

La calidad de los retornos de riego en Riegos del Alto Aragón (Huesca, España).

Farida Dechmi¹, Ignacio Clavería³, María Balcells⁴, Daniel Isidoro²

^{1 y 2} Investigadores, Unidad de Suelos y Riegos (Unidad Asociada EEAD-CSIC), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA), Avda. Montañana 930, 50059-Zaragoza. ¹ fdechmi@aragon.es; ² disidoro@aragon.es
^{3 y 4} Técnicos, Unidad de Suelos y Riegos (Unidad Asociada EEAD-CSIC), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA), Avda. Montañana 930, 50059-Zaragoza. ³ iclaveria@aragon.es; ⁴ mbalcells@aragon.es

Resumen

El objeto principal de este trabajo es caracterizar la contaminación inducida por el regadío en el sistema de Riegos del Alto Aragón (Huesca, España) durante el periodo octubre de 2007 a septiembre de 2012. Se eligieron seis puntos de control denominados P4 (Montesusín), P5 (Grañén), P7 (Laluzza), P9 (Orillena), P10 (Sariñena) y P11 (Peralta de Alcofea). En todos los puntos, se tomaron muestras de agua y se midió el caudal durante el periodo considerado. En las muestras de agua recogidas se analizaron la conductividad eléctrica (CE) y los nutrientes (N y P). Los resultados indicaron que la salinidad de las aguas de drenaje de las 6 cuencas estudiadas es baja en general, casi siempre inferior a 2,0 dS/m (excepto en P4). La salinidad es superior en todos los puntos durante la estación de no riego, apuntando a un efecto de dilución por los sobrantes de riego. Por otra parte, las concentraciones medias de nitrato son especialmente altas (superior al límite superior admisible de 50 mg/l para aguas destinadas a consumo humano) en los retornos de riego de las cuencas regadas por aspersión y donde dominan los cultivos de maíz y alfalfa como P11 (103 mg/l) y P10 (101 mg/l). En cuanto al fósforo, P10 es el único punto que no presenta ningún problema medioambiental inducido por el fósforo ya que las concentraciones medias registradas son muy bajas. Para el resto de los puntos, y especialmente para P4 y el P11, sus aguas de drenaje presentan un claro riesgo de eutrofización.

1- Introducción y Objetivos

La preocupación sobre la calidad de las aguas se refleja en distintas directivas europeas como la de nitratos (91/676/CEE), la de control y prevención integrado de la contaminación (96/61/EC) o la Directiva Marco del Agua (2000/60/EC). La Directiva Marco del Agua (EU, 2000) tiene como principal objetivo alcanzar unos estándares de calidad de las aguas de la Unión Europea en el año 2015, así como asegurar unos volúmenes que permitan el mantenimiento de los ecosistemas. Para cumplir con las exigencias de la Directiva Marco de Agua, la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón (RAA) realizó un seguimiento de la calidad de las aguas superficiales dentro de su red de drenaje durante las estaciones de riego de 2005 y 2006. Esa primera base de datos sobre la cantidad y la calidad del agua de los retornos de riego sirvió de base para iniciar en el año 2007 el control detallado de las concentraciones y masas exportadas (nitrato, fosfato y salinidad) en esta red de drenaje. En este trabajo se presentan los resultados del seguimiento de la calidad de agua medida en seis puntos ubicados dentro de la red de desagües del sistema de Riegos de Alto Aragón (RAA) durante el periodo octubre de 2007 a septiembre de 2012. El objeto principal de este

trabajo es caracterizar la contaminación inducida por el regadío en el sistema de Riegos del Alto Aragón.

