

## EVOLUCIÓN DEL APROVECHAMIENTO DEL AGUA Y CONTAMINACIÓN POR SALES Y NITRATOS EN UN REGADÍO TRADICIONAL. EL CASO DE LA COMUNIDAD Nº V DE RIEGOS DE BARDENAS (ZARAGOZA)

García-Garizábal, I.\* y Causapé, J.\*\*

\* Universidad de Zaragoza. Departamento de Ciencias de la Tierra, C/ Pedro Cerbuna 12. 50009 Zaragoza. e-mail: ikerggarizabal@gmail.com.

\*\* Instituto Geológico y Minero de España (IGME), C/ Manuel Lasala nº 44 9º B. 50006 Zaragoza.

### RESUMEN

Los entornos agrícolas tienden a la implantación de nuevos sistemas de gestión sin tener en cuenta la respuesta agroambiental de los cambios efectuados. Este trabajo analiza la evolución de la eficiencia de riego y el impacto agroambiental de la cuenca de regadío tradicional C-XIX-6 (95 ha) en la Comunidad de Regantes nº V de Bardenas (Zaragoza) entre los años 2001 y el periodo 2005-2008 (cambios en la gestión del riego con i. asignación de dotaciones, ii. riego a la demanda, y iii. facturación por consumo) mediante el desarrollo de balances anuales de agua sales y nitrógeno. Tras los cambios, la eficiencia de riego se incrementó un 27%, reduciéndose la masa de sales y nitrato exportadas en un 63% y un 60% respectivamente. Los índices de contaminación por sales y nitratos disminuyeron un 70% y un 24%, resultando más efectivos los cambios en la reducción del impacto salino que por nitratos.

**Palabras clave:** Regadío, gestión, eficiencia de riego, contaminación salina, contaminación por nitratos.

### 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los entornos agrícolas tienden a la implantación de nuevos sistemas de gestión sin tener en cuenta la respuesta agroambiental de los cambios efectuados. De hecho, la importancia de evaluar el aprovechamiento y contaminación inducida por el entorno agrícola radica en las altas demandas de materias primas (agua y fertilizantes) que supone el regadío.

El sector agrario es con diferencia el mayor consumidor de recursos hídricos del mundo. Tres cuartas partes del agua del planeta son destinadas al regadío, permitiendo aumentar las producciones y estabilizar el suministro de alimentos, principalmente en aquellas regiones donde el desarrollo de los cultivos está limitado por las lluvias. Así, en España, un 14% de la superficie agraria se destina al regadío, generando cerca del 50% de la producción agrícola nacional, consumiendo al mismo tiempo hasta el 80% de los recursos hídricos del país (INE, 2008; MMA, 2007). En el ámbito europeo, España es el segundo país en superficie agrícola detrás de Francia y el mayor en área regada (UE, 2008).

Y aunque una parte de los volúmenes de agua utilizados son devueltos a los sistemas naturales, la calidad que presentan puede distar mucho de la original, por las sales y agroquímicos arrastrados desde el perfil del suelo (Tanji y Kielen, 2002). Así la salinidad del agua tiene especial importancia a la hora de permitir el crecimiento de ciertos cultivos, limitar la calidad del agua de consumo, peligros en la industria... En cuanto a la presencia de agroquímicos, el nitrato derivado de la fertilización nitrogenada supone desde años atrás un problema muy importante para la calidad de las aguas, sobre todo asociado a su impacto sobre la salud humana (OMS, 2004).

Por lo tanto, según los planteamientos anteriores "productividad agrícola vs. calidad hídrica y ambiental", se plantea necesario alcanzar un uso sostenible de los recursos agrarios optimizando su empleo y minimizando el impacto sobre el medio ambiente. Para ello, se requiere el desarrollo de análisis geo-agro-ambientales que evalúen el manejo de los insumos agrarios (agua y agroquímicos) con el fin de diagnosticar problemáticas y posibles alternativas de gestión.

