

# EFFECTOS DE LA MODERNIZACIÓN DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DE ALMUDÉVAR (HUESCA) SOBRE EL CULTIVO DEL MAÍZ

*Jiménez-Aguirre, MT.<sup>1</sup>, Isidoro, D.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Ingeniera Agrónoma. Becaria de Investigación. [mtjimenez@cita-aragon.es](mailto:mtjimenez@cita-aragon.es)

<sup>2</sup> Ingeniero Agrónomo. Investigador. [disidoro@aragon.es](mailto:disidoro@aragon.es)

Unidad de Suelos y Riegos (Unidad Asociada EEAD-CSIC), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA-DGA), Avda. Montañana 930, 50059-Zaragoza,

## Resumen

La Comunidad de regantes de Almudévar (CRA) ha concluido recientemente las obras de modernización del regadío pasando de un sistema por inundación a un moderno sistema de aspersión. Tras la entrada en funcionamiento la práctica totalidad de la comunidad se ha de evaluar si se cumplen los objetivos planteados dentro del Plan Nacional de Regadíos y el Plan de Choque de Modernización de Regadíos.

En este trabajo se ha realizado un balance hídrico en la CRA y un análisis estadístico de las aplicaciones de fertilizante nitrogenado estableciendo eficiencias de uso del agua (riego) y del nitrógeno para el sistema de riego por inundación (años 1995 y 1996) y para sistema de aspersión (2011). Se ha seleccionado el cultivo del maíz por ser el cultivo dominante en los tres años estudiados.

Los resultados obtenidos sugieren que se ha producido tanto una disminución en el empleo de ambos recursos (agua y nitrógeno) como un aumento en la eficiencia de uso de ambos. Hay que tener en cuenta que se han estudiado solo tres años para realizar este análisis, por lo que es deseable completar esta información en los próximos años.

## 1- Introducción y Objetivos

En la actualidad muchas comunidades de regantes de toda España se encuentran en proceso de modernización, o lo han concluido ya, en el marco del Plan Nacional de Regadíos y del Plan de Choque de Modernización de Regadíos. La modernización de los regadíos persigue fundamentalmente mejorar la eficiencia en el uso del agua pero también permite reducir las aportaciones de contaminantes agrícolas a las masas de agua. El efecto del cambio de sistema de riego (de la modernización del regadío) sobre la eficiencia en el uso del agua y los fertilizantes y las emisiones de nutrientes sólo puede estudiarse en comunidades de regantes con datos antes y después de la transformación.

Este es el caso de la Comunidad de Regantes de Almudévar (3718 ha amuebladas en 2011) en Huesca, en la que el sistema de riego tradicional por inundación se convirtió a aspersión en los años 2008 y 2009 después de un proceso iniciado a partir de 1999 con la construcción de 5 balsas de regulación y otras actuaciones y culminado en mayo de 2005 con el Proyecto de Modernización del Riego en la Comunidad de Regantes de Almudévar.

En la campaña de riego de 2011 el cultivo dominante ha sido el maíz, por primera vez después de la modernización, con un 17% de la superficie sembrada de maíz como cultivo único y un 53% sembrada de maíz después de cebada, veza o guisante (doble cultivo). La CRA ha sido estudiada desde los años 80 y se dispone de datos de manejo del riego y la fertilización y de salidas de N de la zona regable de los años 1995 y 1996, en los que el cultivo mayoritario fue también el maíz, siempre como cultivo único (43% en 1995 y 52% en 1996).

El objetivo de este trabajo es comparar el manejo del agua y de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz en la CRA en los años 1995 y 1996 (riego por inundación) y en 2011 (riego por aspersión), así como su influencia sobre las exportaciones de N.

## 2- Materiales y Métodos

La Comunidad de Regantes de Almudévar se encuentra situada en la provincia de Huesca a 18 km de la capital y ocupa la parte baja de la cuenca del B<sup>co</sup> de La Violada aguas arriba de la estación de aforo de La Pardina [EA 230 de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE); punto D-14, Fig.1]. La zona regable se caracteriza por la existencia de una capa de arcillas impermeables en el subsuelo (Faci et al., 1985), por lo que las aguas de drenaje de la zona de riego se recogen íntegramente a través del B<sup>co</sup> de La Violada y pueden controlarse en la estación de aforo del punto D-14. (Fig. 1). El B<sup>co</sup> de La Violada recoge las aguas de retorno de la práctica totalidad de la CRA (4720 ha de una superficie total de 4822 ha) y de pequeñas superficies de las comunidades de Tardienta (384 ha) y Gurrea (116 ha): el 91% de la superficie regada (5220 ha) que contribuye al caudal por la estación de aforo corresponde a la CRA. Por ello, las prácticas de manejo del riego y de la fertilización en la CRA son responsables en buena medida de las salidas de N por D-14.