2- Materiales y Métodos

Los seis puntos de control han sido elegidos a partir de la red de mediciones de la Comunidad General de Riegos de Alto Aragón ubicada dentro de la cuenca del río Alcanadre (Fig.1) y son: P4 (Montesusín), P5 (Grañén), P7 (Lalueza), P9 (Orillena), P10 (Sariñena) y P11 (Peralta de Alcofea). Los criterios considerados para la selección de los puntos de muestreo son: (1) que se encuentren en desagües que tengan una cuenca de drenaje bien definida o, en su defecto, que recojan agua de pocas comunidades de regantes bien identificadas; (2) que la localización sea adecuada para instalar una sección de control (aforo); (3) que las cuencas presenten diversos usos del suelo y que a priori se identifiquen con las formas de contaminación que se quiere estudiar; (4) que drenen comunidades de regantes que usen la base de datos de gestión *Ador* (Playán et al., 2007) y (5) que el tamaño de la superficie de riego drenada no sea muy grande.

La toma de muestras y medición de caudal se inició el 1 de octubre de 2007 en los puntos P5, P9 y P11 y el 1 de octubre de 2009 en los puntos P4, P7 y P10. En las muestras de agua recogidas se analizaron los elementos contaminantes con mayor incidencia en la eutrofización de las aguas superficiales: nitrógeno (N) y fósforo (P); y la conductividad eléctrica a 25°C (CE). En algunas muestras se hicieron análisis iónicos completos y también se midieron los sólidos en suspensión (SS, 11 muestras) y sólidos disueltos totales (SDT; 11 muestras). En todos los puntos, se establecieron las relaciones entre CE y SDT para estimar la salinidad (SDT) del agua en cada desagüe a partir de la CE y se cuantificó la carga exportada por hectárea regada de sales, nitrógeno en forma de nitrato y fósforo total.

En todos los puntos, se han caracterizado las cuencas de estudio drenadas por los 6 puntos de control (Tabla 1) y se establecieron las relaciones entre CE y SDT para estimar la salinidad (SDT) del agua en cada desagüe a partir de la CE, de muy fácil medición. Así se cuantificó la carga exportada por hectárea regada de sales, nitrógeno en forma de nitrato y fósforo total para la estación de no riego (de octubre a marzo), la estación de riego (de abril a septiembre) y el año hidrológico (de octubre a septiembre) durante los años hidrológicos de 2008 a 2012.

Tabla 1. Características generales de las cuencas controladas.

Cuencas monitorizadas	P4 (Montesusín)	P5 (Grañén)	P7 (Lalueva)	P9 (Orillena)	P10 (Sariñena)	P11 (Peralta de Alcofea)
Barranco	La Sardeta	-	Común	Las Filadas	Malfarás	Arroyo del Reguero
Colector	D-46	C6	C-7 y C-8	D-78	D-CXXX-XXXI-1 ^a	D-C-27-28
Año hidrológico de inicio del muestreo	2010	2008	2010	2008	2010	2008
Muestreo automático	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí
Fecha de inicio	abril 2011	octubre 2009	-	abril 2011	-	enero 2008
Caudal medio (l/s)	89,4	89,1	220,5	484,2	51,7	62,3
Caudal máximo (l/s)	165,8	491,7	562,8	1000,5	113,6	586,0
Caudal mínimo (l/s)	36,0	36,4	25,8	91,0	24,3	30,0
Superficie Total (ha)	4813	3487,5	3533	9318	1978	1865
Superficie regadío (ha)	2003	2077	2381	4333	1448	1160
Sistema de riego (%):	En transformación	En transformación	Gravedad	En transformación	Aspersión	Aspersión
Aspersión	37,1	24,8	-	10	100	98,3
Gravedad	62,9	75,2	100	90	-	-
Goteo	-	-	-	-	-	1,7
Suelos	Francos y Franco-limosos. Posibles problemas de salinidad	Alternancia de horizontes limosos y arenosos. Posibles problemas de salinidad.	Sin datos medidos	Francos en los altos, capas de grava frecuentes. Vales de textura más fina.	Sin datos medidos	Franco-limosos, con dificultades de drenaje en las zonas deprimidas
Comunidades de regantes	Collarada 1 ^a y 2 ^a Sección.	Grañén-Flumen, Piracés, Sector VII del Flumen, Tramaced	La corona, Sector VII y X del Flumen, Sodeto, Alberuela y Lalueva.	Lanaja, Lalueva, Orillena	Lasesa	Alconadre