Especialmente interesantes son los estudios basados en el seguimiento de cuencas hidrológicas de regadío (Tedeschi et al., 2001; Cavero et al., 2003; Causapé et al., 2004a y b; Isidoro et al., 2006a y b) donde ha podido observarse cómo, atendiendo a la gestión del regadío, el aprovechamiento del agua y la contaminación generada inducida llega a ser muy variable. Sin embargo, la corta duración de estos trabajos no ha permitido elaborar análisis de series temporales en los que analizar la influencia del clima o los cambios agronómicos que suceden en los regadíos, sobre el aprovechamiento y contaminación inducida por el regadío.

Así pues, los objetivos que se plantean en este trabajo son cuantificar la eficiencia y el impacto agroambiental generados en un regadío tradicional entre los años 2001 y el periodo 2005-2008, espacio que recoge una serie de cambios llevados a cabo por la Comunidad de Regantes

para mejorar el aprovechamiento del agua de riego (1. sustitución de sistema de riego por inundación a turnos por un sistema de riego a la demanda, 2. implantación de dotaciones de riego en función de las reservas hídricas y 3. cambio de una tarificación por superficie a una tarificación binómica por superficie y volumen de agua consumido).

### Zona de estudio

La zona de estudio se corresponde la cuenca hidrológica de regadío drenada por el desagüe D-XIX-6 (C-XIX-6) perteneciente a la Comunidad de Regantes nº V del Canal de Bardenas (CR-V; Zaragoza; Fig. 1) y abastecida con agua de buena calidad desde el embalse de Yesa (conductividad eléctrica = 0,3 dS/m; concentración de nitrato = 2 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l). La cuenca tiene una extensión de 95 ha, de las cuales 91 ha se corresponden con campos de cultivo, quedando el resto como caminos de acceso y desagües.

Geológicamente, un 75% de la cuenca se localiza en materiales de glaci de edad cuaternaria, siendo el 25% restante materiales lutíticos de fondo de valle pertenecientes al sustrato impermeable terciario. La unión de ambos niveles desarrolla un acuífero local recargado principalmente por el riego, y que, junto a un flujo de agua subterráneo que entra desde la zona noroeste de la cuenca, son desalojados por el desagüe D-XIX-6 (Fig. 1). De acuerdo a estudios locales (ITGE, 1985) y bibliografía (Custodio y Llamas, 1983) la porosidad del acuífero se estima en un 10-15%.

Sobre los glaci se desarrollan suelos de cierta pedregosidad (11-43%), textura franca, una capacidad de retención de agua disponible para las plantas (CRAD; Soil Survey Laboratory, 1995) de 111 mm además de no presentar problemas de salinidad. En cambio, los suelos desarrollados sobre el terciario presentan menor pedregosidad (4-18%), textura arcillosa, una CRAD de 158 mm y localmente problemas de salinidad.

El clima, es de tipo mediterráneo templado (ITGE, 1985) registrándose en los 5 años del periodo de estudio una año climático lluvioso (2001: P = 526 mm y ET<sub>0</sub> = 1093 mm), uno seco (2005: P = 211 mm y ET<sub>0</sub> = 1363 mm) y otros tres años con registros intermedios (2006-2008: P = 375 mm y ET<sub>0</sub> = 1295 mm).

Agronómicamente, se ha producido un cambio en los cultivos principales a consecuencia del nuevo sistema de gestión del riego, la variación en los precios de mercado (INE, 2009) y la modificación en el reparto de subvenciones de la Política Agraria Comunitaria (Atance et al., 2006). Así, en 2001 casi toda la cuenca se distribuyó entre alfalfa y maíz, mientras que en 2005, la baja dotación de agua asignada a consecuencia de la sequía, motivó una mayor superficie en barbecho y la expansión del cereal de invierno. Esta tendencia creciente del cereal de invierno frente a maíz y alfalfa se hace patente el resto de años, llegando a desaparecer el maíz en 2008. La mayor disponibilidad de agua redujo además la superficie de barbecho (Tabla 1).

