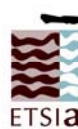


**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**



TAI+DAA
Máster y Doctorado
Universidad Politécnica de Cartagena



**Máster Universitario en Técnicas Avanzadas en
Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario**

Trabajo Fin de Máster

**Efecto de las restricciones de
suministro de agua en la gestión de
explotaciones agrícolas del Campo
de Cartagena**

Alumno: Pedro Antonio García Bastida

**Directores: Victoriano Martínez Álvarez
Bernardo Martín Górriz**

Cartagena, Julio 2013



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

AUTORIZACIÓN DE LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

Dr. VICTORIANO MARTÍNEZ ÁLVAREZ y Dr. BERNARDO MARTÍN GÓRRIZ

EN CALIDAD DE DIRECTOR INFORMA:

Que el trabajo titulado “**Efecto de las restricciones de suministro de agua en la gestión de explotaciones agrícolas del Campo de Cartagena**”, ha sido realizado por **D. Pedro Antonio García Bastida**, bajo la dirección y supervisión de **Dr. Victoriano Martínez Álvarez** y **Dr. Bernardo Martín Górriz**, y que se autoriza al alumno a la defensa del mismo.

Dicho trabajo se ha presentado en el **XXXI Congreso Nacional de Riegos** celebrado en Orihuela (Alicante) del 18 al 20 de Junio de 2013 y está en proceso de evaluación para su publicación en **Irrigation Science**.

En Cartagena, a _____ de _____ de _____

Fdo.: Victoriano Martínez Álvarez

Fdo.: Bernardo Martín Górriz

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. METODOLOGÍA	6
2.1. Zona de Estudio	6
2.2. Indicadores seleccionados	8
2.3. Nuevos indicadores propuestos en este estudio: ARIS₀ y ARIS_r	10
2.4. Adquisición y tratamiento de datos	14
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
3.1. Resultados globales en la CR	19
3.2. Hortícolas de invierno	22
3.3.- Hortícolas de verano	23
3.4.- Hortícolas anuales	25
3.5.- Cultivos de invernaderos	27
3.6.- Cultivos de cítricos	28
4.- CONCLUSIONES	30
Agradecimientos	32
Referencias	33

Efecto de las restricciones de suministro de agua en la gestión de explotaciones agrícolas del Campo de Cartagena

Resumen

Este estudio analiza el efecto de la escasez de agua de riego en la gestión de las explotaciones agrícolas de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (sureste de España), caracterizada por un clima semiárido y un marcado déficit estructural de agua. La metodología aplicada fue la evaluación comparativa de indicadores de gestión durante dos periodos de tiempo con distinta disponibilidad de agua: 2011, año de suministro normal; y 2008, año con importantes restricciones en el suministro. Se seleccionó y calculó un conjunto de indicadores de gestión, para evaluar el efecto de las restricciones de agua en el manejo y productividad de las explotaciones. Además se propone una novedosa adaptación del indicador Aporte Relativo Anual de Riego (ARIS) que considera tanto la calidad del sistema de riego como del agua aplicada, de forma que se facilita la interpretación de sus valores.

Los resultados indican que los agricultores intensifican las extracciones de agua salobre del acuífero en periodos de restricciones de agua suministrada. Como consecuencia de la aplicación de agua con mayor salinidad se incrementa la fracción de lavado necesaria, dando lugar a mayores requerimientos de riego. Además, la mayor salinidad del agua de riego produce menores rendimientos para la mayoría de los cultivos. Los agricultores afrontan la escasez de agua con diferentes estrategias, como disminuyendo la superficie de riego de cultivos de ciclo corto, potenciando los cultivos más tolerantes a la salinidad, y desalando agua salobre del acuífero.

Effect of water supply constraints on farm management in the “Campo de Cartagena”

Abstract

The present study analyses the effect of irrigation water constraints on farm management in the Campo de Cartagena Irrigation District (south-east Spain), which is characterised by a semi-arid climate with a marked structural water deficit. The methodology applied was the comparative assessment of management indicators during two periods of time with differing water availability: 2011, a year with a normal supply; and 2008, which was a year with important constraints in the water supply. A set of performance indicators was selected and calculated to assess the effect of water supply constraints on on-farm water management and productivity. A novel adaptation of the indicator annual relative irrigation supply (ARIS) is also proposed, which considers both the quality of the irrigation system as well as the water applied, in such a way as to facilitate the interpretation of its values.

The results indicate that the farmers intensify the extraction of brackish groundwater in periods with water supply constraints. As a consequence of the application of water with a greater salinity the leachable fraction needed is increased, giving rise to greater irrigation requirements. Moreover, the greater salinity of the irrigation water causes lower yields in the majority of crops. The farmers cope with the water shortages with different strategies, such as reducing the irrigated surface area of short-cycle crops, thus maximising crops which are more tolerant to salinity, and by desalinating brackish groundwater.

1. Introducción

La agricultura se enfrenta al reto de abastecer la creciente demanda de alimentos provocada por las tasas actuales de crecimiento de la población (UN-DESA, 2011). De forma que, sin el progreso técnico y la intensificación agrícola, la agricultura necesitaría un área de la superficie terrestre (sin tener en cuenta la superficie de los mares y océanos) equivalente a la mitad en 2030 y dos tercios en 2070 (Schneider et al., 2011). La disponibilidad de agua de riego es otro factor que limita la producción creciente de alimentos, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas, donde los recursos hídricos son escasos y, en gran medida, irán disminuyendo como consecuencia del cambio climático (Koutroulis et al., 2013). En este sentido, la agricultura ya demanda entre el 60 y el 90 % del agua dulce en el área mediterránea (AQUASTAT, 2013), cifra que alcanza el 87 % en la zona de estudio (Grindlay, et al., 2011). Ante estas perspectivas resulta imprescindible optimizar la gestión del agua en el regadío, necesidad que justifica el lema actual de la FAO “more crops from fewer drops” (Collette et al., 2011).

El benchmarking es una técnica que persigue la optimización de los sistemas productivos, utilizando como herramienta la evaluación comparativa de distintos tipos de indicadores. La principal referencia de la aplicación de técnicas de benchmarking en el regadío es el documento “Guidelines for Benchmarking performance in the irrigation and drainage sector” (Malano y Burton, 2001), promovido por el Banco Mundial, y donde se propone un grupo de indicadores con el objetivo de estandarizar y globalizar la aplicación de esta metodología a la escala de trabajo de Comunidad de Regantes (CR). Posteriormente diversos autores (Playán y Mateos, 2006; Rodríguez-Díaz et al., 2008; Córcoles et al., 2010; Moreno et al., 2010; Uysal y Atis, 2010; Pereira et al., 2012) han ido proponiendo

nuevos indicadores, o revisando los ya establecidos, para completar, mejorar y facilitar tanto el análisis como la interpretación de los resultados.

La aplicación de técnicas de benchmarking también se ha extendido a la búsqueda de las mejores prácticas a nivel de parcela, objetivo para el que ha sido necesario definir nuevos indicadores. En este sentido, el Aporte Relativo Anual 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 más adelante, se plantea cierta incertidumbre a la hora de interpretar sus resultados. También es habitual analizar cuál es la productividad del agua (WP) en parcela (Fernández et al., 2007; Katerji et al., 2008;), de forma que se evalúa la competitividad de las explotaciones mediante indicadores como el Rendimiento por Volumen Anual de Agua de Riego Aplicado (WP_Y), Valor de la Producción por Volumen Anual de Agua de Riego Aplicado (WP_{VP}) o el Margen Bruto por Volumen Anual de Agua de Riego Aplicada (WP_{GM}).