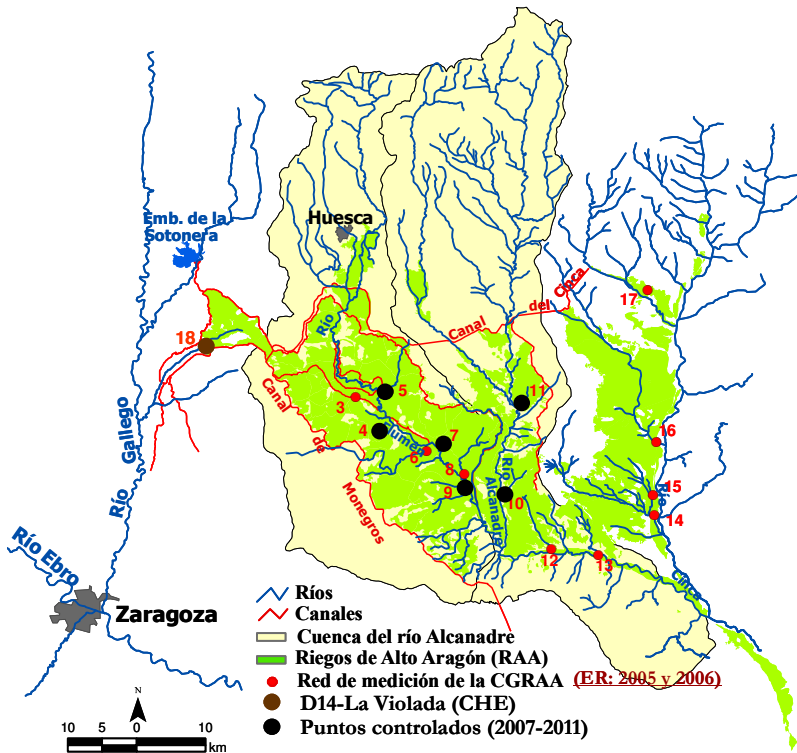


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en la cuenca del río Alcanadre.

3- Resultados y Discusión

Conductividad eléctrica, concentraciones de nitrato y fósforo total

La Tabla 2 presenta los valores de la conductividad eléctrica media en los puntos de control desde 2008 para P5, P9 y P11 y desde 2010 para P4, P7 y P10 hasta el año hidrológico 2012. Considerando todo el periodo estudiado, la CE media anual osciló entre 0,94 dS/m (en el P9) y 2,11 dS/m (en el P4). La CE se mantuvo siempre por encima del límite FAO para aguas sin restricciones para riego por su salinidad ($CE=0,7$ dS/m) salvo en el P5, donde ocasionalmente se registraron valores inferiores, y solo en P4 en 2010 se registró un valor superior a 3 dS/m que representa el límite FAO de restricciones severas por riesgo de salinización (Ayers y Westcot, 1985).

Para todos los años y puntos considerados, el valor de la CE estacional más alto se presenta durante la estación de no riego (octubre a marzo). Durante los años 2008 y 2009, la CE media resultó más alta en P11 que en P5 y P9, y durante el resto de los años, es en P4 donde se registra una CE media más alta y superior a 2 dS/m. Se observa que la concentración media es bastante uniforme a lo largo de los años en cada punto. La salinidad (CE) del agua está relacionada con la salinidad del terreno en cada cuenca y con el manejo del riego, ya que riegos más ineficientes, con mayores volúmenes de sobrantes de riego superficiales, dan lugar a un agua de retorno de menor salinidad. El hecho de que la CE durante la estación de riego sea inferior a la estación de no riego confirma que existe una cierta dilución por los sobrantes de riego en todos los puntos estudiados.

