. Bajo este escenario, las excepcionales estrategias de adaptación que se han comentado en los epígrafes anteriores podrían convertirse en prácticas habituales, lo que implicaría los siguientes riesgos para la actividad agrícola en la zona:

- El empleo de agua de mala calidad, en especial aquellas con alta conductividad eléctrica, llevará consigo un aumento de la salinización del suelo, pudiendo incluso provocar un abandono

progresivo de la actividad agrícola. Este efecto ya se ha observado en otras zonas agrícolas con una alta productividad, donde el aumento de los periodos de sequía ha obligado el uso de este tipo de aguas para riego durante grandes periodos de tiempo (Pérez-Sirvent *et al.*, 2003; Amezketa, 2006; Acosta *et al.*, 2011).

- El incremento de la extracción de aguas subterráneas puede provocar intrusión marina y la salinización del acuífero costero. Un reciente estudio de la unidad hidrogeológica del Campo de Cartagena (Rey *et al.*, 2013) describe la sobreexplotación del acuífero anterior a la llegada del Trasvase Tajo-Segura en 1979, y la consiguiente contaminación del acuífero por intrusión marina. La reducción de la captación de aguas subterráneas desde 1980 ha supuesto un incremento significativo de los niveles piezométricos. Sin embargo, en los últimos años el bombeo de agua subterránea está aumentando de nuevo debido a una reducción del volumen de agua trasvasado y a la instalación de plantas desaladoras.
- La esperada reducción de los recursos hídricos dará lugar a un aumento de la competencia por el uso del agua, lo que conllevará un aumento del coste del agua para los agricultores. El uso alternativo de recursos no convencionales en la zona de estudio tendrá asociado un mayor consumo de energía (Soto-García *et al.*, 2013c) y, por tanto, también incrementará el coste del agua. Este incremento en los costes de producción, unido con la reducción del rendimiento de los cultivos debido al empleo de aguas de mala calidad, provocará una pérdida de competitividad agrícola en un escenario de escasez de agua a largo plazo.

8.9. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El conjunto de indicadores utilizados en este estudio ha permitido caracterizar el manejo del riego en explotaciones del sureste español, en un año con suministro normal de agua (2011). Los valores obtenidos representan un nivel de referencia, de forma que su evaluación comparativa con los resultados obtenidos para un año con suministro hídrico muy

reducido (2008), ha permitido analizar los efectos de la escasez de agua suministrada. Los indicadores seleccionados para analizar la eficiencia en el manejo del agua de riego han ofrecido unos resultados satisfactorios. Respeto a los empleados para analizar la productividad del agua en las zonas regables, se considera más adecuado el uso de WP_Y que el de WP_{VP} y WP_{GM} , dado que estos últimos están muy condicionados por los precios agrícolas.

En este estudio se ha propuesto una nueva forma de manejar el indicador ARIS, basada en los conceptos de $ARIS_0$ y $ARIS_r$, ya que la definición tradicional del ARIS puede dar lugar a incertidumbres en su interpretación. Para un cultivo determinado, se puede dar la paradoja de que aún aumentando el IWA, el $ARIS_r$ disminuya debido a un incremento de D_g , circunstancia que no es capaz de reflejar el ARIS tradicional. También hay que resaltar que los valores del ARIS sobreestiman en todo momento los valores de $ARIS_r$, pudiendo darse el caso de interpretar un exceso de riego cuando ocurre lo contrario. Un claro ejemplo de este inconveniente se puede observar en la Fig. 8.3, dónde el valor de $ARIS > 1$ para los hortícolas de verano da a entender una situación de riego adecuado, mientras que el valor de $ARIS_r < 1$ pone de manifiesto que se está aplicando riego deficitario. Se recuerda que este estudio aplica la metodología de Keller y Bliesner (1990) para determinar D_g para riego localizado, pero también se podría utilizar la metodología adecuada para estimar D_g con otros sistemas de riego y así generalizar el uso de $ARIS_0$ y $ARIS_r$.

Los principales resultados obtenidos en el análisis global de la CRCC muestran: i) pocas variaciones en el patrón de cultivos durante el periodo de escasez de agua suministrada; ii) uso de cantidades similares de IWA, pero con mayor salinidad en los periodos de suministro escaso por parte de la CRCC ($V_s S_r$); iii) $ARIS_r < 1$, lo que denota riego deficitario en términos generales para la CCRR; iv) caída de los WP_Y en época de escasez de agua suministrada, asociada al manejo de agua con mayor salinidad; y v) menores valores de WP_{VP} y WP_{GM} en 2011 que en 2008, como consecuencia de la disminución de los precios agrícolas.

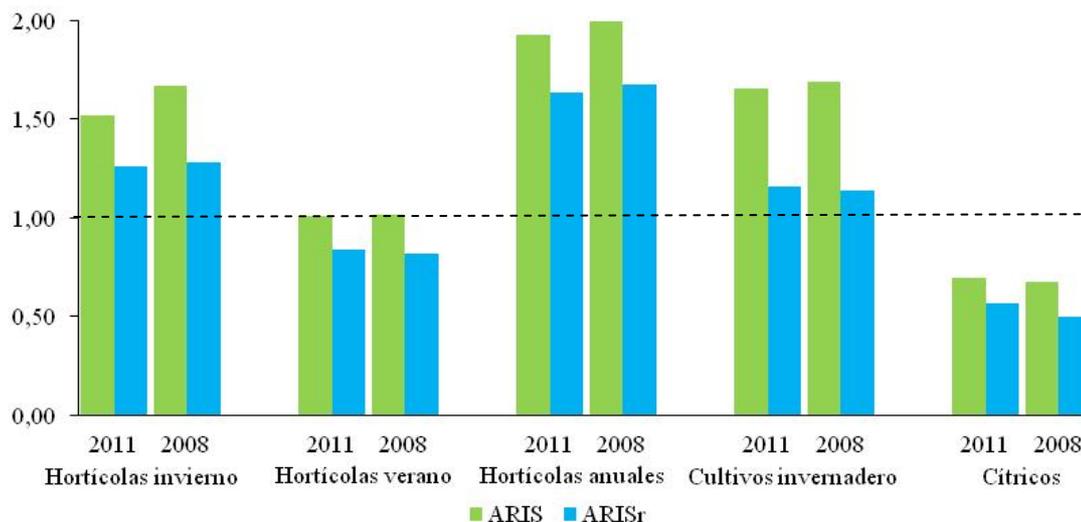


Figura 8.3. Comparación entre los indicadores ARIS y ARISr por años estudiados (2008 y 2011) para cada grupo de cultivos.

Del análisis por grupos de cultivos se concluye que:

- Los grupos de cultivo de ciclo corto (hortícolas de invierno y verano), caracterizados por unos costes de producción moderados y moderada tolerancia a la salinidad, son los más idóneos para ajustar el patrón de cultivo en los años secos, es decir, para disminuir su superficie de riego. En contraposición se encuentran los cítricos (plurianuales), los cultivos de invernadero (con altos costes de inversión) y los hortícolas anuales (alcachofa, con la ventaja de tener alta tolerancia a la salinidad) que se mantienen en los años secos.
- El valor de ARISr indica dosis de riego excesivas en hortícolas de invierno, hortícolas anuales y cultivos de invernadero, y riego deficitario en el caso de cítricos y hortícolas de verano.
- El efecto más importante de la escasez de agua suministrada es la caída de WP_{γ} , que afecta a casi la totalidad de cultivos.

Las encuestas realizadas a los agricultores de la CRCC revelaron que están bien adaptados a la escasez de agua gracias a la disponibilidad de las aguas subterráneas salobres. Sin embargo, las estrategias adoptadas llevan asociadas varias prácticas desaconsejables, como la utilización masiva de agua de riego de alta salinidad, la producción de salmuera sin

control en las plantas desalobradoras, o un aumento importante en el consumo de energía en las explotaciones agrarias debido a la extracción y tratamiento de las aguas subterráneas salobres. Además, el coste de los cultivos se incrementa significativamente en situaciones de escasez de agua (captación de aguas subterráneas, desalinización, uso de fertilizantes especiales, etc.), mientras que los rendimientos de los mismos disminuyen debido a la mayor salinidad en el suelo, ocasionando menores márgenes brutos, que pueden llegar a ser incluso negativos. Por lo tanto, la perseverancia de las situaciones de escasez de agua implica inconvenientes ambientales y económicos que podrían hacer insostenible el mantenimiento de la actividad agrícola en la zona.

Capítulo IX

EFFECTOS DE LA MODERNIZACIÓN EN LAS COMUNIDADES DE REGANTES

B. Martín Górriz, M. Soto García, V. Martínez Álvarez

Este capítulo se centra en los efectos de la modernización sobre las comunidades de regantes (CCRRs), analizando el papel de las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) en la gestión moderna de estas organizaciones, así como el efecto de los nuevos servicios proporcionados por las mismas sobre el regante.

9.1. ÁMBITO Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

La modernización de las CCRRs ha sido promovida fundamentalmente para controlar los volúmenes suministrados, y mejorar tanto la gestión como la eficiencia del uso del agua en sus zonas regables (López-Gunn *et al.*, 2012). Estos procesos de modernización se han caracterizado principalmente por la sustitución de los tradicionales sistemas de distribución de canales y acequias por conducciones presurizadas, y por la incorporación de las TICs a la gestión de las CCRRs (Playán y Mateos, 2006; García-Vila *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2011a). La incorporación de estas nuevas tecnologías ofrece muchas oportunidades a los gestores de las CCRRs para optimizar el uso de los recursos hídricos y energéticos, dado que pueden contar con nuevas herramientas: sistemas de supervisión y adquisición de datos (SCADA); sistemas de soporte a la decisión (SSD); sistemas de información geográfica (GIS); y aplicaciones Web y para la telefonía móvil. Estas herramientas se describen en el Capítulo III.

Algunos estudios ya han analizado mediante indicadores de gestión la situación antes y después de actuaciones de modernización. Por ejemplo, Lecina *et al.* (2010) compararon el efecto de la modernización bajo diversos escenarios (cultivos, sistemas de riego, volumen suministrado); y

Rodríguez *et al.* (2011a) analizaron las ventajas y limitaciones de la modernización basándose en los datos de campo recogidos antes y después de la misma. Estos estudios dejan claro que la valoración de la efectividad de las medidas aplicadas por medio de técnicas de benchmarking es esencial para identificar las cuestiones clave en la mejora de la gestión del agua de riego.

En nuestro caso, para poder evaluar los efectos de la modernización y el papel de las TICs en las CCRRs de la Región de Murcia, se ha analizado la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC), que está aplicando estas herramientas en la gestión de su zona regable desde 1999, incluyendo: SCADA, SSD, GIS, aplicaciones Web y para telefonía móvil.

La metodología aplicada en este capítulo se ha desarrollado en varios pasos. En primer lugar se seleccionó una serie de indicadores de gestión para poder caracterizar los efectos de la modernización en la CRCC. Los datos para poder calcular estos indicadores se tomaron directamente de las bases de datos de la CRCC y de sus memorias anuales. A continuación se cuantificó el efecto de la modernización comparando el valor de los indicadores de gestión entre el año 2002 (antes de la modernización) y el año 2011 (después de la modernización), años que presentaron una cantidad similar en cuanto al suministro de agua por unidad de área regada. Se seleccionaron años con un volumen suministrado de agua similar debido a que, como se indica en el Capítulo VII, este influye notablemente en el valor de los indicadores. De esta forma la variabilidad en los resultados obtenidos se puede atribuir principalmente al efecto de la modernización. Finalmente, se analizaron los resultados obtenidos centrándonos en los efectos de la modernización sobre los indicadores de gestión, los efectos de las TICs en el funcionamiento de la CCRR, y la adaptación de los agricultores a los nuevos servicios.

En la Tabla 9.1 se describe el conjunto de indicadores seleccionados así como su procedimiento de cálculo.

Tabla 9.1. Descripción y método de cálculo de los indicadores de gestión empleados.

Nombre del indicador y acrónimo	Unidad	Clasificación	Descripción y cálculo
Suministro de agua por unidad de área regada (VsSr)	m ³ ha ⁻¹	De rendimiento	Vs/Sr donde Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios y Sr es la superficie total regada.
Intensidad de cultivo (SrSa)	%	De rendimiento	100 · Sr/Sa donde Sr es la superficie total regada y Sa es la superficie regable.
Eficiencia de distribución (ED)	%	De rendimiento	100·Vs/VT donde Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios y VT el volumen anual que entra al sistema de la CCRR
Gastos generales del sistema por unidad de agua de riego suministrada (GGVs)	€ m ⁻³	Financiero	GG/Vs donde GG son los gastos generales anuales y Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios
Gastos generales del sistema por unidad de área regada (GGSr)	€ ha ⁻¹	Financiero	GG/Sr donde GG son los gastos generales anuales y Sr es la superficie total regada
Costes personal por unidad de agua de riego suministrada (CPVs)	€ m ⁻³	Financiero	CP/Vs donde CP son los costes de personal anuales y Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios
Costes personal por unidad de área regada (CPSr)	€ ha ⁻¹	Financiero	CP/Sr donde CP son los costes de personal anuales y Sr es la superficie total regada
Costes mantenimiento por unidad de agua de riego suministrada (CMVs)	€ m ⁻³	Financiero	CM/Vs donde CM son los costes de mantenimiento anuales y Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios
Costes mantenimiento por unidad de área regada (CMSr)	€ ha ⁻¹	Financiero	CM/Sr donde CM son los costes de mantenimiento anuales y Sr es la superficie total regada
Coste energético por unidad de agua de riego suministrada (CENVs)	€ m ⁻³	Financiero	CEN/Vs donde CEN son los costes energéticos anuales facturados y Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios
Coste energético por unidad de área regada (CENSr)	€ ha ⁻¹	Financiero	CEN/Sr donde CEN son los costes energéticos anuales facturados y Sr es la superficie total regada.
Valor producción agrícola por unidad de agua de riego suministrada (VPVs)	€ m ⁻³	De eficiencia de producción	VP/Vs donde VP es el valor total de la producción agrícola y Vs es el volumen total anual suministrado a los usuarios.
Valor producción agrícola por unidad de superficie regada (VPSr)	€ ha ⁻¹	De eficiencia de producción	VP/Sr donde VP es el valor total de la producción agrícola y Sr es la superficie total regada.

Los indicadores de rendimiento seleccionados fueron VsSr, SrSa y ED, que permiten evaluar el efecto de la modernización sobre la superficie cultivada y sobre la mejora de la eficiencia de distribución del sistema. Hay que tener en cuenta que uno de los objetivos principales de la modernización es reducir las pérdidas de agua mediante la mejora en la ED. Con los indicadores financieros (GGVs, GGSr, CPVs, CPSr, CMVs, CMSr, CENVs y CENSr) se pretende evaluar cómo afecta la modernización a los costes de funcionamiento de la CCRR. Por último, con los indicadores de la eficiencia de la producción (VPVs y VPSr) se pretende ver cómo afecta la modernización al valor de la producción agrícola de la zona de estudio.

Todos los valores monetarios relacionados con los indicadores financieros y de eficiencia de la producción se han actualizado a 2011 mediante el IPC para evitar los efectos de la inflación.

Las características principales de la CRCC han sido descritas en el Capítulo IV. Las actividades principales que realiza esta CCRR son: (a) adaptar la oferta disponible, dentro de lo posible en cada momento, a la demanda del agua de los cultivos de su zona regable; (b) la distribución del agua; (c) las actividades de mantenimiento; y (d) el servicio de asistencia al riego. En 2012 la CRCC suministró agua a 23.498 parcelas, con 2.962 regantes.

La modernización ha consistido principalmente en: (a) la sustitución de elementos de control y de medida por otros preparados para el telecontrol; (b) la instalación de equipos de medida en las tuberías principales, primarias y secundarias, así como en las balsas de riego; (c) la agrupación de las estaciones de bombeo; (d) el aumento de la capacidad de almacenamiento de agua y de la red de distribución; (e) la incorporación de las TICs a la gestión de la CCRR, mediante el uso de SCADA, SSD, GIS, aplicaciones Web y para telefonía móvil.

Antes de la modernización, la distribución de agua se llevaba a cabo de la siguiente forma: (i) el regante indicaba al celador el volumen de agua y el día que quería efectuar el riego; (ii) el celador, dependiendo de los

recursos disponibles y de los turnos que ya tenía previamente asignados a otros agricultores, le indicaba al regante el día, las horas y el volumen del riego que podía usar; (iii) antes de iniciar el riego, el agricultor tomaba la lectura de manera visual del contador instalado en la conducción, para volver a tomarla una vez realizado el riego; (iv) el consumo de agua considerado era la diferencia entre ambas lecturas, la verificación de la exactitud de estas lecturas era realizada por los agricultores sucesivos bajo la atenta supervisión del celador de cada sector; (v) el celador realizaba un talón con el volumen suministrado en base al consumo y las lecturas del contador facilitadas por el agricultor, dando una copia al agricultor y enviando la otra a las oficinas principales de la CRCC, donde se gestionaba su facturación.

Con la modernización, todas estas tareas se han automatizado mediante el uso de las TICs, que son las encargadas de desarrollar todos estos procesos y protocolos.

9.2. SISTEMA DE GESTIÓN

El sistema de gestión de la CRCC está formado por varias unidades hardware/software, que se encuentran relacionadas y que se comunican a través de una red de bases de datos y aplicaciones. Las principales aplicaciones que forman el sistema de gestión de la CRCC son: *CENTUR* (censo y gestión del riego), *AutoCAD Map* (edición GIS), *iFIX* (control SCADA), *BASE* (gestión contable), aplicaciones Web (*Aplicación de la gestión y distribución del agua*, *Aplicación celadores*, *Aplicación Gestión de Incidencias*, *WikiCRCC* y *WebGIS*) y las aplicaciones para móviles.

Las asignaciones de agua a los agricultores se realizan por cupos ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), ya que el volumen de agua disponible es por lo general inferior a las necesidades hídricas de los cultivos de la zona regable. De esta manera se reduce la conflictividad entre los agricultores al ser tratados todos por igual. Por tanto el volumen de agua asignado para cada agricultor es función de la superficie de sus parcelas y los cupos aprobados por la CRCC. Cada agricultor administra su asignación de agua, que irá

disminuyendo en función del volumen que consuma. Por todo ello, fue necesario realizar el censo de todas las parcelas ubicadas dentro del perímetro de la zona regable como primera actuación previa a la modernización, información indispensable para poder realizar correctamente la asignación y distribución de agua. La fuente del censo fue el catastro, dado que esta información tiene carácter legal y es actualizada por el Estado continuamente (Playán *et al.*, 2007).

CENTUR es la aplicación encargada de la gestión del censo, con el apoyo del GIS para el tratamiento de la información espacial. Dado que la distribución del agua se organiza mediante el sistema de turnos, *CENTUR* es además el SSD en la asignación de turnos de riego en base a las peticiones semanales efectuadas por los agricultores. En la Fig. 9.1 se presenta el diagrama del flujo que regula la distribución del agua en la CRCC. Los agricultores pueden pedir agua cuando tienen volumen asignado y saldo en sus cuentas. En el pedido indican cuando quieren efectuar el riego, el volumen y la duración del mismo. Los miércoles se realiza el cálculo de los turnos de riego para toda la semana, en función de (a) los pedidos realizados, (b) los recursos disponibles y (c) las limitaciones hidráulicas de las infraestructuras de la CCRR.

Una vez calculada la programación semanal de los turnos de riego por *CENTUR*, las operaciones en la infraestructura hidráulica necesarias para poder efectuar los riegos también se definen por este SSD. A continuación, las órdenes para el manejo del sistema hidráulico se envían al SCADA, que ejecuta las operaciones sobre la red de riego con el fin de realizar correctamente los suministros de agua programados a los agricultores, al mismo tiempo que controla cualquier incidencia que se produzca. Los agricultores consultan la programación y la ejecución de su turno en tiempo real a través de las aplicaciones Web y aplicaciones para el móvil. Desde el año 2000 es posible el acceso a la *Aplicación de la gestión y distribución del agua* a través del portal Web de la CRCC (<http://www.crcc.es>).

La infraestructura hidráulica controlada por el SCADA consiste principalmente en: (a) la red de tuberías (1.033 km), (b) balsas de riego con

una capacidad total de 2,5 hm³; (c) siete estaciones de bombeo; (d) 1.310 válvulas hidráulicas, y (e) 1.351 contadores. El sistema de comunicaciones empleado cuenta con 4 repetidores y más de 1.000 RTUs.

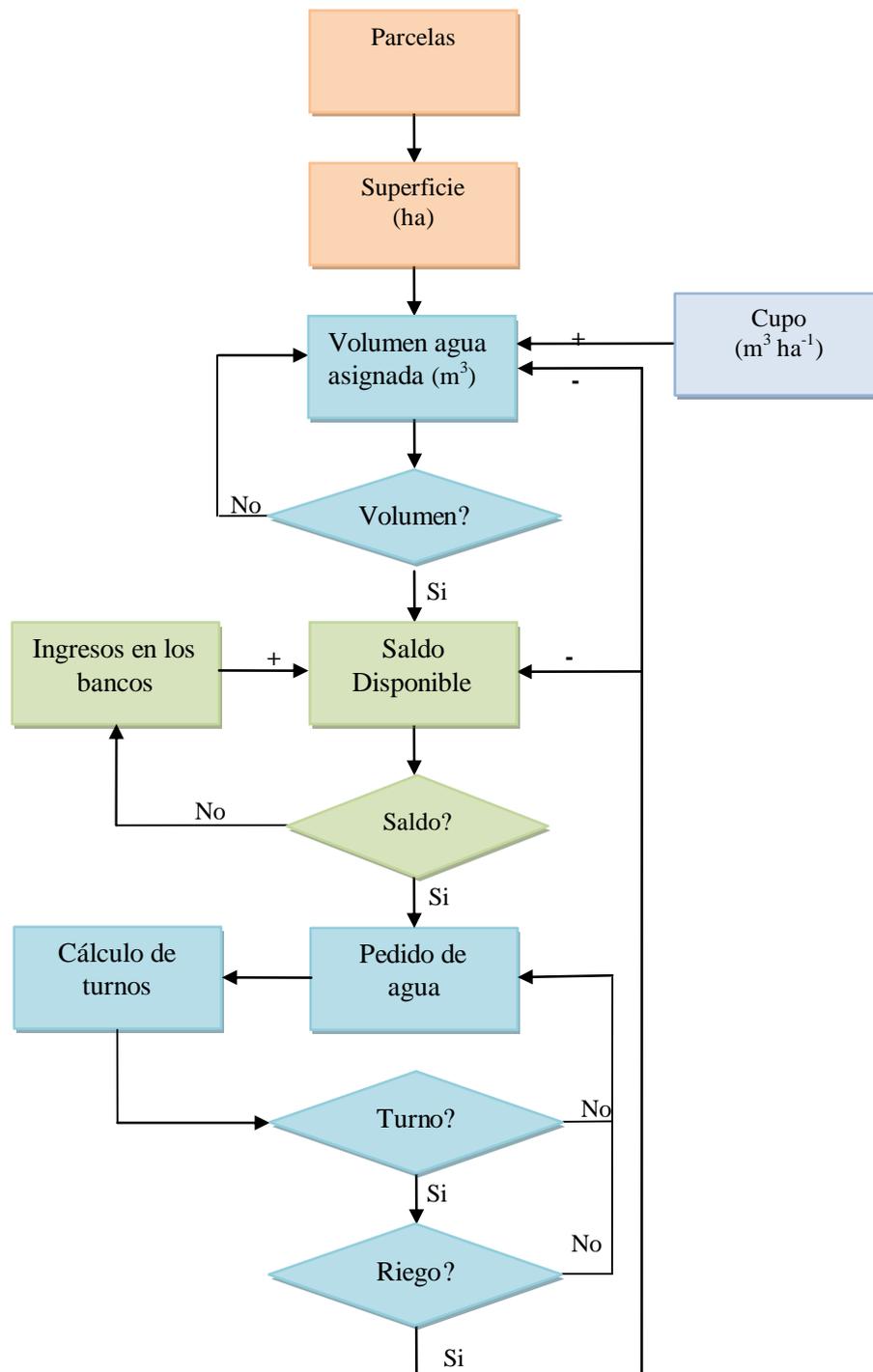


Figura 9.1. Diagrama de flujo de la distribución de agua en la CRCC.

Cada dispositivo que controla el SCADA está conectado a una RTU, que se compone de un autómata, sensores de intrusismo, un sistema de comunicaciones vía radio UHF y un sistema de alimentación compuesto por un panel solar. En la Fig. 9.2 se muestra el esquema general de comunicaciones con las RTUs, que tienen un código de identificación único y una asignación de medio de comunicación para cada zona. En este esquema también se muestran los 33 sectores de riego que forman la CRCC y la localización de las oficinas de atención al regante.

El sistema de comunicaciones tiene una estructura ramificada, formada por las estaciones remotas (RTUs) y por las estaciones repetidoras, que concentran las señales de un grupo de RTUs y hacen de puente con el centro de control. Las estaciones repetidoras son elementos transparentes a las comunicaciones lógicas y su funcionalidad es la de aumentar la cobertura de la red de radio. Cada estación repetidora cuenta con dos equipos de radio que comunican con los sectores asignados, correspondencia que se identifica en la Fig. 9.2 mediante el código de colores recogido en la leyenda.

Los celadores se encargan de la vigilancia y supervisión de la infraestructura hidráulica y de los elementos de control. Para ello cuentan con acceso a la monitorización de la red de riego proporcionada por el SCADA a través de aplicaciones Web y para telefonía móvil (*Aplicación celadores, Aplicación de incidencias, WikiCRCC y WebGIS*). De esta forma pueden actuar remotamente sobre la red de riego en caso de emergencia (por ejemplo cerrar una válvula hidráulica cuando se produce la rotura de una tubería). La tecnología aplicada en el desarrollo de las aplicaciones para los teléfonos móviles fue Wireless Application Protocol (WAP). En su desarrollo se tuvieron en cuenta los limitados recursos de presentación e interacción de un terminal móvil, por lo que se creó un interfaz sencillo y de acceso universal que permitiese su funcionamiento en la mayoría de móviles. Este sistema ofrece dos tipos de acceso en función del perfil del usuario que se conecta: personal de la CRCC y agricultores (Del Amor, 2006).