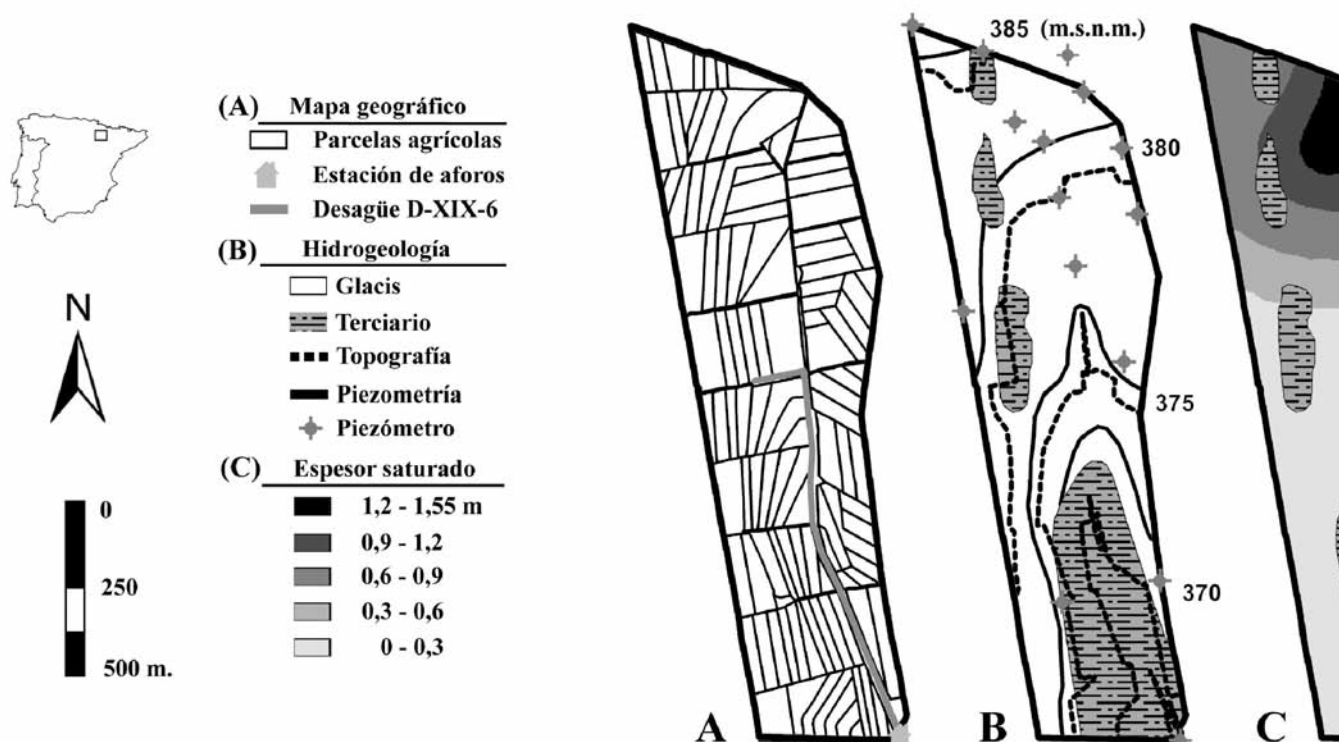


Figura 1. Localización de la cuenca hidrológica del desagüe D XIX 6. (A) Distribución de los bancales agrícolas y localización de la estación de aforos y el desagüe D-XIX-6; (B) Mapa geológico, topográfico, piezométrico y distribución de los piezómetros en la cuenca; (C) Mapa de espesor saturado medio del acuífero.

Año	Dotación	Cereal Invierno	Alfalfa	Maíz	Hierba	Girasol	Otros	Barbecho
	m <sup>3</sup> /ha	-----%-----						
2001	--	1	49	49	0	0	1	0
:	:	:	:	:	:	:	:	:
2005	6500	25	39	11	7	8	2	8
2006	7500	33	39	8	0	15	1	4
2007	7500	51	31	3	5	8	1	1
2008	8000	55	24	0	10	8	2	1

Tabla 1. Dotación de riego y distribución del área cultivada en la cuenca del desagüe D-XIX-6 en los ocho años hidrológicos de estudio (2001-2008).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

