

# INDICADORES DE MANEJO DEL RIEGO EN EL POLÍGONO DE RIEGO “LA VIOLADA” (1995-2008)

*Barros, R.<sup>1</sup>, Isidoro, D.<sup>1</sup>, Aragüés, R.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA), Unidad de Suelos y Riegos (asociada al CSIC), Apdo. 727, 50080 Zaragoza [rbarros@aragon.es](mailto:rbarros@aragon.es)

## Resumen

El estudio de series históricas de índices de calidad del riego junto con la información sobre el manejo del riego, el patrón de cultivos y los datos climáticos puede ser una herramienta útil para mejorar la sostenibilidad de la agricultura de regadío. Este trabajo se centra en la evaluación del riego en la zona regable de La Violada (4000 ha) mediante índices de calidad del riego estimados a partir de los términos del balance de agua para las estaciones de riego del periodo 1995-2008. Los resultados de los índices se han analizado estadísticamente para ser relacionados con los cambios del sistema de riego (distribución de cultivos, construcción de la nueva Acequia de La Violada, reutilización del agua de drenaje, restricciones de riego, transformación del regadío). Así, la eficiencia de riego (EfR) presentó diferencias significativas ( $P < 0.001$ ) entre medias de los periodos 1995-2004 (EfR = 47%) y 2005-2007 (EfR = 60%) (2008 se excluye de los análisis por no ser representativo). Por otro lado, la fracción de drenaje (FD) presentó diferencias significativas para las medias del periodo 1995-2002 (FD = 63%; viejo canal con filtraciones) y 2003-2007 (FD = 49%; nuevo canal elevado sin filtraciones).

## 1.- Introducción y objetivos

En las zonas áridas y semiáridas la transformación en regadío de las tierras de cultivo aumenta la producción agraria y la diversificación de los cultivos (FAO, 2005). A nivel mundial, la agricultura de regadío es el mayor consumidor de agua con un 60% del total de las detracciones (OECD/Eurostat, 2000) y su demanda sigue en aumento para satisfacer las necesidades alimentarias de un crecimiento previsto de la población mundial del 33% (Bos et al. 2005). En España, el regadío supone el 15 % de la superficie cultivada y es responsable del 60% de la producción agraria total (Fereres y Ceña, 1997). En la cuenca del río Ebro, la agricultura de regadío con casi 0.8 millones de hectáreas es el mayor consumidor de agua con una demanda de 6 310 hm<sup>3</sup> (CHE, 1996).

El aumento demográfico, el cambio climático y la creciente preocupación por la protección del medio ambiente, junto con la intensificación de los problemas de escasez de agua sobre todo en regiones como la Mediterránea (IPCC, 2007), hacen necesario un mejor análisis y evaluación de los recursos hídricos. Por tanto, es preciso cuantificar el agua utilizada por el regadío (uso consuntivo) así como su aprovechamiento, a partir de balances de agua e índices de calidad del riego, de manera que se pueda identificar qué parte o qué componentes de la agricultura de regadío son susceptibles de mejorar.

Los balances de agua con cierres bajos (errores de cierre < 10%) permiten cuantificar índices de calidad del riego, importantes para evaluar el manejo y el ahorro potencial de agua y establecer los flujos de retorno originados específicamente por el regadío. Los índices de calidad del riego son una herramienta que combinada con la información del manejo puede mejorar la sostenibilidad de la agricultura de regadío (Molden, 1997).

En la cuenca del Ebro, con más de 800 000 ha regadas, se han estudiado varias zonas de regadío con el fin de conseguir un mejor aprovechamiento del agua de riego (Dechmi et al. 2003; Causapé et al. 2004; Lecina et al. 2005). Este artículo se centra en el estudio del manejo del riego en la zona regable de La Violada (4000 ha), situada en la cuenca del valle medio del Ebro, representativa de muchas zonas regables de la cuenca, regadas por inundación, con bajas eficiencias de riego y suelos ricos en yeso. En el polígono de la Violada se han llevado a cabo varios estudios previos: Playán et al. (2000); Faci et al. (2000); Isidoro et al. 2004.

Muchos de estos estudios han sido efectuados mediante el seguimiento de uno o unos pocos años hidrológicos, lo que impide analizar el efecto de la variabilidad temporal climática y agronómica, y los cambios en los sistemas de distribución sobre la evaluación de regadío. En este sentido, el análisis de series históricas junto a la información sobre la evolución de los cultivos y los sistemas de riego permite identificar y cuantificar cómo afectan esos cambios al régimen hidrológico y a la utilización del agua de riego.

En este trabajo se analizan datos recogidos en la zona regable de la Violada para los años hidrológicos 1994-95 a 2007-08. Los objetivos de este trabajo son: (i) analizar la evolución del balance de agua para las estaciones de riego del periodo 1995-2008, (ii) determinar y analizar los índices de calidad del riego y (iii) relacionar los cambios en el balance de agua y en los índices de calidad de riego con las mejoras y cambios en el manejo que han tenido lugar durante los últimos años.