Además de los estudios comparativos, el benchmarking también se puede aplicar para analizar a lo largo del tiempo los efectos de ciertos procesos en una determinada zona regable. En este sentido García-Vila et al. (2008) estudiaron el impacto de la escasez de agua en la agricultura de una CR del sur de España. Para ello analizaron la evolución del patrón de cultivos, del manejo del riego y, en definitiva, las estrategias seguidas por los agricultores en periodos con restricciones en el suministro de agua. El efecto de la escasez de agua en la productividad del regadío también ha sido analizado mediante distintos tipos de indicadores por otros autores (Pereira et al., 2002; Quiroga y Iglesias, 2009; Lawes y Kingwell, 2012).

El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de la escasez de agua en la gestión de explotaciones de regadío del sureste español mediante la aplicación de indicadores a nivel de parcela. Concretamente el estudio se localiza la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC), abarcando los principales grupos de cultivo de la zona. Para ello 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. La metodología seguida en este estudio se ha basado en la evaluación comparativa de indicadores relativos al manejo del agua de riego y a la productividad de las explotaciones. Cabe destacar que también se propone una novedosa metodología para el cálculo y manejo del indicador ARIS, con la que se mejora la información obtenida y se facilita la interpretación de los resultados, especialmente en zonas con problemas de escasez y baja calidad en el agua de riego.

2. Metodología

2.1. Zona de Estudio

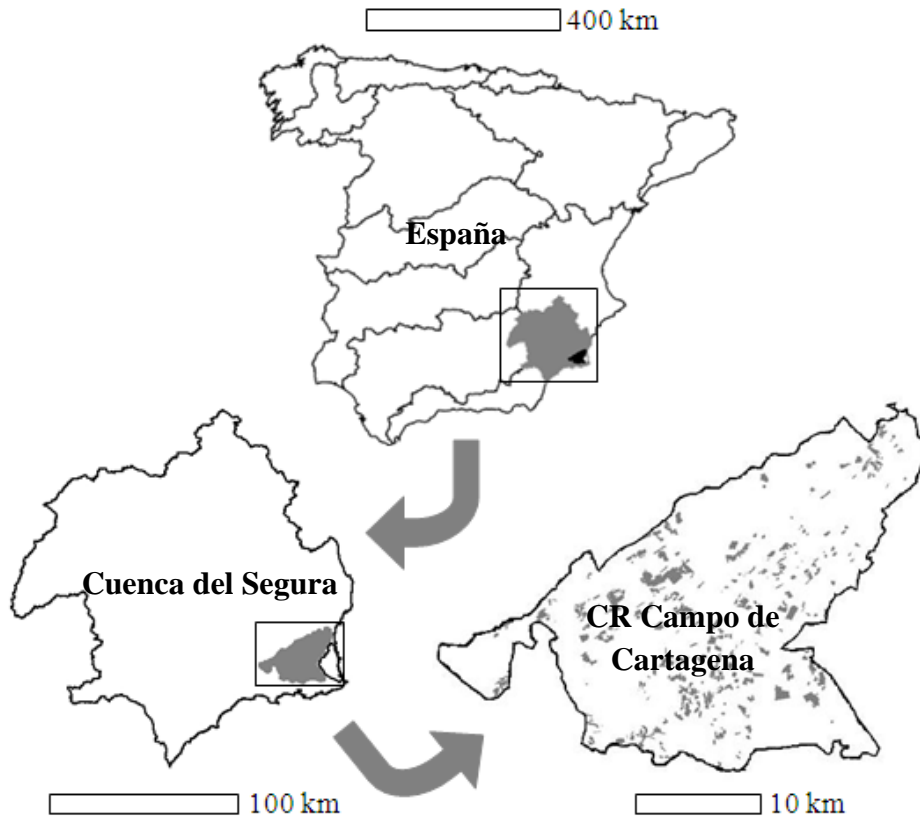


Figura 1. Localización de las parcelas de riego encuestadas en la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (Cuenca del Segura, España).

La CRCC se ubica en la Cuenca del Segura (Fig. 1), en el sureste de España. 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). La superficie regable es de 41065 ha, de las cuales se regaron 32166 ha en 2011. Además, debido a la necesidad de administrar los escasos recursos hídricos disponibles, el Campo de Cartagena se ha convertido en una CR altamente modernizada, representando una referencia en tecnologías

de ahorro del agua, como son los sistemas de riego localizado, que se utilizan en torno al 95% de sus explotaciones (Alcon et al., 2011).

La dotación teórica de la CR, compuesta principalmente por agua del acueducto Tajo-Segura (Soto-García et al., 2013a), es de $3500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. La Fig. 2 representa la evolución anual del agua suministrada por la CR ($V_s S_r$) durante el periodo 2002-2011. Se observa que (1) la dotación teórica no se llega a alcanzar en ninguno de los 10 años; (2) el año 2008 corresponde con el tercer año de un periodo de gran escasez de agua suministrada ($V_s S_r$ de $936 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, menos del 30% de la dotación teórica), mientras que el año 2011 se considera un año normal desde el punto de vista hídrico ($V_s S_r$ de $2878 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, más del 80% de la dotación teórica); y (3) el volumen suministrado junto a la escasa precipitación efectiva (media de $V_s S_r + P_e$ de $2767 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el periodo 2002/2011), no son suficientes para cubrir la ET_c (valor medio de $5198 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el periodo 2002/2011). Por todo ello los agricultores suelen incorporar a nivel de parcela agua subterránea con una conductividad eléctrica (EC) en torno a 4.0 dS m^{-1} , proveniente del acuífero costero (Soto-García et al., 2013b). Este suplemento de agua es mezclada en parcela con el $V_s S_r$ ($\approx 1.0 \text{ dS m}^{-1}$) en distintas proporciones, en función de la tolerancia a la salinidad de cada cultivo. La necesidad de mezclar distintas fuentes de agua justifica la gran densidad de embalses en parcela, que ocupan casi el 5% de la superficie de la CR (Martínez-Granados et al., 2011).

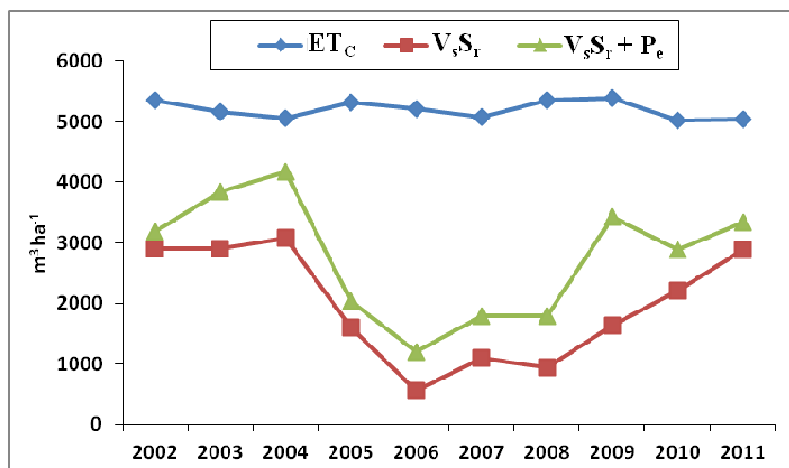


Figura 2. Evolución de la Evapotranspiración de los cultivos (ET_c), del volumen de agua suministrado por la CR ($V_s S_r$) y la precipitación efectiva (P_e), en los últimos 10 años.