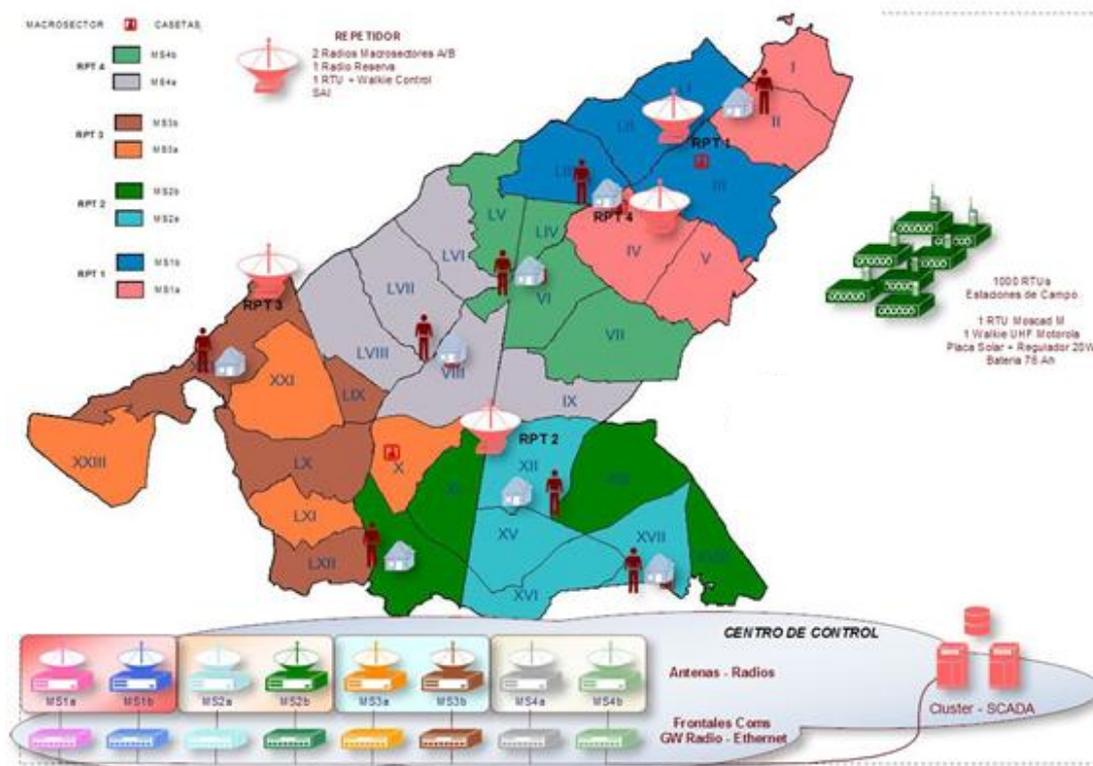


Figura 9.2. Esquema general de comunicaciones entre el centro de control y las RTUs. Las oficinas de atención al regante en el campo están representadas como una persona y una caseta.

9.3. EFECTO SOBRE LOS INDICADORES DE GESTIÓN

Como se ha comentado en el Epígrafe 9.1, varios estudios han analizado la situación antes y después de la modernización en CRRs españolas. En estos casos, por lo general, la modernización ha consistido en la sustitución de los tradicionales canales de distribución por redes presurizadas mucho más eficientes. Las principales conclusiones de estos estudios ha sido que, aunque el consumo de agua se redujo considerablemente, la demanda de energía se incrementó drásticamente. Con la modernización, además del aumento de los costes energéticos, se produjo un incremento considerable de los costes de gestión, operación y mantenimiento, provocando un mayor coste del agua para el agricultor. Este incremento en el precio del agua supuso una limitación en la viabilidad económica de algunos cultivos. También se produjo la paradoja en algunos casos en los que aunque se consiguió un ahorro de agua por la mejora en la eficiencia de distribución, la modernización produjo un cambio de cultivos

en busca de una mayor productividad agrícola, que llevó asociado un aumento en el consumo de agua de la zona regable en comparación con la situación anterior (Lecina *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2011a).

La modernización efectuada en la CRCC difiere bastante de lo indicado en el párrafo anterior, ya que el sistema de distribución se encontraba presurizado antes de iniciar los procesos de modernización.

La Fig. 9.3 presenta la variación de los indicadores de gestión entre el año 2002 (antes de la modernización) y 2011 (después de la modernización). Cabe señalar que el volumen suministrado de agua por unidad de superficie regada (VsSr) fue prácticamente el mismo en esos años (-1,1% de variación), por lo tanto el efecto de la escasez de agua puede despreciarse y la variación de estos indicadores se puede atribuir principalmente al proceso de modernización.



Figura 9.3. Variación de los indicadores de gestión en la CRCC antes (2002) y después (2011) de la modernización.

La intensidad de cultivo (SrSa) no presentó ninguna variación significativa como consecuencia de la modernización. Tampoco se observó de cambió del padrón de cultivos hacia otros más rentables, probablemente porque no había otros cultivos mejores para implantar en la zona. La eficiencia de distribución (ED) ya presentaba un valor muy alto antes de la modernización (96,2%), y su valor se elevó después de la modernización

hasta el 99,8%. Esta mejora está relacionada principalmente con la implementación del SCADA que permite un seguimiento en tiempo real de cada metro cúbico distribuido, contando con un sistema de alarmas para detectar cualquier pérdida de agua en la infraestructura de distribución, lo que permite que se actúe rápidamente consiguiendo una ED casi perfecta.

Los gastos generales del sistema (GG) se incrementaron en torno al 110%, tanto por unidad de agua de riego suministrada como por unidad de área regada. Este incremento está relacionado con el aumento de los costes de mantenimiento y personal, en torno al 150% y el 18% respectivamente. Los costes energéticos se redujeron más de un 12% entre 2002 y 2011, a pesar del fuerte incremento de las tarifas eléctricas para riego en los últimos años. Estos resultados contrastan con lo indicado por Rodríguez *et al.* (2011a), que analizaron varios procesos de modernización de CCRRs en Andalucía. Estas modernizaciones consistieron principalmente en la presurización de la red de distribución de agua, dando lugar a un fuerte aumento de los costes de manejo del sistema (400%), debido principalmente a que el coste de la energía de las impulsiones de los sistemas de riego presurizados es mucho mayor ahora en comparación con los sistemas alimentados por gravedad utilizados previamente.

El valor de la producción agrícola por unidad de superficie regada (VPSr) y el valor de la producción agrícola por unidad de agua de riego suministrada (VPVs) se redujo aproximadamente un 37%. Esta disminución significativa no está relacionada con una reducción de la producción, sino con la importante caída de los precios provocada por el brote de la bacteria *E. coli* en Alemania en el verano de 2011. El tratamiento desafortunado de este incidente, que en un principio se relacionó incorrectamente con una partida de pepinos españoles (Sandman y Lanard, 2011), afectó muy negativamente al valor de la producción hortofrutícola del mediterráneo español.

En resumen, las principales ventajas de la modernización en la CRCC, detectadas por el empleo de los indicadores tradicionales de gestión, fueron un aumento significativo en la optimización energética y una ligera mejora en la eficiencia de distribución. Por otro lado la principal

desventaja fue un aumento de los gastos generales, aunque este valor es considerablemente menor a lo indicado en otros procesos de modernización estudiados. La variación negativa de los indicadores de eficiencia de producción (VPSr y VPVs) se debió a factores externos que afectaron a los precios agrícolas.

9.4. EFECTOS SOBRE LA GESTIÓN Y EL SERVICIO DE LA CRCC

El proceso de modernización ha dotado a la CRCC de potentes herramientas de gestión, con nuevas y potentes capacidades.

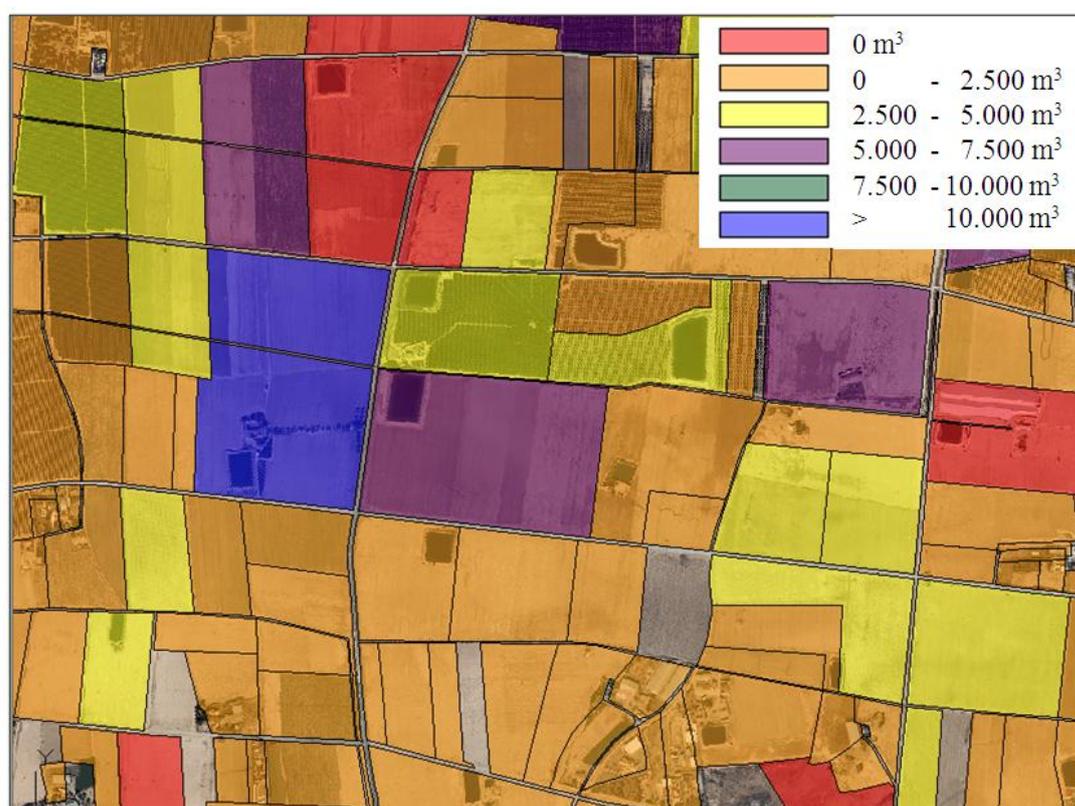


Figura 9.4. Ejemplo de la aplicación GIS donde se muestra la cantidad de agua disponible (m³) por parcela.

El GIS es una herramienta que permite acceder rápidamente a la información de las parcelas que conforman la CCRR, como su localización, propiedad, regante, cultivos implantados, etc. Su uso combinado con *CENTUR* permite conocer la disponibilidad de agua en cada parcela de la zona regable en todo momento. En este sentido, la Fig. 9.4 muestra, a

modo de ejemplo, un mapa del volumen de agua disponible por parcela para un instante determinado.

El SCADA ha permitido controlar la trazabilidad del agua en tiempo real, ayudando a detectar las posibles pérdidas de agua o manipulaciones no autorizadas de la red de riego. Como consecuencia se ha conseguido aumentar la ED, tal como se ha comentado en el epígrafe anterior. En la Fig. 9.5 se recoge una consulta gráfica de la aplicación iFIX, donde se muestra el registro de datos de un contador obtenido a través del SCADA durante un periodo de dos semanas. La línea verde representa el caudal instantáneo, mientras que la línea azul muestra el volumen acumulado suministrado por el hidrante. Esta información es de gran utilidad para: (i) comprobar la facturación correcta de los riegos; (ii) contrastar cualquier reclamación de los agricultores, y (iii) detectar posibles anomalías que se hubieran producido durante el suministro.

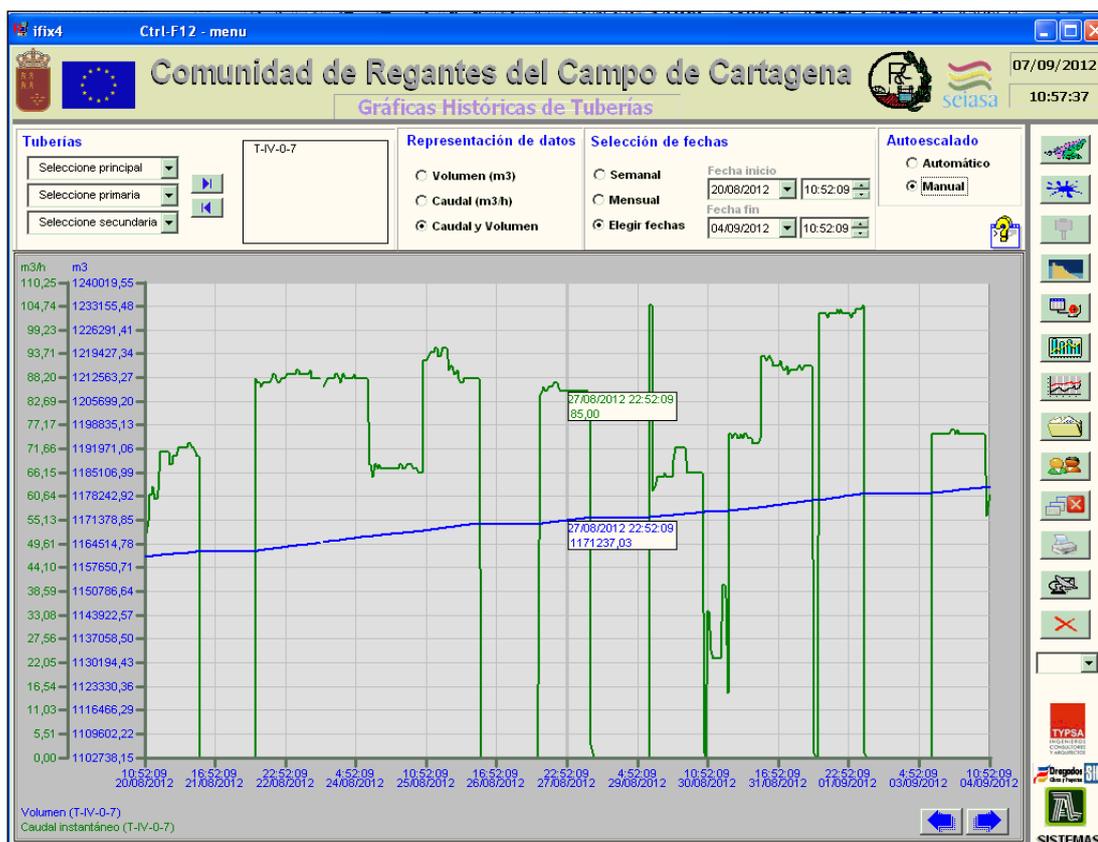


Figura 9.5. Consulta de los datos registrados en el contador de una toma de riego a través del SCADA. Se representa caudal (línea verde) y volumen de agua suministrado (línea azul).

La aplicación de las TICs ha reducido la conflictividad entre los agricultores por motivos relacionados con el reparto del agua. La conflictividad era un problema de especial importancia en los periodos de escasez de agua, y los celadores no disponían de las herramientas adecuadas para garantizar la equidad entre los regantes. El empleo de la aplicación *CENTUR* ha conseguido que el proceso de reparto del agua sea equitativo y transparente, pudiendo verificarse el proceso de distribución del agua, desde su asignación hasta su aplicación, en cualquier momento e hidrante de la CRCC.

La optimización del consumo energético es otro beneficio de la incorporación de las TICs a la CCRR, ya que permiten llevar un control estricto sobre el cumplimiento de la programación de los grupos de bombeo, realizada en base a los turnos asignados a los agricultores. Este mayor control ha permitido una disminución de los costes energéticos, tal como se ha mostrado en el epígrafe anterior. La información proporcionada por el SCADA también permite realizar auditorías energéticas (Abadía *et al.*, 2008a) de forma fácil y rápida.

La reducción de tiempo de actuación es otro aspecto que ha mejorado considerablemente. En la Tabla 9.2 se muestra un análisis comparativo del tiempo empleado para la realización de diferentes tareas, antes y después de la modernización. Se observa como las tareas propias de los celadores han pasado a realizarse de forma casi instantánea, incorporándose además nuevas capacidades no disponibles anteriormente. Esta notable mejora en la productividad de los celadores ha conllevado una reducción del 30% en este tipo de personal, mientras que el personal de mantenimiento se ha incrementado un 100%, y los técnicos y personal de administración en un 25%. Como resultado el número de empleados se ha mantenido constante desde el año 2000, aunque su cualificación profesional ha aumentado considerablemente.

El número de oficinas de riego, distribuidas por la zona regable para la atención al agricultor, también ha disminuido con la modernización, pasando de catorce oficinas en 2001 a ocho oficinas en 2011 (Fig. 9.2). En general, el uso de las TICs ha permitido mejorar la calidad del servicio a los

agricultores, a pesar de reducir el personal y los puntos de atención dedicados a este fin.

Tabla 9.2. Análisis comparativo de tiempo empleado para la realización de diferentes tareas antes y después de la modernización.

Tarea	Tiempo requerido	
	Antes	Después
Tiempo entre el riego y la facturación	> 5 días	15 - 30 min
Apertura/cierre de válvulas	15 min - 1 h	< 5 min
Arranque/parada grupos de bombeo	20 min - 1 h	< 5 min
Conocer la lectura de un contador	15 min - 1 h	< 2 min
Conocer el nivel de las balsas	20 min - 1 h	< 2 min
Identificar un acto de vandalismo en la red de riego	-	Tiempo real
Identificar las parcelas de un regante	10 - 30 min	Tiempo real
Conocer los riegos de una toma	1-2 h	Tiempo real
Programar los turnos de riego de una semana	-	30 min - 1 h
Identificar unas parcelas con una serie de atributos	-	< 2 min
Conocer la superficie regada de la CRCC	-	Tiempo real
Conocer la demanda de la CRCC	-	Tiempo real
Conocer la evolución de la superficie de cada cultivo	-	< 2 min
Mapas temáticos en función diferentes atributos	-	5-15 min

9.5. ADAPTACIÓN DE LOS AGRICULTORES A LAS TICS

El sistema de gestión implantado en la CRCC tiene como objetivo a medio plazo conseguir que la mayoría de los agricultores realicen todas sus gestiones relacionadas con el riego mediante aplicaciones Web y para telefonía móvil. Sin embargo, los gestores de esta CRR también son conscientes de los condicionantes de la masa social a la que van dirigidos los nuevos servicios (nivel de formación, avanzada edad, dificultades para acceder a Internet, etc.), por lo que se mantienen la atención personal en las ocho oficinas que la CRR tiene distribuidas por toda la zona regable (Fig. 9.2).

Los nuevos servicios asociados al uso de las TICs han permitido mejorar la información a los agricultores sobre las normas y criterios de reparto del agua, los cupos vigentes en cada año hidrológico, los precios del agua, los volúmenes asignados y consumidos por cada regante, etc. Este nivel de transparencia, junto a la posibilidad de verificar cada una de

las operaciones de riego realizadas, ha aumentado la confianza de los agricultores en el sistema, resultando en la casi total desaparición de reclamaciones y conflictos asociados a la distribución del agua de riego.

La posibilidad de conocer el volumen asignado para cada agricultor ha supuesto una gran mejora en la gestión del agua a nivel de parcela, ya que los agricultores pueden planificar la rotación de sus cultivos en función del agua disponible. De esta forma se minimizan las pérdidas asociadas a la escasez imprevista de agua.

Las aplicaciones Web permiten a los agricultores un acceso en tiempo real (las 24 horas del día, los 7 días de la semana) desde cualquier lugar a los servicios proporcionados por la CRCC, evitando desplazamientos a las oficinas de riego para realizar las diferentes gestiones relacionadas con el suministro de agua a sus parcelas. Esta mejora en la eficiencia en las tareas administrativas a los agricultores les proporciona más tiempo para la gestión de sus explotaciones u otras actividades, representando una mejora en su calidad de vida.

Las aplicaciones Web y para móviles están siendo bien aceptadas por los agricultores. La Fig. 9.6a muestra la evolución de los agricultores que han utilizado aplicaciones Web entre 2003 y 2012, mostrando un incremento progresivo desde el 1% en 2003 hasta el 27% en 2012. Este incremento se relaciona tanto con el creciente interés del regante en las TICs como con la calidad de la información y los servicios proporcionados, que ha ido mejorando tanto en cantidad como calidad a lo largo del periodo de estudio. Por tamaño de explotación agrícola (Fig. 9.6b), cuanto mayor es la explotación mayor es el empleo de Internet. Así en 2012 el 63% de las explotaciones agrícolas con una superficie superior a 50 ha empleaban las aplicaciones Web. Como consecuencia de lo indicado, el 52% del agua suministrada por la CRCC en 2012 fue gestionada por los regantes a través de Internet.

De forma contraria, los regantes que utilizan la aplicación para telefonía móvil apenas han aumentado en el periodo de estudio, alcanzando un 6% en 2012. Este resultado es debido a que con los

Smartphone, Smart TV y Tablet es posible acceder al portal Web de la CRCC, con lo que no emplean la aplicación específica para móvil.

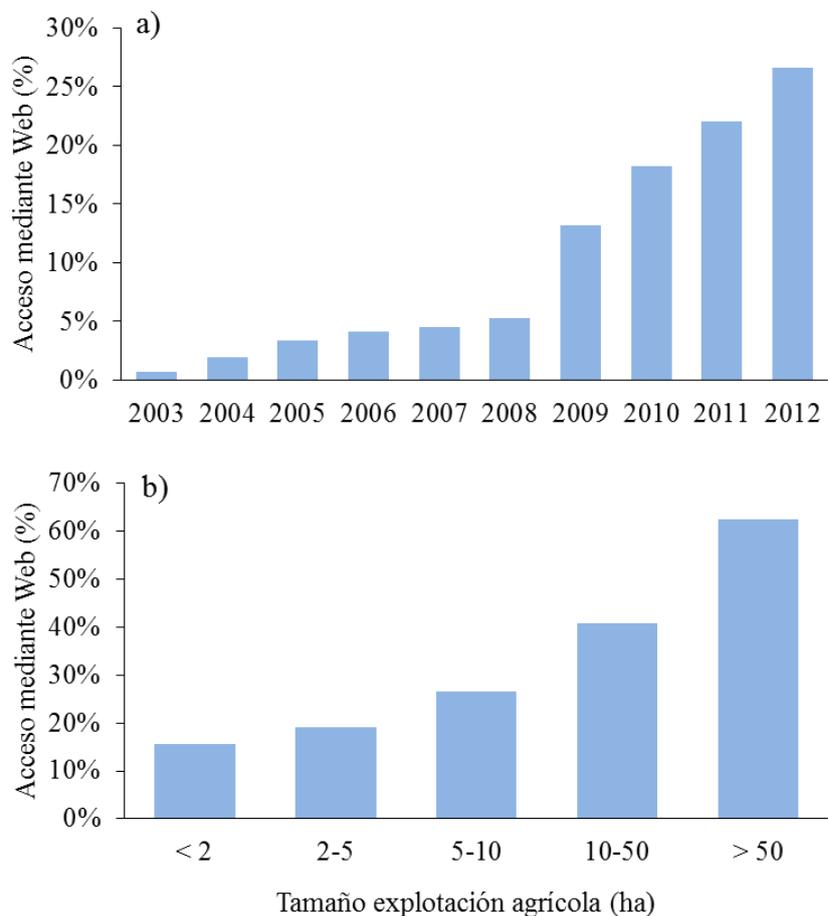


Figura 9.6. Evolución del uso de las aplicaciones Web: a) porcentaje de agricultores que usaron el servicio Web entre 2003 y 2012, y b) porcentaje de agricultores que usaron el servicio Web en 2012 por tamaño de explotación agrícola.

Por último, señalar que las TICs están proporcionando un canal directo para asesorar técnica y agronómicamente a los agricultores, por lo que es de esperar que se produzca una mejora en la gestión hídrica y energética de sus explotaciones a medio plazo.

9.6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este capítulo destaca la existencia de dos tipos diferentes de procesos de modernización: la denominada modernización de "primera generación", caracterizada por la presurización de las redes de distribución,

y la modernización de "*segunda generación*", que se caracteriza por centrarse en la automatización tanto de la infraestructura hidráulica presurizada existente previamente a la modernización como de los servicios de la CCRR.

La modernización de "*primera generación*" por lo general ha dado como resultado: (a) una reducción de las pérdidas del agua suministrada por la red de riego, como consecuencia de la mejora en la eficiencia de distribución debido a la sustitución de los canales abiertos de distribución por sistemas presurizados; (b) un incremento muy importante de los costes de manejo del sistema, debido a un aumento considerable de los costes energéticos por una mayor demanda energética en relación con la situación previa a la modernización; y (c) un cambio progresivo en los patrones de cultivo hacia cultivos más rentables. Estos hechos provocan cambios muy importantes en los valores de los indicadores de gestión. Las modernizaciones de "*segunda generación*", como es el caso de la CRCC, donde la red de distribución ya se encontraba presurizada antes de realizar la modernización, presentan variaciones moderadas de los indicadores de gestión: un reducido impacto sobre el ahorro de agua y una disminución notable de los costes energéticos. Sin embargo, las numerosas ventajas ofrecidas por la aplicación de las TICs no quedan reflejadas con los indicadores de gestión tradicionales. Por lo tanto, son necesarios nuevos indicadores para caracterizar correctamente las modernizaciones de "*segunda generación*" en relación con su mejora en la gestión y en los servicios prestados a los agricultores. Por ejemplo se propone considerar el tiempo empleado para varias tareas de gestión en la CCRR, como el intervalo de tiempo entre el suministro de agua y de facturación, el tiempo necesario para conocer la lectura de un contador, o el tiempo necesario para hacer mapas temáticos sobre el agua disponible en parcela. La incorporación de las TICs también podría ser evaluada por el porcentaje de agricultores que llevan a cabo todas sus actividades relacionadas con la CCRR a través de Internet, o el porcentaje de agua suministrada por la CCRR que se maneja a través de las aplicaciones Web y para telefonía móvil.

La incorporación de las TICs a la gestión de las CCRRs ha tenido una repercusión de enorme trascendencia en las prestaciones de estas instituciones colectivas. En el caso de la CRCC el avance tecnológico que suponen las TICs ha permitido: (a) mejorar la eficiencia de distribución; (b) hacer un reparto equitativo del agua; (c) conocer la trazabilidad del agua; (d) un ahorro de agua; (e) tener una gestión transparente; (f) reducir la conflictividad de los agricultores; (g) disminuir el consumo y coste energético; (h) reducir las oficinas de atención al agricultor y el número de celadores, y (i) tener una rápida actuación para evitar actos de vandalismo. Por el contrario, ha supuesto un incremento en los costes de personal y de mantenimiento, debido principalmente a la incorporación de personal más cualificado y a la complejidad intrínseca asociada a la infraestructura necesaria para la aplicación de las TICs en la gestión de la CCRR.

Además, la incorporación de las TICs ha permitido mejorar los servicios que la CRCC ofrece a sus agricultores, tanto en cantidad como calidad. La disponibilidad de acceso a estos servicios mediante Internet y telefonía móvil 24 horas al día y 7 días a la semana ofrece notables ventajas como: (a) facilitar el uso de criterios de optimización en la gestión del agua y la energía en parcela y (b) proporcionar una mejor calidad de vida a los agricultores. El uso de Internet para la gestión del agua de riego ha tenido una buena aceptación por parte de los mismos, tal y como se demuestra por el progresivo aumento del número de usuarios.

El mundo de las TICs está en continua evolución, por lo que aunque ya apenas se producen mejoras relativas a la infraestructura hidráulica de la CCRR, el personal de la CRCC trabaja de forma continua en el desarrollo de nuevas aplicaciones y herramientas para satisfacer los requerimientos de la propia CCRR y de sus comuneros. En este sentido se están desarrollando nuevas herramientas para: (a) la optimización del consumo energético mediante el control en tiempo real del rendimiento de los grupos de bombeo, (b) la mejora de los servicios de asesoramiento de riego en parcela, con acceso a los datos meteorológicos en tiempo real y con aplicaciones para la programación del riego; (c) la mejora del asesoramiento al agricultor sobre el consumo de energía en parcela; (d) el

desarrollo de nuevas aplicaciones en el entorno WebGIS y (e) la mejora de los procesos administrativos y técnicos de la CCRR.

Capítulo X

CONSUMO DE ENERGÍA EN EL REGADÍO

B. Martín Górriz, M. Soto García, V. Martínez Álvarez

En este capítulo se analiza el vínculo del agua y la energía en el regadío de la Región de Murcia. Durante un periodo de diez años se evalúa el consumo de energía para el riego, particularizando para las diferentes escalas de gestión del regadío (cuenca, comunidad de regantes y parcela) y las diferentes comunidades de regantes (CCRRs) estudiadas. Los resultados de la cuantificación del consumo de agua y energía pueden ser útiles para la formulación de recomendaciones que permitan racionalizar su uso en la agricultura de regadío.