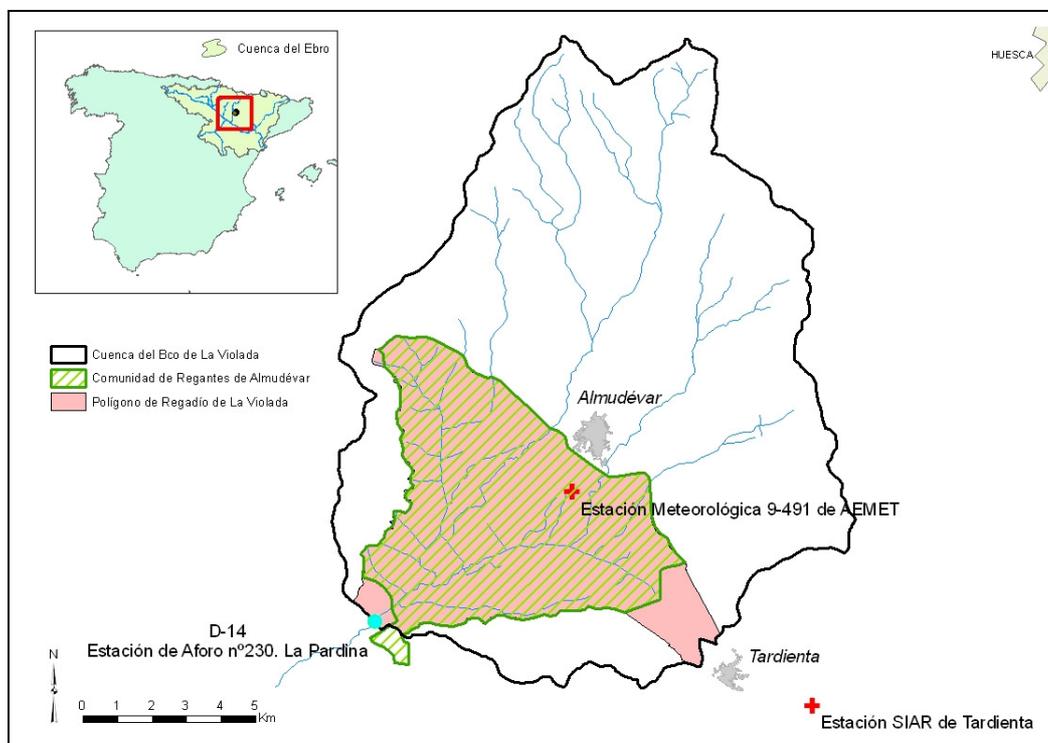


Figura 1. Comunidad de Regantes de Almudévar, polígono de riego de La Violada y cuenca hidrográfica del Barranco de La Violada, situada en la cuenca del Ebro.

El clima de esta zona es de tipo mediterráneo, con una precipitación media anual de 430 mm, con 72 días de lluvia por año, y una temperatura media anual de 13.8 °C (periodo 1986-2008; Barros, 2011). Las precipitaciones se producen a lo largo de todo el año aunque concentrándose en primavera y otoño y además presentan gran variabilidad interanual (entre 229 mm en 1998 y 600 mm en 2000).

La CRA ha sido objeto de estudio en desde los años 80 en diferentes aspectos en cuanto a entradas de insumos agrícolas (Isidoro et al., 2006; Barros et al., 2012), la caracterización del medio físico y los cambios introducidos por el regadío (Torres, 1983), el manejo del riego (Faci et al., 1985; Faci et al., 2000; Playán et al., 2000; Isidoro et al., 2004) y más recientemente balances hídricos y contaminación difusa por sales y nitrato (Barros, 2011a, 2011b).

## 2.1 Eficiencia del uso del Agua

El manejo del agua de riego (número de riegos, intervalo entre riegos, volumen aplicado y aplicación de riegos de presiembra -hembra- con su fecha de aplicación) se estableció en los años 1995 y 1996 a través de entrevistas a los agricultores (17 entrevistas en 1995 y 25 en 1996) y de la información facilitada por la CRA (Isidoro et al., 2004). En 2011, el manejo del riego en el cultivo de maíz se obtuvo a partir de 28 encuestas y del análisis de la base de datos de riegos por parcela facilitada por la CRA. Las fechas de siembra y madurez del cultivo también se obtuvieron a partir de las encuestas en los dos periodos.

El volumen de agua de riego suministrado a la CRA en los años hidrológicos 1995 y 1996 (1 de octubre a 30 de septiembre) fue facilitado (para cada toma de la CRA) por la oficina de la CHE de Huesca y para el año 2011 fue facilitado por la CRA.