## **2.- Descripción de la zona de estudio**

El polígono de riego de La Violada localizado en el valle medio del Ebro (Noreste de España) dentro de la cuenca del Barranco de la Violada tiene una superficie de 5282 ha, de las que aproximadamente 4000 ha están bajo riego (de éstas, 3500 ha corresponden a la Comunidad de Regantes de Almodévar, CRA). Se encuentra situado en el sistema regable de Monegros I (Huesca) y está limitado por el canal de Monegros al Nordeste, la acequia de La Violada al Oeste, y la acequia de Santa Quiteria al Sur (Fig. 1).

El clima de la zona es de tipo mediterráneo con precipitaciones concentradas principalmente en primavera y otoño y bajas en verano. Los valores medios anuales del periodo 1986-2008 son 438 mm (precipitación), 13.8 °C (temperatura) y 1166 mm (evapotranspiración de referencia,  $ET_0$ - Penman-Monteith).

El sistema de drenaje consiste en una densa red de desagües y dos azarbes principales: Valsalada y Artasona (Fig. 1) que se juntan formando el barranco de La Violada. Debido la existencia de una capa de arcillas impermeables en el subsuelo (Faci et al., 1985), las aguas de retorno del riego se recogen íntegramente en el barranco de La Violada que cuenta con una estación de aforo en el punto D-14 (estación de aforos EA 230 de la CHE, Fig. 1).

Los suelos del polígono son de textura franco-arcillo limosa, con un elevado contenido en yeso y pueden distinguirse dos unidades: los suelos asociados a los valles de los barrancos de Valsalada y Artasona, profundos, de textura fina, con un alto contenido en limo y escasa pedregosidad (vales) que a veces presentan problemas de drenaje y salinidad; y los suelos de los glacis del NE con textura más gruesa, menor profundidad y un mayor porcentaje de elementos gruesos.

Faci et al. (2000) y Playán et al (2000) realizaron una descripción detallada del sistema de distribución y del manejo del riego en la zona regable de La Violada. El riego se realiza principalmente por inundación, en parcelas limitadas por caballones y sin desagüe al final de las mismas. Durante los últimos años se han producido cambios y mejoras relacionadas con: la modernización del sistema de riego (cambio a riego por aspersión); las nuevas políticas como la Directiva Marco del Agua (UE,

2000); y la escasez de agua. Estos cambios se resumen en: (i) construcción del nuevo canal elevado de La Violada con entrada en servicio en marzo de 2003, (ii) mayor control por parte de la Confederación Hidrográfica del Ebro de las aguas de cola de las acequias, (iii) construcción de 6 balsas de regulación interna desde 1999, (iv) restricciones de riego por escasez de agua en 1999 y 2005, y (v) reutilización del agua de drenaje en 1999, 2005 y 2006. Con estas mejoras se pretende conseguir un mayor aprovechamiento del agua. A demás, durante 2008 y 2009 se ha estado llevando a cabo las obras de transformación de riego por inundación a riego por aspersión, lo que producirá mayores cambios en la distribución y el uso de agua. Esta conversión es la consecuencia de la reducción de la superficie regada en 2008.

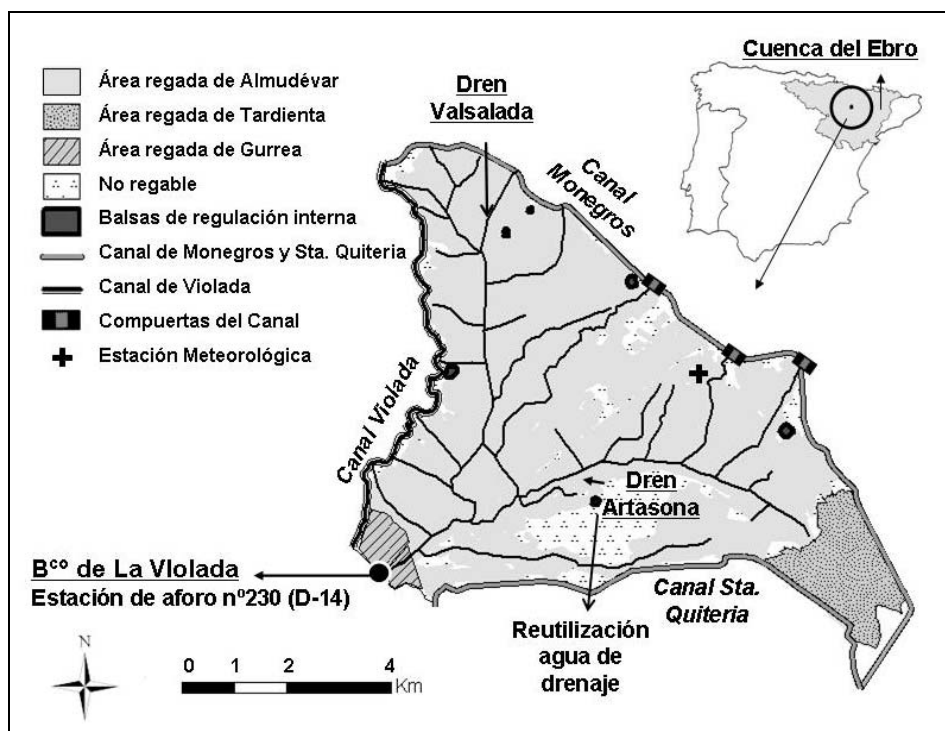


Figura 1. Zona regable de La Violada.