10.1. ÁMBITO Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

El agua y la energía se encuentran íntimamente interrelacionadas, muchos procesos de aprovechamiento, extracción y producción de energía emplean el agua; así como se requiere el consumo de energía durante los procesos de captación, tratamiento, distribución y uso del agua (USAID, 2001; Dubreuil *et al.*, 2013). Por ello la gestión del agua y de la energía deben considerarse de manera conjunta (Carrillo-Cobo *et al.*, 2011). Esta interdependencia, denominada frecuentemente como el "nexo agua-energía", está siendo cada vez más tenida en cuenta por los organismos gubernamentales para formular recomendaciones en los procesos de evaluación y planificación (Siddiqi y Díaz, 2011).

En el ámbito del sector hídrico, la energía eléctrica empleada para la distribución y el suministro del agua es la principal fuente de gases de efecto invernadero, promotores del cambio climático (Stokes y Horvath, 2009). Además, en las regiones áridas y propensas a las sequías, la escasez de agua está provocando la incorporación de recursos hídricos no convencionales con altos requerimientos energéticos. De esta forma se

está induciendo tanto el consumo de energía como los impactos ambientales asociados con su obtención, tratamiento y suministro, actividades que a su vez repercuten en procesos que incrementan la escasez de agua, como el omnipresente cambio climático (Mo *et al.*, 2011; WWAP, 2012).

En España cada sector que maneja agua tiene un nivel de consumo de energía por unidad de agua, denominado habitualmente energía específica. Aunque el rango es amplio, los valores representativos de cada sector han sido estimados por Hardy y Garrido (2010): 0,21 kWh m⁻³ para uso urbano, 0,56 kWh m⁻³ para depuración y 0,34 kWh m⁻³ para el regadío.

Por otro lado, el regadío emplea el 78% del agua total consumida en España (INE, 2013). Además la implantación de la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE) requiere el uso sostenible del agua en la agricultura, cuestión de carácter prioritario en la actualidad. Para cumplir con este propósito, como ya se ha comentado en el Capítulo I, el regadío español ha experimentado profundas transformaciones en las últimas décadas, incluyendo la modernización para mejorar la eficiencia del uso del agua. Este proceso ha provocado que mientras el consumo de agua por hectárea se ha reducido un 21% entre 1950 y 2008, la demanda de energía paradójicamente se ha incrementado un 657% (Corominas, 2009). Por lo tanto, se ha producido un aumento considerable del consumo energético en este sector, provocado principalmente por la sustitución de los sistemas tradicionales de riego por gravedad por sistemas presurizados (Abadía *et al.*, 2008b; Rodríguez *et al.*, 2009; Carrillo-Cobo *et al.*, 2011). Por tanto, hoy más que nunca, es necesario gestionar los recursos hídricos y energéticos de manera más eficiente y coordinada, con el fin de controlar el aumento de la demanda de energía del regadío (Jackson *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2011a; Abadía *et al.*, 2012).

La metodología empleada en este capítulo se ha estructurado en varios pasos. En primer lugar se seleccionaron los indicadores de gestión adecuados para caracterizar la relación entre el agua y la energía en el regadío. A continuación, se calculó el valor de estos indicadores para el período de estudio (2002-2011) en tres CCRRs: Comunidad de Regantes

del Campo de Cartagena (CRCC), Comunidad de Regantes Trasvase Tajo Segura Calasparra-Cieza (CRTCC) y Comunidad de Regantes de Miraflores (CRM). Las principales características de estas CCRRs se han descrito en el Capítulo IV. No se ha analizado la relación agua y energía para la Comunidad de Regantes de Lorca y para la Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva por no disponer de los registros energéticos necesarios durante el periodo de estudio.

El análisis de los indicadores tuvo como objetivo evaluar: (a) los consumos de agua y energía en cada una de las tres escalas de gestión del agua de riego, (b) las relaciones entre los requerimientos de energía y el uso de agua, y (c) el efecto de la modernización de las CCRRs en los indicadores energéticos.

En este análisis se han diferenciado tres escalas de gestión del agua de riego (Soto-García *et al.*, 2013c): cuenca, CCRR y parcela. A escala de cuenca se considera la obtención, tratamiento y transporte del agua desde la fuente de los recursos hídricos hasta el punto de suministro de cada CCRR. Las CCRRs seleccionadas emplearon cinco tipos de recursos: aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas del Trasvase Tajo-Segura, aguas procedentes de la reutilización y aguas salobres desalinizadas. La siguiente escala de gestión se refiere a la distribución del agua desde el punto de recepción de la CCRR hasta el hidrante del regante, realizado mediante las infraestructuras de la propia CCRR (grupos de bombeo, balsas de riego y redes de distribución). Por último, a escala de parcela se consideran las instalaciones disponibles en las explotaciones agrícolas para la aplicación de agua a los cultivos, que consisten en los elementos del sistema de riego localizado: cabezal (con o sin unidad de bombeo), tuberías, laterales, emisores y elementos hidráulicos de control y protección.

La Tabla 10.1 describe el conjunto de los indicadores seleccionados en este capítulo para abordar el análisis en las diferentes escalas de gestión. Los mismos están agrupados en dos grupos: de rendimiento y energéticos.

Tabla 10.1. Descripción y método de cálculo de los indicadores de gestión empleados.

Nombre del indicador y acrónimo	Unidad	Clasificación	Descripción y cálculo
Eficiencia de distribución (ED)	%	De rendimiento	$100 \cdot Vs/VT$
Suministro de agua por unidad de área regada (VsSr)	$m^3 ha^{-1}$	De rendimiento	Vs/Sr
Energía específica (EacVs)	$kWh m^{-3}$	Energético	Eac/Vs
Energía activa consumida por unidad de superficie regada (EacSr)	$kWh ha^{-1}$	Energético	Eac/Sr

Los indicadores de rendimiento están relacionados con la capacidad de los gestores de las CCRRs para satisfacer la demanda de los usuarios y optimizar el uso del agua. La eficiencia de distribución (ED) es la relación entre el agua suministrada y el agua que entra en el sistema de distribución, por lo que representa las pérdidas de agua producidas por las fugas en las conducciones y las pérdidas por evaporación en las balsas de riego colectivas (Martínez-Álvarez *et al.*, 2009; Martínez-Granados *et al.*, 2011). El suministro de agua por unidad de área regada (VsSr) analiza la cantidad de agua suministrada a los usuarios por unidad de superficie regada. Por lo general se aplica al análisis comparativo entre CCRRs (Malano y Burton, 2001; Moreno *et al.*, 2010a).

Los indicadores energéticos miden la energía requerida en cada escala de gestión para la captación, tratamiento, distribución y/o aplicación del agua de riego. Los indicadores energéticos más representativos según Abadía *et al.* (2010) son la energía específica (EacVs), que muestra la relación entre el consumo de energía y el volumen de agua suministrado; y la energía activa consumida por unidad de superficie regada (EacSr), que se emplea para determinar el consumo de energía por superficie.

10.2. ESCALAS DE GESTIÓN

El nivel de cuenca considera principalmente la captación, tratamiento y transporte del agua desde la fuente hasta el punto de suministro a las CCRRs. Cinco fuentes de agua diferentes se han considerado en esta

escala: (1) superficial, (2) subterráneas, (3) Trasvase, (4) desalinizada, y (5) reciclada.

La disponibilidad de **agua superficial** ha sido muy variable a lo largo de los años analizados en la Región de Murcia, dada la característica variabilidad de las precipitaciones en el clima mediterráneo semiárido. La captación de agua superficial tiene un reducido consumo de energía, ya que habitualmente solo requiere pequeños bombeos para el suministro a las CCRRs. De las CCRRs analizadas en este capítulo, sólo la CRCC empleó agua superficial. Los datos del consumo de agua y energía fueron obtenidos de la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS).

La energía necesaria para impulsar las **aguas subterráneas** depende de numerosos factores, como la altura manométrica total (basada en la profundidad del nivel freático, las pérdidas de carga en la conducción y la presión requerida por el sistema) y el rendimiento del grupo de bombeo (Lal, 2004). Los datos sobre la captación de aguas subterráneas y el consumo de energía fueron proporcionados por los gestores de los sondeos implicados.

En 1979 se inició el **Trasvase** de agua desde la cuenca del Tajo a la cuenca del Segura. Un canal de 286 kilómetros de largo, denominado Acueducto Tajo-Segura, fue construido para el Trasvase, que se estimó alcanzaría los 600 hm³ anuales. En la práctica, la cantidad anual trasvasada es variable y depende de las reservas en cabecera, con un máximo de 400 hm³ anuales para regadío. Durante el periodo de estudio los volúmenes medios trasvasados para riego han sido de 221 hm³ año⁻¹ (CHS, 2013). Los datos sobre el consumo de energía necesaria para el suministro a la CRCC y a la CRTCC con el agua trasvasada fueron obtenidos de la CHS y del Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura (SCRATS).

La **desalinización** es considerada una fuente alternativa de agua viable para consumo urbano en regiones áridas y costeras, tales como California, Florida, el Mediterráneo y Oriente Medio. Sin embargo, el empleo de esta tecnología para la obtención de nuevos recursos hídricos

no está exenta de críticas (Dickie, 2007), ya que el crecimiento de la desalinización se está produciendo a costa de un considerable consumo de energía, con su consecuente impacto ambiental. El coste de desalinizar el agua aumenta con la salinidad de la misma. Por tanto, la principal diferencia entre el coste de la desalinización de agua salobre y agua de mar es el consumo energético, que representa el 11% y el 44% de los costes totales respectivamente (Younos, 2005). La desalinización por ósmosis inversa es la técnica más empleada en España, porque es la tecnología de desalación con menor consumo energético (Melgarejo y Montaña, 2009). El volumen de agua utilizada y los datos de consumo de energía para este estudio se han tomado de la planta desalobrador "El Mojón", ubicada en San Pedro del Pinatar. Esta planta abastece de agua salobre desalinizada a la CRCC, que es la encargada de su gestión. La planta comenzó a utilizarse en 2002, emplea la tecnología de ósmosis inversa y tiene una producción de $2,2 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$.

Aunque el empleo de aguas residuales depuradas para riego de cultivos destinados al consumo humano suscita mucha preocupación a los consumidores y a las autoridades sanitarias, la **reutilización** se considera una solución para la escasez de agua y para mejorar el reciclaje de nutrientes (Styczen *et al.*, 2010). En la Región de Murcia se trataron 115 hm^3 de aguas residuales en 2011 (ESAMUR, 2013). El consumo de energía en el proceso de depuración del agua depende del tamaño de la planta, de la cantidad de materia orgánica eliminada, el tipo del reactor biológico empleado, y de si se produce tratamiento terciario (Hernández-Sancho *et al.*, 2010). En la Región de Murcia el consumo medio de energía específica en las estaciones depuradoras se incrementó de $0,56 \text{ kWh m}^{-3}$ a $0,65 \text{ kWh m}^{-3}$ entre 2006 y 2009, debido al aumento del número de depuradoras que realizan el tratamiento terciario (ESAMUR, 2013). Los datos utilizados en este estudio fueron proporcionados por la Entidad de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia (ESAMUR). El volumen de agua tratada y el consumo de energía se obtuvieron de las cuatro estaciones de depuración de aguas residuales, con tratamiento

terciario (Torre Pacheco, Balsicas-Roldán, Fuente Álamo y La Aljorra) que proveían de agua reutilizada a la CRCC durante el periodo analizado.

Las CCRRs en España son asociaciones colectivas que gestionan la distribución de agua de riego a las explotaciones agrícolas de su zona regable; como ya se expuso en el Capítulo III. Las principales características de las CCRRs analizadas en este estudio se muestran en la Tabla 10.2.

Tabla 10.2. Principales características de las CCRRs analizadas en el periodo 2002-2011.

	Comunidades de regantes		
	CRCC	CRTCC	CRM
Superficie regada (Sr; ha)^a	30.831-34.131	2.882-3.131	1.182-1.283
Volumen anual suministrado (Vs; hm³)^a	17,88-104,50	6,84-12,06	3,38-4,86
Regantes (nº)	2.962	350	972
Fuentes de agua (%)^a			
Superficial	1-10	-	-
Subterráneas	0-20	0-82	100
Trasvase Tajo-Segura	70-97	18-100	-
Desalada	1-7	-	-
Reciclada	0-2	-	-
Método de distribución	Por turnos	A la demanda	A la demanda
Principal sistema de riego	Localizado (96%)	Localizado (100%)	Localizado (100%)

^a mínimo y máximo valor en el periodo 2002-2011.

Los datos para poder analizar el consumo hídrico y energético de estas CCRRs fueron proporcionados por los gestores de las mismas, procediendo fundamentalmente de sus bases de datos.

El manejo del sistema de riego en parcela está condicionado por el sistema de distribución de la CCRR. Las dos alternativas más comunes son:

- Parcelas con su propio sistema de bombeo. En la CRCC la distribución del agua se organiza por turnos. Los agricultores captan el agua de las tomas de riego de la red colectiva presurizada y la almacenan en sus balsas particulares.

Posteriormente cada agricultor tiene un sistema de bombeo propio para suministrar al agua la presión necesaria para el correcto funcionamiento de su sistema de riego, circunstancia por la que se produce un consumo extra de energía en parcela.

- Parcelas sin sistema de bombeo propio. En la CRTCC y la CRM se suministra el agua mediante la red colectiva presurizada y a la demanda. Gracias a esta organización del sistema de distribución los agricultores pueden tener conectados sus sistemas de riego directamente a la red colectiva, con lo que aprovechan la presión disponible en la misma y no necesitan un consumo adicional de energía para el riego en sus explotaciones.

El consumo total de energía en el agua de riego se obtuvo como la suma del consumo en las diferentes escalas de gestión del agua: cuenca, CCRR y parcela (Fig. 10.1).

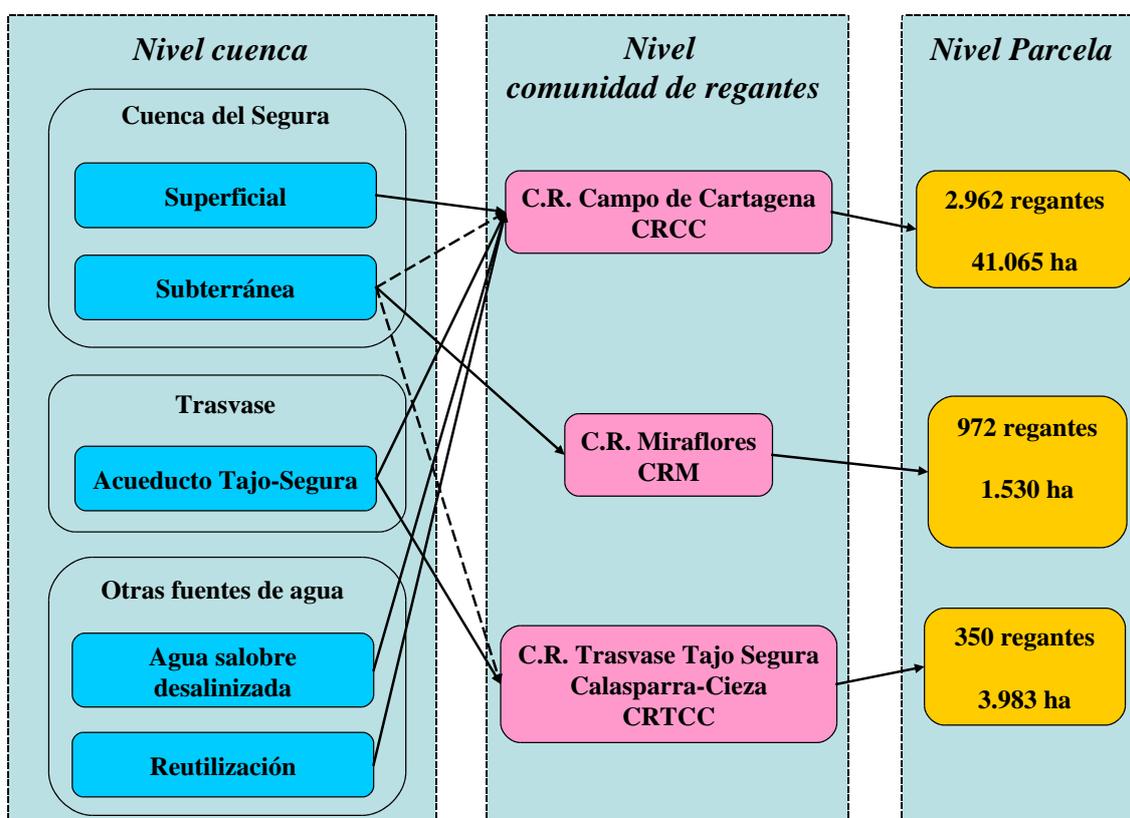


Figura 10.1. Esquema de las escalas de gestión consideradas para obtener el consumo de energía global del agua de riego en la Región de Murcia.

Los datos necesarios para calcular los indicadores en parcela fueron obtenidos a través de encuestas realizadas a los agricultores. Estas encuestas se realizaron con el fin de caracterizar la actividad de los agricultores en el año 2011, tal como se ha comentado en el Capítulo IV.

10.3. CONSUMO DE ENERGÍA POR ESCALAS DE GESTIÓN

La Tabla 10.3 presenta el valor medio y el rango de variación durante el periodo de estudio de la energía específica (EacVs) consumida en cada escala de gestión y para cada CCRR. La EacVs en el nivel de la cuenca se obtuvo mediante la ponderación del consumo de energía en función del porcentaje de agua suministrada de cada fuente.

Tabla 10.3. Energía específica (EacVs) por CCRR. Valor medio y rango de variación en el período 2002-2011.

Escala de gestión	Comunidades de regantes					
	CRCC		CRTCC		CRM	
	medio (kWh m ⁻³)	rango (kWh m ⁻³)	medio (kWh m ⁻³)	rango (kWh m ⁻³)	medio (kWh m ⁻³)	rango (kWh m ⁻³)
Escala de cuenca						
Superficial	0,06	0,04-0,10	-	-	-	-
Subterránea	0,95	0,94-0,96	0,90	0,89-0,91	0,81	0,80-0,82
Trasvase	0,98	0,94-1,01	0,98	0,94-1,01	-	-
Desalinizada	1,40	0,83-1,69	-	-	-	-
Reutilizada	0,78	0,72-0,86	-	-	-	-
Total escala cuenca (1)^a	0,95	0,87-1,02	0,95	0,91-1,01	0,81	0,80-0,82
Escala de CCRR (2)	0,16	0,14-0,20	0,18	0,16-0,20	0,15	0,15-0,16
Escala de parcela (3)	0,17	0,16-0,19	-	-	-	-
Total energía específica (1+2+3)	1,33	1,20-1,55	1,18	1,10-1,25	0,99	0,95-1,02

^a Obtención de la energía específica mediante la ponderación del consumo de energía en función del porcentaje de agua suministrada de cada fuente.

El agua superficial se empleó sólo en la CRCC, siendo su valor medio de EacVs de 0,06 kWh m⁻³, y oscilando entre 0,04 y 0,10 kWh m⁻³ (Tabla 10.3). Este valor medio es similar al indicado en EEUU para esta fuente de agua (WWAP, 2012). El agua superficial utilizada en la CRCC varió de 1 al 10% del agua total suministrada (Tabla 10.2), por lo que su

impacto relativo en el consumo total de energía fue el más bajo. El uso de una mayor cantidad de agua superficial sería lo deseable desde un punto de vista energético, debido a que su EacVs es la más baja. Sin embargo por lo general es la fuente más sensible a la sequía, por lo que su disponibilidad es escasa e irregular en la Región de Murcia.

Las aguas subterráneas fueron empleadas en todas las CCRRs. Los valores medios de EacVs fueron de 0,95 kWh m⁻³ para CRCC, 0,90 kWh m⁻³ para CRTCC y 0,81 kWh m⁻³ para CRM. Las variaciones del consumo de energía de la extracción de aguas subterráneas se debe a la diferencia de las características de los diferentes sondeos y a la modificación de los niveles piezométricos durante el periodo de estudio. Los valores de EacVs obtenidos fueron superiores a los indicados en California (0,14-0,69 kWh m⁻³) por Plappally y Lienhard (2012).

El Trasvase Tajo-Segura fue la fuente principal de agua en la CRCC y la CRTCC. Concretamente este aporte representó entre el 70 y el 97% del volumen total distribuido por la CRCC, y el 100% en la CRTCC, excepto en los años de sequía, donde se produjo una reducción del porcentaje en la CRTCC hasta el 82% (Tabla 10.2). El valor de EacVs obtenido para el agua trasvasada es el misma en la CRCC y en la CRTCC (0,98 kWh m⁻³), ya que ambas captan el agua en el mismo tramo del Postrasvase. Este consumo fue ligeramente inferior al consumo de energía medio del Trasvase Tajo-Segura (1,21 kWh m⁻³) (Melgarejo y Montaña, 2009).

El agua salobre desalinizada sólo se empleó en la CRCC, que es la más cercana a la costa. Esta fuente presenta los más altos valores de EacVs (1,4 kWh m⁻³), de acuerdo al rango característico del agua salobre desalinizada (1-1,5 kWh m⁻³) indicado por Melgarejo y Montaña (2009). El porcentaje de agua salobre desalinizada fue bastante pequeño en comparación con el agua distribuida por la CRCC (1-7%, Tabla 10.2) y, en consecuencia, apenas influyó en el consumo total de energía. El consumo de energía para la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa es muy superior al valor obtenido para la desalinización del agua salobre en la CRCC, estando comprendidos en un rango entre 3,5 y 5 kWh m⁻³ (Melgarejo y Montaña, 2009).

La reutilización sólo se empleó en la CRCC. La CRCC comenzó a utilizar este recurso en el año 2008 como consecuencia de la disminución considerable de los recursos procedentes del Trasvase y de la construcción de nuevas plantas depuradoras en su comarca con tratamiento terciario. El volumen de agua reutilizada ha aumentado año tras año desde entonces, aunque el volumen máximo durante el periodo de estudio sólo ha alcanzado el 2% del agua distribuida por la CRCC (Tabla 10.2). Algunos autores han atribuido el bajo uso de esta fuente de agua en las CCRRs a la estricta legislación vigente, que impone unos controles para garantizar una determinada calidad microbiológica en función del tipo de cultivo que se va a regar (García y Casañas, 2010). La EacVs del agua reutilizada fue de 0,78 kWh m⁻³ (Tabla 10.3), un valor parecido a los obtenidos en California, donde la horquilla está entre 0,30-0,50 kWh m⁻³ para el tratamiento secundario, y el tratamiento terciario supone 0,25 kWh m⁻³ adicionales (Cabrera, 2011). La reutilización ofrece importantes ventajas medioambientales, ya que reduce la presión sobre los recursos hídricos convencionales, y al mismo tiempo reduce la contaminación de los ríos, lagos y playas. De esta forma, los efectos negativos sobre las aguas superficiales y subterráneas se reducen (Plappally *et al.*, 2012).

Por tanto, en relación con el consumo de energía específica obtenido, lo aconsejable sería el empleo de las fuentes de agua por este orden: superficial, reutilización, subterránea, Trasvase y agua salobre desalinizada. Las medidas para el ahorro de energía a nivel de cuenca son las más interesantes, ya que en este nivel se produce el mayor consumo de energía, suponiendo el 71% del total de EacVs en la CRCC, y el 82% en CRTCC y CRM.

Como ya se ha indicado, el método de distribución del agua en la CRCC es por turnos, siendo el sistema de riego localizado el mayoritario en su zona regable. Por ello, los agricultores deben almacenar el agua proporcionada por la CRCC en sus balsas de riego particulares, para poder regar diariamente sus parcelas. Como consecuencia la presión disponible en las tomas de riego de la red colectiva no es aprovechada. Esto produce

un consumo adicional de energía en parcela, necesario para el correcto funcionamiento de los sistemas de riego.

En la CRTCC y la CRM el método de distribución del agua es a la demanda. Los agricultores de estas CCRRs tienen conectados sus sistemas de riego a los hidrantes de las redes colectivas, con lo que aprovechan la presión disponible para el funcionamiento de sus equipos de riego. De esta manera se evita un consumo de energía adicional en parcela.

La EacVs de la CRCC a escala de comunidad de regantes y de parcela fue de 0,16 kWh m⁻³ y 0,17 kWh m⁻³ respectivamente (Tabla 10.3), alcanzando la suma los 0,33 kWh m⁻³. La EacVs de la CRTCC y la CRM a escala de comunidad de regantes fue de 0,18 y 0,15 kWh m⁻³ respectivamente, no existiendo un consumo de energía adicional para riego en parcela, tal como se ha comentado.

La disposición de un sistema de distribución a la demanda, al que se pueden conectar directamente los sistemas de riego en parcela, ha propiciado un ahorro de energía del 47 y el 54% en la CRTCC y en la CRM respectivamente, con respecto a la suma de EacVs requerida a escala de CCRR y de parcela en la CRCC.

Otros estudios en parcela han indicado que el consumo medio de energía para el riego localizado en España es de 0,18 kWh m⁻³ (Corominas, 2009). Este valor es similar al obtenido en la CRCC (0,17 kWh m⁻³). Valores más altos se han publicado para Australia, donde el riego localizado presenta un consumo de energía en parcela de 0,22 kWh m⁻³ (Ahmad y Khan, 2009).

La Fig. 10.2 muestra el porcentaje de cada fuente de agua y los valores totales de EacVs para cada CCRR y durante el período de estudio. En la CRCC el Trasvase proporcionó entre el 88 y el 97% del agua en los años considerados como normales (2002, 2003, 2004 y 2011). El volumen restante 12-3% fue agua salobre desalinizada, agua superficial y agua reutilizada (Fig. 10.2a). La EacVs total en este período estuvo comprendida entre 1,20 y 1,32 kWh m⁻³. En el periodo 2006-2009 hubo una sequía

intensa y prolongada, circunstancia por la que la CHS autorizó al SCRATS su abastecimiento con aguas subterráneas provenientes de “pozos de sequía”. Este periodo de sequía también impulsó el empleo de la reutilización y un mayor uso del agua desalinizada. Como consecuencia la EacVs aumentó en este período, llegando a 1,55 kWh m⁻³ en 2006.



Figura 10.2. Evolución de las fuentes de agua y la energía específica (EacVs) para cada CCRR durante en el periodo de estudio. a) CRCC; b) CRTCC; c) CRM.

En la CRTCC los recursos proceden habitualmente del Trasvase Tajo-Segura, aunque durante el periodo 2005-2010 la CHS autorizó la captación de las aguas subterráneas para mitigar los efectos de la sequía, que alcanzaron un porcentaje del total de agua suministrada de entre el 23 y el 82% (Fig. 10.2b). La EacVs en la CRTCC se mantuvo bastante uniforme durante el periodo de estudio ya que el valor de EacVs para ambas fuentes de agua fue similar: 0,98 kWh m⁻³ para el Trasvase y 0,95 kWh m⁻³ para las aguas subterráneas.

En la CRM el valor de EacVs también fue bastante uniforme, variando entre 0,95 y 1,02 kWh m⁻³, con un valor medio de 0,99 kWh m⁻³ (Fig. 10.2c). El uso de una única fuente de agua (aguas subterráneas) justifica la uniformidad de este indicador.