En la CRCC existe una gran variedad de cultivos, con predominio de hortícolas y cítricos. Para facilitar la exposición e interpretación de los resultados obtenidos, 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 cultivos de cítricos (naranja, limonero y mandarino). Estos cultivos suponen de media el 84% de la superficie cultivada en el periodo 2002/2011.

2.2. Indicadores seleccionados

El conjunto de indicadores seleccionados en este estudio fue recopilado de los trabajos de investigación referenciados anteriormente, y alguno de ellos han sido especialmente adaptados o redefinidos para este estudio. La Tabla 1 recoge los indicadores seleccionados y como se han calculado.

Tabla 1. Descripción y metodología de cálculo de los indicadores de gestión utilizados en este estudio.

Nombre de indicador y acrónimo	Unidades	Descripción y cálculo
Intensidad de cultivo (S_r/S_T)	%	$100 \cdot S_r / S_T$ Donde S_r es el área regada del cultivo y S_T es el área total de regable de la CR.
Volumen anual de agua suministrada por la CR a los usuarios ($V_s S_r$)	$m^3 \text{ ha}^{-1}$	Calculado como el volumen total anual de agua suministrada a los usuarios dividido por la superficie de riego del cultivo.
Volumen anual de agua de riego aplicado al cultivo (IWA)	$m^3 \text{ ha}^{-1}$	Calculado como el volumen total anual de agua de riego aplicada al cultivo por la superficie de riego del cultivo. $IWA = (V_s S_r + O_w)$ Dónde $V_s S_r$ es el volumen de agua anual suministrado a los usuarios por unidad de superficie regada, y O_w es el volumen de agua de otras fuentes, principalmente del acuífero (no suministrado por la CR) por unidad de superficie regada.
Aporte Relativo Anual de Riego (ARIS)	-	Calculado como el volumen anual de agua de riego aplicado al cultivo, dividido por las necesidades hídricas netas del cultivo. $ARIS = IWA/D_n = IWA/(ET_c - P_e)$ Donde P_e es la precipitación efectiva, ET_c es la evapotranspiración anual, e IWA es el volumen anual de agua de riego aplicada al cultivo.
ARIS de referencia ($ARIS_0$)	-	Calculado como las necesidades de riego brutas anuales, dividido de las necesidades hídricas netas anuales del cultivo. $ARIS_0 = D_g/D_n$ (ver epígrafe 2.3)
ARIS relativo ($ARIS_r$)	-	Calculado como el volumen anual de agua de riego aplicado al cultivo, dividido por las necesidades de riego brutas anuales del cultivo. $ARIS_r = IWA/D_g$ (ver epígrafe 2.3)
Rendimiento del cultivo por volumen anual de agua aplicado (WP_Y)	$kg \text{ m}^{-3}$	Calculado como la producción total anual del cultivo por volumen anual de agua de riego aplicado al cultivo.
Valor de la producción del cultivo por volumen anual de agua aplicado (WP_{VP})	$€ \text{ m}^{-3}$	Calculado como el valor de la producción anual del cultivo por volumen anual de agua de riego aplicado al cultivo.
Margen bruto del cultivo por volumen anual de agua aplicado (WP_{GM})	$€ \text{ m}^{-3}$	Calculado como el margen bruto anual del cultivo por volumen anual de agua de riego aplicado al cultivo.

El indicador Intensidad de Cultivo ($S_r S_T$) ofrece información sobre la importancia relativa que tiene un determinado cultivo o grupo de cultivos dentro de la CR. El análisis de su evolución en el tiempo puede mostrar las tendencias del patrón de cultivos ante situaciones como la escasez de agua.

Para analizar la eficiencia en el manejo del agua de riego se han utilizado los indicadores $V_s S_r$, IWA, $ARIS_0$ y $ARIS_r$. El $V_s S_r$ es el volumen de agua distribuido por la CR y el IWA muestra el volumen de agua que finalmente utiliza el agricultor en la parcela (tras añadir el agua de otras fuentes, principalmente agua salobre del acuífero). El $ARIS_0$ y el $ARIS_r$ 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 siguiente epígrafe se establece la metodología de cálculo de $ARIS_0$ y $ARIS_r$.

Por último, se ha analizado la WP, que a menudo se da en términos monetarios como valor de la producción, y/o de masa (Ahmad et al., 2004). En este estudio se han utilizado en términos de masa el WP_Y (kg m^{-3}), y en términos monetarios el WP_{VP} y el WP_{GM} (€ m^{-3}), que corresponden con el valor de la producción y el margen bruto de la producción, por IWA, respectivamente.

2.3. Nuevos indicadores propuestos en este estudio: $ARIS_0$ 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-Díaz 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 los sistemas de riego. Salvador et al. (2011), añaden que como mínimo el valor adecuado de ARIS ha de ser de 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 EC 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 es las necesidades brutas de riego de los cultivos (D_g). 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 EC del agua aplicada.

El empleo de agua con mayor conductividad eléctrica incrementa el valor de D_g, ya que cuando se riega con agua de alta EC 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:

$$LR_t = \frac{EC_w}{2(\max EC_e)} \quad [1]$$

Dónde EC_w es la conductividad eléctrica del agua de riego (dS m⁻¹), y maxEC_e es la conductividad eléctrica (dS m⁻¹) del extracto de saturación del suelo que reduce el rendimiento de los cultivos a cero.

La pérdida que se produce por percolación profunda puede ser aprovechada 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 $T_R \geq 1.0/(1.0-LR_t)$.

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

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 representa las necesidades netas de los cultivos, T_R es el coeficiente de transmisión (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 (1990) para el cálculo de D_g , en la expresión [4] del ARIS, resultando:

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

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

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. 3 se observan las curvas obtenidas de $ARIS_0$ en el rango de EC_w de 0-4 $dS\ m^{-1}$, para los distintos grupos de cultivo considerados en la CR. 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 EC_w , ya existen grupos de cultivos dónde las pérdidas por percolación profunda 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.

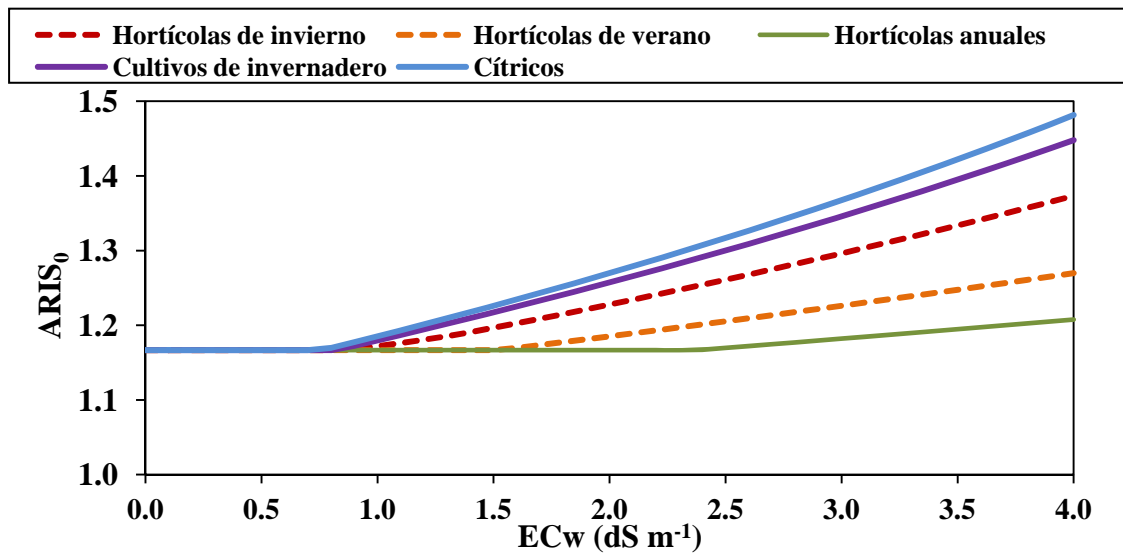


Figura 3. Evolución del ARIS de referencia ($ARIS_0$) en función de la conductividad eléctrica del agua de riego aplicada (EC_w), para los grupos de cultivos estudiados.