El patrón de cultivos ha evolucionado a lo largo del periodo de estudio (Fig. 2) sobre todo para los cultivos principales maíz, alfalfa y cebada (cultivos secundarios: arroz, girasol, hortalizas y frutales). Durante 1995-98 el orden de importancia de los cultivos fue maíz (50%), alfalfa (21%) y cereales de invierno (13%). En el periodo 2000-2004 hubo una disminución de la superficie de maíz (30%) y un aumento de la superficie de alfalfa (37%) debido a la apertura de una planta desecadora de alfalfa en Almudévar en el año 2000, mientras que los cereales de invierno se mantuvieron estables (16%). En 2005-2008 tuvo lugar una fuerte reducción del maíz (5%) asociada con un incremento de la superficie de cereales de invierno (30%). En 1999 y 2005 la superficie de maíz fue menor y la superficie no cultivada fue mayor debido a las restricciones de agua para riego. La disminución de la superficie de maíz en 2005 se mantuvo durante los siguientes años debido a las limitaciones de agua y a la transformación en curso del regadío (los agricultores se abstuvieron de sembrar maíz, con un alto coste y alto consumo de agua). Las restricciones riego explicaron además el aumento de los cereales de invierno (con menor demanda de agua lo que permite obtener rendimientos aceptables aún sin riego). El incremento destacado de la superficie no cultivada en 2008 (45%) se debe a las obras de modernización del regadío.

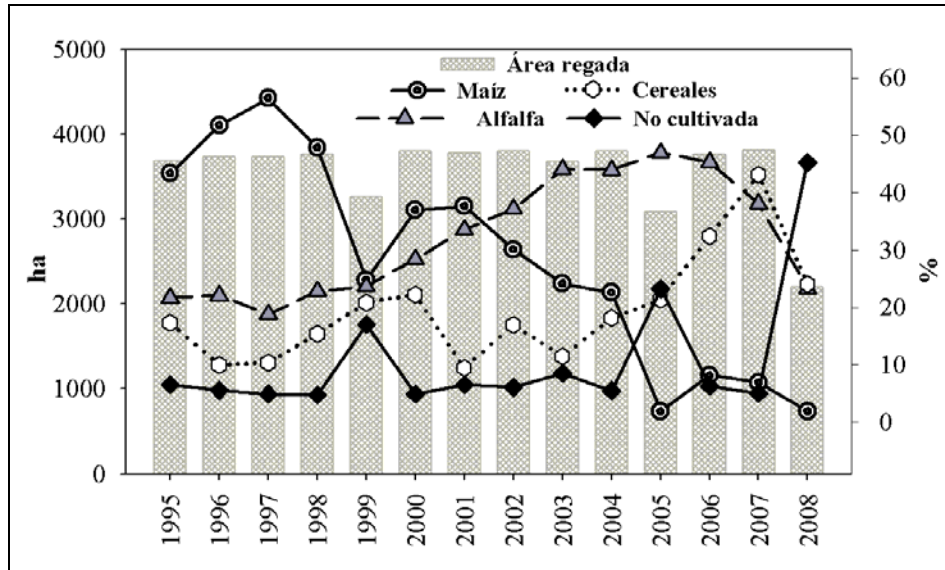


Figura 2. Evolución de la superficie regada y la distribución de los cultivos en porcentaje sobre la superficie regable (cultivada más abandono).

### 3.- Material y métodos

#### 3.1 Balance de agua

El balance de agua se calculó mensualmente para los 14 años hidrológicos 1995-2008 (AH; 1 de octubre al 30 de septiembre) por superficie regada y se analizó para las estaciones de riego (ER; 1 Abril al 30 Septiembre) del periodo de estudio. La ecuación del balance de agua para la zona regable de La Violada fue propuesta por Barros e Isidoro (2008):

$$\Delta W = R + P + OE + FC - Q - ET_r \quad (1)$$

donde las entradas son: el riego ( $R$ ), la precipitación ( $P$ ), otras entradas laterales ( $OE$ ) y las filtraciones de los canales ( $FC$ ). Las salidas son la evapotranspiración real de los cultivos ( $ET_r$ ) y el drenaje a través del Barranco de La Violada ( $Q$ ) al que se le pueden descontar las  $OE$  ( $Q^* = Q - OE$ ) para obtener el drenaje originado por el regadío.  $\Delta W$  es la variación del contenido de agua en el sistema y se define como la suma del contenido de agua en el suelo ( $\Delta W_s = W_{s\ final} - W_{s\ inicial}$ ) y el contenido de agua en el acuífero ( $\Delta W_f = W_{f\ final} - W_{f\ inicial}$ ) donde inicial y final se refieren al inicio y al final del periodo definido para el balance de agua (estación de riego). El error del balance de agua viene dado por la ecuación:

$$Error = R + P + FC - Q^* - ET_r - (\Delta W_s + \Delta W_f) \quad (2)$$

El volumen de riego fue proporcionado por la Comunidad de regantes de Almodévar (CRA). La precipitación diaria se tomó de la estación meteorológica nº 489 (localizada dentro de la zona de estudio, Fig.1) de la CHE y la Agencia Estatal de Meteorología.