Tabla 2. Valores medios y máximos de CE (dS/m) en el año hidrológico (AH: octubre a septiembre), la estación de riego (ER: abril a septiembre) y la estación de no riego (ENR: octubre a marzo) medidos durante los años 2008-2012 en los 06 puntos controlados.

		Media (dS/m)					Máximo (dS/m)				
		2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
P5	AH	1,23	1,25	1,20	1,20	1,35	1,71	1,74	1,75	1,86	1,76
	ER	0,96	1,00	0,94	1,03	1,24	1,71	1,74	1,51	1,60	1,56
	ENR	1,60	1,44	1,42	1,39	1,45	1,70	1,66	1,75	1,86	1,76
P9	AH	1,16	1,12	1,07	0,94	0,99	1,53	1,30	1,35	1,44	1,47
	ER	1,03	1,07	1,00	0,93	0,97	1,53	1,24	1,07	1,44	1,47
	ENR	1,09	1,16	1,10	1,10	1,01	1,49	1,30	1,35	1,33	1,39
P11	AH	1,79	1,70	1,68	1,59	1,56	2,09	2,00	1,95	1,88	1,85
	ER	1,69	1,58	1,58	1,51	1,42	2,09	1,99	1,89	1,81	1,75
	ENR	1,99	1,81	1,77	1,69	1,71	2,06	2,00	1,95	1,88	1,85
P4	AH	-	-	2,08	2,11	1,76	-	-	3,01	2,88	2,99
	ER	-	-	1,65	1,98	1,46	-	-	2,12	2,45	2,41
	ENR	-	-	2,37	2,29	2,04	-	-	3,01	2,88	2,99
P7	AH	-	-	1,70	1,58	1,69	-	-	2,80	2,55	2,45
	ER	-	-	0,90	1,31	1,32	-	-	1,15	2,55	2,10
	ENR	-	-	2,34	1,99	2,05	-	-	2,80	2,55	2,45
P10	AH	-	-	1,49	1,49	1,41	-	-	1,88	1,81	1,65
	ER	-	-	1,44	1,41	1,29	-	-	1,72	1,46	1,49
	ENR	-	-	1,45	1,54	1,54	-	-	1,88	1,81	1,65

En cuanto a la concentración media de nitrato (Tabla 3), se aprecian pequeñas diferencias entre años en cada punto de muestreo y diferencias importantes entre los puntos. Durante todo el periodo considerado, el valor del nitrato osciló entre 1,46 (mínimo absoluto, en P5) y 172,9 mg/l (máximo absoluto registrado, en P11). Las concentraciones medias son bajas en P5, P4 y P7 y muy altas en P11 y P10 (puntos que drenan suelos regados por aspersión desde la creación del regadío). En estos últimos, los valores alcanzados fueron en torno a 100 mg/l o superiores a 100 mg/l. Este alto nivel de nitrato tiene su origen en el lavado de fertilizantes nitrogenados por el agua de riego. En los otros puntos de muestreo, el valor máximo encontrado no llegó a superar el límite de 50 mg/l (límite superior para aguas destinadas a consumo humano) pero a menudo resultó superior al valor guía de 25 mg/l en P5 y P9.

En cuanto a los valores estacionales, las concentraciones medias en la estación de no riego fueron siempre superiores a las de la estación de riego, excepto en 2009 en P9. No se observan grandes diferencias (con relación al nivel medio de nitrato) entre las estaciones de riego y no riego en P9, P11 y P10; mientras que en P4 y sobre todo en P5 y P7 las concentraciones en la estación de no riego parecen ser superiores a las de la estación de riego. No se encontraron diferencias importantes entre años en ninguno de los puntos.

La concentración media de PT presentó una mayor variación entre años y puntos controlados, en comparación con las sales o el nitrato (Tabla 4). Los valores medios anuales oscilan entre 0,014 (en P9 y P10) y 0,179 mg/l (en P11). En promedio, P10 presenta los valores medios más bajos e inferiores al umbral de eutrofización de 0,02 mg/l (Sharpley y Rekolainen, 1997); pero el valor máximo registrado en este punto es muy alto en 2010. Los valores medios de fósforo más altos se presentan en P11 y P4.