La evaluación de la gestión de recursos hídricos en la cuenca de regadío se hizo a partir de balances anuales de agua en el año 2001 y el periodo 2005-2008. Para ello se midieron o estimaron los principales componentes hídricos involucrados en la ecuación del balance en la cuenca hidrológica y se introdujeron en la aplicación informática Evaluador Medioambiental de Regadíos (EMR; Causapé, 2009) que automatiza los cálculos y permite obtener una serie de índices de gestión del riego. La ecuación empleada fue:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} - \text{Almacenamiento} = \text{Error}$$

$$(R + P + ALS) - (ET_R + D\text{-XIX-6}) - (As + Aa) = \text{Error}$$

constituyendo la diferencia entre las entradas por riego (R), precipitación (P) y aportes laterales subterráneos (ALS), menos la evapotranspiración real (ET<sub>R</sub>) y drenaje (D-XIX-6), menos el almacenamiento de agua en el suelo (As) y en el acuífero (Aa), el error asociado al balance. La bondad de los balances anuales fue calculada como el desbalance porcentual  $\text{Desb} = 200 \cdot [E-S-A]/[E+S+A]$ . Una vez obtenidos unos errores adecuados se calculó la eficiencia de riego (ER) como índice evaluador de la gestión del riego a partir de valores calculados en la ecuación del balance.

Para cuantificar la contaminación por sales generada por el regadío, se asignaron concentraciones salinas a cada uno de los términos del balance, excepto a la evapotranspiración, por considerarse libre de sales, y al almacenamiento de agua en el suelo, por su difícil cuantificación. En este caso, el error obtenido se atribuyó principalmente a los procesos de precipitación-disolución mineral existentes en la cuenca. La contaminación salina inducida por este regadío (D<sub>s</sub>) se calculó como la diferencia entre D-XIX-6<sub>s</sub> y ALS<sub>s</sub>. Además, se calculó el Índice de Contaminación Salina (ICS) propuesto por Causapé (2009) para comparar la evolución del impacto salino de este regadío frente a otros agro-sistemas.

Para la evaluación de la contaminación por nitrato, se elaboraron los balances anuales de nitrógeno en la cuenca del desagüe D-XIX-6. Se asignaron concentraciones de nitrato a cada uno de los términos hídricos del balance (por tratarse de la especie mayoritaria de nitrógeno en esta agua) y posteriormente se incorporaron otros componentes del ciclo del nitrógeno no relacionados con el agua. La ecuación resultante fue:

$$\text{Entradas}_N - \text{Salidas}_N - \text{Almacenamiento}_N = \text{Error}_N$$

$$(P_N + R_N + ALS_N + N_{\text{dep}} + NA + N_{\text{fij}}) - (D\text{-XIX-6}_N + EN + N_{\text{vol}} + N_{\text{des}}) - (Aa_N) = \text{Error}_N$$

siendo las entradas de nitrógeno por precipitación (P<sub>N</sub>), riego (R<sub>N</sub>), aportes laterales subterráneos (ALS<sub>N</sub>), deposición atmosférica seca (N<sub>dep</sub>), aportado en la fertilización (NA) y procedente de la fijación simbiótica (N<sub>fij</sub>), menos las salidas de nitrógeno a través del desagüe (D-XIX-6<sub>N</sub>), las extracciones de nitrógeno de los cultivos (EN), las pérdidas por volatilización (N<sub>vol</sub>) y por desnitrificación (N<sub>des</sub>) menos el nitrógeno almacenado en el acuífero, el error asociado al balance. Una vez obtenidos unos desbalances aceptables calculados como  $\text{Desb}_N = 200 \cdot [E_N - S_N - A_N]/[E_N + S_N + A_N]$  se cuantificó la contaminación por nitratos inducida por este regadío (D<sub>N</sub>) como la diferencia entre D-XIX-6<sub>N</sub> y ALS<sub>N</sub>. También se calculó el Índice de Contaminación por Nitratos (ICN; Causapé, 2009) con el propósito de analizar la evolución de este regadío y los cambios agronómicos implantados así como su relación frente a otros agro-sistemas.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los balances de agua resultaron satisfactorios, consiguiendo errores anuales del ±10%, que se consideran como aceptables para este tipo de estudios (Tabla 2), lo que permite la utilización de sus componentes para desarrollar análisis de gestión.