Con respecto a  $OE$ , los aportes de los canales ( $AC$ ) se producen principalmente a través de las 3 compuertas ubicadas en el Canal de Monegros. El caudal por cada una de las compuertas ( $Q_{AC}$ ) se estimó a partir del registro diario de apertura de las almenaras ( $h$ ), la anchura de las mismas ( $B$ ) y el registro diario de alturas de agua en el canal ( $H$ ), siguiendo la ecuación:

$$Q_{AC} = 0,637 \cdot B \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H - h/2)} \quad (3)$$

Las escorrentías del exterior de polígono (ESC) se estimaron por separación del hidrograma asumiendo que los incrementos de caudal después de un evento de precipitación son escorrentía superficial (Isidoro et al., 2004). Los aportes urbanos (URB) se estimaron como el 80% el agua detraída para usos urbanos e industriales (facilitada por la CHE).

Las filtraciones de los canales (FC) se estimaron mediante un balance de agua suelo acuífero como diferencia entre el caudal en D-14 y el drenaje desde el acuífero al barranco (Barros e Isidoro, 2008).

En cuanto a las salidas, Q se calculó a partir de los caudales medios registrados en la estación de aforos y facilitados por la CHE. La evapotranspiración real ( $ET_r$ ) se obtuvo a partir de la  $ET_c$  y un coeficiente de estrés  $K_s$  estimado mediante un balance diario de agua en el suelo siguiendo Barros e Isidoro (2008). A partir de dicho balance se estimó el contenido inicial y final de agua en el suelo, mientras que el contenido de agua en el acuífero se definió a partir del balance mensual en el acuífero (Barros e Isidoro, 2008).

### 3.2. Índices de calidad del riego para la zona regable de la Violada

A partir de los componentes del balance de agua ( $R$ ,  $P$ , y  $Q^*$ ) agregados para las estaciones de riego del periodo de estudio (1995-2008) se determinaron una serie de índices de calidad del riego: el déficit hídrico (DH) estimado a partir de las necesidades hídricas de los cultivos (NH) y el uso consuntivo (UC), la eficiencia de riego (EfR), la eficiencia del uso del agua (EfUA) y la fracción de drenaje (FD). Para el cálculo de algunos de estos índices se utilizaron  $ET_c$  y  $ET_r$  estimadas como la suma de las  $ET_c$  y  $ET_r$  mensuales para los cultivos de regadío que se encuentran efectivamente en el terreno en cada mes.

Otro término utilizado es la precipitación efectiva ( $P_{ef}$ : volumen de la precipitación utilizado por las plantas para  $ET$ ) que se obtuvo a partir del balance diario de agua en suelo. La  $P_{ef}$  se calculó para un cierto día sin riego como:

$$P_{ef} = \begin{cases} P & \text{si } W_s + P < CC \\ CC - W_s & \text{si } W_s + P > CC \end{cases} \quad (4)$$

donde  $W_s$  (mm) es el contenido de agua en el suelo en un día,  $P$  (mm) es la precipitación en ese día es y  $CC$  es la capacidad de campo del suelo considerado ( $CC = 294,0$  mm).

En los días con precipitación y riego, se asume que  $P$  y  $R$  elevan el contenido de agua por encima de  $CC$  (como es el caso en todas las simulaciones efectuadas, en riego por superficie) dando lugar a drenaje (Barros e Isidoro, 2008) y la  $P_{ef}$  se calcula como:

$$P_{ef} = \frac{CC - W_s}{R + P} P \quad (5)$$

Para el cálculo de los índices se ha considerado la variación en el contenido de agua en el suelo  $\Delta W_s$ . Es común asumir que el contenido de agua suelo es similar al principio y al final del AH o de la ER lo que puede llevar a cometer errores (Jensen, 2007). Sin embargo a partir del balance diario de agua en el suelo es posible estimar el contenido de agua al principio (abril) y al final (septiembre) de la ER e incluir este término para calcular los índices de calidad del riego.

Las necesidades hídricas (NH) se definen como el agua de riego necesaria para satisfacer completamente las necesidades de los cultivos:  $NH = ET_c - P_{ef} + \Delta W_s$  donde  $\Delta W_s$  es la variación del contenido de agua a lo largo de la estación de riego. El uso consuntivo del agua (UC) se calculó como  $UC = ET_r - P_{ef} + \Delta W_s$ . La diferencia

entre los ambos términos es el déficit hídrico ( $DH = ET_c - ET_r$ ), es decir la cantidad de agua necesaria para suprimir el estrés hídrico de los cultivos y que puede expresarse como:

$$DH = 100 \frac{ET_c - ET_r}{ET_c} \quad (6)$$

La eficiencia de riego (EfR) se define como la relación entre el agua consumida por los cultivos y que no procede ni de la precipitación ni del suelo, es decir es la fracción de riego que tiene un uso consuntivo:

$$EfR = 100 \frac{ET_r - P_{ef} - \Delta W_s}{R} \quad (7)$$

La eficiencia en el uso del agua (EfUA) es la relación entre el consumo real de los cultivos ( $ET_r$ ) y el agua total disponible (riego, más precipitación, menos el contenido de agua almacenado en el suelo):

$$EfUA = 100 \frac{ET_r}{R + P_{ef} - \Delta W_s} \quad (8)$$

La fracción de drenaje (FD) es el cociente entre los retornos de riego procedentes del regadío ( $Q^*$ ) y el volumen de riego más la precipitación. Una alternativa a este índice, es  $Q^*$  menos las FC estimadas para evaluar así la fracción de riego y precipitación que origina drenaje en la zona regada:

$$FD = 100 \frac{Q^*}{R + P} \quad (9) \quad FD_{FC} = 100 \frac{Q^* - FC}{R + P} \quad (10)$$