Tabla 3. Valores medios y máximos de la concentración de nitrato (mg/l) en el año hidrológico (AH: octubre a septiembre), la estación de riego (ER: abril a septiembre) y la estación de no riego (ENR: octubre a marzo) medidos durante los años 2008-2012 en los 06 puntos controlados.

		Media (mg/l)					Máximo (mg/l)				
		2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
P5	AH	13,3	9,7	11,3	12,2	12,8	43,9	18,1	42,1	40,9	42,0
	ER	7,0	7,4	8,5	9,5	11,8	14,9	12,7	42,1	40,9	42,0
	ENR	21,8	11,6	13,7	14,8	13,9	43,9	18,1	20,7	28,2	20,9
P9	AH	35,9	35,0	31,9	30,9	38,2	46,6	42,2	37,8	40,5	119,5
	ER	32,6	35,2	29,2	30,6	37,0	46,3	42,2	32,6	40,5	119,5
	ENR	39,5	34,8	32,8	36,1	39,4	46,6	39,2	37,8	38,6	44,9
P11	AH	109,7	113,6	100,7	99,3	92,6	172,9	166,3	151,3	118,1	115,3
	ER	105,5	107,6	92,2	94,1	87,5	172,9	166,3	114,6	113,2	112,3
	ENR	117,8	119,7	109,9	107,7	97,7	135,7	142,7	151,3	118,1	115,3
P4	AH	-	-	16,6	16,8	11,8	-	-	29,5	27,5	46,8
	ER	-	-	12,7	15,2	11,1	-	-	15,7	18,2	46,8
	ENR	-	-	19,4	19,0	12,5	-	-	29,5	27,5	26,7
P7	AH	-	-	8,9	6,2	9,16	-	-	32,0	13,9	15,5
	ER	-	-	4,4	5,4	7,5	-	-	7,8	10,4	11,5
	ENR	-	-	12,5	7,5	10,8	-	-	32,0	13,9	15,5
P10	AH	-	-	99,7	105,6	99,0	-	-	124,5	123,2	120,7
	ER	-	-	94,7	97,6	90,0	-	-	113,2	110,7	99,2
	ENR	-	-	99,8	113,0	109,4	-	-	124,5	123,2	120,7

Tabla 4. Valores medios y máximos de la concentración de fósforo total (mg/l) en el año hidrológico (AH: octubre a septiembre), la estación de riego (ER: abril a septiembre) y la estación de no riego (ENR: octubre a marzo) medidos durante los años 2008-2012 en los 06 puntos controlados.

		Media (mg/l)					Máximo (mg/l)				
		2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
P5	AH	0,050	0,040	0,060	0,035	0,028	0,090	0,120	0,226	0,103	0,080
	ER	0,057	0,070	0,044	0,054	0,040	0,091	0,120	0,145	0,103	0,080
	ENR	0,034	0,029	0,064	0,016	0,024	0,078	0,038	0,226	0,028	0,043
P9	AH	0,033	0,014	0,015	0,035	0,01	0,203	0,048	0,050	0,230	0,07
	ER	0,027	0,017	0,021	0,022	0,02	0,101	0,048	0,041	0,028	0,07
	ENR	0,041	0,012	0,009	0,051	0,01	0,203	0,032	0,050	0,230	0,03
P11	AH	0,179	0,061	0,091	0,118	0,116	1,010	0,850	0,593	0,950	0,705
	ER	0,171	0,065	0,119	0,135	0,136	1,010	0,520	0,593	0,950	0,448
	ENR	0,194	0,057	0,062	0,089	0,095	0,507	0,850	0,250	0,296	0,705
P4	AH	-	-	0,106	0,087	0,09	-	-	0,138	0,296	1,18
	ER	-	-	0,118	0,086	0,13	-	-	0,138	0,296	1,18
	ENR	-	-	0,098	0,096	0,06	-	-	0,131	0,137	0,28
P7	AH	-	-	0,053	0,066	0,04	-	-	0,131	0,158	0,23
	ER	-	-	0,060	0,071	0,02	-	-	0,131	0,158	0,04
	ENR	-	-	0,047	0,059	0,06	-	-	0,110	0,136	0,23
P10	AH	-	-	0,014	0,017	0,008	-	-	0,110	0,039	0,026
	ER	-	-	0,011	0,017	0,008	-	-	0,028	0,039	0,013
	ENR	-	-	0,019	0,017	0,008	-	-	0,110	0,035	0,026