Resumiendo, el valor medio anual de EacVs para las CCRRs analizadas fue de 1,17 kWh m⁻³, variando entre 0,95 y 1,55 kWh m⁻³ (Tabla 10.3). Este valor es muy superior a la EacVs media para los sistemas de riego localizado en España, que según Corominas (2009) es 0,53 kWh m⁻³. La principal razón que justifica esta gran diferencia es que el 79% del agua empleada para riego en España es de origen superficial (INE, 2013), siendo el recurso que presenta una menor energía específica, mientras que en la zona de estudio solo la CRCC ha empleado aguas superficiales, representando sólo un 6% de los recursos consumidos.

10.4. RELACIÓN ENTRE EL CONSUMO DE ENERGÍA Y AGUA

En la Fig. 10.3 se representa la evolución del suministro de agua por unidad de área regada (VsSr) y la energía activa consumida por unidad de superficie regada (EacSr) durante el periodo de estudio en la CRCC (Fig. 10.3a), la CRTCC (Fig. 10.3c) y la CRM (Fig. 10.3e). La Fig. 10.3 también evalúa la sensibilidad de la energía específica (EacVs) frente a la variación de VsSr mediante análisis de regresión potencial entre estas variables en la CRCC (Fig. 10.3b), la CRTCC (Fig. 10.3d) y la CRM (Fig. 10.3f).

Se observa una gran sensibilidad a la sequía en la CRCC, ya que VsSr disminuye un 70% entre el periodo con normal disponibilidad de

recursos (2002, 2003, 2004 y 2011) y el periodo de sequía (2006-2009). Esta sensibilidad se debe a que la principal fuente de agua en la CRCC es el Trasvase Tajo-Segura, que está vinculado principalmente a los recursos superficiales existentes en la cabecera del Tajo, además de las decisiones sobre la autorización de estos trasvases. Se observa cierto paralelismo entre E_{acSr} y V_{sSr} (Fig. 10.3a), aunque el análisis de regresión entre E_{acVs} y V_{sSr} (Fig. 10.3b) pone de manifiesto que para valores menores de V_{sSr} aumenta E_{acVs} . Este comportamiento implica una disminución de la eficiencia energética del sistema durante los periodos de escasez de agua, debida principalmente a tres motivos: (a) durante la sequía se produce una disminución de los recursos superficiales y de los procedentes del Trasvase, aumentando el porcentaje del consumo de otros recursos con mayor energía específica (aguas subterráneas, reutilización y agua salobre desalada); (b) la eficiencia de distribución del sistema (ED) disminuyó en los periodos de sequía, pasando del 98% en el periodo normal de suministro al 89% en los años más secos, ya que las pérdidas de agua por fugas y evaporación se mantienen prácticamente constantes, representando un porcentaje más alto del volumen distribuido a medida que disminuye el suministro; y (c) el rendimiento hidráulico de los grupos de bombeo disminuye cuando se manejan caudales inferiores a los que se consideraron en su diseño, afectando por tanto a su rendimiento energético.

La CRTCC muestra una sensibilidad a la sequía intermedia, con una disminución del 33% en V_{sSr} durante el periodo seco (Fig. 10.3c). El comportamiento de la CRTCC debería ser similar a la CRCC, ya que en condiciones normales se abastece exclusivamente del Trasvase Tajo-Segura. Sin embargo, la CHS autoriza la incorporación de aguas subterráneas procedentes de pozos propios en los periodos de sequía, lo que permite paliar los efectos de la sequía en la CRTCC. Este menor descenso en V_{sSr} hace que el efecto de la sequía en la ED también sea menor que en la CRCC, ya que solamente disminuye del 96 al 92%. La Fig. 10.3d muestra un ligero descenso de la energía específica para valores bajos de V_{sSr} , resultado que está justificado por el mayor porcentaje de

agua subterránea durante la sequía, con menor energía específica que el agua trasvasada.

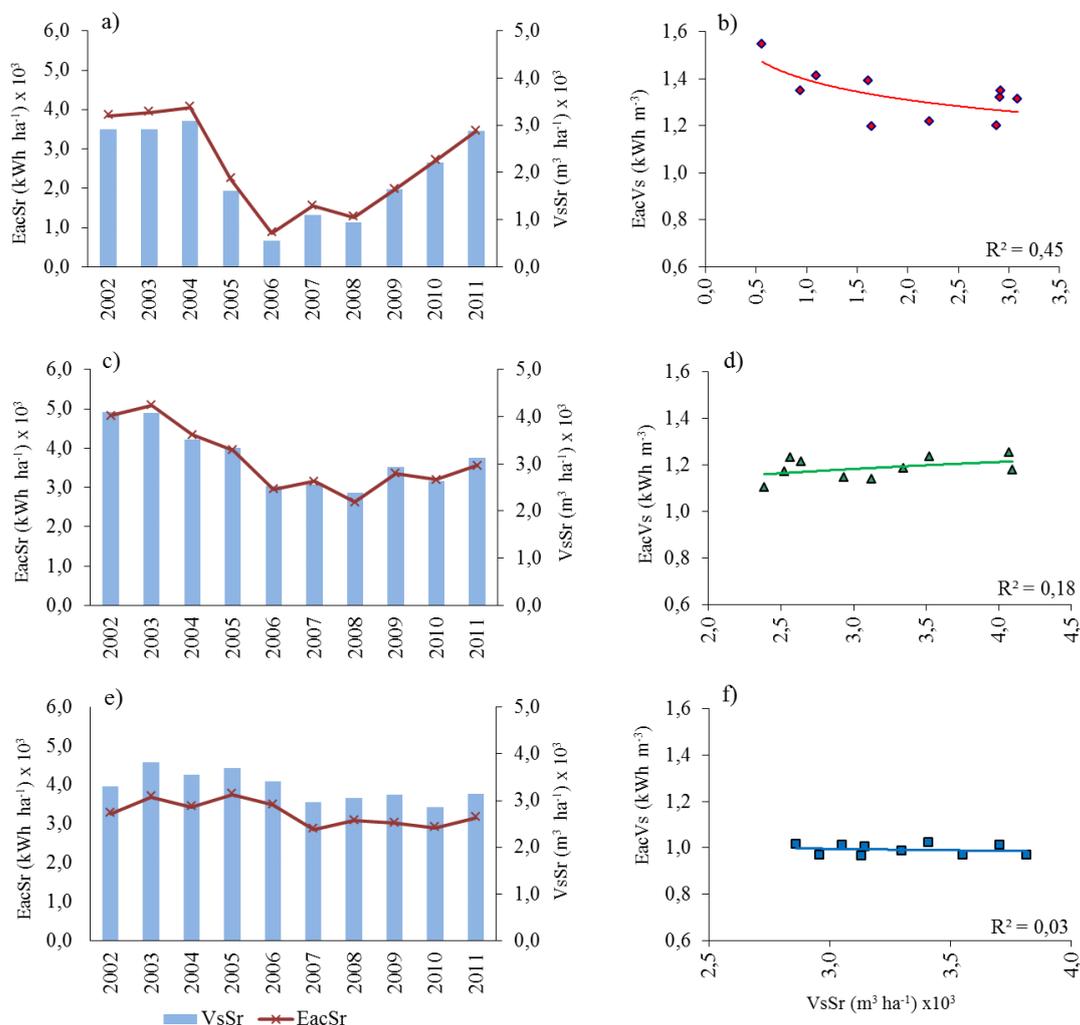


Figura 10.3. Evolución del suministro de agua por unidad de área regada (VsSr) y la energía activa consumida por unidad de superficie regada (EacSr) del 2002 al 2011 en la CRCC (a), la CRTCC (c) y la CRM (e). Relación entre el volumen suministrado de agua por unidad de área regada (VsSr) y la energía específica (EacVs) en la CRCC (b), la CRTCC (d) y la CRM (f).

El comportamiento de la CRM es completamente distinto al observado en la CRCC. Apenas se observa sensibilidad a la sequía ya que VsSr sólo disminuyó un 9% durante el periodo seco (Fig. 10.3e). Las escasas variaciones en VsSr explican el valor casi constante de la ED, que tan sólo oscila entre el 97% del periodo normal de suministro y el 95% en los años de mayor sequía. Este comportamiento independiente de los ciclos

de sequía se debe a que la CRM se abastece exclusivamente de agua subterránea, recurso afectado en menor medida por los ciclos hidrológicos que las aguas superficiales y del Trasvase. Aun así la Fig. 10.3f muestra una ligera tendencia a aumentar en EacVs frente a valores de decrecientes de VsSr, circunstancia que puede estar justificada por descensos en los niveles piezométricos durante los periodos de sequía, con el consecuente aumento de la energía específica requerida para la extracción del agua por los grupos de bombeo.

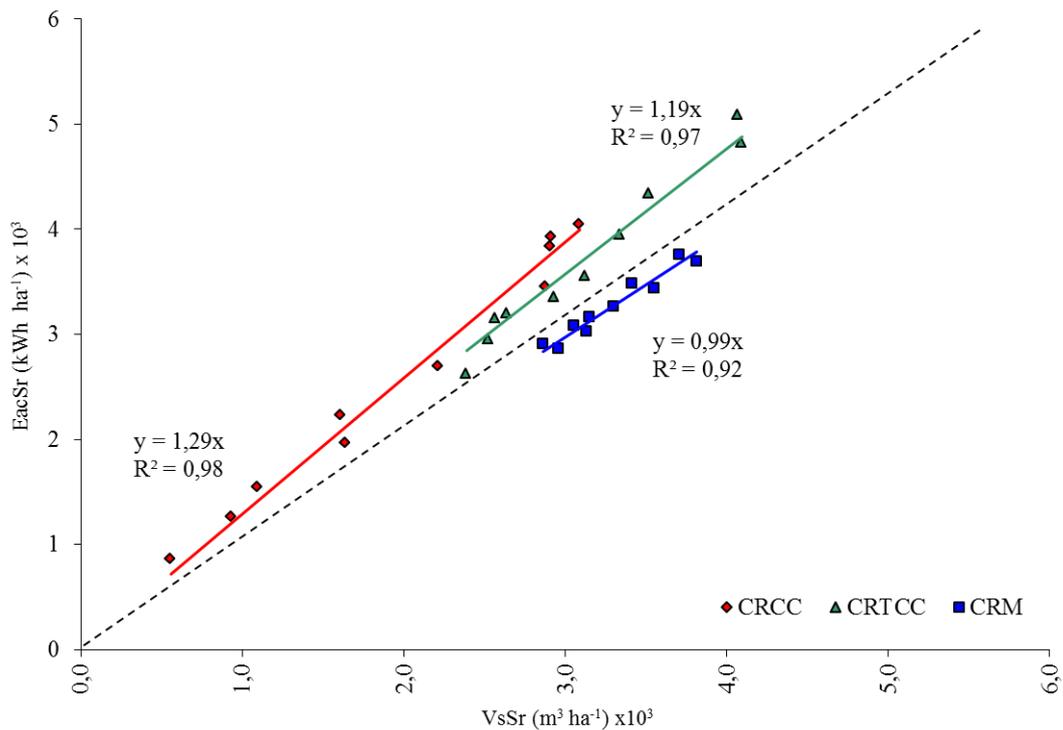


Figura 10.4. Relación entre la energía activa consumida por unidad de superficie regada (EacSr) y el suministro de agua por unidad de área regada (VsSr) en cada CCRR.

La Fig. 10.4 muestra la relación entre EacSr y VsSr, que presenta una clara relación lineal para cada CCRR ($R^2 = 0,98, 0,97$ y $0,92$ en la CRCC, la CRTCC y la CRM, respectivamente). La pendiente de la regresión lineal (forzada al origen) representa el cociente entre la energía anual consumida y el volumen de agua suministrada, es decir, el EacVs total medio de cada CCRR. Por cada m^3 de agua aplicada, el mayor consumo de energía se produjo en la CRCC y el menor en la CRM, presentando la CRTCC un valor intermedio. Estos valores ratifican los valores obtenidos en

la Tabla 10.3. La reducción de VsSr en los periodos secos supuso una mayor reducción de EacSr en aquellas CCRRs con mayor pendiente (Fig. 10.4).

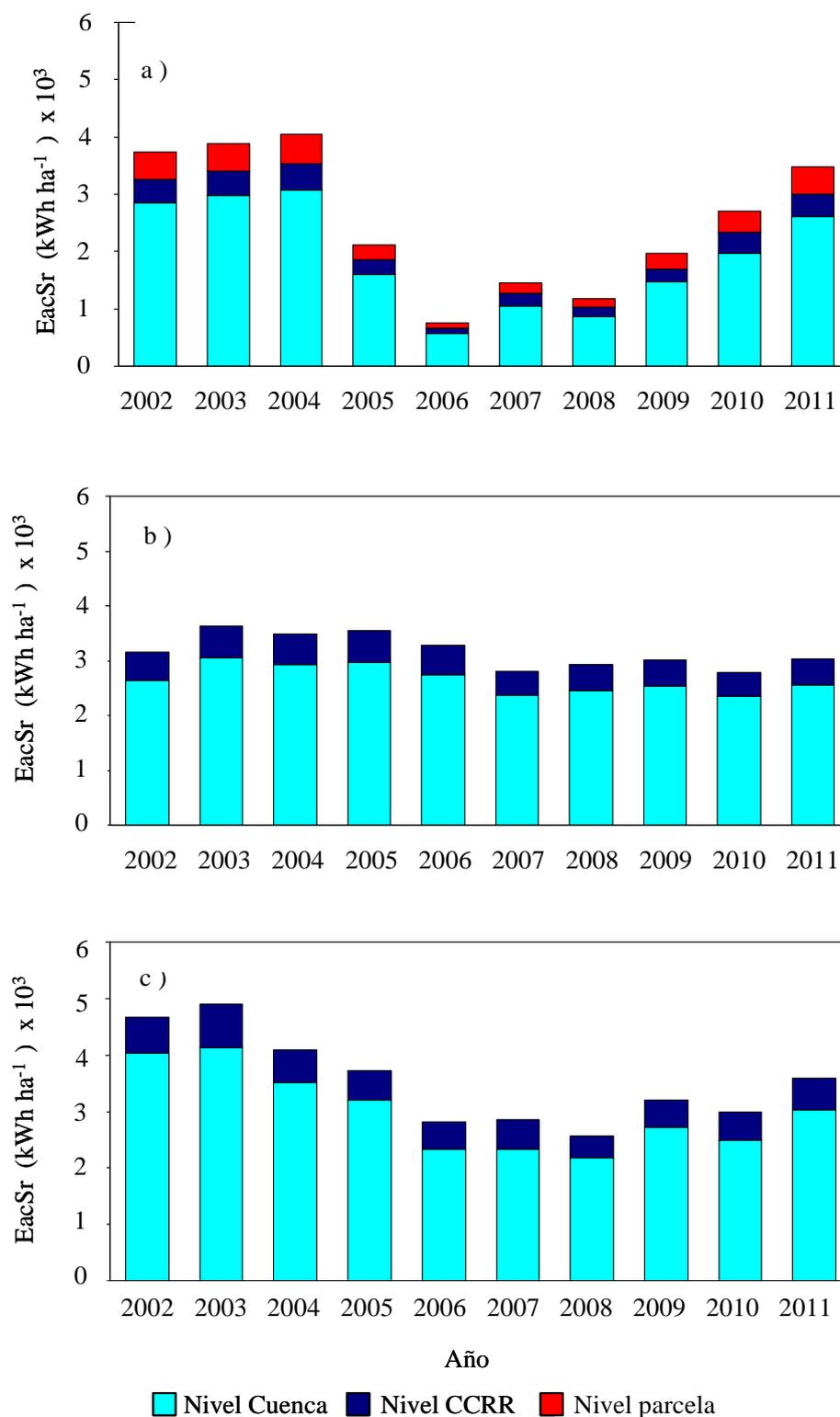


Figura 10.5. Evolución de la energía activa consumida por unidad de superficie regada (EacSr) por escalas de gestión desde el 2002 al 2011 en la CRCC (a), la CRM (b), y la CRTCC (c).

La Fig. 10.5 recoge el valor anual de EacSr en cada escala de gestión, así como la EacSr total en cada CCRR. El valor medio de la EacSr total varió entre 2.586 kWh ha⁻¹ en la CRCC y 3.707 kWh ha⁻¹ en la CRTCC. En España, con la aplicación de unos 5.000 m³ ha⁻¹ por los sistemas de riego localizado, se estima que la energía requerida es aproximadamente de 2.640 kWh ha⁻¹ (Corominas, 2009).

A escala de cuenca el rango de la EacSr estuvo comprendido entre 1.891 kWh ha⁻¹ para la CRCC y 2.997 kWh ha⁻¹ en la CRTCC. En las CCRRs EacSr varió entre 314 kWh ha⁻¹ en la CRCC y 544 kWh ha⁻¹ en la CRTCC. Finalmente, en parcela EacSr fue 0 kWh ha⁻¹ para la CRTCC y la CRM, mientras que tuvo un valor medio de 327 kWh ha⁻¹ en la CRCC.

10.5. EFECTOS DE LA MODERNIZACIÓN EN LOS INDICADORES ENERGÉTICOS

El efecto de la modernización se evaluó comparando el valor de los indicadores energéticos empleados antes y después de este proceso. Se procuró seleccionar para la comparación años con similar VsSr ya que el efecto de la escasez de agua en los indicadores es elevado (Capítulo VII) y, con esta consideración, las variaciones observadas en los indicadores pueden atribuirse principalmente al proceso de modernización.

Los años comparados en la CRCC fueron 2002 (antes de la modernización) y 2011 (después de la modernización). Cabe señalar que VsSr fue prácticamente el mismo en esos años (-1,1% de variación), y que también hubo sólo pequeñas variaciones en la fuente de los recursos empleados. EacVs tuvo a una disminución del 9% que puede atribuirse: (a) al aumento de la ED del 96% al 99% debido al proceso de modernización, (b) a una mejor gestión y control de los grupos de bombeo debido a la asimilación de control remoto y tecnologías de automatización en el proceso de modernización, y (c) al aumento del porcentaje de agua superficial en el conjunto de las fuentes de agua disponibles, que pasó de 1 a 10% entre 2002 y 2011. Como consecuencia de la reducción en EacVs, el EacSr experimentó una disminución casi proporcional (10%).

Los años seleccionados para la CRTCC fueron 2005 (antes de la modernización) y 2011 (después de la modernización). En este caso no fue posible encontrar una combinación de años con una variación de VsSr menor al 5,7%, que es la disminución que se produjo entre 2005 y 2011. Cabe señalar que en 2005 el 37% de los recursos empleados fueron subterráneos, mientras que en el 2011 todos procedieron del Trasvase Tajo-Segura. Aunque el agua subterránea tiene una energía específica más baja que el agua procedente del Trasvase para la CRTCC (Tabla 3), se observó una reducción del 4% en EacVs entre 2005 y 2011, dejando claro que se produjo una mejora en la eficiencia energética del sistema. Esta mejora puede atribuirse principalmente al incremento de la ED de 93% a 99% y la asimilación de las nuevas tecnologías, ambas consecuencia del proceso de la modernización. La EacSr experimentó una disminución del 10% entre 2005 y 2010, casi el doble que VsSr, evidenciando también una mejora en la eficiencia del sistema.

Como se indicó anteriormente, la modernización de la CRM ya había finalizado en 2002, por lo que el efecto de la modernización en los indicadores energéticos no se ha podido analizar en esta CCRR.

10.6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Tres escalas de gestión están implicados en el suministro de agua para el riego de los cultivos: cuenca hidrográfica, comunidad de regantes y parcela. El análisis correcto del consumo de energía en cada escala de gestión es necesario para poder conocer el valor global de los indicadores energéticos asociados a la producción agrícola de regadío. La clara diferenciación y asignación de costes energéticos en cada escala también es fundamental para poder realizar análisis comparativos locales o regionales (benchmarking), ya que la falta de referencia a dicha diferenciación puede llevar a interpretaciones erróneas.

Del presente estudio se desprende que el mayor consumo de energía por metro cúbico del agua suministrada o energía específica (EacVs) se produce a escala de cuenca, representando entre un 71 y un

82% del total. A escala de cuenca el factor que más influye en el consumo de energía es el origen del agua, siendo el agua superficial la que presenta menor EacVs, y el agua salobre desalinizada la de mayor (Fig. 10.6). La EacVs consumida en las CCRRs representa entre el 12 y el 15% del total, con valores muy similares en las tres CCRRs consideradas. En parcela, la disponibilidad de presión en las redes colectivas de riego elimina el consumo de energía adicional del sistema de riego cuando la organización es a la demanda, mientras que implicaba la re-presurización del sistema de riego cuando la organización es por turnos. En este último caso, la EacVs en parcela representa el 13% del total.

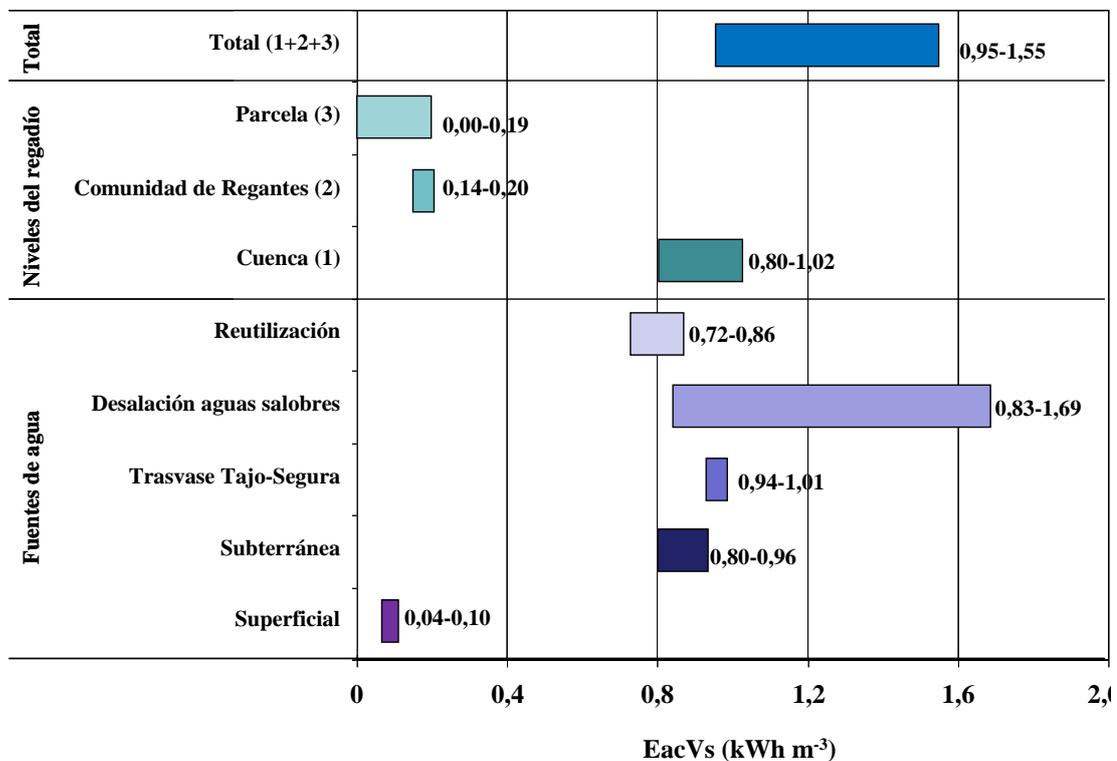


Figura 10.6. Consumo de energía específica (EacVs) en las diferentes escalas de gestión del agua para riego en la Región de Murcia.

El valor medio de la EacVs para las CCRRs seleccionadas fue de 1,17 kWh m⁻³, lo que significa más del doble del valor medio para los sistemas de riego localizado en España. Esta gran diferencia es inherente a la escasez habitual de aguas superficiales en las zonas semiáridas, donde otros recursos de agua con mayores requerimientos de energía específica son aprovechados para riego (reutilización de aguas regeneradas, aguas

subterráneas o aguas salobres desalinizadas), o provienen de otras cuencas mediante trasvases (Acueducto Tajo-Segura).

El análisis del efecto de la escasez de agua durante los periodos de sequía sobre los indicadores energéticos pone de manifiesto una respuesta muy distinta de las CCRRs en función del origen de sus recursos hídricos. Así, la CRCC, que se abastece principalmente de Traslase Tajo-Segura, presenta una disminución del 70% en el volumen de agua suministrada por área regada ($VsSr$) durante el periodo de sequía. En contraposición la CRM apenas muestra sensibilidad a la sequía, ya que se abastece exclusivamente de aguas subterráneas.

El consumo de energía por superficie regada ($EacSr$) presenta una variación paralela a la del $VsSr$ a lo largo del periodo de estudio en todas las CCRRs. Sin embargo, $EacVs$ muestra valores bastante uniformes para distintos niveles de $VsSr$, destacando únicamente la tendencia a incrementarse para valores bajos de $VsSr$. Este comportamiento se debe principalmente a la disminución de la eficiencia de distribución (ED) durante el periodo de sequía.

Respecto a los indicadores energéticos, los procesos de modernización analizados sólo produjeron pequeñas mejoras en el uso de energía ($EacSr$) y en la eficiencia del uso de la energía ($EacVs$). Este resultado contrasta con el indicado por otros autores para el caso de CCRRs en las que la modernización ha implicado la presurización de las redes de distribución, situación en la que se suele producir un aumento muy importante de los costes de gestión como resultado del aumento de la energía consumida.

En resumen, a escala de cuenca, la Administración debe optimizar la gestión de los recursos hídricos disponibles con el fin de priorizar el uso de aquéllos con menor energía específica. En las CCRRs se propone utilizar técnicas de manejo que permitan agrupar la demanda en función de los requerimientos de presión (agrupando las tomas de riego en los sectores) y aprovechar la capacidad de control y gestión que ofrecen las nuevas tecnologías, así como la realización de auditorías energéticas. También ha

quedado patente que la organización a la demanda de la distribución de agua en la red de riego permite aprovechar en parcela la presión disponible en la red colectiva de riego, y eliminar así el consumo de energía a este nivel. Para poder conseguir un regadío sostenible la Administración debe seguir promoviendo las buenas prácticas en la agricultura de regadío para mejorar la eficiencia en el uso del agua y la energía.

Capítulo XI

CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO. ANÁLISIS DE ESCENARIOS ALTERNATIVOS DE SUMINISTRO HÍDRICO

B. Martín Górriz, V. Martínez Álvarez, M. Soto García

En este capítulo se abordan dos objetivos. En primer lugar se pretende caracterizar el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociados a las prácticas agrícolas de los principales cultivos de regadío de la zona de estudio. Posteriormente se analiza la influencia del uso de recursos hídricos de fuentes alternativas en dichos consumos y emisiones de GEI. Para ello se plantean distintos escenarios futuros de suministro para riego basados en la incorporación de agua marina desalinizada como alternativa a la reducción prevista en los recursos hídricos disponibles a causa del cambio climático.

11.1. ÁMBITO Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

La escasez de agua y los impactos ambientales producidos por el consumo de energía son de los desafíos más importantes que tiene actualmente la humanidad. Esta problemática se está agravando con el crecimiento de la población y el aumento de la clase media en los países en desarrollo, provocando una fuerte presión sobre los recursos hídricos y energéticos (McGinnis y Elimelech, 2008). En el futuro se espera un agravamiento de esta situación, debido a la reducción prevista de los recursos hídricos disponibles por el cambio climático, siendo la región mediterránea la zona más sensible de Europa (Giorgi y Lionello, 2008).