La principal entrada de agua en la zona la constituyó el riego (48%) seguido de la lluvia (27%), aunque los ALS supusieron hasta un 25% del total de las entradas. No obstante, a consecuencia de los cambios de gestión, en el periodo 2005-2008 el riego se redujo la mitad. En cuanto a las salidas, en 2001 el agua circulante por el desagüe fue la componente mayoritaria (57%), si bien a partir de 2005 la evapotranspiración se convirtió en la salida principal (Tabla 2). Por último, el almacenamiento de agua supuso un bajo porcentaje respecto al total del agua involucrada en los balances, aunque llegó a representar hasta el 8% de las entradas anuales.

Año	Balance	Entradas			Salidas		Almacenamiento		E-S-A	Error	ER
		P	R	ALS	ET	D-XIX-6	As	Aa			
		----- mm -----							%	%	
2001	Agua (mm)	526	1139	561	843	1105	38	---	240	11	56
	Sales (kg/ha)	49	3224	3120	0	7631	--	-138	-1100		
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
2005	Agua (mm)	211	570	270	786	359	-75	---	-18	-2	89
	Sales (kg/ha)	20	1613	1452	0	2479	--	-430	1036		
2006	Agua (mm)	450	567	332	830	417	65	42	-6	0	84
	Sales (kg/ha)	42	1604	1769	0	2786	--	509	120		
2007	Agua (mm)	372	512	291	753	469	-39	4	-12	-1	82
	Sales (kg/ha)	35	1448	1522	0	3091	--	-98	12		
2008	Agua (mm)	305	559	291	686	451	13	-16	22	2	78
	Sales (kg/ha)	28	1583	1470	0	2936	--	-135	280		

**Tabla 2.** Volumen de agua y masa de sales en las entradas [Precipitación (P), Riego (R) y Aportes Laterales Subterráneos (ALS)], Salidas (D-XIX-6) y almacenamiento en el suelo (As) y en el acuífero (Aa) en 2001 y el período 2005-2008. Valores de desbalance anual (Error) y Eficiencia de Riego (ER).

En 2001 la eficiencia de riego se situó en el 56%, valor que se incrementó hasta el 83% en el periodo 2005-2008 tras implantarse los cambios de gestión del riego. La mayor eficiencia de riego (89%) se registra en 2005, coincidiendo con un año de sequía y unas bajas reservas hídricas asignadas a los agricultores (Tabla 1), maximizando los regantes el agua disponible. De 2006 en adelante, los valores de eficiencia marcan una pauta decreciente, sin llegar al nivel de 2001, consecuencia del incremento de la superficie cultivada y unas mayores dotaciones de agua para riego (Tabla 1). Actualmente tras las reformas implantadas, el valor de ER se encuentra en los límites que se pueden obtener en sistemas por inundación (Tanji y Kielen, 2002).

En cuanto a las sales, la principal entrada se debió al riego y a los ALS, ambas en torno al 50%. A pesar de que el volumen de riego doblara al de ALS, éste último presentaba cierta mineralización, lo que condicionó una mayor masa. Con la reducción a la mitad del volumen de riego en 2005-2008, la masa de sales introducida disminuyó un 52%. Por la baja salinidad del agua de lluvia, las sales introducidas de este modo supusieron menos del 1% de las entradas.

La masa exportada de sales fue máxima en 2001 con 7,6 t/ha, año pre-reformas, climáticamente lluvioso y con el mayor volumen drenaje. En cambio 2005 registra la menor masa de sales exportada por el desagüe con 2,5 t/ha, siendo un año con las nuevas condiciones de gestión, climáticamente seco y el menor volumen de agua circulante por D-XIX-6 (Tabla 2). Las sales exportadas durante el periodo 2005-2008 disminuyeron respecto 2001 un 63%.

En cuanto a la variación de las sales en el acuífero, sólo en 2005 y 2006 se encuentran cambios significativos cercanos a 0,5 t/ha-año. En 2005, año seco y con una baja fracción de drenaje por la mayor eficiencia de riego, se produjo un desalajo de agua del acuífero, mientras que en 2006, un año climáticamente normal y con una mayor fracción de drenaje, hubo una recuperación del nivel freático y con ello un almacenamiento de sales positivo en el acuífero.