Para establecer el manejo del agua se realizó un balance de agua diario en el suelo siguiendo la metodología FAO (Allen et al., 1998), basado en los datos meteorológicos diarios de la zona, las propiedades medias de los suelos (Torres, 1983; Playán et al., 2000) y las prácticas de riego en cada periodo establecidas a través de las encuestas. Los datos medios diarios de precipitación ( $P$ ), velocidad del viento ( $V_w$ ), evapotranspiración de referencia Penman-Monteith ( $ET_o$ ) y humedad relativa ( $H_R$ ) se tomaron en 2011 de la estación SIAR de Tardienta situada en uno de los extremos de la comunidad (Fig. 1). Los datos meteorológicos para los años de 1995 y 1996 se corresponden a la estación 9-491 de la AEMET, localizada en el interior de la CRA (Fig. 1).

La evapotranspiración real ( $ET_r$ ) se obtuvo a partir de la evapotranspiración de cultivo  $ET_c$  ( $ET_c = K_c \cdot ET_o$ ) y el coeficiente de estrés ( $K_s$ ) estimado a partir del contenido de agua en el suelo (Allen et al., 1998):

$$ET_r = K_s \cdot ET_c$$

Los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) y la duración de las fases de cultivo se tomaron de Allen et al (1998). El coeficiente  $K_s$  en las fases de desarrollo, media temporada y final de temporada se calculó en cada día a partir del contenido de agua en el suelo al inicio del día ( $W_s$ ) en relación al agua fácilmente aprovechable para el cultivo de maíz [el 55% agua disponible total, calculada como diferencia entre la capacidad de campo ( $CC = 294.1$  mm) y el punto de marchitez permanente ( $PM = 198.6$  mm)].

Para el periodo de suelo desnudo (desde cosecha hasta siembra),  $K_c$  se estimó a partir del balance de agua en la capa superficial del suelo (15 cm) siguiendo a Allen et al. (1998) y  $K_s$  se calculó a partir del contenido de agua en la capa superficial.

Para la fase inicial del cultivo se empleó junto con el  $K_c$  basado en el contenido de agua de la capa superior del suelo (evaporación), un coeficiente basal de cultivo ( $K_{cb} = 0.15$ ) (transpiración), y se calcularon dos  $K_s$ : uno para la evaporación (basado en el contenido de agua de la capa superior del suelo) y otro para la transpiración, basado en el contenido total de agua en el suelo, como para las otras fases de cultivo.

La precipitación efectiva ( $P_{ef}$ ) y el drenaje ( $D$ ) se calcularon a partir del balance hídrico diario del suelo, mediante las ecuaciones:

$$P_{ef} = \begin{cases} P & \text{si } W_s + P + R < CC \\ \frac{CC - W_s}{R + P} P & \text{si } W_s + P + R > CC \end{cases}$$

$$D = W_s + P + R + CC$$

siendo  $R$  el riego aplicado en el día.

En 2011, se ha incluido además el término de pérdidas por evaporación y arrastre (PEA) debido a la importancia del viento en el valle del Ebro y su influencia sobre el riego por aspersión (Salvador, 2003). Las PEA se estimaron como un porcentaje del riego diario aplicado a partir de  $V_w$  (en m/s) y  $H_R$  (%) (Salvador, 2003):

$$PEA = 20.34 + 0.214 \cdot V_w^2 - 0.00229 \cdot H_R^2$$

A partir de los resultados del balance hídrico para la estación de riego (abril-septiembre) se han calculado una serie de indicadores para caracterizar el manejo del riego en la CRA en ambos periodos (Barros, et al., 2011; CHE, 2011):

1. La eficiencia en el uso del agua (EUA) calculada como la relación entre el consumo real del maíz y la cantidad de agua aportada al sistema por riego y precipitación:

$$EUA = \frac{ET_r}{R + P}$$

2. La eficiencia del riego (EfR) entendida como el cociente entre las necesidades hídricas del cultivo y el volumen de agua disponible, que se corresponde con el coeficiente de uso consuntivo del agua de riego (Burt et al., 1997):

$$EfR = \frac{ET_r - P_{ef}}{R - \Delta W}$$

3. La fracción consuntiva (FC) expresada como relación entre el volumen de agua consuntivo (uso consuntivo) y el agua total aplicada:

$$FC = \frac{ET_r + PEA}{R + P}$$

4. El déficit hídrico (DH) definido como la fracción de agua necesaria para suprimir el estrés hídrico del cultivo y relacionado directamente con el descenso de rendimiento por estrés hídrico (Doorenbos y Kassam, 1977) (para la primera fase del cultivo se ha empleado solo el término de transpiración):