Los índices de calidad del riego (DH, EfR, EfUA, FD,  $FD_{FC}$ ) y los volúmenes de agua relacionados con el uso del agua por los cultivos (NH y UC) se analizaron para la ER. Se realizaron análisis estadísticos mediante una prueba  $t$  (dos colas) para encontrar diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre periodos con el fin de identificar periodos con distinto manejo de riego y poder relacionarlos con los cambios y mejoras llevadas a cabo en la zona regable de La Violada. Se buscaron todas las posibles diferencias entre los índices mediante particiones de dos periodos del periodo de estudio (1995-2008) escogiéndose aquellos con menores probabilidades. El año 2008 fue excluido de estos análisis al no ser representativo de las prácticas normales de riego debido a las obras de transformación del regadío.

### 3.3. Índices de calidad del riego para los principales cultivos

Los mismos índices descritos en el apartado 3.2 (excepto FD y  $FD^*$ ) fueron calculados para los principales cultivos (maíz, alfalfa y cebada) para el periodo de estudio 1995-2008. El periodo de cultivo (desde la fecha de siembra hasta la fecha de cosecha) se tomó de Allen et al. (1998), excepto para el maíz en el que el inicio del periodo de cultivo se definió desde el 1 de Abril (antes de la siembra) para incluir el riego de pre-siembra.

Los términos utilizados para calcular estos índices fueron:  $R_s$ , que es el riego establecido a partir de un calendario medio de riego (en lugar de  $R$ ) determinado mediante entrevistas a los agricultores de la zona,  $ET_c$ ,  $ET_r$ ,  $P_{ef}$  y  $\Delta W_s$  para cada periodo de cultivo; todos ellos establecidos a través del balance diario de agua en el suelo realizado para cada cultivo.

## **4.- Resultados y Discusión**

### 4.1. Balance de agua

Los resultados del balance de agua se presentan por unidad de superficie regada para cada ER del periodo de estudio (1995-2008) (Fig. 3). La mayor entrada en todas las estaciones de riego fue el  $R$  ( $R = 756 \pm 194$  mm; media  $\pm$  desviación estándar) que supuso el 60% del total de entradas. La  $P$  representó el 18% de las entradas ( $P = 231 \pm 78$  mm, con un máximo de 400 mm en la ER del 2000 y un mínimo de 130 mm en la ER de 2004). El año más seco fue 2005 con un total de  $P = 297$  mm para el año hidrológico dando lugar a restricciones de riego. Las  $OE$  fueron bajas en todos los años ( $OE = 40 \pm 19$  mm; 5% de  $R$  y 7 % de  $Q$ ) mientras que por el contrario las  $FC$  fueron importantes ( $FC = 226 \pm 133$ mm; 30% del  $R$  y 36% de  $Q$ ). La media de las entradas totales fue  $1243 \pm 12$  mm, con una clara reducción a lo largo de los últimos años (2005-2008). Las medias de las entradas totales entre los periodos 1995-2004 y 2005-2008 (1426 y 822 mm respectivamente) presentaron diferencias significativas ( $P < 0.0001$ ) debido principalmente a (i) una importante disminución de  $R$  en un 43% entre ambos periodos, derivada del cambio de cultivos con altas necesidades hídricas (maíz y alfalfa) a cereales de invierno con menores requerimientos de agua; (ii) un menor volumen de  $FC$  debido a la construcción del nuevo canal elevado de la Violada con entrada en servicio en Marzo de 2002; y (iii) una menor intensidad de cultivo inducida por los trabajos de transformación (2008).

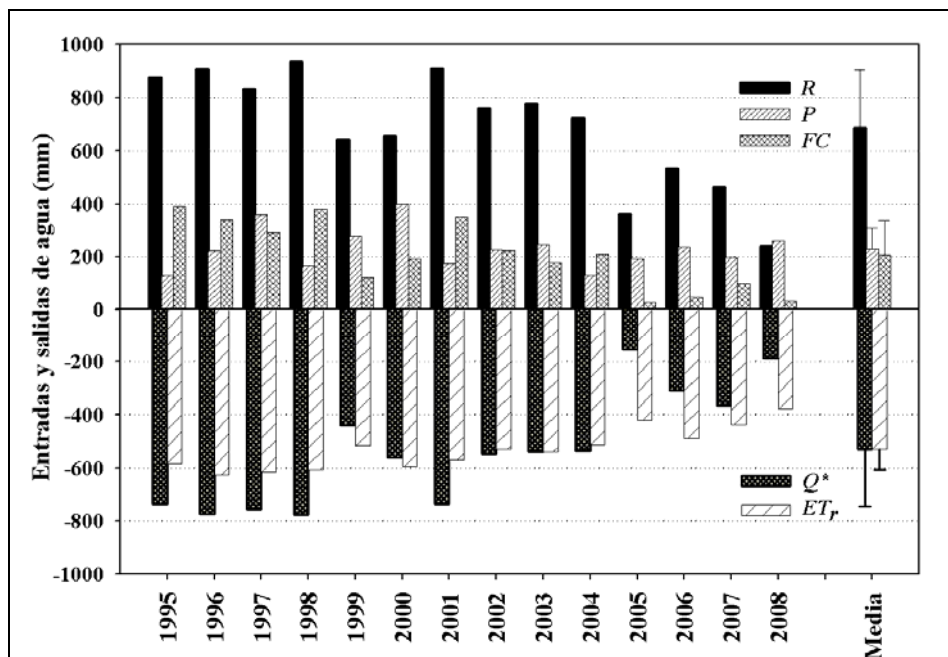


Figura 3. Principales términos del balance de agua expresados por unidad de superficie regada para las estaciones de riego de 1995-2008.