La masa salina generada por este regadío fue baja (1,9 t/ha-año) por la reducida salinidad de los materiales de la zona, medida como la conductividad eléctrica del agua en el periodo de no riego ( $CE_{NR} = 1,05$  dS/m), si bien el incremento de la eficiencia de riego en 2005-2008 redujo un 72% la masa exportada (Tabla 3). Por ello, su ICS fue menor en comparación al obtenido en otros regadíos tradicionales de baja ER emplazados en terrenos más salinos (ER  $\oplus$  50%; ICS  $\oplus$  3-11 t/ha-dS/m; Causapé, 2009). El aumento del 27% en la ER en el periodo 2005-2008 redujo un 70% el valor de ICS, alcanzando de este modo registros similares a los obtenidos en modernos sistemas de riego presurizado adecuadamente gestionados (ER  $\oplus$  90%; ICS  $\oplus$  0,4-1,6; Causapé, 2009).

		2001	..	2005	2006	2007	2008	Media
$D_s$	t/ha	4,5	..	1,0	1,0	1,6	1,5	1,9
$CE_{NR}$	dS/m	1,05	..	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
ICS	t/ha·dS/m	4,3	..	1,0	1,0	1,5	1,4	1,8

**Tabla 3.** Masa de sales exportada por la cuenca del desagüe D-XIX-6 ( $D_s$ ), Conductividad Eléctrica del agua de drenaje en época de no riego ( $CE_{NR}$ ) e Índice de Contaminación Salina (ICS) durante 2001 y el periodo 2005-2008.

Respecto a los balances de nitrógeno, los resultados fueron satisfactorios obteniéndose unos desbalances inferiores al  $\pm 10\%$ , a excepción del año 2008, si bien se relaciona con un descenso del 20% en la producción de cereal invierno sobre la estimada al inicio de la campaña de riego. La disminución en la producción provocó una menor extracción de nitrógeno en este cultivo, que unido a la invariabilidad en las prácticas de fertilización, motivó un aumento en el contenido de nitrógeno en el suelo. Al no medirse la variación de nitrógeno en el suelo por la amplia extensión a evaluar, se incrementó de este modo el error calculado en el balance. A pesar de ello, los resultados obtenidos se consideran lo suficientemente válidos como para elaborar el análisis de contaminación por nitrato en este regadío.

La principal entrada de nitrógeno todos los años se debió a la fertilización, si bien el cambio en el patrón de cultivos y superficie cultivada redujo desde 2005 las dosis aplicadas por los agricultores. En 2001 se dio la mayor aplicación de fertilizante nitrogenado (221 kg N/ha) por la amplia distribución de maíz, mientras que en 2005, año más seco y con la mayor superficie sin cultivar, la fertilización disminuyó un 45%. Entre 2006 y 2008, coincidieron unas similares prácticas agronómicas (paso del cereal de invierno a cultivo principal) y un bajo porcentaje de superficie en barbecho, situándose la fertilización en 156 kg N/ha.

En cuanto al nitrógeno introducido en los aportes laterales subterráneos, en 2001 se registra la mayor entrada de este elemento, a consecuencia de la mayor tasa de fertilización y baja eficiencia de riego. Durante el periodo 2005-2008 coincidiendo con la disminución en las dosis de fertilizante e incremento de la eficiencia de riego, hubo un menor lavado de nitrato, disminuyendo también las entradas laterales de nitrógeno.

De hecho, entre la fertilización y los aportes alternos subterráneos sumaron entre el 82-88% de las entradas anuales de nitrógeno. El resto se atribuyen principalmente a la fijación simbiótica de las leguminosas, con especial énfasis en el año 2001 por el desarrollo de la alfalfa. La deposición atmosférica seca contribuyó con un 4% de las entradas, mientras que el agua de riego y lluvia, dada su baja concentración en nitrato, supusieron el 1% de las entradas (Tabla 4).