$$DH = \frac{ET_c - ET_r}{ET_c}$$

## 2.2 Eficiencia del uso del Nitrógeno

Las encuestas realizadas en 1995-96 y en 2011 permitieron caracterizar las aplicaciones de fertilizantes en ambos periodos: fertilizantes empelados (minerales y orgánicos) y dosis y fechas de aplicación. Con las dosis obtenidas y la composición de los abonos minerales (De Liñán, 2005) y orgánicos (Iguacel, 2006) se obtuvieron las cantidades de N aportadas con cada aplicación y para el total del ciclo del cultivo (como suma de todas las aportaciones,  $N_F$ ), distinguiendo entre N de origen mineral y orgánico.

A través de las encuestas se obtuvieron también los rendimientos del maíz, así como las prácticas de manejo de los residuos. La cantidad total de N extraída por el cultivo de maíz ( $N_{CROP}$ ) se calculó como el producto del rendimiento (en Mg de grano seco al 14% de humedad) por el contenido de N en el producto cosechado (28 kg de N por tonelada de materia seca; Betrán, 2006), puesto que la práctica general en la CRA es enterrar los residuos de cosecha (según se estableció a través de las encuestas).

La eficiencia en el uso del nitrógeno (NUE) se ha calculado como la relación entre el contenido en N de la cosecha y el N aplicado por fertilización.

$$NUE = \frac{N_{CROP}}{N_F}$$

El caudal medio diario a través de D-14 para los años hidrológicos 1995, 1996 y 2011 fue facilitado por la CHE. Durante los dos periodos se tomaron muestras diarias de agua en D-14 mediante un tomamuestras automático en las que se determinó la concentración de N-NO<sub>3</sub> [mediante cromatografía iónica en 1995-96 (Dionex 2000 isp) y con un autoanalizador (Bran + Luebbe AA3) en 2011]. En 2011, se determinó además la concentración de N-NH<sub>4</sub> en algunas muestras, que resultó despreciable por lo que se asumió que la totalidad del N se exporta en forma de NO<sub>3</sub>. La masa total de N exportada por D-14 se calculó como el producto de los caudales medios diarios y las concentraciones medidas de N-NO<sub>3</sub> por el factor de conversión de unidades adecuado.

La masa de N exportada a través del B<sup>co</sup> de La Violada en el punto D-14 ( $N_Q$ ) no procede únicamente del cultivo de maíz; ni únicamente de la CRA, sino también del resto de la superficie regada de otras comunidades (un 9% de la superficie regada total en la cuenca de las comunidades de Tardienta y Gurrea) y de la superficie de secano al N del Canal de Monegros (Isidoro et al., 2006; Barros et al., 2012) (Fig. 1). Pero al ser el maíz el cultivo dominante en 1995-96 y 2011 y el que recibe una mayor fertilización nitrogenada (Isidoro et al., 2006; Barros et al., 2012), las diferencias entre las prácticas de riego (efecto del cambio del sistema de riego) y fertilización entre ambos periodos se pueden considerar responsables, en buena medida, de las diferencias observadas en las exportaciones de N. Por tanto, la relación  $N_Q/N_F$  se puede considerar sólo como una aproximación a las pérdidas totales de fertilizante nitrogenado a través del drenaje, útil par establecer la comparación entre los 2 periodos.

### **3- Resultados y Discusión**

#### **3.1 Eficiencia del uso del Agua**

El riego del maíz, establecido a través de las encuestas, se ha reducido en un 32% entre los años 1995 y 1996 (1140 mm) y 2011 (860 mm) (Tabla 1). El intervalo entre riegos fue de 11.9 días en 1995-96 (valor muy próximo al adon facilitado por la CRA, de 13 días entre riegos), frente a tan solo 1.4 días en 2011. En riego por inundación se aplicaron 8.5 riegos al año frente a los 105 de media en 2011. Igualmente, el volumen aplicado en cada riego fue muy superior (134 mm) en riego por superficie que en aspersión (8.2 mm) (Tabla 1).

El número de riegos utilizado en los balances y las fechas de riego se ajustaron lo más posible a los datos obtenidos de las encuestas y de la base de datos de la CRA en cada año. El volumen de riego total empleado en los balances finales fue ligeramente inferior al volumen obtenido de las encuestas y la base de datos de la CRA (Tablas 1 y 2), pero la adición de más riegos no alteró el cálculo de  $ET_r$ , por lo que los valores empleados se consideraron suficientemente aproximados. Los términos diarios del balance de agua para cada año de estudio se presentan en la Figura 2.