La principal salida de agua fue  $Q$  (52% del total de las salidas) excepto para el periodo 2005-2008, debido a que la disminución de  $R$  y  $FC$  durante esos años disminuyeron el volumen de las aguas de retorno del riego (Fig. 3). La media para las estaciones de riego fue  $Q = 622 \pm 200$  mm y  $Q^*$  ( $Q - OE$ ) fue el 93% de  $Q$  ( $Q^* = 581 \pm 205$  mm). La media para las ER de  $ET_r$  fue  $566 \pm 62$  mm (48% de las salidas) para la que también se produjo una disminución durante las ER de 2005-2008 debido al cambio en la distribución de los cultivos. La media del total de las salidas fue  $1188 \pm 257$  mm y al igual que las entradas presentó diferencias significativas ( $P < 0.0005$ ) entre las medias de los periodos 1995-2004 (1326 mm) y 2005-2008 (843 mm) debido a la importante reducción de un 54% de  $Q^*$  inducida por la reducción de  $R$  y la menor contribución de  $FC$ .

La media del error del balance de agua calculado a partir de la ecuación 2 fue -51 mm equivalentes a -5% del total de las salidas ( $Q + ET_r$ ) lo que supone un error



menor del 10% lo que da confianza del balance de agua realizado y permite por tanto el uso de esos datos hidrológicos para la realización de evaluaciones del riego.

#### 4.2. Índices de calidad del riego para la zona regable de la Violada

La mayoría de los índices mostraron diferencias entre los periodos 1995-2004 y 2005-2007 (el año 2008 fue excluido de los análisis), excepto la FD que presentó diferencias entre 1995-20

02 y 2003-2007, por la entrada en servicio del nuevo canal elevado de La Violada (anterior a la ER de 2003).

La  $P_{ef}$  media para las ER fue  $P_{ef} = 156$  mm (68% de  $P$ ). Las NH medias para el periodo de estudio (1995-2008) fueron  $NH = 508 \pm 100$  mm y excluyendo el año 2008 ( $NH = 259$  mm) la media fue  $NH = 527 \pm 72$  mm. Valores de NH menores a la media ocurren (i) en años donde los cultivos predominantes son los cereales de invierno (2007 y 2008); y (ii) en años donde la  $P_{ef}$  es alta como en 1997 donde  $P_{ef}$  estacional alcanzó un máximo de 245 mm. A pesar de estas diferencias entre los años, NH no presentó diferencias significativas entre ningún periodo (Fig. 4). Por otro lado, la media de UC ( $366 \pm 81$  mm) siguió el mismo patrón que NH y fue más baja durante los últimos años. Las diferencias se reflejan en la relación UC/NH que fue del 76% para el periodo 1995-2004 y del 63% para el periodo 2005-2007 (diferencias significativas,  $P < 0.05$ ), lo que sugiere que los cultivos sufrieron mayor estrés hídrico durante los últimos años debido a las restricciones de riego. El DH medio fue 20% lo que indica que el agua aplicada a los cultivos no fue suficiente para cubrir las necesidades hídricas, a pesar de ser el riego superior a las NH. El mínimo de DH ocurrió en la ER de 1997 ( $DH = 10\%$ ) debido al abundante volumen de P y R, mientras que el máximo DH fue en la ER de 2005 ( $DH = 30\%$ ) con baja precipitación y restricciones de riego, siendo el único año donde R fue menor que NH.

La EfR media para el periodo de estudio fue del 49% presentando diferencias significativas entre los periodos 1995-2004 ( $ER = 47\%$ ) y 2005-2007 ( $EfR = 60\%$ ) (Fig.4). Estos valores bajos de EfR son comparables con el valor medio de  $EfR = 53\%$  encontrado en zonas de riego con riego por inundación en la cuenca del Ebro (Causapé et al. 2006). Para el primer periodo los valores son similares a los encontrados en la zona regable de La Violada para el periodo 1995-1998 ( $EfR = 48\%$ ; Isidoro et al. 2004). La ER con menor EfR (excluyendo el 2008) fue la de 1997 ( $EfR = 37\%$ ) debido a la alta cantidad de riego aplicado y la elevada precipitación estacional. La EfR máxima fue en el año 2005 ( $ER = 65\%$ ) causada por las restricciones de riego lo que implicó un menor volumen de riego aplicado. Las altas eficiencias en 2006 y 2007 reflejaron los cambios en el manejo del riego derivados de dichas restricciones. La reutilización del agua de drenaje en 2005 y 2006 puede explicar además las mayores eficiencias para esos años. A pesar de las mejoras en el manejo en los últimos años, las EfR obtenidas están lejos de las de riego por aspersión ( $EfR = 92\%$ ; Tedeschi et al. 2001) lo que sugiere el cambio de riego por inundación a aspersión para poder aumentar las EfR en la zona regable de La Violada (Playán et al. 2000).