En España el agua es el elemento clave a considerar al encarar el cambio climático y poder adaptarse al mismo. Teniendo en cuenta que en el sur y este español se presentan los mayores problemas de escasez de

agua, con periodos de sequía recurrentes, se espera un aumento de la tensión sobre el uso del agua en esta zona (Vargas-Amelin y Pindado, 2013). En este sentido, un estudio publicado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) en 2011 predice una reducción generalizada de las precipitaciones y disponibilidad de agua en España (del 5%, 9% y 17% en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente), con una mayor variabilidad en la costa mediterránea y en el sureste. Además, este estudio pronostica aumentos en la temperatura, la evaporación y la evapotranspiración, junto a una disminución de la recarga de acuíferos y de la escorrentía. Con el fin de aumentar los recursos hídricos disponibles, e incluso garantizar los suministros más estratégicos, la administración española ha planteado en la última década la desalinización de agua marina como solución alternativa. Sin embargo la tecnología de desalinización presenta actualmente una energía específica muchísimo mayor que el resto de fuentes de agua, por lo que la sostenibilidad de esta solución presenta gran incertidumbre.

Por todo lo expuesto, y considerando que la FAO (2011) estima en un 30% y 20% el consumo global de energía y las emisiones de GEI del sector agrícola respectivamente, la racionalización del uso del agua y la energía en el regadío es fundamental para combatir el calentamiento global. La mejora de la eficiencia energética en la agricultura no sólo minimiza la emisión de GEI y los impactos medioambientales, sino que también aumenta la competitividad por la reducción de costes asociada (Alluvione, 2011).

En este contexto los objetivos específicos de este estudio son: (1) caracterizar el consumo de energía y las emisiones de GEI debidas a las prácticas agrícolas que se realizan en los principales cultivos de la zona de estudio, y (2) cuantificar el efecto de la incorporación de recursos no convencionales en el consumo de energía y emisiones de GEI, análisis que se basará en el planteamiento de distintos escenarios de suministro hídrico asociados al cambio climático para los horizontes 2070 y 2100.

La caracterización del consumo de energía y de las emisiones de CO_{2eq} se va a realizar considerando los principales cultivos (lechuga, limonero, melón, alcachofa, brócoli, naranjo y mandarino) de la zona regable de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC), cuyas características se describen en el Capítulo IV.

La metodología aplicada considera tanto la energía directa como la indirecta de las prácticas agrícolas. El consumo directo se debe a la mano de obra y al consumo de energía eléctrica y combustible (diesel) durante la producción de los cultivos, mientras que el consumo indirecto de energía hace referencia a la energía consumida para producir los insumos, como fertilizantes, pesticidas, semillas, sistemas de riego y maquinaria agrícola (Pimentel, 1992). La energía equivalente empleada para la conversión de los insumos y de la producción de los diferentes cultivos se muestra en la Tabla 11.1.

La energía eléctrica directa empleada para el riego ha sido calculada a partir del consumo de agua por cultivo y la energía específica de las diferentes fuentes de agua (Capítulo X). Para poder comparar los resultados obtenidos con la bibliografía existente se ha dividido en (i) electricidad para riego en parcela y (ii) electricidad para riego hasta parcela. Las pérdidas por generación y transporte de la energía eléctrica se han estimado en un 70%, por lo que 1 kWh equivale a 12,1 MJ (Guzmán y Alonso, 2008). La energía consumida para producir los materiales empleados en los sistemas de riego de la explotaciones (equipos de bombeo, sistema de filtrado, tuberías y balsa de riego) se ha calculado siguiendo la metodología propuesta por Batty y Keller (1980), actualizando el factor de conversión de energía de la materia prima (Cleveland, 1995).

El consumo de energía indirecta de los fertilizantes y fitosanitarios se ha estimado multiplicando las cantidades aplicadas durante el cultivo por su energía equivalente (Tabla 11.1), donde se incluye el embalaje y transporte, excluyéndose el consumo de energía para la distribución de fertilizantes, debido a que en el este caso se aplican mediante el agua de riego.

La energía indirecta de la maquinaria agrícola ha sido calculada siguiendo la metodología propuesta por Bowers (1992), considerando 86,77 MJ kg⁻¹ para las materias primas empleadas, y 8,8 MJ kg⁻¹ para los procesos de fabricación. Además se ha incluido un 55% adicional (valor medio para todos los aperos) con el fin de considerar la energía necesaria para el mantenimiento de la maquinaria durante su ciclo de vida.

Tabla 11.1. Equivalencia de energía de los insumos y la producción agrícola.

Tipo	Unidad	Energía equivalente (MJ unidad ⁻¹)	Referencia
A. Energía directa			
Mano de obra	h	2,2	Fluck, 1992
Diesel	l	38,68	Bowers, 1992
Electricidad	kWh	12,1	Guzman <i>et al.</i> , 2008
B. Energía indirecta			
Maquinaria	kg	95,57	Bowers, 1992
Fertilizantes			
N	kg	76,5	Helsel, 1992
P ₂ O ₅	kg	15,9	Helsel, 1992
K ₂ O	kg	12,7	Helsel, 1992
Estiércol	kg	0,30	Helsel, 1992
Fitosanitarios			
Fungicidas	kg	199	Helsel, 1992
Insecticidas	kg	92	Helsel, 1992
Herbicidas	kg	239	Helsel, 1992
Materia vegetal			
Plántula	Unidad	0,2	Bojaca y Schrevens, 2010
Plantón	Unidad	9	Adaptada de Heichel, 1980
Acolchado (PE)	kg	79	http://www.asetub.es/
Sistema de riego			
Sistema de bombeo	kg	6.8	Adaptada de Batty y Keller, 1980
Tuberías de PE	kg	11.6	
Tuberías de PVC	kg	1.6	
Film PEAD de embalse	kg	2.13	
Movimiento de tierras	m ³	0.25 x 10 ⁻³	
C. Producción agrícola			
Alcachofa	kg	0,9	BEDCA, 2013
Brócoli	kg	1,1	BEDCA, 2013
Lechuga	kg	0,6	BEDCA, 2013
Melón	kg	1,1	BEDCA, 2013
Limón	kg	0,7	BEDCA, 2013
Mandarina	kg	1,7	BEDCA, 2013
Naranja	kg	1,6	BEDCA, 2013

En el caso de los cultivos hortícolas trasplantados, se incluyó una cantidad adicional de energía con el fin de tener en cuenta la producción en vivero (Bojaca y Schrevens, 2010). Para los plántones la cantidad de energía ha sido calculada siguiendo la metodología propuesta por Heichel (1980). Por último, el valor energético de la producción agrícola fue tomado de la Base de Datos Española de Composición de Alimentos (BEDCA, 2013). En el análisis de distintas alternativas de suministro hídricos se han considerado los mismos inputs y producciones para cada escenarios, excepto en lo referente a de energía para riego.

La eficiencia de la producción de los cultivos se puede medir utilizando diferentes indicadores (Nassi *et al.*, 2011; Pishgar-Komleh *et al.*, 2013). Estos indicadores se basan en la determinación del consumo de energía de los cultivos, de su producción, y del valor energético de dicha producción. En este estudio los considerados fueron: [1] eficiencia energética por cultivo (EEic), [2] productividad energética por cultivo (PEic) y [3] energía específica por cultivo (EicP).

$$EEic = \frac{\text{Valor energético de la producción}(\text{MJ ha}^{-1})}{\text{Insumo de energía}(\text{MJ ha}^{-1})} [1]$$

$$PEic (\text{kg MJ}^{-1}) = \frac{\text{Producción}(\text{kg ha}^{-1})}{\text{Insumo de energía}(\text{MJ ha}^{-1})} [2]$$

$$EicP (\text{MJ kg}^{-1}) = \frac{\text{Insumo de energía}(\text{MJ ha}^{-1})}{\text{Producción}(\text{kg ha}^{-1})} [3]$$

Las fuentes de emisión de GEI en la producción agrícola se pueden dividir en tres grupos principales: (a) las emisiones de GEI debidas al uso de combustibles fósiles y electricidad (Lal, 2004); (b) las emisiones de GEI debidas a la producción, el transporte, el almacenamiento y el empleo de fertilizantes y fitosanitarios (Lal, 2004); y (c) las emisiones de GEI en forma de NO₂ del suelo, producidas por la aplicación de fertilizantes nitrogenados (IPCC, 2006). Las cantidades de las emisiones de GEI de los insumos se calculan utilizando coeficientes de emisión de CO_{2eq} (Tabla 11.2). La cantidad de CO_{2eq} emitido se calculó multiplicando la tasa de aplicación de insumos (combustible diesel, fertilizantes, pesticidas y electricidad empleada para riego) por su correspondiente coeficiente de emisión. El

factor de emisiones de la electricidad incluye las emisiones debidas al consumo y las emisiones indirectas atribuibles a la extracción, producción y transporte de energía eléctrica, así como las pérdidas de transporte en la red. Para estos cálculos, se consideró que la electricidad en España es generada por diversas fuentes, con un factor de conversión medio de 0,264 kg CO_{2eq} kWh⁻¹ (Iberdrola, 2013). Al igual que para el análisis energético, en el análisis de las emisiones de GEI se han considerando las mismas condiciones de cultivo las distintas alternativas de suministro hídricos, excepto en lo referente al consumo de energía para el riego.

Las emisiones de GEI se muestran por superficie cultivada (EgeiSr) y kg de producto (EgeiP). Las emisiones de GEI (kg CO_{2eq} kg⁻¹) por kg de producto (EgeiP) se calcularon mediante la siguiente ecuación [4]:

$$\text{EgeiP (kg CO}_2\text{ eq kg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Emisiones GEI (kg CO}_2\text{ eq ha}^{-1}\text{)}}{\text{Producción (kg ha}^{-1}\text{)}} [4]$$

Tabla 11.2. Coeficiente de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) de los insumos.

Actividad	Gas	Factor de emisión	Unidad
A. Emisiones de GEI debidas al empleo de combustible y electricidad.			
- Electricidad ^a	CO ₂	0,264	kg CO _{2eq} kWh ⁻¹
- Combustible (Diesel)	CO ₂	74,1 x 10 ⁻³	kg CO _{2eq} MJ ⁻¹
	CH ₄	21 x 10 ⁻⁵	kg CO _{2eq} MJ ⁻¹
	NO ₂	1,9 x 10 ⁻⁵	kg CO _{2eq} MJ ⁻¹
B. Emisiones de GEI debidas a producción, transporte, almacenamiento y empleo productos químicos			
Fertilizantes			
- N	CO ₂	1,3	kg CO _{2eq} kg ⁻¹ N
- P ₂ O ₅	CO ₂	0,2	kg CO _{2eq} kg ⁻¹ P ₂ O ₅
- K ₂ O	CO ₂	0,15	kg CO _{2eq} kg ⁻¹ K ₂ O
Fitosanitarios			
- Fungicidas	CO ₂	3,9	kg CO _{2eq} kg ⁻¹
- Insecticidas	CO ₂	5,1	kg CO _{2eq} kg ⁻¹
- Herbicidas	CO ₂	6,3	kg CO _{2eq} kg ⁻¹
C. Emisiones de GEI de NO₂ procedentes del suelo debido a la aplicación de fertilizantes nitrogenados			
N ₂ O directo de insumos N (fertilizante y estiércol)	NO ₂	4,87	kg CO _{2eq} kg ⁻¹ N
N ₂ O directo de lixiviación o escorrentía de N	NO ₂	1,096	kg CO _{2eq} kg ⁻¹ N
N ₂ O indirecto de descomposición atmosférica de N volatilizado como NH ₃ y NO _x			
- Fertilizante sintético	NO ₂	0,487	kg CO _{2eq} kg ⁻¹ N
- Estiércol	NO ₂	0,974	kg CO _{2eq} kg ⁻¹ N

Valores obtenidos de IPCC (2006), Maraseni *et al.* (2012) y Soni *et al.* (2013).

^aIberdrola (2013)

Los datos necesarios para el cálculo de los indicadores energéticos de la producción agrícola y sus emisiones de GEI en el escenario de referencia se obtuvieron mediante encuestas a los agricultores y consultas a la estadística regional, tal como se expone en el Capítulo IV.

11.2. ESCENARIOS PROPUESTOS

En las zonas áridas y semiáridas es frecuente que los agricultores empleen agua de diferentes procedencias, y con variaciones importantes de su contribución a lo largo del año (Downward y Taylor, 2007). Las fuentes de agua utilizada actualmente por los agricultores de la zona regable de la CRCC, tal como se ha comentado en capítulos anteriores, son: agua superficial, agua subterránea, Traslase Tajo-Segura, agua salobre desalinizada y agua procedente de la reutilización. Todos estos recursos son distribuidos por la CRCC, a excepción de las aguas subterráneas, que son captadas directamente por los propios agricultores con pozos ubicados en sus explotaciones, como se expuso en el Capítulo VIII.

En España se aprobó el Programa AGUA (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua) en el año 2004. Este Programa reorienta la política hídrica española, incorporando la desalación como principal alternativa para solucionar el déficit hídrico del sur y este peninsular. El programa incluye la construcción de nuevas plantas de desalinización, principalmente en la costa mediterránea, tanto para el abastecimiento urbano como agrícola. En este contexto, se proyectaron siete plantas de desalinización que por su proximidad podrían suministrar el agua necesaria en la zona de estudio (Lapuente, 2012).

En este análisis, al igual que en el Capítulo X, se han diferenciado tres escalas en la gestión del agua de riego (Soto-García *et al.*, 2013c):

- La cuenca hidrográfica, que incluye la obtención, tratamiento y transporte del agua desde las fuentes hasta el punto de suministro de cada comunidad de regantes (CCRR).

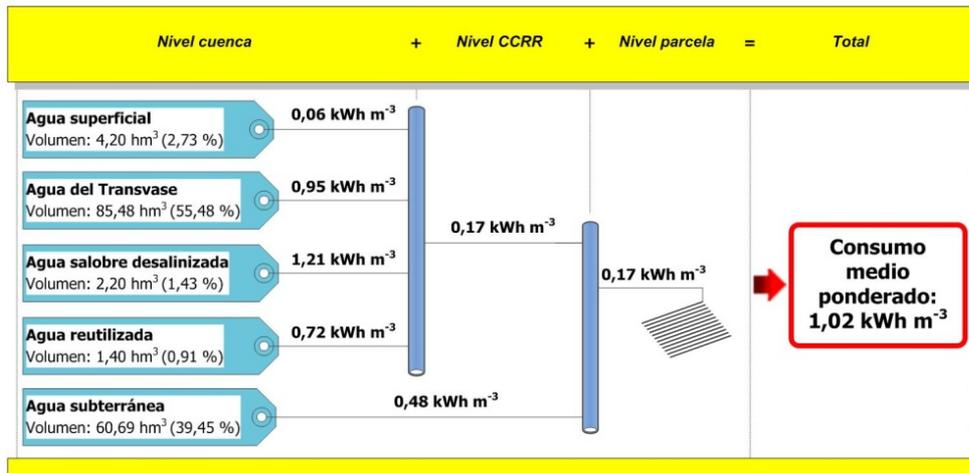
- La CCRR, que comprende la distribución del agua desde el punto donde la CCRR capta el recurso hasta los hidrantes, realizándose mediante las infraestructuras de la propia CCRR (grupos de bombeo, redes de distribución y balsas de riego).
- En parcela, que se refiere a las instalaciones en las explotaciones agrícolas destinadas a la aplicación de agua a los cultivos. Incluyen los distintos elementos de los sistemas de riego localizado: cabezal (con unidad de bombeo), tuberías, laterales, emisores y elementos hidráulicos de control y protección.

La energía específica total consumida desde el origen del agua hasta su aplicación al cultivo es el resultado de agregar las tres escalas de gestión: cuenca, CCRR y parcela. La energía específica (kWh m^{-3}) de cada escala de gestión se muestra en la Tabla 11.3.

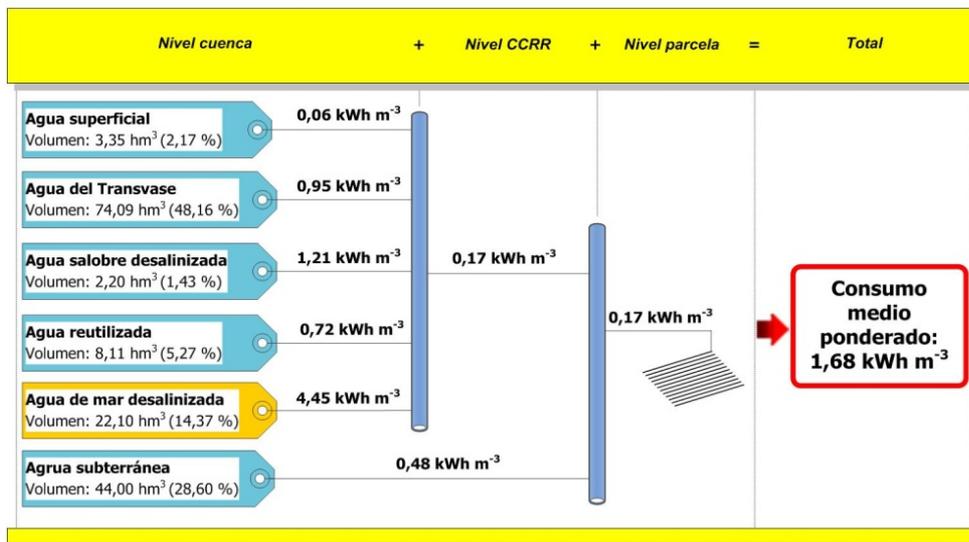
Tabla 11.3. Energía específica (kWh m^{-3}) por escala de gestión en la distribución del agua de riego.

Escala de gestión del agua	Energía específica (kWh m^{-3})	Referencia
1. Escala de cuenca		
Agua superficial	0,06	Confederación Hidrográfica del Segura
Subterránea	0,48	Valor medio encuestas a los agricultores
Trasvase Tajo Segura	0,95	Confederación Hidrográfica del Segura y Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura
Agua salobre desalinizada	1,21	Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena
Agua de mar desalinizada	4,45	Lapuente, 2012
Reutilización	0,72	Entidad de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia
2. Escala de comunidad de regantes	0,17	Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena
3. Escala de parcela	0,17	Valor medio encuestas a los agricultores

a) Situación actual: escenario de referencia



b) Escenario a medio plazo



c) Escenario a largo plazo

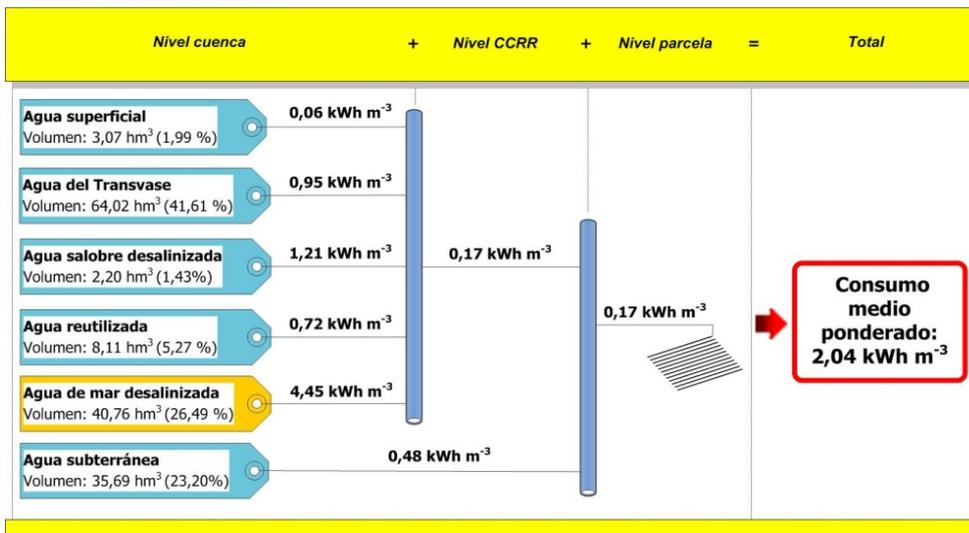


Figura 11.1. Energía específica por escala de gestión del agua en cada escenario.

En los escenarios propuestos (Fig. 11.1) se contempla la reducción de los recursos hídricos debida al efecto del cambio climático en la zona de estudio, conforme a las previsiones del CEDEX (2011). También se consideran las restricciones en las extracciones de aguas subterráneas establecidas por la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE) con el fin de garantizar la sostenibilidad de los sistemas hidrológicos.

Como escenario de referencia se ha considerado el correspondiente al volumen de agua distribuido en el año 2011, un año considerado como de "disponibilidad normal" de agua en la CRCC (Soto-García *et al.*, 2013a). Además se han propuesto y analizado dos escenarios hipotéticos de reducción de los recursos hídricos convencionales debidos al cambio climático a medio (horizonte 2070) y largo (horizonte 2100) plazo.

El agua de mar desalinizada se ha considerado la principal fuente alternativa de suministro ante la disminución de los recursos hídricos tradicionales en los escenarios propuestos, dado que se trata de un recurso independientemente de los cambios del clima y de los periodos de sequía. En la Fig. 11.1 se muestra la energía específica para cada escenario en función de los volúmenes de agua para riego considerados de cada una de las fuentes.

Las principales características de los escenarios propuestos son:

- **Escenario de referencia (BS-s)**. Es la situación actual (Fig. 11.1a), considerada como referencia para la evaluación comparativa de los escenarios alternativos propuestos. El volumen total de agua suministrada y los porcentajes de cada fuente son los manejados en el año 2011.
- **Escenario a medio plazo (MT-s)**. Escenario hipotético (Fig. 11.1b) basado en la reducción de los recursos hídricos debida a los efectos del cambio climático para el horizonte 2041-2070. Esta reducción de recursos (CEDEX, 2011) en la Cuenca del Segura es del 17,5% para los recursos superficiales y del 17% para recursos subterráneos. En la Cuenca del Tajo (origen del Trasvase) alcanza el 14% para

recursos superficiales. Además se considera la extracción de aguas subterráneas conforme a la regulación de Directiva Marco del Agua. Esta Directiva exige una reducción de la extracción de aguas subterráneas para garantizar su sostenibilidad a largo plazo. El volumen de agua que se reduce de fuentes convencionales se sustituye por agua de mar desalinizada.

- **Escenario a largo plazo (LT-s).** Escenario hipotético (Fig. 11.1c) basado en la reducción de los recursos hídricos debidos a los efectos del cambio climático en el horizonte 2071-2100. Las proyecciones del escenario de cambio climático para este periodo (CEDEX, 2011) contemplan una reducción del 27% en los recursos superficiales y subterráneos de la Cuenca del Segura, y del 25% para los recursos superficiales de la Cuenca del Tajo (Trasvase). Además se mantienen las exigencias de la Directiva Marco del Agua.

11.3. CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO POR CULTIVO

En la Tabla 11.4 se muestran los insumos agrícolas y los rendimientos de los cultivos considerados relativos al año 2011, según los datos recogidos en la encuesta a los agricultores, es decir, que representa la situación agrícola actual (escenario BS-s).

La Tabla 11.5 recoge la conversión energética de los insumos agrícolas en el escenario BS-s, obtenidos a partir de datos de la Tabla 11.4 y aplicando las equivalencias de energía de la Tabla 11.1.

La alcachofa fue el cultivo con un mayor consumo energético (185.409 MJ) ya que se trata del mayor consumidor de energía eléctrica asociada al agua de riego al requerir entre el 88 y 143% más de agua que el resto de cultivos (Tabla 11.4). Como resultado (Tabla 11.5) es el cultivo con menor productividad energética (0,09 kg MJ⁻¹) y menor eficiencia energética (0,08).

Tabla 11.4. Consumo de recursos y rendimiento de los cultivos en escenario de referencia.

Ítems	Unidad ha ⁻¹	Hortícolas				Cítricos		
		Alcachofa	Brócoli	Lechuga	Melón	Limonero	Mandarino	Naranja
A. Insumos								
Mano de obra	h	260	272	237	386	396	229	256
Combustible (diesel)	l	258	294	314	231	108	166	91
Electricidad para riego hasta parcela	kWh	7892	3477	3244	4202	3794	4082	4123
Electricidad para riego en parcela	kWh	1578	695	649	840	759	816	825
Agua para riego	m ³	9285	4090	3816	4943	4463	4802	4850
Fertilizantes	kg							
N		386	380	299	254	191	272	235
P ₂ O ₅		122	156	295	156	87	87	84
K ₂ O		483	460	240	368	92	132	160
Estiércol		4995	3228	7484	4984	6123	5986	6024
Fitosanitarios	kg							
Fungicidas		6	3	3	2	5	6	4
Insecticidas		7	5	5	7	4	7	3
Herbicidas		4	3	7	5	6	6	4
Otros materiales								
Plántulas/plantones	unidad	7200	50000	58000	7000	333	417	370
Acolchado (PE)	kg	-	-	-	490	-	-	-
Maquinaria	h	34	36	37	29	21	23	16
B. Productividad								
Producción	kg	16057	14606	30813	37087	41395	33810	36056
Rendimiento por unidad de agua aplicada	kg m ⁻³	1,7	5,4	12,1	7,5	9,3	7,0	7,4
C. Otros								
Ciclo del cultivo	días	365	120	120	150	365	365	365

Tabla 11.5. Valoración energética (MJ ha⁻¹) de los insumos y de la producción de los cultivos hortícolas y cítricos para el escenario de referencia.

	Hortícolas				Cítricos		
	Alcachofa	Brócoli	Lechuga	Melón	Limón	Mandarina	Naranja
<i>A. Energía de los insumos</i>							
<i>A.1. Directa</i>							
Mano de obra	572	597	521	848	871	504	563
Combustible	9977	11375	12129	8921	4188	6415	3501
Electricidad para riego hasta parcela	95496	42066	39248	50839	45902	49389	49882
Electricidad para riego en parcela	19099	8413	7850	10168	9180	9878	9976
<i>A.2. Indirecta</i>							
Fertilizantes							
N	29533	29070	22850	19393	14578	20792	18011
P ₂ O ₅	1940	2480	4686	2480	1383	1390	1335
K ₂ O	6134	5842	3048	4674	1168	1675	2027
Estiércol	1513	978	2268	1510	1855	1814	1825
Fitosanitarios							
Fungicidas	1246	637	677	458	1045	1095	876
Insecticidas	672	469	497	598	322	614	285
Herbicidas	980	693	1554	598	1349	1524	1052
Otros materiales							
Material vegetal	1440	10000	11600	1400	200	250	222
Acolchado (PE)	-	-	-	37809	-	-	-
Maquinaria y equipamiento							
Maquinaria	3143	3233	3357	2494	2124	2556	1650
Material de riego	13664	4587	4587	4587	7386	7400	7392
Total insumos	185409	120442	114870	146776	91552	105294	98598
<i>B. Energía de la cosecha</i>							
Producción	14451	16067	18488	40796	28977	57477	57690
<i>C. Otros</i>							
Eficiencia energética	0,08	0,16	0,16	0,28	0,32	0,55	0,59
Productividad energética (kg MJ ⁻¹)	0,09	0,12	0,27	0,25	0,45	0,32	0,37

El melón es el segundo cultivo que más requerimientos energéticos necesita para su desarrollo: $146.776 \text{ MJ ha}^{-1}$ (Tabla 11.5). El cultivo del melón requiere temperaturas moderadas (por encima de 13°C) y volúmenes de agua elevados ($4.943 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). La germinación se realiza en semillero y se trasplanta al campo en marzo-abril, con un acolchado de film plástico y bajo microtúnel. Este manejo supone $37.809 \text{ MJ ha}^{-1}$ asociados al empleo del plástico. No obstante, el insumo más importante en el cultivo del melón es el consumo eléctrico del agua de riego. El melón es el cultivo hortícola que presenta mayor eficiencia energética (0,28).