Tabla 1. Comparación del manejo de riego por aspersión (2011, resultados de la base de datos de la CRA) y por inundación (1995 y 1996; resultados de las encuestas sobre manejo del riego y fertilización) en maíz, entre paréntesis la desviación estándar.

	Inundación	Aspersión
<b>Volumen total (mm)</b>	1140 (418)	860 (360)
<b>Intervalo medio (días)</b>	11.9 (1.2)	1.4 (0.2)
<b>Número de riegos</b>	8.5 (1.3)	105 (15)
<b>Dosis media de riego (mm)</b>	134 (37)	8.2 (2.9)

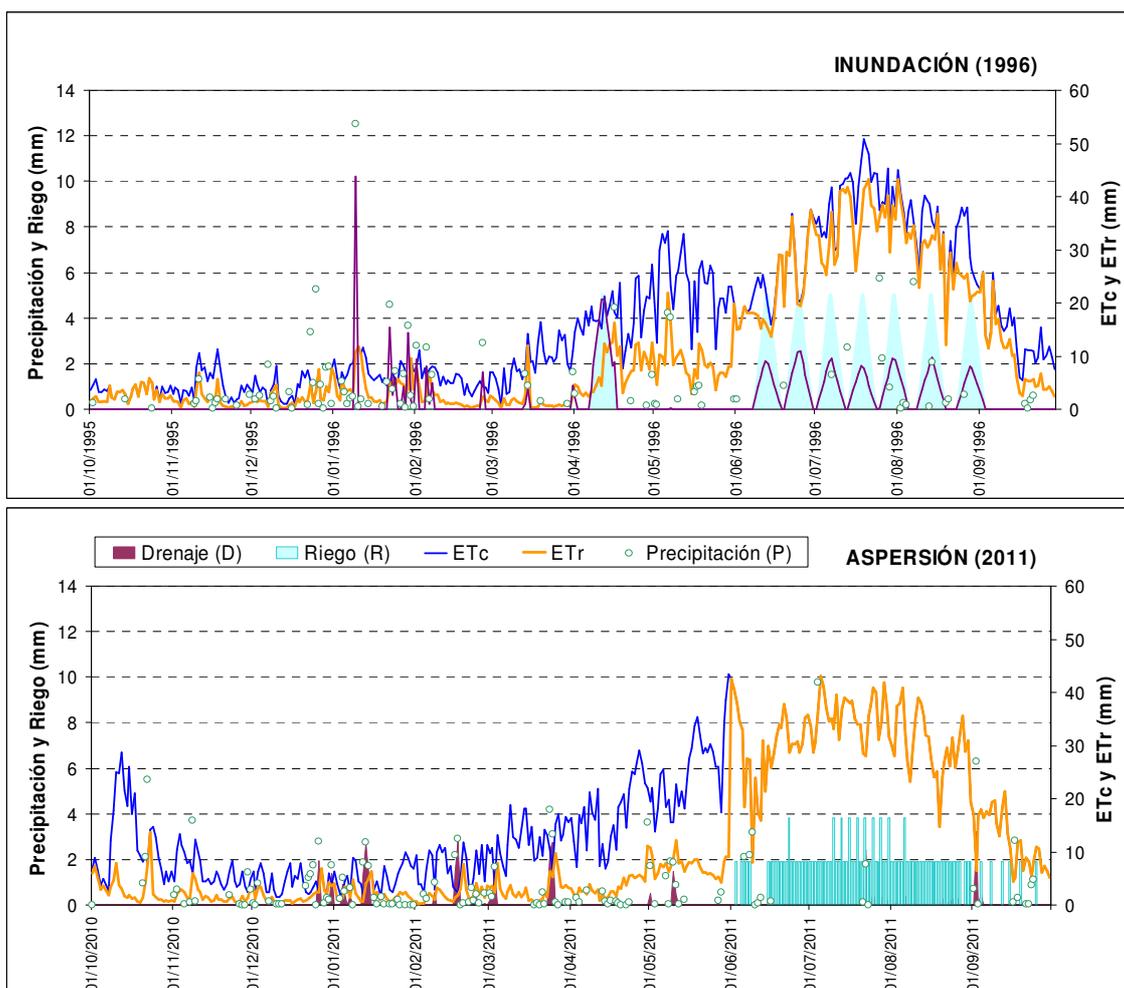


Figura 2. Evolución diaria de los principales términos del balance de agua en el suelo para el cultivo de maíz en Almudévar en los años 1996 y 2011.