La EfUA media fue 55%, menor que el valor crítico de 60% propuesto por Bos et al. (2005) para regiones áridas y semiáridas. La EfUA presentó diferencias entre 1995-2003 ( $EfUA = 52\%$ ) y 2004-2007 ( $EUA = 61\%$ ) (Fig.4). Esta diferencia significativa se produjo a partir del año 2004 (en vez de 2005) debido a la mínima precipitación estacional en 2004 ( $P = 130$  mm) lo que implica un mayor porcentaje de R destinado a la ET. Al igual que EfR, la sequía y las mejoras del riego contribuyeron al aumento de EfUA a lo largo de 2005-2007.



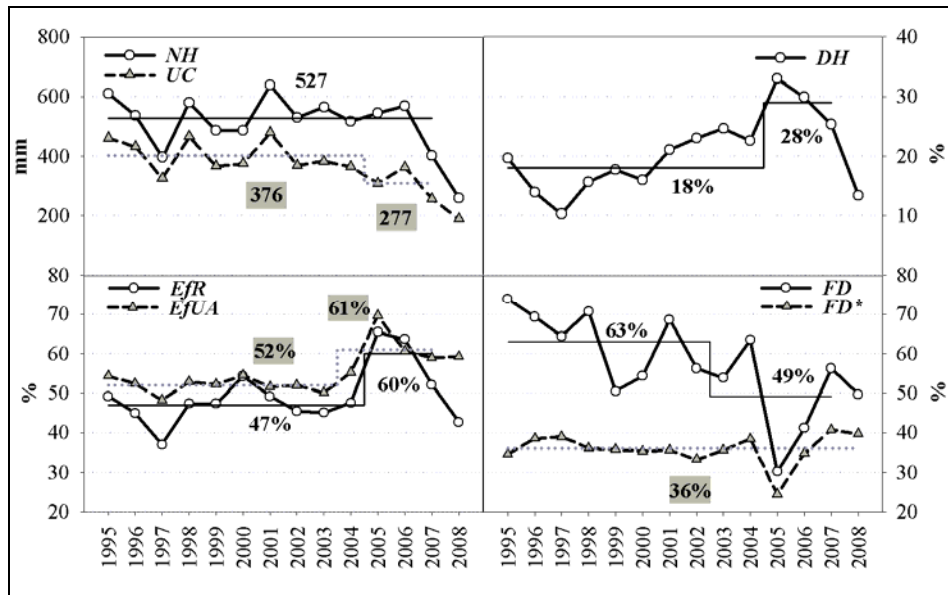


Figura 4. Índices de calidad del riego para la zona regable de la Violada para el periodo de estudio 1995-2008. Medias para los periodos con diferencias significativas.

La FD media fue bastante alta  $FD = 57\%$ , en concordancia con las bajas EfR encontradas. Se presentaron diferencias significativas para los periodos 1995-2002 ( $FD = 63\%$ ; viejo canal de La Violada con altas FC) y 2003-2007 ( $FD = 49\%$ ; nuevo canal elevado sin FC) lo que pone de manifiesto la disminución del volumen de FC que fluye directamente hacia el barranco de La Violada, contribuyendo al volumen de Q. Descontando FC de la FD ( $Q^* - FC$ ) obtenemos una nueva  $FD_{FC}$  con una media para el periodo de estudio de  $36\%$  y sin diferencias significativas entre periodos.

#### 4.3. Índices de calidad del riego para los principales cultivos

Aunque  $R_s$  fue mayor que NH en todos los cultivos, UC fue siempre menor que NH lo que indicó que los cultivos sufren estrés hídrico. La media de las NH para el maíz, alfalfa y cereal fue  $NH(\text{maíz}) = 619 \text{ mm}$ ,  $NH(\text{alfalfa}) = 737 \text{ mm}$ , y  $NH(\text{cebada}) = 232 \text{ mm}$ , mientras que el UC fue 462, 500 y 103 mm (es decir, DH 27%, 14% y 24 %, respectivamente). El DH es proporcional a la disminución del rendimiento a través del factor del efecto sobre el rendimiento " $k_y$ " (Doorenbos y Kassam, 1979). De acuerdo a los  $k_y$  definidos para los cultivos, maíz ( $k_y=1.25$ ), alfalfa ( $k_y=0.9$ ), y cebada ( $k_y=1.0$ ) los rendimientos disminuirán en un 24%, 18% y 24% respectivamente respecto a los rendimientos óptimos bajo condiciones de no estrés.

La EfR fue bastante baja (51% para el maíz, 40% para la alfalfa y 44% para la cebada). Faci et al. (2000) estimaron un índice estacional de calidad del riego (SIPI) para el cultivo de maíz del 50% para el año 1994. Con el fin de comparar este valor se calculó este mismo índice para el maíz, obteniéndose un valor medio para el periodo de estudio algo superior: 64%.