Por otro lado, el brócoli y la lechuga son los dos cultivos hortícolas con menos requerimientos energéticos para su desarrollo, con $120.442 \text{ MJ ha}^{-1}$ y $114.870 \text{ MJ ha}^{-1}$ respectivamente (Tabla 11.5). Se cultivan en el mismo periodo del año (otoño-primavera) y la duración del ciclo del cultivo es similar, presentando un volumen de riego semejante ($4.090 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en brócoli y $3.816 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en lechuga). Por el contrario, son los dos cultivos con mayores requerimientos en fertilizantes, después de la alcachofa. Cabe destacar también la importancia que tiene la energía asociada a la producción de plántulas en semillero, que está por encima de $10.000 \text{ MJ ha}^{-1}$ en ambos cultivos. Como resultado, estos dos cultivos presenta unos valores intermedios de eficiencia energética (0,13-0,16).

Las tres especies de cítricos consideradas tienen requerimientos de energía muy similares, $91.552 \text{ MJ ha}^{-1}$ para limoneros, $105.294 \text{ MJ ha}^{-1}$ para mandarinos y $98.598 \text{ MJ ha}^{-1}$ para naranjos (Tabla 11.5). En general, los requerimientos energéticos de los cítricos son inferiores a los hortícolas, aunque todos (limoneros, mandarinos y naranjos) presentan elevados insumos de electricidad para riego y de fertilizantes. La eficiencia energética para los cítricos varía entre 0,32 y 0,59, frente a 0,08 y 0,28 en hortícolas (Tabla 11.5). De manera similar se comporta la productividad energética, con valores entre 0,32 y $0,45 \text{ kg MJ}^{-1}$ para cítricos, y entre 0,09 y $0,31 \text{ kg MJ}^{-1}$ para hortícolas. El naranjo es el cultivo con mayor eficiencia energética (0,59) y limonero el de mayor productividad energética ($0,45 \text{ kg MJ}^{-1}$).

Los valores obtenidos en nuestro estudio para la energía específica del cultivo y para la eficiencia energética se pueden calificar como altos, en comparación con los estudios realizados en otras regiones. La causa principal es que en este estudio se ha cuantificado la energía directa para el riego desde la fuente de agua hasta la parcela, incluyendo tanto su obtención, como tratamiento y distribución. Este hecho tiene una gran importancia en las zonas áridas y semiáridas, donde la energía específica al agua de riego suele ser bastante más elevada que en otras regiones cuya principal fuente de agua sea superficial, tal como se ha analizado en el Capítulo X. En la zona de estudio el 83% de la energía directa asociada al riego se consume fuera de la parcela, mientras que el 17% restante se consume en la parcela.

Un análisis energético de cítricos en Turquía (Ozkanet *et al.*, 2004) concluye que el consumo de energía directa en el riego de cítricos fue de 8.350 MJ ha⁻¹, frente a los 58.069 MJ ha⁻¹ obtenidos en la zona de estudio. Estos resultados no son comparables directamente, ya que en caso de considerar solamente la energía empleada para el riego en parcela (17%) en nuestro estudio son de 9.872 MJ ha⁻¹, valor próximo al obtenido por Ozkanet *et al.* (2004).

La Tabla 11.6 y la Fig. 11.2 muestran el porcentaje de energía de los insumos por cultivo para el escenario de referencia.

Respecto a la energía directa, la electricidad para riego hasta parcela es el insumo con mayor consumo en todos los cultivos, con un rango entre el 65,7% para la lechuga y el 78% para el naranjo. Respecto a la energía indirecta, los fertilizantes son el insumo con mayor consumo en todos los cultivos (entre el 59,7% para lechuga y el 66,9% para naranjo) excepto en melón, donde el 51,6% de la energía está asociada al uso de films plásticos.

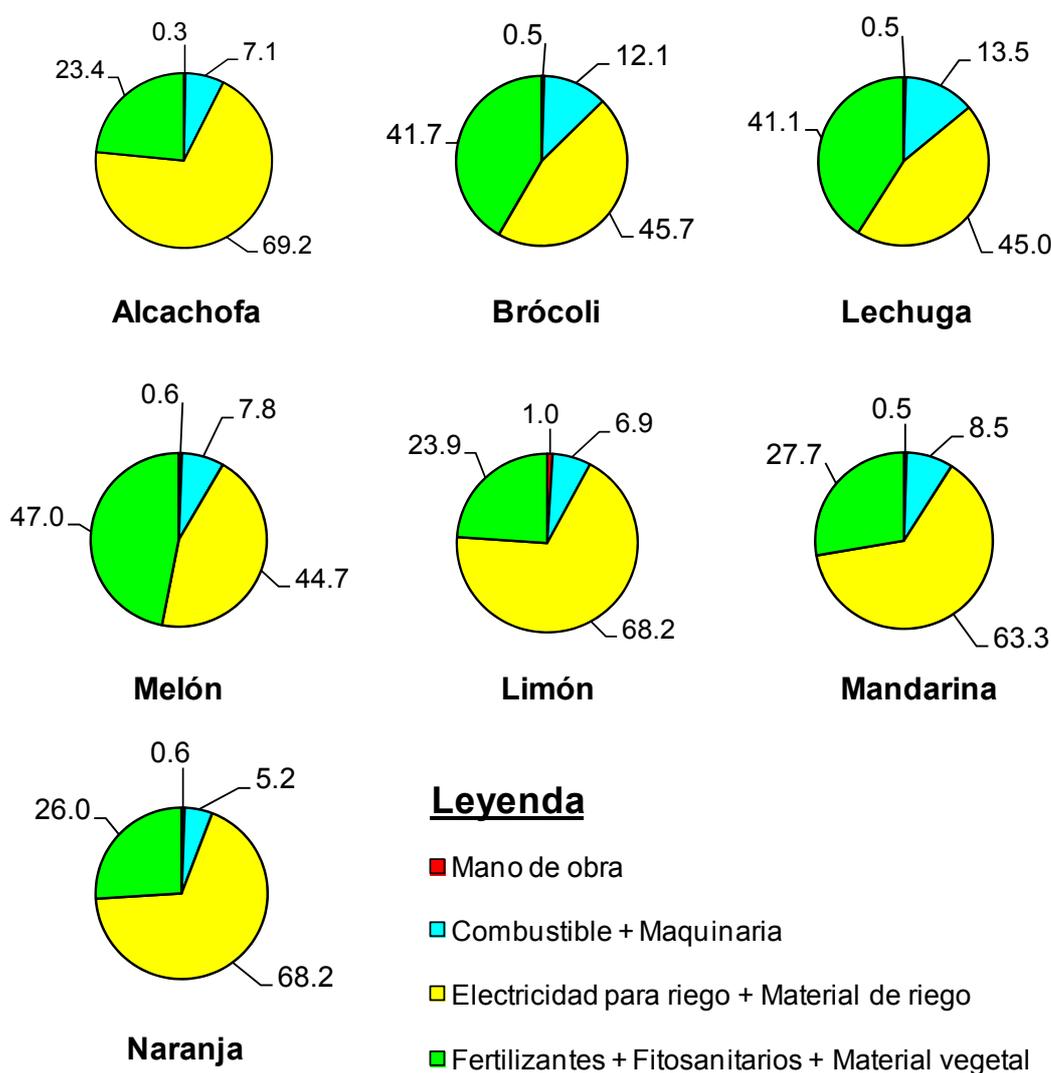


Figure 11.2. Porcentaje de energía de los insumos por cultivo para el escenario de referencia.

La energía asociada al manejo del agua de riego (energía directa consumida para el riego más energía indirecta empleada en los materiales e instalaciones de riego) es el insumo con mayor valor, con un rango entre el 44,7% para el melón y 69,2% para la alcachofa (Fig. 11.2). La gran importancia del consumo de energía relacionada con el riego, sobre todo del consumo de energía hasta la parcela, justifica el estudio del efecto del suministro de recursos hídricos alternativo en escenarios futuros sobre el consumo de energía. Este resultado también pone de manifiesto el nexo

agua-energía, ya que la importancia relativa de la energía relacionada con el riego se incrementa con el aumento del agua aplicada a los cultivos.

Tabla 11.6. Energía de los insumos (%) por cultivos en el escenario de referencia.

Insumos	Hortícolas				Cítricos		
	Alcachofa	Brócoli	Lechuga	Melón	Limón	Mandarina	Naranja
A. Directa							
Mano de obra	0,5 ^a (0,3 ^c)	1,0 (0,5)	0,9 (0,5)	1,2 (0,6)	1,4 (1,0)	0,8 (0,5)	0,9 (0,6)
Combustible (diesel)	8,0 (5,4)	18,2 (9,4)	20,3 (10,6)	12,6 (6,1)	7,0 (4,6)	9,7 (6,1)	5,5 (3,6)
Electricidad para riego hasta parcela	76,2 (51,4)	67,5 (34,9)	65,7 (34,2)	71,8 (34,7)	76,3 (50,1)	74,6 (46,9)	78,0 (50,6)
Electricidad para riego en parcela	15,3 (10,3)	13,3(7,0)	13,1 (6,8)	14,4 (6,9)	15,3 (10,0)	14,9 (9,4)	15,6 (10,1)
B. Indirecta							
Fertilizantes	64,9 ^b (21,1)	66,2 (31,9)	59,7 (28,6)	36,9 (19,1)	60,5 (20,7)	65,7 (24,4)	66,9 (23,5)
Fitosanitarios	4,8 (1,6)	3,1 (1,5)	4,9 (2,4)	2,2 (1,1)	8,6 (3,0)	8,3 (3,1)	6,4 (2,2)
Otros materiales	2,4 (0,8)	17,2 (8,3)	21,0 (10,1)	51,6 (26,7)	0,6 (0,2)	0,6 (0,2)	0,6 (0,2)
Maquinaria	5,2 (1,7)	5,6 (2,7)	6,1 (2,9)	3,3 (1,7)	6,8 (2,3)	6,5 (2,4)	4,8 (1,7)
Material para riego	22,7 (7,4)	7,9 (3,8)	8,3 (4,0)	6,0 (3,1)	23,5 (8,1)	18,9 (7,0)	21,3 (7,5)

^a el número indica el porcentaje de energía sobre la energía directa.

^b el número indica el porcentaje de energía sobre la energía indirecta.

^c el número entre paréntesis indica el porcentaje de energía sobre la energía total.

11.4. CARACTERIZACIÓN DE LAS EMISIONES DE GEI POR CULTIVO

La estimación de las emisiones de GEI para cada uno de los ítems identificados en cada cultivo se muestra en la Tabla 11.7. Estos valores se han obtenido con datos de 2011, por lo que son representativos de la situación de referencia (escenario BS-s). Se han calculado a partir de datos recogidos en la Tabla 11.4 y aplicando los coeficientes de emisión de GEI de la Tabla 11.2.

Las mayores emisiones de GEI están asociadas al cultivo de la alcachofa ($6.588 \text{ kg CO}_{2\text{eq}} \text{ ha}^{-1}$), mientras que las menores al limonero ($3.302 \text{ CO}_{2\text{eq}} \text{ ha}^{-1}$). Respecto al ratio de emisiones de GEI por kg de producto, la alcachofa con $0,41 \text{ kg CO}_{2\text{eq}} \text{ kg}^{-1}$ es el cultivo cuya producción genera más emisiones y nuevamente el limonero, con $0,08 \text{ kg CO}_{2\text{eq}} \text{ kg}^{-1}$, es el que menos.

Comparando con otros estudios, los resultados para lechuga son similares a los obtenidos en Australia (Maraseni *et al.*, 2012): $0,15 \text{ kg CO}_{2\text{eq}} \text{ kg}^{-1}$ y $4.672 \text{ kg CO}_{2\text{eq}} \text{ ha}^{-1}$, frente a $0,14 \text{ kg CO}_{2\text{eq}} \text{ kg}^{-1}$ y $6.435 \text{ kg CO}_{2\text{eq}} \text{ ha}^{-1}$. Los valores obtenidos para los cítricos (Tabla 11.7) también son similares a los recogidos en otros trabajos realizados en Italia: para naranjo de $0,10 \text{ kg CO}_{2\text{eq}} \text{ kg}^{-1}$ (Beccali *et al.*, 2009) y de $0,13 \text{ kg CO}_{2\text{eq}} \text{ kg}^{-1}$ (Pergola *et al.*, 2013), y para limonero de $0,12 \text{ kg CO}_{2\text{eq}} \text{ kg}^{-1}$ (Pergola *et al.*, 2013). Por otro los resultados fueron inferiores a los obtenidos por Ribal *et al.* (2009) en un estudio para plantaciones de naranjo de la Comunidad Valenciana ($0,25 \text{ kg CO}_{2\text{eq}} \text{ kg}^{-1}$).

Las emisiones medias de GEI para la zona de estudio (Tabla 11.7) fueron de $4.528 \text{ kg CO}_{2\text{eq}} \text{ ha}^{-1}$, donde el CO_2 supuso el 55,4%, el NO_2 el 44,5%, y el CH_4 el 0,1% restante. En término de fuentes, las principales emisiones de GEI se debieron al combustible (14%) y a la electricidad para riego (30,3%), con un 44,3% en total, y a las emisiones de NO_2 del suelo debidas a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, con un 44,4% (Tabla 11.7). Finalmente, hay que destacar que el 25,3% de las emisiones se debieron al consumo de electricidad del agua de riego hasta la parcela, y sólo un 5% al consumo en parcela.

Tabla 11.7. Emisión de GEI (kg CO_{2eq} ha⁻¹) por fuentes de emisión para los cultivos en el escenario de referencia.

Ítems	Hortícolas			Cítricos			Media ponderada
	Alcachofa	Brócoli	Lechuga	Melón	Limón	Mandarina	
A. Emisiones GEI debidas al uso de electricidad y combustible							
A.1. Electricidad para riego hasta la parcela	2084 (31,6)	918 (17,8)	856 (18,3)	1109 (26,0)	1001 (30,3)	1078 (25,6)	1142 (25,3)
A.2. Electricidad para riego en parcela	417 (6,3)	184 (3,6)	171 (3,7)	222 (5,2)	200 (6,1)	216 (5,1)	228 (5,0)
A.3. Combustible (diesel)	743 (11,2)	845 (16,3)	901 (19,2)	663 (15,5)	312 (9,4)	477 (11,3)	630 (14,0)
B. Emisiones GEI debidas a la producción, transporte y almacenamiento de fertilizantes y fitosanitarios							
B.1. Fertilizantes - N	502 (7,6)	494 (9,6)	388 (8,3)	330 (7,7)	248 (7,5)	353 (8,4)	267 (8,1)
- P ₂ O ₅	24 (0,4)	31 (0,6)	59 (1,3)	31 (0,7)	17 (0,5)	17 (0,4)	31 (0,7)
- K ₂ O	72 (1,1)	69 (1,4)	36 (0,8)	55 (1,3)	14 (0,4)	20 (0,5)	42 (0,9)
B.2. Fitosanitarios - Fungicidas	24 (0,4)	12 (0,2)	13 (0,3)	9 (0,2)	20 (0,6)	21 (0,5)	16 (0,4)
- Insecticidas	37 (0,6)	26 (0,5)	28 (0,6)	33 (0,8)	18 (0,5)	34 (0,8)	28 (0,6)
- Herbicidas	26 (0,4)	18 (0,4)	41 (0,9)	16 (0,4)	36 (1,1)	40 (1,0)	29 (0,6)
C. Emisiones GEI de NO₂ procedente del suelo, por la aplicación de fertilizantes nitrogenados							
C.1. N ₂ O directo de insumos con N (fertilizantes y estiércol)	1998 (30,3)	1927 (37,4)	1631 (34,9)	1352 (31,6)	1072 (32,6)	1465 (34,8)	1510 (33,3)
C.2. N ₂ O directo de lixiviación o escorrentía de N	450 (6,8)	434 (8,4)	367 (7,8)	304 (7,1)	241 (7,3)	330 (7,8)	340 (7,5)
C.3. N ₂ O indirecto la descomposición atmosférica de N volatilizado como NH ₃ and NO _x	188 (2,9)	185 (3,6)	145 (3,1)	123 (2,9)	93 (2,8)	132 (3,1)	138 (3,0)
- Fertilizantes sintéticos	24 (0,4)	15 (0,3)	35 (0,8)	23 (0,6)	29 (0,9)	28 (0,7)	27 (0,6)
- Estiércol							
Emisiones totales de GEI (kg CO _{2eq} ha ⁻¹)	6588	5157	4672	4271	3302	4212	3697
Emisiones totales de GEI (kg CO _{2eq} kg ⁻¹)	0,41	0,35	0,15	0,12	0,08	0,12	0,10

^a los números entre paréntesis indican el porcentaje de emisiones de GEI.

11.5. ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS PROPUESTOS

La sustitución de parte de las fuentes de agua actuales por agua de mar desalinizada provocará un importante incremento de la energía específica del agua. Concretamente, aumentará de 1,02 a 1,68 kWh m⁻³ en el escenario MT-s (Fig. 11.1b), y a 2,04 kWh m⁻³ en el LT-s (Fig. 11.1c), representando unos incrementos respecto al BS-s del 65% y el 100% de la energía específica del agua, respectivamente.

En el MT-s se substituyen 25,78 hm³ de agua de diversas fuentes convencionales por agua de mar desalinizada, que es la fuente de agua con mayor energía específica (4,7 veces mayor que el agua del Trasvase, o 9,3 veces superior que las aguas subterráneas, Tabla 11.3). Para el caso del LT-s el volumen de agua de mar desalinizada incorporado alcanza los 40,76 hm³, motivo por el que el incremento de la energía específica del agua es prácticamente el doble que para el BS-s. Este incremento de la energía específica del agua en los diferentes escenarios tiene importantes consecuencias en la energía total consumida por los cultivos. La Fig. 11.3 muestra la energía total por cultivo para los tres escenarios analizados.

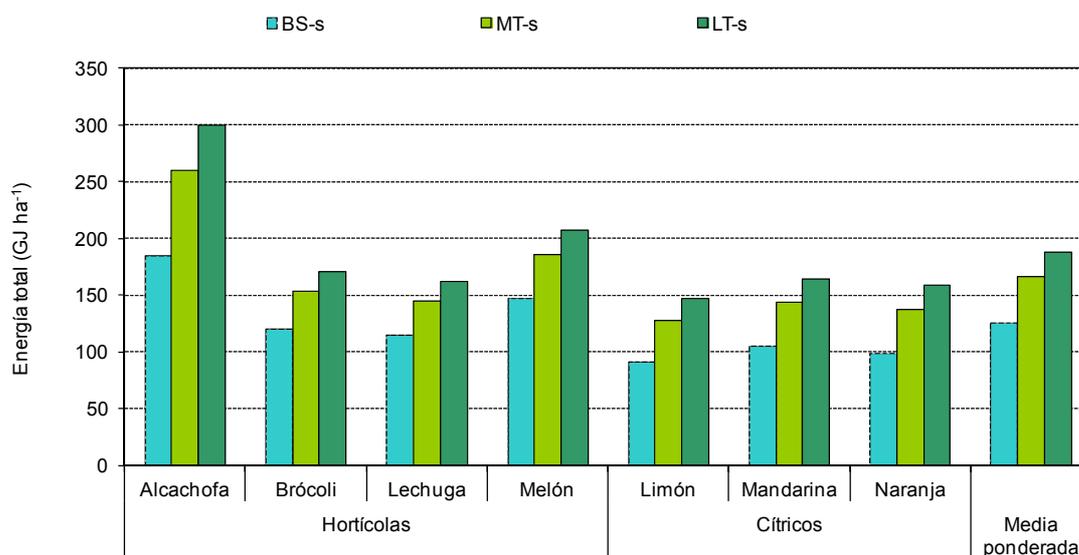


Figura 11.3. Energía total (GJ ha⁻¹) por cultivo y escenario.

Tabla 11.8. Emisiones totales de GEI ($\text{kg CO}_{2\text{eq}} \text{ha}^{-1}$; $\text{kg CO}_{2\text{eq}} \text{kg}^{-1}$) por cultivo para cada escenario e incremento de las emisiones en los hipotéticos escenarios respecto al escenario de referencia.

Cultivos	Escenarios propuestos					
	Escenario de referencia		Escenario a medio plazo		Escenario a largo plazo	
	$\text{kg CO}_{2\text{eq}} \text{ha}^{-1}$	$\text{kg CO}_{2\text{eq}} \text{kg}^{-1}$	$\text{kg CO}_{2\text{eq}} \text{ha}^{-1}$	A %	$\text{kg CO}_{2\text{eq}} \text{ha}^{-1}$	A %
Alcachofa	6588	0,41	8206	24,6	9089	37,9
Brócoli	5157	0,35	5870	13,8	6259	21,4
Lechuga	4672	0,15	5337	14,2	5699	22,0
Melón	4271	0,12	5132	20,7	5602	31,2
Limón	3302	0,08	4080	23,5	4504	36,4
Mandarina	4212	0,12	5048	19,9	5505	30,7
Naranja	3697	0,10	4542	22,9	5003	35,3
Media ponderada	4528	0,15	5415	19,6	5898	30,3

A: Incremento en $\text{kg CO}_{2\text{eq}} \text{ha}^{-1}$ respecto al escenario de referencia (%).

En todos los cultivos aumenta la energía total como consecuencia del cambio de las fuentes de agua en los escenarios propuestos. Este aumento es proporcional a las necesidades de riego de cada cultivo siendo por tanto más significativo para la alcachofa, que pasa de 185 GJ ha⁻¹ a 260 GJ ha⁻¹ en el MT-s (incremento del 40%), y de 185 GJ ha⁻¹ a 300 GJ ha⁻¹ en el LT-s (incremento del 62%). La lechuga presenta los menores incrementos por tratarse del cultivo con menores necesidades de riego, siendo del 27% y el 41% en el MT-s y el LT-s, respectivamente. El valor medio ponderado de la zona de estudio (Fig. 11.3) fue de 166 GJ ha⁻¹ en el MT-s y 188 GJ ha⁻¹ en el LT-s, representando respectivamente unos incrementos del 32% y el 50% respecto a BS-s.

Desde el punto de vista del consumo energético, los cítricos son los cultivos más interesantes en el medio y largo plazo, mientras que la alcachofa es el menos recomendable.

En la Tabla 11.8 se muestran las emisiones totales de GEI por escenario y cultivo, así como el incremento respecto al BS-s.

Todos los cultivos aumentan sus emisiones de GEI en los escenarios futuros debido a la relación entre el consumo de energía y las emisiones de GEI (Tabla 11.2, ítems A y B). Este aumento es menos acusado que el obtenido con el consumo de la energía, ya que la emisiones de GEI asociadas al NO₂ procedente de la aplicación de fertilizantes nitrogenados al suelo suponen el 44%, 39% y 34% en BS-s, MT-s y LT-s respectivamente, no estando afectadas por la variación en las fuentes de los recursos hídricos.

En el MT-s la alcachofa es el cultivo con mayores emisiones de GEI, tanto por superficie como en kg de producto (8.206 kg CO_{2eq} ha⁻¹ y 0,51 kg CO_{2eq} kg⁻¹), seguido de brócoli (5.870 kg CO_{2eq} ha⁻¹ y 0,40 kg CO_{2eq} kg⁻¹). Por el contrario, los cítricos presentan los valores más bajos, especialmente el limonero (4.080 kg CO_{2eq} ha⁻¹ y 0,10 kg CO_{2eq} kg⁻¹).

En el LT-s la alcachofa sigue siendo el cultivo con mayores emisiones de GEI, tanto por superficie como en kg de producto (9.089 kg CO_{2eq} ha⁻¹ y 0,57 kg CO_{2eq} kg⁻¹), manteniéndose en segundo lugar el brócoli

(6.259 kg CO_{2eq} ha⁻¹ y 0,43 kg CO_{2eq} kg⁻¹). Los cultivos con un mayor incremento en las emisiones de GEI respecto a la situación actual serían la alcachofa (38%), limonero (36%) y naranjo (35%), mientras lo que presentarían un menor incremento sería la lechuga (22%) y brócoli (21%). Estos resultados evidencian una relación directa entre las necesidades de riego de los cultivos y el incremento de en las emisiones de GEI bajo los escenarios planteados.

El valor medio ponderado de las emisiones de GEI en la zona de estudio fue de 5.415 y 5.898 kg CO_{2eq} ha⁻¹ en el MT-s y el LT-s respectivamente, representando un 20% y un 30% de incremento respecto a BS-s.

11.6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este capítulo se ha puesto de manifiesto la fuerte conexión entre el suministro de agua, el consumo de energía y las emisiones de GEI en las regiones áridas y semiáridas, como es el caso de la Región de Murcia.

Según el estudio del CEDEX (2011) se prevé en el sureste de España un descenso continuado en la disponibilidad de recursos hídricos naturales como consecuencia del cambio climático. El paulatino incremento de la escasez de agua proveniente de fuentes convencionales obliga a plantearse la utilización de agua de otras fuentes alternativas con el fin de mantener la actividad agrícola de regadío, de gran importancia estratégica en la Región de Murcia. La desalinización de agua de mar ha sido seleccionada por la administración hídrica española como la principal alternativa de abastecimiento, pero implica un consumo de energía específica muy superior al de los recursos convencionales.

El análisis de los escenarios alternativos de suministro del agua, vinculados a la reducción de recursos hídricos producida por el cambio climático, indican que la incorporación del agua de mar desalinizada produciría un importante incremento en el consumo de energía y en las emisiones de GEI en la zona regable del Campo de Cartagena. En el escenario a medio plazo (2041-2070) el consumo de energía aumentará un

32% y las emisiones de GEI un 20%. En el escenario a largo plazo (2071-2100) se espera un empeoramiento de esta situación, con un aumento previsto del consumo de energía del 50%, y del 30% en las emisiones de GEI. Por tanto la incorporación del agua de mar desalinizada lleva asociado un importante incremento de las emisiones de GEI. Estas emisiones incrementan el calentamiento global, que a su vez es el responsable de la reducción de los recursos hídricos convencionales, configurándose una espiral no acorde con los objetivos de sostenibilidad y lucha contra el calentamiento global.

Por otro lado es posible que el incremento del consumo de energía en los escenarios futuros propicie un cambio progresivo en los cultivos en la zona regable, abandonándose aquellos que emplean más agua y energía (alcachofa) en favor de otros más favorables, como los hortícolas de invierno o los cítricos. Otro aspecto a considerar son los posibles efectos agronómicos de la incorporación de agua de mar desalinizada al riego agrícola, poco conocidos en la actualidad. Un ejemplo es la sensibilidad de los cítricos a la alta concentración de boro en el agua procedente de la desalinización.

A la vista de las conclusiones obtenidas en este estudio, entendemos que se deben promover medidas para que la agricultura en zonas semiáridas sea sostenible. En relación al manejo del agua hasta parcela, donde se consumió más del 80% de la energía utilizada en el riego, resulta necesario mejorar la eficiencia energética de los procesos de osmosis inversa. También hay que procurar una mejora energética de las instalaciones de las comunidades de regantes. Respecto al manejo de agua en parcela sería necesario promover la introducción de sistemas más eficientes de riego, como los nuevos emisores de baja presión. Por último, resulta recomendable seguir fomentando las buenas prácticas agrícolas, tales como el ajuste más preciso de las dosis de fertilizantes y el manejo eficiente de la maquinaria.