El consumo de agua del maíz ( $ET_r$ ) se incrementó en un 7%, desde 790 mm en riego por superficie a 842 mm en aspersión debido a un suministro de agua más ajustado a las necesidades del cultivo (riegos diarios en época de mayor consumo) que redujo el estrés hídrico soportado por el cultivo, como demuestra la variación del DH desde el 17% en inundación al 6% en aspersión. Las PEA producidas en 2011 (122 mm), inexistentes en riego por superficie, representaron un 15% del riego aplicado. El incremento de la  $ET_r$  y de las PEA ha supuesto un aumento el uso consuntivo del agua en un 22% dejando la FC en 96% en aspersión frente al 62% en

inundación. Además el drenaje calculado se ha reducido un 91%, de 549 mm a 50 mm en 2011 (Tabla 2). En cuanto a la eficiencia de riego, en aspersión se alcanzó una EfR del 82%, un 28% superior a la obtenida en riego por inundación (54%). La EUA también fue muy superior en riego por aspersión (84% en 2011) que en riego tradicional (62%) (Tabla 2).

Tabla 2. Balance de agua en el suelo durante la estación de riego para cultivo de maíz en riego por superficie (años 1995-96) y por aspersión (2011): Volumen total de riego (R), evapotranspiración real ( $ET_r$ ), drenaje (D), pérdidas por evaporación y arrastre (PEA), uso consuntivo ( $UC = ET_r + PEA$ ), eficiencia de riego (EfR), fracción consuntiva (FC), eficiencia en el uso del agua (EUA) y déficit hídrico (DH).

	Inundación	Aspersión	Incremento
<b>R (mm)</b>	1105	804	-27%
<b><math>ET_r</math> (mm)</b>	790	842	7%
<b>D (mm)</b>	549	50	-91%
<b>PEA (mm)</b>	--	122	--
<b>UC (mm)</b>	790	964	22%
<b>EfR</b>	54%	82%	28%
<b>FC</b>	62%	96%	34%
<b>EUA</b>	62%	84%	22%
<b>DH</b>	17%	6%	-11%

En resumen, en el nuevo sistema de riego por aspersión se ha reducido el volumen de agua empleado y se ha aumentado el volumen consumido con relación al regadío tradicional, y se han obtenido una mayor eficiencia en el riego y en el uso del agua. Lo que demuestra que la modernización de los sistemas tradicionales por gravedad supone un importante ahorro en el uso de agua y un mayor aprovechamiento consuntivo por parte del cultivo.

La disminución del volumen de riego en la CRA (32.3 Mm<sup>3</sup> en 1995 y 31.4 Mm<sup>3</sup> en 1996 frente a 21.5 Mm<sup>3</sup> en 2011), junto con el aumento del consumo en riego por aspersión (para el maíz, cultivo dominante, y para los demás cultivos) es responsable de la disminución (81%) del caudal de salida por D-14 (40.7 Mm<sup>3</sup>/año en 1995 y 46.7 Mm<sup>3</sup>/año en 1996 frente a 8.4 Mm<sup>3</sup>/año en 2011).

### 3.2 Eficiencia del uso del Nitrógeno

Las aplicaciones de N por fertilización se redujeron de 431 kg/ha en 1995-96 a 316 kg/ha en 2011, esto es, un 27% menos de N aplicado (Tabla 3). Esta reducción se atribuye en parte a que en riego por aspersión las aplicaciones se realizaron de forma conjunta con el riego (prácticamente diario) y se pudieron ajustar más a las necesidades del maíz en cada momento de su desarrollo. En el sistema tradicional de riego por superficie, la aplicación de coberteras líquidas con el riego daba lugar a elevadas pérdidas de N en el agua de drenaje, y los agricultores tenían que elevar las dosis aplicadas para contrarrestar esas pérdidas (Isidoro et al., 2006). Otros factores, como el precio de los fertilizantes, también pueden haber influido en esta disminución.

Tabla 3. Uso del N durante el año hidrológico completo en riego por superficie (1995-96) y riego por aspersión (2011) en cultivo de maíz en Almudévar: N exportado por la red de drenaje por unidad de superficie regada (N<sub>Q</sub>), N extraído por el cultivo de maíz (N<sub>CROP</sub>), N aplicado por fertilización (N<sub>F</sub>), eficiencia en el uso del N (NUE), relación N<sub>Q</sub>/N<sub>F</sub> y rendimiento medio de la cosecha (Rdto). Entre paréntesis la desviación estándar de los términos obtenidos a partir de las encuestas.