### 5.- Conclusiones

El balance de agua realizado para la zona de La Violada es adecuado (errores menores del 10%) para el calculo de índices de calidad del riego a partir de sus componentes. La EfR media para el periodo de estudio fue bastante baja 49%, pero similar a las EfR encontradas para otras zonas de riego por inundación. Las restricciones de riego impuestas por la sequía, la reutilización del agua de drenaje y el mejor manejo del agua de riego debido al mayor control por parte de la CHE y la CRA han incrementado la EfR, al igual que la EfUA, en los últimos años. Sin embargo, este

aumento de la EfR no implica un mejor aprovechamiento de agua por parte de los cultivos (no hay aumento de UC) aumentando el DH hasta el 29%. El necesario incremento en la EfR, la EfUA y la reducción del DH implica disminuir el intervalo entre riegos y aumentar el número de riegos, objetivos alcanzables mediante el cambio a riego por aspersión actualmente en proceso en la zona de estudio.

## 6.- Agradecimientos

La Comunidad de Regantes de Almodívar ha facilitado la información necesaria sobre prácticas de riego y superficies de cultivo y la Confederación Hidrográfica del Ebro los datos de riego, aforo y manejo de canales necesarios. Este estudio está financiado por el proyecto AGL 2006-11860/AGR del Plan Nacional de I+D+i, y el doctorado de Rocío Barros con una beca del proyecto INCO-CT-2005-015031 (Qualiwater).

## 7.- Referencias

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper 56. FAO, Roma, 300 p.
- Barros R., Isidoro, D., 2008. Balance de agua a largo plazo en la zona regable de La Violada (Huesca). XXVI Congreso Nacional de Riegos, Huesca, 24-26 de junio de 2008.
- Bos M.G., Burton M.A., Molden D.J., 2005. Irrigation and drainage performance assessment: Practical-Guidelines. CABI Publishing, Trowbridge, US, p.155.
- Causapé J., Quílez D., Aragüés R., 2004. Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level - I. Irrigation quality. *Agricultural Water Management* 70(3): 195-209
- Causapé J., Quílez D., Aragüés R., 2006. Irrigation efficiency and quality of irrigation return flows in the Ebro River Basin: An overview. *Environmental Monitoring and Assessment* 117: 451-461.
- Confederación Hidrográfica del Ebro, CHE, 1996. Plan hidrológico de la cuenca del Ebro. Disponible en <http://oph.chebro.es/PlanHidrologico/inicio.htm>.
- Dechmi F., Playán E., Faci J. M., Tejero M., 2003. Analysis of an irrigation district in northeastern Spain I. Characterisation and water use assessment. *Agricultural Water Management* 61(2): 75-92.
- Doorenbos J. y Kassam A.H., 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje 33. Roma, 212 p.
- Faci J., Aragüés, R., Alberto, F., Quílez, D., Machin, J., Arrue, J.L., 1985. Water and salt balance in an irrigated area of the Ebro River Basin (Spain). *Irrigation Science* 6: 29-37.
- Faci J. M., Bensaci A., Slatni A., Playán E., 2000. A case study for irrigation modernisation I. Characterisation of the district and analysis of water delivery records. *Agricultural Water Management* 42, 313-334.
- FAO (2005), "Water use in Agriculture", Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en <http://www.fao.org/ag/magazine/0511sp2.htm>

- Fereres E., Ceña F, 1997. Social benefits and environmental constrains of irrigation in an area of water scarcity. Proceedings 18th European Regional Conference "Water, an economic good". Oxford, UK. 128-136.
- IPCC, (2007), Climate Change 2007: The Physical Science Basis – Summary for Policymakers. Contribution of WGI to the 4th Assessment Report of the IPCC, Geneva.
- Isidoro, D., Quílez D., Aragüés R., 2004. Water balance and irrigation performance analysis: La Violada irrigation district (Spain) as a case study. *Agricultural Water Management* 64:123-142
- Isidoro, D., Aragüés R., 2006. A twenty-year analysis of salt and nitrogen export loads in La Violada irrigation district (Spain). International Symposium on Water and Land Management for Sustainable Irrigated Agriculture. Cukurova University. Adana (Turkey), 4-8 April 2006. CD Proceedings. 18 pp.
- Jensen M. E., 2007. Beyond irrigation efficiency. *Irrigation Science* 25(3): 233-245
- Lecina S., Playán, E., Isidoro D., Dechmi F., Causapé J., Faci J. M., 2005. Irrigation evaluation and simulation at the irrigation District V of Bardenas (Spain). *Agricultural Water Management* 73(3): 223-245.
- Molden, D. (1997), Accounting for water use and productivity, SWIM Paper 1, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- OECD/Eurostat, (2000), OECD/Eurostat Joint Questionnaire on Inland Waters 2000, Statistical Office of the European Communities, Eurostat, Luxemburg.
- Playán E., Slatni A., Castillo R., Faci J.M., 2000. A case study for irrigation modernization II. Scenario analysis. *Agricultural Water Management* 42: 335-354.
- Tedeschi A., Beltrán A., and Aragüés R., 2001. Irrigation management and hydrosalinity balance in a semi-arid area of the middle Ebro river basin (Spain). *Agricultural Water Management* 49(1), 31-50.
- UE-Unión Europea, 2000. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, Diario Oficial de las Comunidades Europeas L32.7, 22/12/2000, p.1-72.