Capítulo XII

SÍNTESIS Y PERSPECTIVAS

M. Soto García, B. Martín Górriz, V. Martínez Álvarez

La escasez de agua y el impacto ambiental producido por el consumo de energía son de los mayores desafíos que tiene la humanidad en relación con la sostenibilidad, y adquiere una especial relevancia en la garantía del suministro mundial de alimentos. La competencia por el uso del agua aumenta continuamente debido tanto al crecimiento demográfico como al aumento de la demanda de los distintos sectores económicos. Esta competencia se agudiza en zonas áridas y semiáridas, donde el cambio climático está produciendo una disminución de los recursos hídricos disponibles. En este contexto se desarrolla el presente estudio de investigación, enmarcado en el proyecto europeo SIRRIMED, en concreto en el *Workpackage n° 3*, que tiene por objeto tanto la caracterización de distintas zonas regables del mediterráneo como su evaluación comparativa mediante la aplicación de técnicas de benchmarking. Con este fin se han analizado cinco comunidades de regantes (CCRRs) de la Región de Murcia durante un periodo de diez años (2002-2011), que representan en su conjunto el 38,5% de la superficie regable regional. Por tanto, este trabajo representa un análisis científico-técnico completamente innovador del regadío en la Región de Murcia, donde se han utilizado técnicas no aplicadas con anterioridad, y cuyos resultados permiten conocer la situación actual del regadío murciano y su relación con los principales problemas que le afectan.

Las principales aportaciones de este trabajo son:

- La caracterización del regadío de la Región de Murcia mediante indicadores de gestión durante un periodo de tiempo tan prolongado.

- El análisis de los efectos de la escasez de agua en las CCRRs, así como de las estrategias de adaptación seguidas por los agricultores en parcela.
- El desarrollo y aplicación de una nueva propuesta para el cálculo y manejo del indicador ARIS (aporte relativo de agua de riego), ya que el planteamiento tradicional dar lugar a incertidumbres en su interpretación.
- El análisis de los efectos de la modernización de regadíos, especialmente del papel de las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) en la gestión moderna de las CCRRs.
- El estudio del vínculo entre el consumo de agua y de energía en el regadío, particularizando para las diferentes escalas de gestión del agua de riego (cuenca hidrográfica, CCRR y parcela).
- La cuantificación del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a las prácticas agrícolas del regadío, analizando además como afectará en un futuro el uso de agua desalinizada, como alternativa a la reducción en los recursos hídricos producida por el cambio climático.

El análisis mediante indicadores de gestión ha permitido determinar que las CCRRs de la Región de Murcia se caracterizan por: presentar una alta eficiencia de distribución; tener unos elevados costes de manejo del sistema; sufrir unas grandes variaciones en cuanto a los recursos hídricos disponibles; no satisfacer las necesidades hídricas de sus cultivos; presentar un valor de la producción agrícola muy alto; y tener una actividad agrícola estable, que se encuentra limitada principalmente por la disponibilidad de agua.

Se ha comprobado que los indicadores de gestión pueden sufrir una gran variación interanual como consecuencia de las fluctuaciones en la cantidad de agua distribuida. Por este motivo el enfoque que entiende los indicadores como valores fijos característicos de una zona regable no es adecuado en zonas con estrés hídrico, donde debe plantearse su

caracterización mediante el análisis de periodos de duración suficientemente amplios para que sean representativos.

Los efectos de la escasez de agua sobre las zonas regables son muy diversos. Por un lado destaca la reducción de (a) la superficie cultivada, (b) la eficiencia de distribución, (c) el aporte relativo de agua de riego (ARIS), y (d) el valor de la producción agrícola. Por otro lado se produce un aumento de la energía específica asociada al consumo de agua. Aunque los agricultores aplican con éxito estrategias para adaptarse a la escasez de agua, la perseverancia de un déficit hídrico importante a lo largo del tiempo implica inconvenientes ambientales y económicos, cuyos efectos pueden hacer insostenible la actividad agrícola en la zona a medio y largo plazo.

Este estudio ha permitido diferenciar dos tipos de procesos de modernización: los de "primera generación", caracterizados por la presurización de las redes de distribución; y los de "segunda generación", que se caracterizan por centrarse en la automatización de la infraestructura hidráulica presurizada, ya existente, y de los servicios que la CCRR ofrece al regante. Los efectos de ambos tipos de modernizaciones sobre los indicadores de gestión son marcadamente diferentes. La incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación a la gestión de las CCRRs ha proporcionado mejor servicio al regante, la trazabilidad del agua y una distribución de agua transparente, eficiente y equitativa. Sin embargo, los indicadores tradicionales no han sido capaces de reflejar estos efectos positivos, por lo que resultan necesarios nuevos indicadores capaces de evaluar estas mejoras. En este sentido se proponen indicadores para cuantificar el efecto de las TICs en la gestión de las CCRRs como: el tiempo empleado para realizar varias tareas de gestión en la CCRR; el porcentaje de agricultores que llevan a cabo todas sus actividades relacionadas con la CCRR a través de Internet; o el porcentaje de agua suministrada por la CCRR que manejan los agricultores a través de las aplicaciones Web y de telefonía móvil.

Respecto a la determinación del consumo total de energía asociada al agua de riego, este trabajo ha puesto de manifiesto la necesidad de

conocer el consumo energético en todas las escalas de gestión del agua de riego, que en la Región de Murcia son tres: cuenca hidrográfica, CCRR y parcela. En la zona de estudio, el mayor consumo de energía se produce a escala de cuenca, siendo la fuente del agua el factor más influyente. En este sentido las aguas superficiales presentan los menores consumos energéticos; las aguas subterráneas, reutilizadas y del Trasvase valores similares e intermedios, y las aguas salobres desalinizadas los mayores consumos. Los consumos en CCRRs son notablemente menores a los que se presentan a escala de cuenca, al igual que ocurre con los consumos en parcela, que pueden incluso llegar a ser nulos cuando en la CCRR se dispone de una red de riego presurizada con organización a la demanda.

También se ha demostrado que existe una fuerte conexión entre el suministro de agua, el consumo de energía y las emisiones de GEI. La escasez de agua está obligando a emplear en el regadío agua de fuentes alternativas como la desalinización, con un mayor consumo de energía asociado. Este planteamiento lleva asociado un notable incremento de las emisiones de GEI, que retroalimenta el cambio climático. El estudio de hipotéticos escenarios futuros de suministro de agua para riego, basados en la incorporación de agua de mar desalinizada, indican que en un escenario a medio plazo el consumo de energía aumentaría un 32%, mientras que las GEI lo harían en un 20%. Un escenario a largo plazo produciría cifras aún más desfavorables.

En base a los resultados de este estudio, entendemos que para conseguir una agricultura de regadío sostenible se deben promover numerosas medidas, entre las que destacan las siguientes:

1. Extender y generalizar este tipo de estudios a todas las regiones españolas, o a cualquier otro ámbito geográfico, con el fin de desarrollar un amplio proceso de benchmarking que permita una mejora continua de las CCRRs.
2. Fomentar la aplicación de las TICs para aumentar la eficiencia y la productividad de la agricultura de regadío, reducir sus emisiones de GEI y, en general, reducir los impactos sobre el medio ambiente.

3. A escala de cuenca, la Administración debe optimizar la gestión de los recursos hídricos disponibles con el fin de priorizar el uso de aquéllos con un menor consumo de energía. Además resulta fundamental considerar el consumo energético asociado a los recursos hídricos a la hora de planificar la incorporación de nuevos recursos hídricos alternativos o no convencionales a los sistemas de suministro de agua para riego agrícola.
4. Desarrollar metodologías para la auditoria y seguimiento del consumo energético, tanto en CCRRs como en parcela. Debido a la interrelación entre el consumo de agua, energía y emisiones de GEI, es necesario seguir trabajando en esta línea de investigación mediante el empleo de indicadores específicos. Se pretende gestionar de una manera conjunta y más eficiente los recursos hídricos y energéticos en las tres escalas de gestión del agua de riego, y así favorecer la sostenibilidad de la agricultura de regadío.
5. Respecto al manejo de agua en parcela es necesario continuar la evolución de los sistemas actuales hacia sistemas de riego aún más eficientes, como riego de precisión o el riego localizado a baja presión.
6. Fomentar las buenas prácticas agrícolas mediante la formación continua de los agricultores, lo que a medio plazo repercutirá favorablemente sobre la eficiencia hídrica y energética, así como sobre las emisiones de GEI.

Bibliografía

- Abadía R, Rocamora MC, Ruiz A. 2008a. Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes. Instituto para Diversificación y Ahorro de la Energía. Eficiencia y Ahorro Energético en Agricultura nº 10, 68 pp.
- Abadía R, Rocamora MC, Ruiz A, Puerto H. 2008b. Energy efficiency in irrigation distribution networks I: Theory. *Biosyst Eng* 101: 21-27.
- Abadía R, Rocamora MC, Córcoles JI, Ruiz-Canales A, Martínez-Romero A, Moreno MA. 2010. Comparative analysis of energy efficiency in water users associations. *Span J Agric Res* 8: 134-142.
- Abadía R, Rocamora MC, Vera J. 2012. Energy efficiency in irrigation distribution networks II: Applications. *Biosyst Eng* 111: 398-411.
- Acosta JA, Faz A, Jansen B, Kalbitz K, Martínez-Martínez S. 2011. Assessment of salinity status in intensively cultivated soils under semiarid climate, Murcia, SE Spain. *J Arid Environ* 75: 1056-1066.
- Ahmad A, Khan S. 2009. On comparison of water and energy productivities in pressurized irrigation systems. In Anderssen RS, Braddock RD, Newham LTH. 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand and International Association for Mathematics and Computers in Simulation: 2776-2782.
- Ahmad MD, Masih I, Turrall H. 2004. Diagnostic analysis of spatial and temporal variations in crop water productivity: A field scale analysis of the rice-wheat cropping system of Punjab, Pakistan. *J Appl Irrig Sci* 39: 43-63.
- Al-Ismaily H, Probert D. 1998. Water-resource facilities and management strategy for Oman. *Appl Energ* 61: 125-146.
- Alcalá F, Sancho I. 2002. Agua y producción agrícola: un análisis econométrico del caso de Murcia. *Estudios Agrosociales y Pesqueros* 197: 129-157.
- Alcón F. 2007. Adopción y difusión de tecnologías de riego en la Región de Murcia. *Serie Técnica de Estudios* nº 33. Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia, 223 pp.
- Alcón F, De Miguel MD, Fernández-Zamudio MA. 2006. Modelización de la difusión de la tecnología de riego localizado en el Campo de Cartagena. *Estudios Agrosociales y Pesqueros* 210: 227-245.
- Alcón F, De Miguel MD, Burton M. 2011. Duration analysis of adoption of drip irrigation technology in southeastern Spain. *Technol Forecast Soc* 78: 991-1001.
- Alcón F, Atenza J, Erena M, Alarcon JJ. 2012. Soil salinity prospects based on the quality of irrigation water used in the Segura basin, 223-229. En: *Options mediterraneennes: The use of remote sensing and geographic information systems for irrigation management in Southwest Europe*. CIHEAM, 239 pp.
- Allen RA, Pereira LS, Raes D, Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage paper* 56, 300 pp.
- Alluvione F, Moretti B, Sacco D, Grignani C. 2011. EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. *Energy* 36: 4468–4481.

- Amezketta E. 2006. An integrated methodology for assessing soil salinization, a precondition for land desertification. *J Arid Environ* 67: 594-606.
- APQC (American Productivity & Quality Center). El código de conducta del Benchmarking. www.apqc.org. Acceso enero 2012.
- Arcas N, Alcón F. 2007. Contribución de las entidades de “economía social” a la gestión eficiente del agua para uso agrícola. *Revista de Estudios Cooperativos* 91: 7-33.
- ASETUB (Asociación Española de Fabricantes de Tubos y Accesorios de Plásticos). <http://www.asetub.es/>. Acceso junio 2013.
- Ayers RS, Westcott DW. 1985. *Water Quality for Agriculture*, FAO Irrigation and Drainage paper 29, Rome.
- Awan UK, Tischbein B, Conrad C, Martius C, Hafeez M. 2011. Remote sensing and hydrological measurements for irrigation performance assessments in a water user association in the lower Amu Darya river basin. *Water Resour Manage* 25: 2467-2485.
- Bailey D, Wright E. 2003. *Practical SCADA for industry*. Elsevier. Amsterdam. 344 pp.
- Barros R, Isidoro D, Aragüés R. 2011. Long-term water balances in La Violada irrigation district (Spain): I. Sequential assessment and minimization of closing errors. *Agr Water Manage* 102: 35-45.
- Barros R, Isidoro D, Aragüés R. 2012. Three study decades on irrigation performance and salt concentrations and loads in the irrigation return flows of La Violada irrigation district (Spain). *Agric Ecosyst Environ* 151: 44-52.
- Batty JC, Keller J. 1980. Energy Requirements for Irrigation. En: Pimentel D, editor. *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL, p 35-44.
- Beccali M, Cellura M, Ludicello M, Mistretta M. 2009. Resource consumption and environmental impacts of the Agrofood sector: life cycle assessment of Italian citrus-based products. *Environ Manage* 43: 707-724.
- BEDCA (Base de Datos Española de Composición de Alimentos), Ministerio de Ciencia e Innovación. <http://www.bedca.net>. Acceso enero 3013.
- Berbel J, Calatrava J, Garrido A. 2007. Water Pricing and Irrigation: A review of the european experience, 295-327. En: *Irrigation water pricing. The gap between theory and practice*. Ed. Molle T. and Berkoff J. CAB International, Oxfordshire, UK. 357 pp.
- Berbel J, Mesa-Jurado MA, Pistón JM. 2011. Value of irrigation water in Guadalquivir basin (Spain) by residual value method. *Water Resour Manage* 25: 1565-1579.
- Bescós M, Cameo D, Castillo R, Citoler J, Santafé LJ. 2008. Alternativas para la reducción de costes energéticos en el diseño de redes de riego a presión mediante bombeo directo. Congreso de Huesca AERYD.
- BOE (Boletín Oficial del Estado). 2001. Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. Nº 176 de 24 Julio 2001, p 26791.
- BOE (Boletín Oficial del Estado). 2007. Real Decreto 1620/2007, de 7 diciembre por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Nº 294 de 8 diciembre 2007, p 50639.

- Bojaca CR, Schrevens E. 2010. Energy assessment of peri-urban horticulture and its uncertainty: case study for Bogota, Colombia. *Energy* 35: 2109-2118.
- Borgia C, García-Bolaños M, Li T, Gómez-Macpherson H, Comas J, Connor D, Mateos L. 2013. Benchmarking for performance assessment of small and large irrigation schemes along the Senegal Valley in Mauritania. *Agr Water Manage* 121: 19-26.
- Bowers W. 1992. Agricultural field equipment. En: Fluck RC, ed. *Energy in World Agriculture*, vol 6. Amsterdam. Elsevier, p 117-129.
- Brouwer C, Heibloem M. 1986. Irrigation water management: irrigation water needs. *FAO Training Manual* 3, 102 pp.
- Burt C, Clemmens A, Strelkoff T, Solomon T, Bliesner R, Hardy L, Howell T, Eisenhauer D. 1997. Irrigation performance measures-efficiency and uniformity. *J Irrig Drain Eng* 123: 423-442.
- Burt C. 2001. Proceso de Evaluación Rápida (RAP) y comparación con el patrón de referencia (benchmarking). Explicación y herramientas. *Irrigation training and research center*, 55 pp.
- Burt CM, Anderson SS. 2005. SCADA and related technologies for irrigation district modernization. *Proceedings USCID Water Management Conference*, Vancouver, WA, Oct. 26–29. USCID Denver. Colorado, 356 pp.
- Cabrera E. 2011. El binomio agua-energía. ¿un asunto de moda o de interés real?. *Fundación Ciudadanía y Valores*, 21 pp.
- Cakmak B, Beyribey Y, Yildirim E, Modal S. 2004. Benchmarking performance of irrigation schemes: a case study from Turkey. *Irrig Drain* 53: 155-163.
- Calatrava J, Martínez-Granados D. 2012. El valor de uso del agua en el regadío de la cuenca del Segura y en las zonas regables del trasvase Tajo-Segura. *Economía Agraria y Recursos Naturales* 12 (1): 5-32.
- Campalans R. 2001. ¿Qué es el Benchmarking?. *Area temática nº 2*. Fundación Rafael Campalans. Barcelona, 8 pp.
- Carrillo-Cobo MT, Rodríguez JA, Camacho E. 2010. The role of energy audits in irrigated areas. The case of 'Fuente Palmera' irrigation district (Spain). *Spa J Agric Res* 8: 152-161.
- Carrillo-Cobo MT, Rodríguez JA, Montesinos P, López R, Camacho E. 2011. Low energy consumption seasonal calendar for sectoring operation in pressurized irrigation networks. *Irrig Sci* 29: 157-169.
- CARM (Comunidad Autónoma Región de Murcia). <http://www.carm.es>. Acceso enero 2013.
- Castañón G. 2009. Agua y regadío sostenible. *Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible* 2: 33-58.
- CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas). 2011. Evaluación del Impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural, 281 pp.
- CENTER (Centro Nacional de Tecnologías de Regadíos). 2000. Evaluación en parcela de los sectores X y XI de la Comunidad de Regantes de Cartagena. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*, 58 pp.
- CHS (Confederación Hidrográfica del Segura). <http://www.chsegura.es>. Acceso enero 2013.

- Clemmens AJ, Molden DJ. 2007. Water uses and productivity of irrigation systems. *Irrig Sci* 25: 247-261.
- Cleveland J. 1995. The direct and indirect use of fossil fuels and electricity in USA agriculture 1910-1990. *Agric Ecosyst Environ* 55: 111-121.
- Clothier B. 2008. Wise use of water and nutrients in agriculture. *SciTopics*. http://www.scitopics.com/Wise_use_of_water_and_nutrients_in_agriculture.htm Acceso marzo 2013.
- Córcoles JI. 2009. La gestión del agua y la energía en el regadío mediante técnicas de Benchmarking. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla La Mancha. Albacete. 521 pp.
- Córcoles JI, De Juan JA, Ortega JF, Tarjuelo JM, Moreno MA. 2010. Management evaluation of water users associations using benchmarking techniques. *Agr Water Manage* 98: 1–11.
- Corominas J. 2009. Agua y energía en el riego, en la época de la sostenibilidad. Comunicaciones de los invitados especiales. Jornadas de Ingeniería del Agua. Madrid.
- CRCC (Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena). <http://www.crcc.es/>. Acceso enero 2013.
- CRLORCA (Comunidad de Regantes de Lorca). <http://www.crlorca.org>. Acceso enero 2013.
- De Pascale S, Barbieri G. 1995. Effects of soil salinity from long-term irrigation with saline-sodic water on yield and quality of winter vegetable crops. *Sci Hortic* 64: 145-157.
- De Stefano L, Llamas MR. 2013. Water, agriculture and the environment in Spain: can we square the circle?. CRC Press. Taylor and Francis, 316 pp.
- Dechmi F, Burguete J, Skhiri A. 2012. SWAT application in intensive irrigation systems: Model modification, calibration and validation. *J Hydrol* 470-471: 227-238.
- Del Amor F, Gomez J, Sanchez MI. 1998. Modernización de los regadíos tradicionales de Mula. *Cajamurcia*. Murcia, 99 pp.
- Del Amor PL. 2006. Sistema de acceso móvil para la gestión de servicios de riegos en comunidades de regantes. *Riegos y Drenajes XXI* 147: 70-73.
- Del Campo A. 2008. Las comunidades de regantes y su federación nacional. FENACORE, 69 pp.
- Dickie P. 2007. Making water-desalination: option or distraction for a thirsty world? Report for the WWF global freshwater programme; World Wildlife Fund, Switzerland, 53 pp.
- Downward SR, Taylor R. 2007. An assessment of Spain's Programa AGUA and its implications for sustainable water management in the province of Almería, southeast Spain. *J Environ Manage* 82: 277–289.
- Droogers P, Kite G. 1999. Water productivity from integrated basin modeling. *Irrig Drain Syst* 13: 275-290.
- Dubreuil A, Assoumou E, Bouckaert S, Selosse S, Maïzi N. 2013. Water modeling in an energy optimization framework – The water-scarce middle east context. *Appl Energ* 101: 268-279.

- Dursun M, Ozden S. 2012. Application of solar powered automatic water pumping in Turkey. *Int J Comput Elec Eng* 4: 161-164.
- ECONET (Centro Regional de Estadística de Murcia). <http://www.carm.es/econet/>. Acceso enero 2013.
- Ederra I, Murugarren N. 2010. La nueva tarifa eléctrica: la escalada de precios del agua. Servicio de Asesoramiento al Regante. Riegos de Navarra, 47 pp.
- Erdozain MS, Allen KJ, Morley KA, Powell DA. 2013. Failures in sprouts-related risk communication. *Food Control* 30: 649-656.
- Erena M, Rincon L, Arcas N, Perez P, Soto-García M, Garcia P, Alcon F. 2008. La gestión del agua en el Campo de Cartagena. IV Congreso mundial de Ingenieros Agrónomos y Profesionales de la Agronomía. Madrid.
- ESAMUR (Entidad de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Region de Murcia). 2013. <http://esamur.com/>. Acceso enero 2013.
- ESYRCE (Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos). 2011. Años 2002-2011. Informe sobre los regadíos en España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- ETI (Esquema Temas Importantes). 2008. Demarcación Hidrográfica del Segura. http://www.chsegura.es/export/descargas/planificacionydma/planificacion/docsdescarga/ETI_v6_29julio2008.pdf. Acceso marzo 2013.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1997. Modernization of irrigation schemes: past experiences and future options. FAO-RAP 1997/22, Water Report Series 12, Bangkok.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2011. Energy-smart food for people and climate. Issue paper. Rome: <http://www.fao.org/>. Acceso septiembre 2013.
- FENACORE (Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España). <http://www.fenacore.org/>. Acceso noviembre 2013.
- Fernández MA, Soria A. 2011. La contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes de origen agrario. *Formación Agroalimentaria*, nº 34. Consejería de Agricultura y Agua, 13 pp.
- Fernández MD, González AM, Carreño J, Pérez C, Bonachela S. 2007. Analysis of on-farm irrigation performance in Mediterranean greenhouses. *Agr Water Manage* 89: 251-260.
- Fluck RC. 1992. Energy in human labor. En: Fluck RC, ed. *Energy in world agriculture*, vol 6. Amsterdam. Elsevier, p 31–37.
- García J. 2007. Evaluación económica y eficiencia del agua de riego en frutales de regadío. Vol 3, Serie Técnica. Consejería de Agricultura y Agua, 115 pp.
- García V, Casañas A. 2010. Reverse osmosis, a key technology in combating water scarcity in Spain. *Desalination* 250: 950–955.
- Gallego-Elvira B. 2011. Análisis de la evaporación en embalses de riego y su reducción con coberturas de sombreado. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, 204 pp.
- García C, Olivares P. 1968. La huerta de Murcia en los siglos XII y XIII. Murcia: Universidad, Secretariado de Publicaciones, 33 pp.
- García-Ruiz JM, López-Moreno JI, Vicente-Serrano SM, Lasanta-Martínez T, Beguería S. 2011. Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth-Sci Rev* 105: 121–139.

- García-Sánchez F, Caravajal M, Porras I, Martínez V. 2003. Effects of salinity and rate of irrigation on yield, fruit quality and mineral composition of 'Fino 49' lemon. *Eur J Agron* 19: 427-437.
- García-Tejero I, Durán-Zuazo VH, Jiménez-Bocanegra JA, Muriel-Fernández JL. 2011. Improved water-use efficiency by deficit irrigation programmes: Implications for saving water in citrus orchards. *Sci Hortic* 128: 274-282.
- García-Vila M, Lorite IJ, Soriano MA, Fereres E. 2008. Management trends and responses to water scarcity in an irrigation scheme of southern Spain. *Agr Water Manage* 95: 458-468.
- García-Vila M, Fereres E. 2012. Combining the simulation crop model AquaCrop with an economic model for the optimization of irrigation management at farm level. *Eur J Agron* 36: 21-31.
- Geerts S, Raes D. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agr Water Manage* 96: 1275-1284.
- Ghazalli MA. 2004. Benchmarking of irrigation projects in Malaysia: Initial implementation stages and preliminary results. *Irrig Drain* 53: 195-212.
- Gil E. 2006. Los paisajes agrarios de la Región de Murcia. *Papeles de Geografía* 43: 19-30.
- Gil E. 2010. La Región de Murcia, un laboratorio de experiencias de ahorro y eficiencia en el uso del agua: La modernización de sus regadíos, entre la política agraria y ambiental de la Unión Europea. *Papeles de Geografía* 51-52: 131-145.
- Gil-Ortega R. 1999. El cultivo de la alcachofa. Variedades de semilla. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 47 pp.
- Giménez M, Perez I, Baños P, Pedreño A. 2010. Las comunidades de regantes: análisis multidisciplinar sobre los marcos institucionales, reglas y fórmulas de participación social entorno a los manantiales de la Comarca del Noroeste (Región de Murcia, España). 1^{er} Congreso Red de Investigadores Sociales Sobre Agua. México, 22 pp.
- Giorgi F, Lionello P. 2008. Climate change projections for the Mediterranean region. *Global Planet Change* 63: 90-104.
- Gómez JM. 1997. El regadío en el umbral del siglo XXI: planes de mejora y modernización. *Papeles de Geografía* 25: 75-102.
- Gómez JM, García R, Gil E. 2007. Modernización de regadíos con aguas subterráneas en ámbitos semiáridos. *Revista Electrónica@ de Medioambiente* 3: 1-22.
- Gómez JM, Gil E, García R. 2005. Insuficiencias hídricas y modernización de los regadíos en la Cuenca de Mula. *Papeles de Geografía* 41-42: 101-121.
- Gómez JM, Lopez JA, Montaner Salas ME. 2011. Modernización de regadíos: sostenibilidad social y económica. La singularidad de los regadíos del Trasvase Tajo-Segura. Universidad de Murcia, 439 pp.
- Gonçalves JM, Pereira LS. 2009. A decision support system for surface irrigation design. *J Irrig Drain Eng* 135: 343-356.
- Grindlay AL, Zamorano M, Rodríguez MI, Molero E, Urrea MA. 2011. Implementation of the european water framework directive: Integration of hydrological and regional planning at the Segura River Basin, southeast Spain. *Land Use Policy* 28: 242-256.