	Superficie	Aspersión	Incremento
<b>N<sub>Q</sub> (kg/ha)</b>	82.5	11.9	-86%
<b>N<sub>CROP</sub> (kg/ha)</b>	287 (47)	402 (40)	40%
<b>N<sub>F</sub> (kg/ha)</b>	431 (142)	316 (58)	-27%
<b>NUE</b>	67%	127%	60%
<b>N<sub>Q</sub>/N<sub>F</sub></b>	19%	4%	-15%
<b>Rdto (kg/ha)</b>	10237 (1684)	14342 (1444)	40%

Las aplicaciones de fertilizante nitrogenado se distribuyeron de forma diferente en 1995-96 y 2011 (Tabla 4). Mientras en 1995-96 solo se efectuó una aplicación de abono orgánico, en 2011 se llegaron a aplicar 2, en fechas más tempranas (enero en lugar de marzo). La forma dominante de abono orgánico empleado fue el estiércol de vacuno en ambos periodos.

En riego tradicional, se aplicó un abonado de presembrado (abono complejo) y una o dos coberteras (la primera sólida o líquida, la segunda de solución nitrogenada, aplicada con el riego), excepcionalmente una tercera (líquida) (Isidoro et al., 2006). En riego por aspersión, el N aplicado con el abonado de presembrado (abril) y las dos primeras coberteras se redujo respecto al riego a manta y en cambio, se aplicaron un mayor número de coberteras líquidas (hasta 4), concentrándose las 3 últimas en el mes de julio (Tabla 4).

Tabla 4. Fecha media de aplicación (día-mes) y dosis (N<sub>F</sub>, kg/ha) de la fertilización nitrogenada aplicada al cultivo de maíz en riego por inundación (años 1995-96) y en aspersión (2011)

Sistema de Riego	Fertilización Orgánica		Fertilización Mineral - Coberteras											
	Primera	Segunda	Fondo		Primera		Segunda		Tercera		Cuarta			
	Fecha	N <sub>F</sub>	Fecha	N <sub>F</sub>	Fecha	N <sub>F</sub>	Fecha	N <sub>F</sub>	Fecha	N <sub>F</sub>	Fecha	N <sub>F</sub>		
Inund.	6-mar	62			5-abr	91	13-jun	158	19-jul	105	27-jul	11		
Asper.	15-ene	17	31-ene	28	12-abr	63	4-jun	107	5-jul	57	11-jul	35	20-jul	10

El aumento de los rendimientos obtenidos en aspersión (14342 kg/ha) respecto a los de inundación (10237 kg/ha) ha supuesto un aumento del 40% en la cantidad de N extraída por el maíz (N<sub>CROP</sub>) desde 287 kg/ha a 402 kg/ha en inundación y aspersión respectivamente. Esto unido a la disminución en las aplicaciones de N (N<sub>F</sub>) ha significado un aumento de la NUE del 67% al 127% (Tabla 3). La NUE superior al 100% en 2011 debe interpretarse como señal de la utilización por parte del cultivo de la reserva de N en el suelo y se hace necesario comprobar si se mantienen esos valores en los próximos años.

Los resultados obtenidos: el aumento de la eficiencia del uso del N, el aumento de los rendimientos del maíz, la disminución de las aplicaciones de N, y la disminución de la relación del nitrato exportado en el agua del drenaje respecto al N aplicado, indican que la modernización del sistema de regadío supone un mejor aprovechamiento del N en el cultivo del maíz en aspersión frente al riego por inundación.

Respecto a la cantidad de N vertido a la red de drenaje, la relación entre el N exportado por el drenaje y el N aplicado al maíz ( $N_Q/N_F$ ) se ha reducido del 19% en inundación al 4% en riego por aspersión. La masa de nitrato exportada por D-14 a lo largo del año hidrológico ha disminuido un 86%, pasando de 82.5 kg/ha a 11.9 kg/ha. Esto supone una reducción de la emisión de N a la red fluvial a través de D-14 de 275 Mg/año: de 318.7 Mg/año en 1995-96 a 44.3 Mg/año en 2011.

#### **4- Conclusiones y Recomendaciones**

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto el ahorro en el agua detráida para riego (pero con un incremento en el uso consuntivo total), la reducción en la carga de contaminantes (N) y el aumento de producción que se puede alcanzar en regadíos modernizados frente al regadío tradicional. Junto a estas mejoras, la modernización conlleva el beneficio adicional de la mejora de las condiciones de trabajo de los agricultores y del control preciso del agua utilizada, más difíciles de evaluar cuantitativamente.

Todo ello apunta a una mayor eficiencia en el uso de los recursos agua y N y una disminución importante de la contaminación por  $\text{NO}_3$  en las aguas de drenaje en los regadíos modernizados. Económicamente, el ahorro (reducción en el uso de agua y de fertilizantes más la disminución del coste ambiental debido a la contaminación por  $\text{NO}_3$ ) y el incremento productivo inducidos por estas mejoras deberán contrastarse con el incremento previsible en los costes de explotación (energía para el riego) y con las inversiones necesarias para la transformación.