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

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

Este indicador relaciona el ARIS con el $ARIS_0$, de tal forma que valores de $ARIS_r$ próximos a la unidad indican una dosis de riego adecuada para satisfacer las D_g de los

cultivos. Asimismo, valores inferiores a la unidad indican infradotación, mientras que valores superiores muestran excesos en la aplicación del agua para los distintos cultivos. En la Fig. 4 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 $ARIS_r$ sintetizan toda esta información, facilitando la interpretación de los resultados.

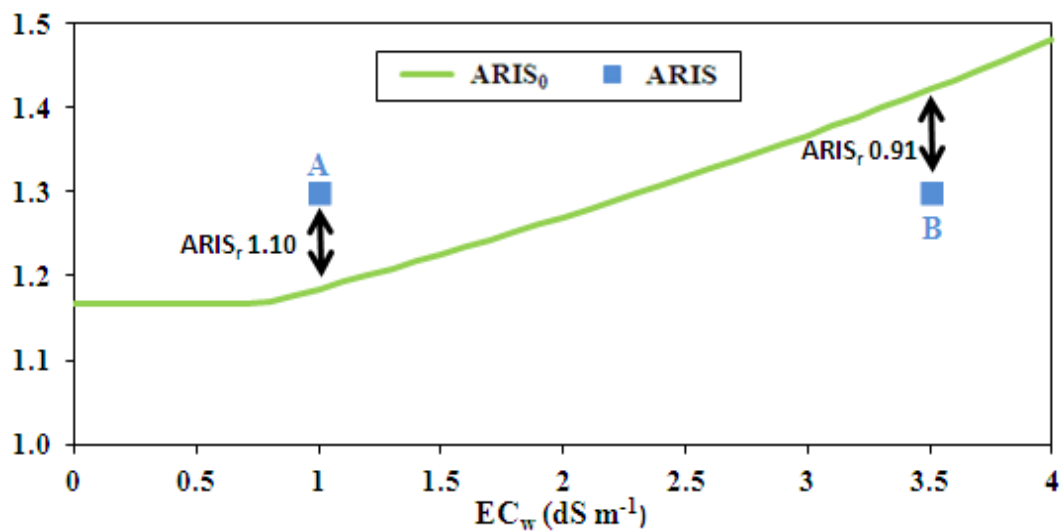


Figura 4. Ejemplo donde se muestra que el mismo valor de ARIS (puntos A y B) puede significar déficit o exceso de agua, en función de la CE_w utilizada.

2.4. Adquisición y tratamiento de datos

Para el cálculo de los indicadores seleccionados fue necesario obtener información descriptiva y cuantitativa de la zona regable. Se tomaron datos a nivel de parcela así como de CR. Además se ha utilizado la información agroclimática necesaria para la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos.

La superficie regable total (S_T) se ha obtenido como la suma de las parcelas que tienen derecho a riego dentro del perímetro de la CR. La superficie de cultivos o regada (S_r) se ha elaborado a partir del sistema de información geográfica (GIS) de la CRCC, donde se dispone de un registro histórico de los cultivos implantados en cada parcela. El $V_s S_r$ se ha obtenido de la suma anual del volumen facturado a los regantes, registrado por el sistema de supervisión y adquisición de datos (SCADA) de la CR. En esta CR se realiza un registro continuo de datos desde el año 2002.

La evapotranspiración de referencia (ET_o), calculada mediante el método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), y la precipitación (P) se han obtenido de las estaciones agroclimáticas del Sistema de Información Agraria de Murcia (SIAM) situadas dentro de la CR. Siguiendo la metodología FAO (Brouwer y Heibloem, 1986; Allen et al., 1998), se determinó la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la precipitación efectiva (P_e). Los coeficientes de los cultivos implantados (K_c) se han obtenido del servicio regional de asesoramiento al regante (<http://siam.imida.es>).

También fue 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 para recabar esta información sobre campañas de 2008 (año de gran escasez de agua suministrada) y 2011 (año de suministro normal). El total de la superficie encuestada fue de 2467 ha, que corresponden a 1190 parcelas de riego, lo que representa un 7.62 % de la superficie de la CR (Fig. 1). Las encuestas consistían en entrevistas personales semi-estructuradas, de forma que esta metodología permite guiar la conversación y la interacción con los agricultores, surgiendo cuestiones adicionales como resultado de la discusión (Bernard, 2006). Estas entrevistas se llevaron a cabo desde diciembre de 2011 a febrero de 2012 y en ellas los agricultores,

además de ofrecer los datos comentados, compartían sus experiencias en el manejo del riego.

Para determinar el valor de la producción y de esta forma poder calcular el margen bruto, se consultó la base de datos de la Estadísticas Agraria Regional (CARM, 2012), de la que se obtuvieron los precios medios para cada uno de los cultivos en las campañas estudiadas. Los valores económicos de 2008 se han actualizado al 2011 con el Índice de Precios de Consumo (IPC; INE, 2013).

Por último, para calcular el $ARIS_0$ y $ARIS_r$, se ha obtenido información relativa a los sistemas de riego y la calidad del agua aplicada. Los valores de EC_w se obtuvieron de las encuestas realizadas (Tabla 2). Los datos de $máxEC_e$ para cada cultivo se tomaron 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 EU; la media considerada en la CRCC fue 0.9, siguiendo los resultados del estudio de CENTER (2000). El valor tomado de T_R fue de 1.10 en base a la metodología de Keller y Bliesner (1990).

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

Tabla 2. Valor medio ponderado en función de la superficie para los diferentes grupos de cultivo, de: i) conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo que reduce el rendimiento de los cultivos a cero (maxEC_e), y ii) conductividad eléctrica del agua aplicada al cultivo (EC_w) utilizada en 2011 y 2008.

EC en dS m^{-1}	max EC_e	EC_w 2011	EC_w 2008
Hort. Invierno	11.1	1.6 ± 0.5	3.1 ± 0.9
Hort. Verano	16.0	2.3 ± 0.6	3.3 ± 0.6
Hort. Anuales	24.0	2.6 ± 0.1	3.5 ± 0.7
Cult. Invernadero	8.6	1.1 ± 0.1	1.9 ± 0.7
Cítricos	8.0	1.5 ± 0.3	2.8 ± 0.5
GLOBAL (CR)	11.8	1.8 ± 0.5	3.0 ± 0.8

3. Resultados y discusión

Los resultados han sido estructurados en 6 epígrafes. El primero recoge los obtenidos de forma global para el conjunto de cultivos de la CRCC, y los restantes detallan los resultados para cada grupo de cultivos considerado. Las Tablas 3 a 8 muestran los valores obtenidos de los indicadores seleccionados tanto de forma global como por grupo de cultivo. En la Fig. 5 se muestran los valores obtenidos por indicador para cada uno de los grupos de cultivo analizados.