- Gurutze M, Ochoa C. 2005. Una revisión teórica de la herramienta de benchmarking. *Revista de Dirección y Administración de Empresas* 12: 73-103.
- Guzmán GI, Alonso AM. 2008. A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain. *Agric Syst* 98: 167-176.
- Hardy L, Garrido A. 2010. Análisis y evaluación de las relaciones entre el agua y la energía en España. *Papeles del Agua Virtual* 6. Fundación Botín, 208 pp.
- Hardy L, Garrido A, Juana L. 2012. Evaluation of Spain's water-energy nexus. *Inter J Water Resour Develop* 28: 151-170.
- Heichel GH. 1980. Assessing the fossil energy costs of propagating agricultural crops. En: Pimentel D, editor. *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton, FL, CRC Press, p 27-34.
- Hernández-Sancho F, Molinos-Senante M, Sala-Garrido R. 2010. Economic valuation of environmental benefits from wastewater treatment process: an empirical approach for Spain. *Sci Total Environ* 408: 953-957.
- Helsel ZR. 1992. Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use. En: Fluck RC, ed. *Energy in world agriculture*, vol 6. Amsterdam. Elsevier:177- 201.
- Hsiao T, Steduto P, Fereres E. 2007. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. *Irrig Sci* 25: 209-231.
- Huang Y, Li YP, Chen X, Ma YG. 2012. Optimization of the irrigation water resources for agricultural sustainability in Tarim River Basin, China. *Agr Water Manage* 107: 74-85.
- Iberdrola. <http://www.iberdrola.es>. Acceso noviembre 2013.
- IDAE (Instituto para Diversificación y Ahorro de la Energía). 2005. Ahorro y eficiencia energética en agricultura de regadío. Ahorro y eficiencia energética en agricultura nº 2, 36 pp.
- Iglesias A, Garrote L, Flores F, Moneo M. 2007. Challenges to manage the risk of water scarcity and climate change in the Mediterranean. *Water Resour Manage* 21: 775-788.
- Iglesias R, Ortega E. 2008. Present and future of wastewater reuse in Spain. *Desalination* 218: 105-119.
- Iglesias R, Ortega E, Batanero G, Quintas L. 2010. Water reuse in Spain: Data overview and costs estimation of suitable treatment trains. *Desalination* 263: 1-10.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). <http://www.ine.es>. Acceso Noviembre 2013.
- IPCC (IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories). 2006. En: Eggleston HAS, Biennia L, Miwa K, Negara T, Tanabe K. (Eds.), Prepared by national greenhouse gas inventories programme. Eggleston Published, IGES, Japan.
- IPCC. 2008. Climate change and water technical paper of the intergovernmental panel on climate change. IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- Jackson TM, Khan S, Hafeez M. 2010. A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level. *Agr Water Manage* 97: 1477-1485.
- Jacobsen SE, Jensen CR, Liu F. 2012. Improving crop production in the arid Mediterranean climate. *Field Crop Res* 128: 34-47.

- Jayatillake HM. 2004. Application of performance assessment and benchmarking tool to help improve irrigation system performance in Sri Lanka. *Irrig Drain* 53: 185-193.
- Jebaraj S, Iniyar S. 2006. A review of energy models. *Renew Sust Energ Rev* 10: 281–311.
- Jiménez-Bello MA, Martínez-Alzamora F, Bou V, Bartolí HJ. 2010. Methodology for grouping intakes of pressurised irrigation networks into sectors to minimise energy consumption. *Biosyst Eng* 105: 429-438.
- Jiménez-Bello MA, Martínez-Alzamora F, Castel JR, Intrigliolo DS. 2011. Validation of a methodology for grouping intakes of pressurized irrigation networks into sectors to minimize energy consumption. *Agr Water Manage* 102: 46-53.
- Jiménez-Martínez J, Skaggs TH, Van Genuchten MTh, Candela L. 2009. A root zone modelling approach to estimating groundwater recharge from irrigated áreas. *J Hydrol* 367: 138-149.
- Kazbekov J, Abdullaev I, Manthrithilake H, Qureshi A, Jumaboev K. 2009. Evaluating planning and delivery performance of Water User Associations (WUAs) in Osh Province, Kyrgyzstan. *Agr Water Manage* 96: 1259-1267.
- Katerji N, Mastrorilli M, Rana G. 2008. Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: review and analysis. *Eur J Agron* 28: 493-507.
- Keller J, Bliesner RD. 1990. *Sprinkle and trickle irrigation*. Van Nostrand Reinhold. New York, 652 pp.
- Kim Y, Evans RG. 2009. Software design for wireless sensor-based site-specific irrigation. *Comp Electron Agric* 66: 159-165.
- Kizilaslan H. 2009. Input–output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. *Appl Energ* 86: 1354-1358.
- Koutroulis AG, Tsanis IK, Daliakopoulos IN, Jacob D. 2013. Impact of climate change on water resources status: a case study for Crete Island, Greece. *J Hydrol* 479: 146-158.
- Lacy J. 2011. Cropcheck: Farmer benchmarking participatory model to improve productivity. *Agric Syst* 104: 562-571.
- Lal R. 2004. Carbon emission from farm operations. *Environ Int* 30: 981-990.
- Lamaddalena N, Khila S. 2012. Energy saving with variable speed pumps in on-demand irrigation systems. *Irrig Sci* 30: 157-166.
- Lapuente E. 2012. Full cost in desalination. A case study of the Segura River Basin. *Desalination* 300: 40-45.
- Lawes RA, Kingwell RS. 2012. A longitudinal examination of business performance indicators for drought-affected farms. *Agric Syst* 106: 94-101.
- Lecina S, Isidoro D, Playán E, Aragüés R. 2010. Irrigation modernisation and water conservation in Spain: the case of Riegos del Alto Aragón. *Agr Water Manage* 97: 1663-1675.
- Lee WS, Burks TF, Schueller JK. 2002. Silage yield monitoring system. ASABE paper 021165. St Joseph, USA.
- López J. 2006. La transformación del paisaje en el regadío tradicional de la Huerta de Mula. *Papeles de Geografía* 44: 59-72.
- López-Gunn E, Zorrilla P, Prietod F, Llamase MR. 2012. Lost in translation? Water efficiency in Spanish agriculture. *Agr Water Manage* 108: 83-95.

- Lorite IJ, Mateos L, Fereres E. 2004. Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment. II. Variability among crops and farmers. *Irrig Sci* 23: 85-92.
- Lorite IJ, Mateos L, Orgaz F, Fereres E. 2007. Assessing deficit irrigation strategies at the level of an irrigation district. *Agr Water Manage* 91: 51-60.
- Luc J P, Tarhouni J, Calvez R, Messaoud L, Sablayrolles C. 2006. Performance indicators of irrigation pumping stations: application to drill holes of minor irrigated areas in the kairouan plains (tunisia) and impact of malfunction on the price of water. *Irrig Drain* 55: 85-98.
- Maestre-Valero JF. 2011. Efectos de la aplicación de coberturas de sombreo suspendidas sobre balsas de riego. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena, 141 pp.
- MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente). <http://www.magrama.gob.es>. Acceso enero de 2013.
- Malano H, Burton M. 2001. Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector. En: *International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage (IPTRID)*, Rome, 44 pp.
- Malano H, Burton M, Makin I. 2004. Benchmarking performance in the irrigation and drainage sector: a tool for change. *Irrig Drain* 53: 119-133.
- Maraseni TN, Mushtaq S, Reardon-Smith K. 2012. Integrated analysis for a carbon- and water-constrained future: an assessment of drip irrigation in a lettuce production system in eastern Australia. *J Environ Manage* 111: 220-226.
- Martínez R, Gómez JM. 2008. Modernización de regadíos en el Valle del Guadalentín. XIV Coloquio de Geografía Rural: Los Espacios Rurales Españoles en el Nuevo Siglo. Murcia.
- Martínez-Alvarez V, Baille A, Molina Martínez JM, González-Real MM. 2006. Efficiency of shading materials in reducing evaporation from free water surfaces. *Agr Water Manage* 84: 229-239.
- Martínez-Alvarez V, González-Real MM, Baille A, Maestre Valero JF, Gallego Elvira B. 2008. Regional assessment of evaporation from agricultural irrigation reservoirs in a semiarid climate. *Agr Water Manage* 95: 1056-1066.
- Martínez-Alvarez V, Calatrava J, Maestre-Valero JF, Martín-Gorriz B. 2009. Economic assessment of shade-cloth covers for agricultural irrigation reservoirs in a semi-arid climate. *Agr Water Manage* 96: 1351-1359.
- Martínez-Alvarez V, García-Bastida PA, Martín-Gorriz B, Soto-García M. 2014. Adaptive strategies of on-farm water management under water supply constraints in south-eastern Spain. *Agr Water Manage* 136: 59-67.
- Martínez-Carrasco F, Martínez JM. 2011. El cluster agroalimentario de la Región de Murcia. *Cuadernos de Estudios Agroalimentarios* 2: 175-198.
- Martínez-Fernández J, Esteve-Selma MA, Baños-González I, Carreño F, Moreno A. 2013. Sustainability of Mediterranean irrigated agro-landscapes. *Ecol Model* 248: 11-19.
- Martínez-Granados D, Maestre-Valero JF, Calatrava J, Martínez-Alvarez V. 2011. The economic impact of water evaporation losses from water reservoirs in the Segura basin, SE Spain. *Water Resour Manage* 25: 3153-3175.

- Mathiyalagan V, Grunwald S, Reddy KR, Bloom SA. 2005. A WebGIS and geodatabase for Florida's wetlands. *Comput Electron Agric* 47: 69-75.
- McGinnis RL, Elimelech M. 2008. Global challenges in energy and water supply: the promise of engineered osmosis. *Environ Sci Technol* 42: 8625-8629.
- MedWSD (Mediterranean Water Scarcity and Drought). 2007. Mediterranean water scarcity & drought working group, European Commission Technical Report 009-2007. <http://www.emwis.net/topics/WaterScarcity>.
- Melgarejo J. 2009. El Trasvase Tajo-Segura: Repercusiones económicas, sociales y ambientales en la Cuenca del Segura. *Caja Mediterráneo*, 635 pp.
- Melgarejo J, Molina A, Del Villar A. 2009. La responsabilidad patrimonial del estado ante la hipotética reducción o cancelación del Trasvase Tajo-Segura. *Fundación Agua y Progreso de la Comunidad Valenciana*, 144 pp.
- Melgarejo J, Montaña B. 2009. La eficiencia energética en el trasvase Tajo-Segura. En: *Cuides, Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible 3*. Fundación CajaMar, p 173-193.
- Melgarejo J, Molina A, Del Villar A. 2010. El valor socioeconómico del Trasvase Tajo-Segura. Análisis jurídico y económico ante la hipótesis de su reducción y cancelación. *COEPA y Fundación Agua y Progreso de la Comunidad Valenciana*, 175 pp.
- Melián-Navarro A, Canatario-Duarte A, Ruiz-Canales A. 2010. Aplicación de indicadores de benchmarking en comunidades de regantes. *Evaluación comparativa de dos realidades de la península Ibérica. Riegos y drenajes XXI* 175: 14-19.
- Merriam JL, Keller J. 1978. *Farm irrigation system evaluation. A guide for managements*. Utah State University. Logan, Utah, USA.
- Mo W, Zhang Q, Mihelcic JR, Hokanson DR. 2011. Embodied energy comparison of surface and groundwater supply options. *Water Res* 45: 5577-5586.
- Molina JL, García-Aróstegui JL, Benavente J, Varela C, De la Hera A, López JA. 2009. Aquifers overexploitation in SE Spain: a proposal for the integrated analysis of water management. *Water Resour Manage* 23: 2737-2760.
- Molina JL, García-Aróstegui JL, Bromley J, Benavente J. 2011. Integrated assessment of the European WFD implementation in extremely overexploited aquifers through participatory modelling. *Water Resour Manage* 25: 3343-3370.
- Montaner ME. 1992. La sequía, freno inevitable al desarrollo de la Región?. *Papeles de Geografía* 18: 185-193.
- Montoro A, López-Fuster P, Fereres E. 2011. Improving on-farm water management through an irrigation scheduling service. *Irrig Sci* 29: 311-319.
- Morales A, Rico AM, Hernández M. 2005. El trasvase Tajo-Segura. *Observatorio Medioambiental* 8: 73-110.
- Moreno MA, Ortega JF, Corcoles JI, Martínez A, Tarjuelo JM. 2010a. Energy analysis of irrigation delivery systems: monitoring and evaluation of proposed measures for improving energy. *Irrig Sci* 28: 445-460.
- Moreno MA, Córcoles JI, Tarjuelo JM, Ortega JF. 2010b. Energy efficiency of pressurised irrigation networks managed on-demand and under a rotation schedule. *Biosyst Eng* 107: 349-363.

- Moreno-Pérez MF, Roldán-Cañas J. 2013. Assessment of irrigation water management in the Genil-Cabra (Córdoba, Spain) irrigation district using irrigation indicators. *Agr Water Manage* 120: 98-106.
- Nasso N, Di Nasso N, Bosco S, Di Bene C, Coli A, Mazzoncini M, Bonari E. 2011. Energy efficiency in long-term Mediterranean cropping systems with different management intensities. *Energy* 36: 1924-1930.
- Nelson E. 2002. Low cost options for creating a GIS. *American City and County*, 10.
- Nicolás E, Pedrero F, Alarcon JJ, Mounzer O, Martínez-Álvarez V, Nortes PA, Alcon F, Egea G, De Miguel MM. 2012. Estudio de la viabilidad del uso de las aguas regeneradas procedentes de la EDAR de Jumilla en la Comunidad de Regantes Miraflores. *Universidad Politécnica de Cartagena*, 55 pp.
- Orellana FJ, Del Sagrado J, Del Aguila MI. 2011. SAIFA: A Web-based system for integrated production of olive cultivation. *Comput Electron Agric* 78: 231-237.
- Oksanen T, Ohman M, Miettinen M, Visala A. 2004. Open configurable control system for precision farming. *ASABE paper 701P1004*. St Joseph, USA.
- Ozkan B, Akcaoz H, Karadeniz F. 2004. Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. *Energ Convers Manage* 45: 1821-1830.
- Pavan W, Fraisse CW, Peres NA. 2011. Development of a Web-based disease forecasting system for strawberries. *Comput Electron Agric* 75: 169-175.
- Pedrero F, Kalavrouziotis I, Alarcón JJ, Koukoulakis P, Asano T. 2010. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture-Review of some practices in Spain and Greece. *Agri Water Manage* 97: 1233-1241.
- Pérez-Blanco CD, Gómez CM, Del Villar A. 2011. El riesgo de disponibilidad de agua en la agricultura: una aplicación a las cuencas del Guadalquivir y del Segura. *Estudios de Economía Aplicada* 29: 333-358.
- Pérez-Sirvent C, Martínez-Sánchez MJ, Vidal J, Sánchez A. 2003. The role of low-quality irrigation water in the desertification of semi-arid zones in Murcia, SE Spain. *Geoderma* 113: 109-125.
- Pereira LS, Oweis T, Zairi A. 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agr Water Manage* 57: 175-206.
- Pereira LS. 2004. Trends for irrigated agriculture in the Mediterranean region: coping with water scarcity. *Eur Water* 7/8: 47-64.
- Pereira LS, Cordery I, Iacovides I. 2012. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agr Water Manage* 108: 39-51.
- Pergola M, D'Amico M, Celano G, Palese AM, Scuderi A, Di Vita G, Pappalardo G, Inglese P. 2013. Sustainability evaluation of Sicily's lemon and orange production: An energy, economic and environmental analysis. *J environ manage* 128: 674-682.
- Perry C, Steduto P, Allen RG, Burt CM. 2009. Increasing productivity in irrigated agriculture: agronomic constraints and hydrological realities. *Agr Water Manage* 96: 1517-1524.
- Pimentel D. 1992. Energy inputs in production agriculture. En: Fluck RC, editor. *Energy in farm production*, vol 6. Amsterdam. Elsevier, p 3-29.

- Pishgar-Komleh SH, Omid M, Heidari MD. 2013. On the study of energy use and GHG (greenhouse gas) emissions in greenhouse cucumber production in Yazd province. *Energy* 59: 63-71.
- Plappally AK, Lienhard JH. 2012. Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation, and disposal. *Renew Sust Energ Rev* 16: 4818-4848.
- Playán E, Mateos L. 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agr Water Manage* 80: 100-116.
- Playán E, Cavero J, Mantero I, Salvador R, Lecina S, Faci JM, Andres J, Salvador V, Cardeña G, Ramon S, Lacueva JL, Tejero M, Ferri J, Martínez-Cob A. 2007. A database program for enhancing irrigation district management in the Ebro Valley (Spain). *Agr Water Manage* 87: 209-216.
- Plusquellec H. 2009. Modernisation of large-scale irrigation systems: Is it an achievable objective or a lost cause? *Irrig Drain* 58: 104-120.
- Pulido I, Gutiérrez J, Roldán J, López, R. 2006. Depósitos de regulación en cabecera de redes hidráulicas a presión. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica* 10 (2): 81-96.
- PWC (PriceWaterhouseCoopers). 2013. Impacto económico del trasvase Tajo-Segura, 73 pp.
- Quiroga S, Iglesias A. 2009. A comparison of the climate risks of cereal, citrus, grapevine and olive production in Spain. *Agric Syst* 101: 91-100.
- Rasouliazar S. 2011. A study of factors influencing development of pressurized irrigation systems in Iran (Case Study in West Azerbaijan Province). *Am-Eurasian J Agric Environ Sci* 10: 928-933.
- Rey J, Martínez J, Barberá GG, García-Aróstegui JL, García-Pintado J, Martínez-Vicente D. 2013. Geophysical characterization of the complex dynamics of groundwater and seawater exchange in a highly stressed aquifer system linked to a coastal lagoon (SE Spain). *Environ Earth Sci* 70(5): 2271-2282.
- Rhoades JD, Kandiah A, Mashali AM. 1992. The use of saline waters for crop production. *FAO Irrigation and Drainage paper* 48. Roma, 133 pp.
- Ribal J, Sanjuán N, Clemente G, Fenollosa ML. 2009. Medición de la ecoeficiencia en procesos productivos en el sector agrario. Caso de estudio sobre producción de cítricos. *Economía Agraria y Recursos Naturales* 9: 125-148.
- Richards QD, Bange MP, Johnston SB. 2008. HydroLOGIC: An irrigation management system for Australian cotton. *Agric Syst* 98: 40-49.
- Rijo M. 2008. Design and field tuning of an upstream controlled canal network SCADA. *Irrig Drain* 57: 123-137.
- Rocamora MC, Abadía R, Ruiz A. 2008. Ahorro y Eficiencia Energética en Comunidades de Regantes. Instituto para Diversificación y Ahorro de la Energía. Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura nº 9, 42 pp.
- Rodríguez JA. 2003. Análisis de la gestión del agua de riego y aplicación de las técnicas de benchmarking a las zonas regables de Andalucía. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, Córdoba, 332 pp.
- Rodríguez JA, Pérez L, Camacho E, López R. 2005. IGRA. A tool for applying the benchmarking initiative to irrigated areas. *Irrig Drain* 54: 307-319.

- Rodríguez JA, Camacho E, López R, Pérez L. 2008. Benchmarking and multivariate data analysis techniques for improving the efficiency of irrigation districts: an application in Spain. *Agric Syst* 96: 250-259.
- Rodríguez JA, López R, Carrillo MT, Montesinos P, Camacho E. 2009. Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurised irrigation networks. *Biosyst Eng* 104: 552-561.
- Rodríguez JA, Pérez L, Camacho E, Montesinos P. 2011a. The paradox of irrigation scheme modernization: more efficient water use linked to higher energy demand. *Span J Agric Res* 9: 1000-1008.
- Rodríguez J A, Camacho-Poyato E, Blanco-Pérez M. 2011b. Evaluation of water and energy use in pressurized irrigation networks in Southern Spain. *J Irrig Drain Eng* 137: 644-650.
- Romero R, Muriel JL, García I, Muñoz de la Peña D. 2012. Research on automatic irrigation control: state of the art and recent results. *Agr Water Manage* 114: 59- 66.
- Rossman LA. 2000. EPANET 2. Users Manual. US Environmental Protection Agency, USA, 200 pp.
- Ruiz A, Molina JM. 2010. Automatización y telecontrol de sistemas de riego. Marcombo, 426 pp.
- Sandman P, Lanard J. 2011. Explaining and proclaiming uncertainty: risk communication lessons from Germany's Deadly E. coli Outbreak. Peter Sandman. <http://www.psandman.com/col/GermanEcoli.htm>.
- Sagardoy JA, Bottrall A, Uittenbogaard GO. 1982. Organization, operation and maintenance of irrigation schemes. FAO Irrigation and Drainage paper 40. Roma, 174 pp.
- Salvador R, Martínez-Cob A, Cavero J, Playán E. 2011. Seasonal on-farm irrigation performance in the Ebro basin (Spain): Crops and irrigation systems. *Agr Water Manage* 98: 577-587.
- San Martín E. 2011. Un análisis económico de los trasvases de agua intercuenas: El Trasvase Tajo Segura. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Educación a Distancia, 525 pp.
- Sánchez-Moreno S, Ferris H, Young-Mathews A, Culman S, Jackson L. 2011. Abundance, diversity and connectance of soil food web channels along environmental gradients in an agricultural landscape. *Soil Biol Biochem* 43: 2374-2383.
- Schaldach R, Koch J, Aus der Beek T, Kynast E, Flörke M. 2012. Current and future irrigation water requirements in pan-Europe: An integrated analysis of socio-economic and climate scenarios. *Global Planet Change* 94–95: 33-45.
- SCRATS (Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura). <http://www.scrats.com/>. Acceso enero 2013.
- Serra P, Pons X. 2013. Two Mediterranean irrigation communities in front of water scarcity: A comparison using satellite image time series. *J Arid Environ* 98: 41-51.
- Serrano S, Jiménez-Hornero FJ, Gutiérrez de Ravé E, Jodral ML. 2008. GIS design application for "Sierra Morena Honey" designation of origin. *Comput Electron Agric* 64: 307-317.

- SIAM (Sistema de Información Agraria de Murcia). <http://siam.imida.es>. Acceso enero 2013.
- Siddiqi A, Diaz L. 2011. The water–energy nexus in Middle East and North Africa. *Energy Policy* 39: 4529-4540.
- SIRRIMED (Sustainable use of IRRigation water in the MEDiterranean region). <http://www.sirrimed.org>. Acceso marzo 2013.
- Skhiri A, Dechmi F. 2012. Impact of sprinkler irrigation management on the Del Reguero river (Spain). I: Water balance and irrigation performance. *Agr Water Manage* 103: 120-129.
- Soni P, Taewichit C, Salokhe VM. 2013 Energy consumption and CO2 emissions in rainfed agricultural production systems of Northeast Thailand. *Agric Syst* 116: 25-36.
- Soto-García M, Martínez-Alvarez V, Valiente M, Del Amor F. 2007. Modernización de la zona regable del Campo de Cartagena. *Riegos y Drenajes XXI* 157: 28-35.
- Soto-García M, Martínez-Alvarez V, García-Bastida PA, Alcón F, Martín-Gorriz B. 2013a. Effect of water scarcity and modernisation on the performance of irrigation districts in south-eastern Spain. *Agr Water Manage* 124: 11-19.
- Soto-García M, Del-Amor-Saavedra P, Martín-Gorriz B, Martínez-Alvarez V. 2013b. The role of information and communication technologies in the modernisation of water user associations management. *Comput Electron Agric* 98: 121-130.
- Soto-García M, Martín-Gorriz B, García-Bastida PA, Alcón F, Martínez-Alvarez V. 2013c. Energy consumption for crop irrigation in a semiarid climate (south-eastern Spain). *Energy* 55: 1084-1093.
- Stokes JR, Horvath A. 2006. Life cycle energy assessment of alternative water supply systems. *Int J Life Cycle Ass* 11: 335-343.
- Stokes JR, Horvath A. 2009. Energy and air emission effects of water supply. *Environ Sci Technol* 43: 2680-2687.
- Styczen M, Poulsen RN, Falk AK, Jørgensen GH. 2010. Management model for decision support when applying low quality water in irrigation. *Agr Water Manage* 98: 472-481.
- Sutton BG, Merit N. 1993. Maintenance of lettuce root zone at field capacity gives best yields with drip irrigation. *Sci Hortic* 56: 1-11.
- Tanaka Y, Sato Y. 2005. Farmers managed irrigation districts in Japan: Assessing how fairness may contribute to sustainability. *Agr Water Manage* 77: 196-209.
- Tarjuelo JM, De-Juan JA, Moreno MA, Ortega JF. 2010. Review. Water resources deficit and water engineering. *Span J Agric Res* 8: 102-121.
- Tobarra MA, Castros JP. 2011. Incertidumbre hídrica y prima de riesgo en la agricultura de la Cuenca del Segura. *Revista Atlántica de Economía* 2: 1-17.
- USAID (United States Agency for International Development). 2001. USAID Global environment center environment notes. The water-energy nexus: opportunities for integrated environmental management. Washington DC.

- Uysal O, Atis E. 2010. Assessing the performance of participatory irrigation management over time: a case study from Turkey. *Agr Water Manage* 97: 1017–1025.
- Vargas-Amelin E, Pindado P. 2013. The challenge of climate change in Spain: water resources, agriculture and land. *J Hydrol* (In Press).
- Vera P. 2005. Murcia y el agua: Historia de una pasión. Comisión mixta Asamblea Regional de Murcia, Real Academia Alfonso X el Sabio. Murcia, 240 pp.
- Vermillion DL, Sagardoy JA. 2001. La transferencia de la gestión del riego: Directrices. *FAO Riego y Drenaje* 58. Roma, 102 pp.
- Victoria-Jumilla F. 2010. Etiquetado de carbono en las explotaciones y productos agrícolas. La iniciativa agricultura murciana como sumidero de CO₂. *Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia*, 328 pp.
- Werner AD, Zhang Q, Xue L, Smerdon BD, Li X, Zhu X, Yu L, Li L. 2013. An initial inventory and indexation of groundwater mega-depletion cases. *Water Resour Manage* 27: 507-533.
- WWAP (World Water Assessment Programme). 2012. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. Paris, UNESCO.
- Xu L, Chen L, Chen T, Gao Y. 2011. SOA-based precision irrigation decision support system. *Math Comput Model* 54: 944-949.
- Younos T. 2005. The economics of desalination. *J Contemp Water Res Educ* 132: 39-45.
- Zazueta FS, Xin J, Pereira LS, Musy A. 2006. Information technologies in water management. En: Munack, A. *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*, vol VI: Information Technologies. ASABE St Joseph, USA, p 314-324.
- Zhang Z. 2004. Investigation of wireless sensor networks for precision agriculture. ASABE paper 041154. St Joseph, USA.
- Zwart SJ, Bastiaanssen WGM, Fraiture C, Molden DJ. 2010. A global benchmarkmap of water productivity for rainfed and irrigated wheat. *Agr Water Manage* 97: 1617-1627.



Este libro es el fruto de una intensa labor investigadora relativa al uso del agua en el regadío de la Región de Murcia durante la década 2002-2011. El trabajo se enmarca en el proyecto internacional de investigación SIRRIMED “*Sustainable use of IRRigation water in the MEDiterranean region*”, financiado por la Unión Europea. El estudio se ha desarrollado en cinco de las principales y más representativas comunidades de regantes de la Región de Murcia: Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena, Comunidad de Regantes de Lorca, Comunidad de Regantes del Tránsito Tajo Segura Calasparra-Cieza, Comunidad de Regantes Pantano de la Cierva y Comunidad de Regantes de Miraflores.

En este trabajo el lector encontrará una amplia caracterización del regadío de la Región de Murcia, mediante indicadores de gestión. Se trata de un análisis científico-técnico completamente innovador en esta importante zona agrícola, donde se han utilizado metodologías no aplicadas con anterioridad, y cuyos resultados permiten conocer la situación actual del regadío murciano y su relación con los principales problemas que le afectan.

Además se abordan cuestiones de gran interés para la agricultura de regadío, como los efectos de la escasez de agua y de la modernización, el vínculo entre el uso del agua y la energía, o los posibles efectos sobre el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero del origen de los recursos hídricos.