		2001	..	2005	2006	2007	2008
		Kg N/ha·año					
ENTRADAS	$P_N$	3	..	1	3	2	2
	$R_N$	5	..	3	3	2	3
	$ALS_N$	139	..	10	15	8	6
	FN	221	..	121	146	162	159
	$N_{dep}$	10	..	10	10	10	10
	$N_{fij}$	30	..	16	21	14	13
SALIDAS	D-XIX-6 $_N$	240	..	59	59	67	56
	EN	151	..	87	117	102	91
	$N_{vol}$	14	..	8	12	13	14
Almacenamiento Acuífero		-3	..	-3	4	2	-3
$E_N - \Sigma$ Entradas		408	..	160	197	199	192
$S_N - \Sigma$ Salidas		406	..	154	188	183	161
$A_N$ -Almacenamiento		-3	..	-3	4	2	-3
Error ( $E_N - S_N - A_N$ )		6	..	9	5	14	34
Desbalance (%)		1	..	6	3	7	19

**Tabla 4.** Entradas [ $E_N$ : lluvia ( $P_N$ ), riego ( $R_N$ ), aportes laterales subterráneos ( $ALS_N$ ), fertilización (FN), deposición atmosférica ( $N_{dep}$ ), fijación simbiótica ( $N_{fij}$ )], salidas [ $S_N$ : desagüe D-XIX-6 (D-XIX-6 $_N$ ), extracciones de los cultivos (EN), volatilización ( $N_{vol}$ )] y almacenamiento [ $A_N$ : almacenamiento en el acuífero ( $Aa_N$ )] de nitrógeno en la cuenca del desagüe D-XIX-6 durante 2001 y el periodo 2005-2008.

Respecto a las salidas de nitrógeno, aunque en 2001 la masa exportada por el drenaje supuso el 59% de este término, más de la mitad del nitrógeno se correspondió con el introducido en los aportes laterales subterráneos, los cuales simplemente circularon por la cuenca y vertieron en el desagüe D-XIX-6. En el periodo 2005-2008 la masa de nitrógeno exportada a través de D-XIX-6 descendió hasta suponer el 35% de las salidas, pasando las extracciones de nitrógeno de los cultivos a constituir la salida principal de nitrógeno en la cuenca con un 58% del total. Por último, las pérdidas por volatilización de fertilizantes nitrogenados ascendieron al 7% de las salidas anuales (entre 8-14 kg N/ha-año).

La variación anual de nitrógeno en el acuífero, supuso menos del 2% del empleado en los balances, con variaciones asociadas al régimen hidrológico de carga o descarga del mismo.

		2001	..	2005	2006	2007	2008	Media
D <sub>N</sub>	Kg N/ha	101	..	49	44	59	50	61
NF	Kg N/ha	115	..	68	75	82	77	83
ICN	--	0,88	..	0,72	0,59	0,72	0,65	0,7

**Tabla 5.** Masa de nitrato exportada por la cuenca del desagüe D-XIX-6 (D<sub>N</sub>), Necesidades de Fertilización nitrogenada e Índice de Contaminación por nitratos (ICN) durante 2001 y el periodo 2005-2008.

La masa de nitrato exportada por la cuenca en 2001 (101 kg N/ha-año) se redujo a la mitad en el periodo 2005-2008 (51 kg N/ha-año) por las menores necesidades de nitrógeno al cambiar el patrón de cultivos (esta implantación motivó un menor suministro de fertilizantes) unido al aumento del 27% en la eficiencia de riego, de tal manera que se redujo el lixiviado de nitrato. De esta forma, el ICN sufrió un descenso del 24% en el periodo 2005-2008, por lo que a pesar de la mejor aplicación del riego, se requiere un cambio en la fertilización para mejorar el aprovechamiento del nitrógeno. El valor del ICN resultó similar al obtenido en otros sistemas de riego por inundación (ER ⊕ 50%; ICN ⊕ 0,71; Causapé, 2009) y se alejó bastante del encontrado en sistemas de alta eficiencia de riego (ER ⊕ 90%; ICN ⊕ 0,25; Causapé, 2009) donde además, era posible la práctica de fertirriego que permite optimizar la aplicación de fertilizantes, y de esta manera reducir el lavado de nitrato (Causapé, 2009).