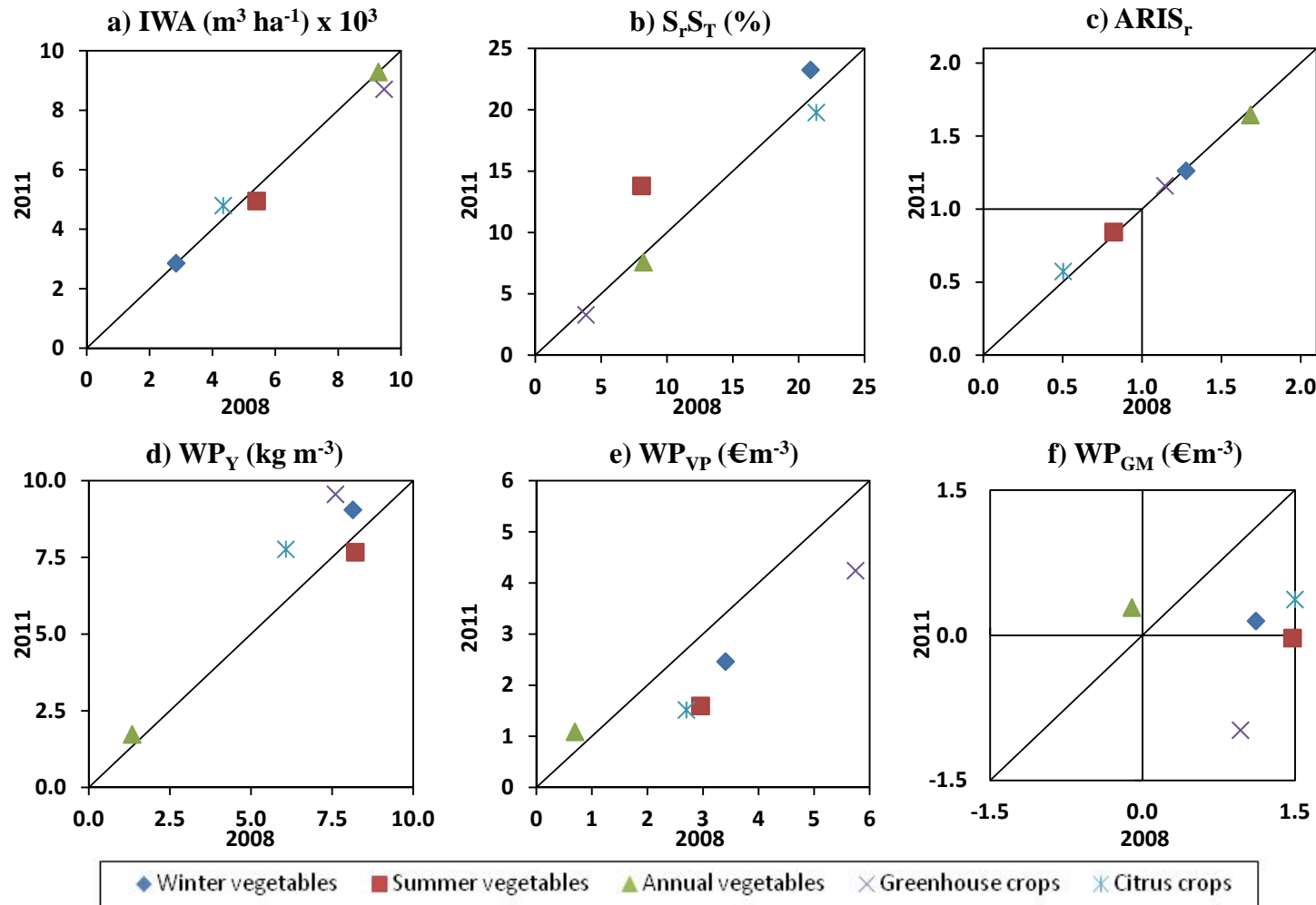


Figura 5. Variación de los indicadores de gestión entre el año seco (2008) y el año normal de suministro de agua (2011), para cada grupo de cultivos: a) IWA; b) $S_r S_T$; c) $ARIS_r$; d) WP_Y ; e) WP_{VP} ; f) WP_{GM} .

3.1. Resultados globales en la CR

Tabla 3. Valores medios ponderados por superficie de los indicadores de gestión, para el nivel de CR y años de estudio. También se muestra el porcentaje de variación del año seco (2008) con respecto al año de suministro normal de agua (2011).

Indicadores (Valores GLOBALES)	2011	2008	% variación 2011-2008
$S_r S_r$ (%)	78.82	74.95	-4.90
$V_s S_r$ ($m^3 ha^{-1}$)	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 _v ($kg m^{-3}$)	6.69	5.95	-11.00
WP _{VP} ($€ m^{-3}$)	1.87	2.78	48.93
WP _{GM} ($€ m^{-3}$)	0.05	0.98	1826.75

El valor medio en la CR de $V_s S_r$ durante el periodo 2002/2011 fue de $1984 m^3 ha^{-1}$ (Fig. 2), siendo un 59.9 % inferior a la media española en el periodo 2002/2010, que fue de $4943 m^3 ha^{-1}$ (INE, 2013; ESYRCE, 2011). Además del bajo nivel de $V_s S_r$ con respecto a otras regiones de España, la Fig. 6 muestra como su valor en el año 2011 ($2878 m^3 ha^{-1}$), considerado año de suministro normal, es aproximadamente la mitad de las necesidades brutas de riego ($D_g = 5604 m^3 ha^{-1}$). Para hacer frente a la escasez de $V_s S_r$ los agricultores realizan extracciones del acuífero, estimadas en $1875 m^3 ha^{-1}$ en el año de disponibilidad normal de agua suministrada. En el año 2008, el $V_s S_r$ disminuyó hasta $936 m^3 ha^{-1}$ y se intensificaron estas extracciones, pudiendo llegar a los $3721 m^3 ha^{-1}$. De forma que el agua aplicada a los cultivos (IWA) es prácticamente la misma en los dos años considerados, pero con una EC_w superior en 2008 ($3.0 dS m^{-1}$) que en 2011 ($1.8 dS m^{-1}$).

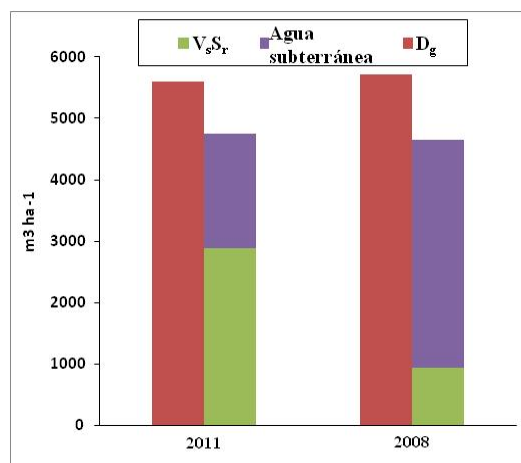


Figura 6. Comparación entre las necesidades brutas de riego requeridas por los cultivos (D_g) y el agua de riego aplicada ($IWA = V_s S_r + \text{Agua subterránea}$), para el año de suministro normal de agua (2011) y el año seco (2008) a nivel de CR.

Como se muestra en la Tabla 3 el WP_Y es de 6.69 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 mayor EC, que influye claramente en el rendimiento y en la elección de los cultivos (como se detalla en los siguientes epígrafes), aunque bien es cierto que este indicador no es apropiado para el análisis global de la CRCC, dada la diversidad de cultivos. En ausencia de factores externos, los mayores rendimientos obtenidos en 2011, se traducirían en mayor 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, denominado “crisis del pepino” (Erdozain et al., 2013), se relacionó inicialmente con las exportaciones de pepino españolas, ocasionando un importante efecto negativo sobre las exportaciones y los precios de todo tipo de cultivos hortícolas españoles. El WP_{VP} fue 1.87 y 2.78 € m^{-3} en 2011 y 2008 respectivamente, valores superiores a los obtenidos en el estudio de Castilla-La Mancha (Córcoles et al., 2010) para este indicador, que fue de 1.67 € m^{-3} de media para las 7 CRs estudiadas durante el periodo 2006-2008, aunque fueron menores a los obtenidos en

el estudio de Andalucía (Rodríguez-Díaz et al., 2011b), que fue de 2.84 € m^{-3} de media para las 10 CRs estudiadas durante el periodo 2006-07. 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.