En este estudio se han comparado los datos de dos años previos a la transformación con los de un único año posterior, por lo que se hace necesario completar esta información en los próximos años para obtener resultados más consistentes. Además, el cultivo de maíz en el nuevo regadío modernizado se presenta frecuentemente asociado a otros cultivos (cebada-maíz, guisante-maíz o veza-maíz) por lo que un análisis completo de los cambios originados por la transformación del sistema regable demandaría comparar también el uso del agua y del N en estas dobles cosechas con la situación anterior a la transformación, con cultivo único de maíz.

#### **5- Agradecimientos**

La Comunidad de Regantes de Almudévar y los agricultores entrevistados han facilitado la información sobre las prácticas de riego y fertilización. La Confederación Hidrográfica del Ebro ha proporcionado datos de volúmenes de riego y ha participado en este trabajo a través de los Convenios de Colaboración CITA-CHE. Talel Stambouli del CITA ha elaborado la información sobre el riego del maíz en 2011. Este estudio está financiado por ex-Ministerio de Ciencia e Innovación a través del proyecto AGL2010-21681-C03-03 del Plan Nacional I+D+i y una beca de doctorado a M<sup>a</sup> Teresa Jiménez-Aguirre.

#### **6- Bibliografía**

- 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., 2011. Evolución a largo plazo del balance hídrico y de la contaminación difusa (sales y nitrato) en la zona regable de La Violada (Huesca). Tesis doctoral. Departamento de Agricultura y Economía Agraria. Universidad de Zaragoza. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Zaragoza. 181 p.

- Barros, R., Isidoro, D., Aragüés, R., 2011a. Long-term water balances in La Violada Irrigation District (Spain): I. Sequential assessment and minimization of closing errors. *Agricultural Water Management* 102: 35-45.
- Barros, R., Isidoro, D., Aragüés, R., 2011b. Long-term water balances in La Violada Irrigation District (Spain): II. Analysis of irrigation performance. *Agricultural Water Management* 98: 1569-1576.
- Barros, R., Isidoro, D., Aragüés, R., 2012. Irrigation management, Nitrogen fertilization and Nitrogen losses in the return flows of a semiarid irrigation district. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, en prensa.
- Betrán, J., 2006. Referencias para la fertilización nitrogenada y razonamiento del aporte del resto de nutrientes. En: Fertilización Nitrogenada. Guía de Actualización. *Informaciones Técnicas. Número extraordinario*. Departamento de Agricultura y Alimentación. Gobierno de Aragón, p. 63-78.
- Burt, C.M., Clemmens, A.J., Strelkoff, T.S., Solomon, K.H., Bliesne, R.D., Hardy, L.A., Howell, T.A., Eisenhauer, D.E., 1997. Irrigation performance measures: Efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 123: 423-442.
- Confederación Hidrográfica del Ebro, CHE, 2011. Evaluación del impacto medioambiental de las actividades agrarias en cinco sistemas de riego de la cuenca del Ebro. Convenio de colaboración CITA-CHE, 252 p.
- De Liñán Vicente, C. y De Liñán Carral, C., 2005. Vademecum de productos fitosanitarios y nutricionales. Madrid: Ediciones Agrotécnicas, S.L., 743 p.
- 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.
- Iguacel, F., 2006. Estiércoles y fertilización nitrogenada. En: Fertilización Nitrogenada. Guía de Actualización. *Informaciones Técnicas. Número extraordinario*. Departamento de Agricultura y Alimentación. Gobierno de Aragón, p. 53-62.
- Faci, J., Aragüés, R., Alberto, F., Quílez, D., Machín, J., Arrúe, 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., Besaci, 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: 315-334.
- 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., Quílez, D., Aragüés, R., 2006. Environmental impact of irrigation in La Violada district (Spain) II: Nitrogen fertilization and nitrate export patterns in drainage waters, *Journal of Environmental Quality* 35: 776-785.
- Playán, E., Slatni, A., Castillo, R., Faci, J.M., 2000. A case study for irrigation modernisation. II. Scenario analysis. *Agricultural Water Management* 42: 335-354.
- Torres, M., 1983. Balance hidrosalino de un polígono de riego en los Llanos de La Violada (Huesca). Tesis de Master del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza (CIHEAM-IAMZ), Zaragoza, 273 p.
- Salvador, R., 2003. Estudio de las pérdidas por evaporación y arrastre en los sistemas de riego por aspersión: Diferencias entre riegos diurnos y nocturnos. Proyecto fin de carrera de Ingeniería Agrónoma. Universidad de Lérida, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo, 206 p.