#### 4. CONCLUSIONES

Los cambios en la gestión del riego (1. sustitución de sistema de riego por inundación a turnos por un sistema de riego a la demanda, 2. implantación de dotaciones de riego en función de las reservas hídricas y 3. cambio de una tarificación por superficie a una tarificación binómica por superficie y volumen de agua consumido) implantados por la Comunidad de Regantes redujeron el volumen de agua de drenaje y masa de sales y nitrato esportadas un 62%, 63% y 60% respectivamente. En cuanto a los índices de calidad, la eficiencia de riego aumentó un 27% y los índices de contaminación salina y por nitratos disminuyeron un 70% y un 24%, por lo que en este sentido, ha resultado más efectiva la reducción del impacto salino que el de nitrato, siendo necesario un mayor análisis de los componentes nitrogenados para reducir el impacto de contaminación por nitratos.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA) gracias a la financiación del Ministerio de Educación y Ciencia dentro del proyecto AGL2005-07161-C05-01 y la beca asociada BES-2006-12662, y la Unión Europea dentro del proyecto INCO-CT-2005-015031.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Atance, I., Barco, E., Benito, I., Compés, R., Langreo, A. (2006): *La reforma de la Política Agraria Común: preguntas y respuestas en torno al futuro de la agricultura*. Eds. Eumedica y Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid (España).
- Causapé, J., Quílez, D., Aragüés, R. (2004a): "Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level - I. Irrigation quality", *Agricultural Water Management*, vol. 70, nº. 3, 195-209.
- Causapé, J., Quílez, D., Aragüés, R. (2004b): "Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level - II. Salt and nitrate loads in irrigation return flows.", *Agricultural Water Management*, vol. 70, nº. 3, 211-228.
- Causapé, J. (2009): "A computer-based program for the assessment of water-induced contamination in irrigated lands", *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 158, nº. 1-4, 307-314.
- Cavero J., Beltrán A., Aragüés R. (2003): "Nitrate exported in the drainage water of two sprinkler irrigated watershed", *Journal Environmental Quality*, vol. 32, 916-926.
- Custodio, E., Llamas, M. (1983): *Hidrología subterránea*. Ediciones Omega. Barcelona (España). 2.290 pp.
- INE (2008): *Anuario de estadística agroalimentaria y pesquera 2007*, <http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/introduccion.htm>, consultado en noviembre 2009.



- INE (2009): *Informe semanal de coyuntura 2009-10-06*, <http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/publicaciones/lsc/introduccion.htm>, consultado en enero 2010.
- Isidoro, D., Quílez, D., Aragüés, R. (2006a): "Environmental impact of irrigation in La Violada District (Spain): I. Salt export patterns", *Journal of Environmental Quality*, vol. 35, 766-775.
- Isidoro, D., Quílez, D., Aragüés, R. (2006b): "Environmental impact of irrigation in La Violada District (Spain): II. Nitrogen fertilization and nitrate export patterns in drainage water", *Journal of Environmental Quality*, vol. 35, 776-785.
- ITGE (1985): *Investigación de los recursos hidráulicos totales de la cuenca del río Arba*. Instituto Tecnológico Geominero de España.
- MMA (2007): *Perfil Ambiental de España 2006: Informe basado en indicadores*. Ministerio de Medio Ambiente. Centro de Publicaciones. Madrid (España).
- OMS (2004): *Guías para la calidad del agua potable. Volumen 1: Recomendaciones*, [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_fullll\\_lows-res.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_fullll_lows-res.pdf), consultado en noviembre 2009.
- Soil Survey Laboratory (1995): *Information Manual. Soil Survey Investigations Report N° 45 Version 1.0*, <http://soils.usda.gov/survey/nscd/lim/>, consultado en noviembre 2009.
- Tanji, K. K., Kielen, N. C. (2002): *Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. FAO Irrigation and Drainage Paper n° 61*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma (Italia).
- Tedeschi, A., Beltrán, A., Aragüés, R. (2001): "Irrigation management and hydrosalinity balance in a semi-arid area of the middle Ebro river basin (Spain)", *Agricultural Water Management*, vol. 49, 31-50.
- UE (2008): *Agricultural statistics. Main results 2006-2007*, <http://ec.europa.eu/eurostat>, consultado en noviembre 2009.