El valor $S_r S_T$ se redujo un 4.90 % en el año seco con respecto al año de suministro normal. Como se verá más adelante, esta pequeña disminución 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 $ARIS_0$ fue de 1.22, mientras que en el año seco alcanzó el valor de 1.31, produciéndose un incremento de D_g como consecuencia directa del uso del agua de mayor EC, que requiere de una mayor fracción de lavado. El valor de $ARIS_r < 1$ en 2011 indica que, a pesar de tratarse de un año de suministro normal, el riego no es suficiente para cubrir las necesidades brutas de los cultivos. En 2008, el valor de $ARIS_r$ es un 3.83 % inferior al de 2011, indicando unas condiciones de mayor estrés hídrico en los cultivos a pesar de la mayor D_g aplicada.

3.2. Hortícolas de invierno

Tabla 4. Valor medio ponderado y \pm desviación estándar de indicadores de gestión, para hortícolas de invierno y años de estudio. También se muestra el porcentaje de variación del año seco (2008) con respecto al año de suministro normal de agua (2011).

Indicadores (Hort. Invierno)	2011	2008	% variación 2011-2008
S_rS_T (%)	23.25	20.90	-10.11
IWA (m³ ha⁻¹)	2854 \pm 524	2843 \pm 459	-0.46 \pm 3.21
ARIS₀	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_v (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

En este tipo de cultivos es necesario mantener la humedad del suelo a capacidad de campo después del trasplante de las plántulas, con el fin de favorecer el arraigo y la lixiviación de las sales (Pascale y Barbieri, 1995). Al tratarse de cultivos de ciclo corto, se obtuvieron los valores más bajos de IWA. Como se muestra en la Tabla 4, estas técnicas de manejo derivan en $ARIS_r > 1$, que fueron de 1.28 en el 2008 y 1.26 en el 2011. Los niveles de $ARIS_r$ se alcanzaron mediante valores de IWA similares, como se observa en la Fig. 5a. En cuanto al $ARIS_0$, los valores se incrementaron en un 9.10 % en el año seco, provocado por una mayor EC_w en el año 2008 (3.1 dS m⁻¹) que en el 2011 (1.6 dS m⁻¹).

En la Fig. 5b se muestra 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 el 2008 disminuyó S_rS_T con respecto al 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 la CRCC durante 2008.

En cuanto a la productividad del agua, en la Fig. 5d se puede ver cómo se trata de uno de los grupos de cultivo con mayor WP_Y , con un valor de 9.05 kg m^{-3} en 2011, aunque el uso de agua con mayor EC en el año 2008 tuvo efectos negativos, disminuyendo estos valores hasta 8.14 kg m^{-3} . Como se muestra en las Figs. 5e y 5f, este grupo de cultivos es, junto a los cítricos, el único grupo de cultivos que no tuvo valores negativos de WP_{GM} en ninguno de los años estudiados. Las Figs. 5e y 5f también muestran el efecto negativo de factores externos sobre los precios, presentándose valores más altos en 2008 que en 2011.

3.3.- Hortícolas de verano

Tabla 5. Valor medio ponderado y \pm desviación estándar de indicadores de gestión, para hortícolas de verano y años de estudio. También se muestra el porcentaje de variación del año seco (2008) con respecto al año de suministro normal de agua (2011).

Indicadores (Hort. verano)	2011	2008	% variación 2011-2008
$S_r S_T$ (%)	13.80	8.07	-41.53
IWA ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	4947 ± 815	5405 ± 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	-

Los hortícolas de verano son sensibles a la salinidad durante la etapa de plántula, siendo el agua suministrada por la CRCC 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 además beneficia la calidad organoléptica del fruto. Este manejo del riego resulta en valores de ARIS_r próximos a 1 (Fig. 5c). En la Tabla 5 se observa que en el 2011

el valor de $ARIS_r$ es de 0.84, indicando riego deficitario, provocado sobre todo en 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. 5c), para lo cual los agricultores han tenido que incrementar las dosis de riego, pasando de un IWA de $4947 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en 2011 a $5405 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en 2008 (Fig. 5a).

El valor alcanzado de S_rS_T es de 13.80 % en 2011. La Fig. 5b 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, justificando la disminución de S_rS_T de estos grupos de cultivo en periodos de escasez de agua.

La Tabla 5 muestra altos valores de WP_Y para este grupo de cultivos, que alcanza un valor de 7.67 kg m^{-3} en 2011. Además se aprecia que son los que menos han variado los valores de este indicador en el año seco con respecto al normal (6.92 %). 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 de suministro normal (Figs. 5e y 5f, respectivamente), llegando incluso a registrarse pérdidas de 0.03 € m^{-3} (WP_{GM} negativo, Tabla 5).

3.4.- Hortícolas anuales

Tabla 6. Valor medio ponderado y \pm desviación estándar de indicadores de gestión, para hortícolas anuales y años de estudio. También se muestra el porcentaje de variación del año seco (2008) con respecto al año de suministro normal de agua (2011).

Indicadores (Hort. anuales)	2011	2008	% variación 2011-2008
S_rS_T (%)	7.58	8.21	8.37
IWA (m³ ha⁻¹)	9285 \pm 2514	9278 \pm 2610	-0.12 \pm 6.73
ARIS₀	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_V (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	-

Este grupo está formado únicamente por la alcachofa, cultivo muy especial en cuanto al manejo del riego, ya que 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. También es muy tolerante a la salinidad, pudiendo regarse directamente con aguas de hasta 3.4 dS m⁻¹ (Gil-Ortega, 1999). El ARIS_r fue de 1.64 en 2011, valor muy elevado debido a las particularidades en el manejo del riego comentadas anteriormente. En la Fig. 5c se aprecia como el valor de este indicador se mantiene estable en el año seco, para lo cual los agricultores han aplicado cantidades similares de IWA en ambos años (Fig. 5a). Es, junto a los cultivos de invernadero, el grupo de cultivos que alcanza mayores niveles de IWA.

La Tabla 2 indica 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 incremente S_rS_T (S_rS_T fue 7.58 % y 8.21 % en 2011 y 2008, respectivamente). Además su elevada tolerancia a la salinidad permite a los agricultores reservar el agua de buena calidad para otros cultivos más sensibles. Como consecuencia, es el cultivo en el que se manejan mayores valores de EC_w (Tabla 2), siendo de 2.6 dS m^{-1} en 2011 y 3.5 dS m^{-1} en 2008.

Como se muestra en la Fig. 5d este grupo de cultivos presenta los valores más bajos de WP_Y , produciéndose un descenso en el año seco debido al uso de agua con mayor EC (1.73 y 1.34 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 EC (Gil-Ortega, 1999). En cuanto a WP_{VP} y WP_{GM} las Figs. 5e y 5f 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. A pesar del bajo valor de WP_Y y los altos valores de IWA necesarios para su producción, la alcachofa juega un papel muy importante en esta CR, puesto que está muy bien adaptado a las condiciones de escasez de agua suministrada (buena tolerancia al agua salina), adaptándose a un menor consumo de V_sS_r en épocas de escasez.

3.5.- Cultivos de invernaderos

Tabla 7. Valor medio ponderado y \pm desviación estándar de indicadores de gestión, para cultivos de invernadero y años de estudio. También se muestra el porcentaje de variación del año seco (2008) con respecto al año de suministro normal de agua (2011).

Indicadores (Cult. invernadero)	2011	2008	% variación 2011-2008
S_rS_T (%)	3.29	3.85	17.15
IWA (m³ ha⁻¹)	8705 \pm 2788	9462 \pm 2954	11.11 \pm 8.83
ARIS₀	1.19 \pm 0.01	1.24 \pm 0.05	5.22 \pm 3.48
ARIS_r	1.16 \pm 0.37	1.14 \pm 0.36	-1.26 \pm 2.74
WP_v (kg m⁻³)	9.56 \pm 1.73	7.60 \pm 1.91	-20.66 \pm 15.46
WP_{VP} (€ m⁻³)	4.24 \pm 0.87	5.79 \pm 1.50	28.97 \pm 33.97
WP_{GM} (€ m⁻³)	-0.98 \pm 0.62	0.97 \pm 0.67	-

Este grupo de cultivos se caracteriza por tener altos costes de producción y de inversión en instalaciones. También se trata del segundo grupo con mayor sensibilidad a la salinidad (Tabla 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. 5c se aprecia como este valor se mantienen estable en el año seco, para lo cual los agricultores han tenido que incrementar el IWA un 11.11 % en el año seco (Tabla 7). En la Fig. 5a se puede observar que también es el grupo de cultivo que alcanza el mayor valor de IWA (9462 m³ ha⁻¹ en 2008).

A pesar de ser el grupo de cultivos menos extendido (S_rS_T = 3.29 % en 2011, Fig. 5b) se ha incluido en este estudio debido a su alto valor comercial y gran capacidad productiva (Melgarejo-Moreno et al., 2009). Esta importancia económica justifica que su S_rS_T se mantenga en los periodos de escasez de agua suministrada (3.85 % en 2008), para lo cual existen agricultores suelen hacer uso de pequeñas plantas desalobradoras, dada su baja tolerancia a la salinidad. La Tabla 2 muestra como en 2011 su valor de EC_w es el más

bajo (1.1 dS m^{-1}). La EC_w se incrementa en el año de escasez de agua suministrada hasta 1.9 dS m^{-1} , que aún así sigue siendo la más baja.

Se trata del grupo de cultivos que adquiere mayores valores de WP_Y (Fig. 5d), alcanzando los 9.56 kg m^{-3} en el año normal. El incremento de la EC_w de riego durante el año seco afectó negativamente a este indicador ($WP_Y = 7.60 \text{ kg m}^{-3}$). Las Figs. 5e y 5f muestran que fue el grupo de cultivos más afectado por la disminución de los precios en 2011, de forma que las consecuencias fueron nefastas en la rentabilidad de las producciones, provocando un valor de WP_{GM} de -0.98 € m^{-3} .

3.6.- Cultivos de cítricos

Tabla 8. Valor medio ponderado y \pm desviación estándar de indicadores de gestión, para cítricos y años de estudio. También se muestra el porcentaje de variación del año seco (2008) con respecto al año de suministro normal de agua (2011).

Indicadores (Cítricos)	2011	2008	% variación 2011-2008
$S_r S_T$ (%)	19.77	21.33	7.89
IWA ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	4793 ± 1666	4343 ± 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

Este grupo de cultivos es el más vulnerable a los periodos de escasez de agua, debido a su baja tolerancia a la salinidad (Tabla 2), y a la necesidad de garantizar su supervivencia y productividad a largo plazo (cultivos plurianuales). Por ello existen agricultores que han instalado plantas desalobradoras en sus explotaciones, que ponen en

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

Los agricultores que cultivan cítricos realizan riego deficitario basado en su propia experiencia, presentando un valor de $ARIS_r$ en 2011 de 0.57. Los cítricos se adaptan bien al riego deficitario que, si se hace de forma correcta, puede lograr niveles de producción aceptables, unidos a un ahorro significativo de agua (García-Tejero et al., 2011). En el año seco el valor de $ARIS_r$ fue de 0.50, indicando una intensificación del riego deficitario.

Los cítricos alcanzan un S_rS_T de 19.77 % en 2011, 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. 5b).

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, produjeron una disminución de la WP_Y del 19.98 %. Además, el 2008 fue el tercer año consecutivo de escasez de agua (Fig. 2), y el uso continuado de aguas de alta EC 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 ($2.70 \text{ vs. } 1.52 \text{ € m}^{-3}$) y, como se aprecia en la Fig. 5e, sólo supera a los cultivos hortícolas anuales en este aspecto. A pesar de sus moderados valores de WP_{VP} , es el grupo de cultivos con mayor WP_{GM} ($0.37 \text{ y } 1.5 \text{ € m}^{-3}$ en 2011 y 2008 respectivamente, Fig. 5f).

4.- Conclusiones

El conjunto de indicadores utilizados en este estudio ha permitido caracterizar el manejo del riego en explotaciones de la CRCC 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. El uso de los indicadores seleccionados para analizar la eficiencia en el manejo del agua de riego ha resultado satisfactorios, mientras que entre los seleccionados para analizar la productividad del agua en las zonas regables se considera más adecuado el uso de WP_Y que de WP_{VP} y WP_{GM} , puesto que estos últimos están muy condicionados por los precios agrícolas.

Respecto a los indicadores que analizan la eficiencia en el manejo del agua de riego, en este estudio se han propuesto dos adaptaciones del ARIS ($ARIS_0$ y $ARIS_r$), ya que el ARIS tradicional 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 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. 7, donde 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. Debe tenerse en cuenta que en este estudio se 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 el $ARIS_r$.

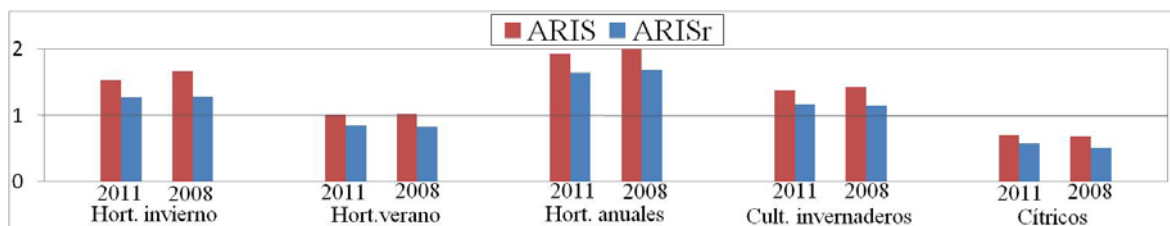


Figura 7. Comparativa de los valores de $ARIS$ y $ARIS_r$ (2008 y 2011) para los grupos de cultivos estudiados.

Los principales resultados obtenidos para 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 en los cultivos analizados, pero de mayor EC en periodos de bajo suministro de agua por la CRCC ($V_s S_r$);
- iii) $ARIS_r < 1$, lo que denota riego deficitario en el cómputo global de la CR;
- iv) caída de los WP_Y en época de escasez de agua suministrada, asociada al manejo de agua con mayor EC; y
- v) menores valores de WP_{VP} y WP_{GM} en 2011 que 2008, como consecuencia de la disminución de los precios.

Del análisis por grupos de cultivos se concluye que: i) 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. ii) El $ARIS_r$ muestra 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. iii) El efecto más importante de la escasez de agua suministrada es la caída de WP_Y , que afecta a casi la totalidad de cultivos.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del Séptimo Programa de Investigación de la Comunidad Europea a través del acuerdo de subvención nº 245159, proyecto SIRRIMED (Sustainable use of IRRIGATION water in the MEDiterranean region, FP7-KBBE-2009-1-2-03, www.sirrimed.org). También se agradece a Mariano Soto García por su directa colaboración en dicho trabajo, sin olvidar a los gestores, personal y agricultores de la *Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena*.

Referencias

- Ahmad, M.D., Masih, I., H. 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.
- Alcon, F., De Miguel, M.D., Burton, M., 2011. Duration analysis of adoption of drip irrigation technology in southeastern Spain. *Technol. Forecas. Soc. Change* 78, 991-1001.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing cropwater requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper no. 56, Rome.
- AQUASTAT, 2013. FAO's Information System on Water and Agriculture. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>. Acceso Marzo 2013.
- Ayers, R.S., Westcott, D.W., 1985. Water Quality for Agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 29. Roma.
- Bernard, H. R., 2006. Research methods in anthropology: Qualitative and quantitative approaches. Oxford, UK. AltaMira.
- Brouwer, C., Heibloem, M., 1986. Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs. - FAO Training manual no. 3.
- CARM, 2012. Comunidad Autónoma Región de Murcia. <http://www.carm.es>. Acceso Diciembre 2012.
- CENTER (Centro Nacional de Tecnologías de Regadíos), 2000. Evaluación en parcela de los sectores X y XI de la Comunidad de Regantes de Cartagena (Murcia). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Gobierno de España). 58 pp.
- Clemmens, A. J., Molden. D. J., 2007. Water uses and productivity of irrigation systems. *Irrig. Sci.* 25, 247-261.

- Collette, L., Hodgkin, T., Kassam, A., Kenmore, P., Lipper, L., Nolte, C., Stamoulis, K., Steduto, P., 2011. Save and Grow: A policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production. FAO, Roma. 102 pp.
- Córcoles, J.I., De Juan, J.A., Ortega, J.F., Tarjuelo, J.M., Moreno, M.A., 2010. Management evaluation of Water Users Associations using benchmarking techniques. *Agric. Water Manag.* 98, 1–11.
- Erdozain, M.S., Allen, K.J., Morley, K.A., Powell, D.A., 2013. Failures in sprouts-related risk communication. *Food Control* 30, 649-656.
- ESYRCE, 2011. Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE). Report on irrigation in Spain, years 2002/2011. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Gobierno de España).
- Fernández, M.D., González, A.M., Carreño, J., Pérez, C., Bonachela, S., 2007. Analysis of on-farm irrigation performance in Mediterranean greenhouses. *Agric. Water Manage.* 89, 251-260.
- 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, V.H., Jiménez Bocanegra, J.A., Muriel Fernández, J.L., 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, I.J., Soriano, M.A., Fereres, E., 2008. Management trends and responses to water scarcity in an irrigation scheme of southern Spain. *Agr. Water Manage.* 95, 458-468.
- Gil Ortega, R., 1999. El cultivo de la alcachofa. Variedades de semilla. Disseminator paper 2097 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Gobierno de España). 47 pp.
- Grindlay, A.L., Zamorano, M., Rodríguez, M.I., Molero, E., Urrea, M.A., 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.
- INE, 2013. Instituto Nacional de Estadística. <http://www.ine.es>. Acceso Marzo 2013.
- Jiménez-Martínez, J., Skaggs, T.H., Van Genuchten, M. Th., Candela, L., 2009. A root zone modelling approach to estimating groundwater recharge from irrigated áreas. *J. Hydrol.* 367, 138-149.
- 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, R.D., 1990. *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Van Nostrand Reinhold. New York. 652 pp.
- Koutroulis, A.G., Tsanis, I.K., Daliakopoulos, I.N., Jacob, D., 2013. Impact of climate change on water resources status: a case study for Crete Island, Greece. *J. Hydrol.* 479, 146-158.
- Lawes, R.A., Kingwell, R.S., 2012. A longitudinal examination of business performance indicators for drought-affected farms. *Agric. Syst.* 106, 94-101.
- Malano, H., Burton, M., 2001. Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector. In: *International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage (IPTRID)*, Rome, Italy.
- Martínez-Granados, D., Maestre-Valero, J.F., 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.
- Melgarejo, J., López, M.I., Molina, A., Villar, A., González, E., López, J., Ayanz, J., Plaza, A., 2009. El Trasvase Tajo-Segura: Repercusiones económicas, sociales y ambientales en la Cuenca del Segura. *Caja Mediterráneo*. 635 pp.
- Merriam, J.L., Keller, J., 1978. *Farm irrigation system evaluation. A guide for managements*. Utah State University. Logan, Utah (U.S.A).

- Moreno, M.A., Ortega, J.F., Córcoles, J.I., Martínez, A., Tarjuelo, J.M., 2010. Energy analysis of irrigation delivery systems: monitoring and evaluation of proposed measures for improving energy efficiency. *Irrig. Sci.* 28, 445-460.
- Moreno-Pérez, M.F., Roldán-Cañas, J., 2013. Assessment of irrigation water management in the Genil-Cabra (Córdoba, Spain) irrigation district using irrigation indicators. *Agric. Water Manage.* 120, 98-106
- 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.
- Pereira, L.S., Cordery, I., Iacovides, I., 2012. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agric. Water Manage.* 108, 39-51.
- Pereira, L.S., Oweis, T., Zairi, A., 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agric. Water Manage.* 57, 175-206.
- Playán, E., Mateos, L., 2006. Modernisation and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agric. Water Manage.* 80, 100–116.
- 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.
- Rodríguez-Díaz, J.A., Camacho-Poyato, 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-Díaz, 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.* 137, 644-650.
- Rodríguez-Díaz, J.A, Pérez-Urrestarazu, L., Camacho-Poyato, E., Montesinos, P., 2011a. The paradox of irrigation scheme modernisation: more efficient water use linked to higher energy demand. *Span. J. Agric. Res.* 9, 1000-1008.

- Salvador, R., Martínez-Cob, A., Cavero, J., Playán, E., 2011. Seasonal on-farm irrigation performance in the Ebro basin (Spain): Crops and irrigation systems. *Agric. Water Manage.* 98, 577-87.
- Schneider, U.A., Havlík, P., Schmid, E., Valin, H., Mosnier, A., Obersteiner, M., Böttcher H., Skalsky, R., Balkovič, J., Sauer, T., and Fritz S., 2011. Impacts of population growth, economic development, and technical change on global food production and consumption. *Agric. Syst.* 104, 204–215.
- SIAM, 2012. Sistema de Información Agraria de Murcia. <http://siam.imida.es>. Acceso Diciembre 2012.
- Soto-García, M., Martín-Gorriz, B., García-Bastida, P.A., Alcon F., Martínez-Alvarez, V., 2013a. Energy consumption for crop irrigation in a semiarid climate (south-eastern Spain). *Energy*, (in press). DOI: 10.1016/j.energy.2013.03.034
- Soto-García, M., Martínez-Alvarez, V., García-Bastida, P.A., Alcon, F., Martín-Gorriz, B., 2013b. Effect of water scarcity and modernisation on the performance of irrigation districts in south-eastern Spain. *Agric. Water Manage.* 124, 11-19.
- UN-DESA, 2011. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects: The 2010 Revision. <http://esa.un.org/wpp/Excel-Data/population.htm>. Acceso Diciembre 2012.
- Uysal, O., Atis, E., 2010. Assessing the performance of participatory irrigation management over time: a case study from Turkey. *Agric. Water Manage.* 97, 1017–1025.