Sin embargo, los valores máximos más altos se registraron en P11. En este punto, los valores medios registrados durante la estación de riego son más altos que los de la estación de no riego durante el periodo 2009-2012. Esta tendencia se observa también en P7 durante 2010 y 2011 y en el P5 con la excepción del año 2010. Aunque no hay una pauta clara, sino gran variabilidad entre los puntos de muestreo y estaciones, las concentraciones de PT son en general más altas durante la estación de no riego.

Masa exportada de sales, nitrógeno y fósforo total

La concentración de nitrato, SDT o fósforo mide la calidad del agua y determina su aptitud para determinados usos; pero el efecto de esos retornos de riego sobre la calidad de la masa de agua que los recibe (en este caso los ríos Flumen o Alcanadre) viene determinada por la masa total de contaminantes en los flujos de retorno. De ahí la importancia de establecer las masas exportadas de contaminantes (y eventualmente, su relación con las prácticas de manejo). La masa exportada (de SDT, nitrógeno o fósforo) por unidad de superficie regada es un índice que permite comparar la contaminación inducida por las diferentes cuencas de regadío.

Las masas de sales, nitrato y fósforo a la salida del sistema, se estimaron como el producto de los volúmenes de agua diarios por las concentraciones respectivas cuando el muestreo del agua fue diario (Tabla 1). En los periodos y puntos en que las concentraciones no se midieron diariamente, se emplearon las concentraciones y caudales medios mensuales para la estimación de las masas de sales, nitrato y fósforo. Se han calculado las masas exportadas para la estación de no riego (de octubre a marzo), la estación de riego (de abril a septiembre) y el año hidrológico (de octubre a septiembre) durante los años hidrológicos 2008 a 2012. Los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 5, 6 y 7 para las sales, nitrógeno y fósforo total, respectivamente y en la Figura 2.

Respecto a las sales, el desagüe P10 es el que exporta una menor cantidad (1589 toneladas en promedio), pero en términos de masa unitaria, es P5 el que exporta menos kilogramos por hectárea (984 kg/ha de media). Los valores de masa exportada total (11494 toneladas) y unitaria (2653 kg/ha) registrados en el P9 son los más altos de todos los puntos muestreados. Las masas exportadas por unidad de superficie regada en P5 y P10 resultan algo inferiores a los demás puntos, pero en general, las diferencias entre puntos mantienen bajas: la masa unitaria exportada media anual máxima (P9) es del orden de 3 veces la mínima (P5) (Figura 2).

En todos los puntos y años (excepto para 2010 en P11 y 2012 en P5, P9 y P10), la masa exportada resultó superior en la estación de riego que en la de no riego (es decir, más de la mitad de la masa de sales es exportada durante la estación de riego), aunque sólo en P7, se aprecia que la masas de la estación de riego sea claramente superior. Comparando entre los años, se observa que la masa exportada más alta se registró claramente durante el año 2009 para los puntos P5, P9 y P11 con 5 años de observaciones.

Para el nitrógeno, la masa exportada es mucho más baja en P5, P4 y P7 y muy superior en P9. Sin embargo, la masa unitaria en P9 (24,6 kg/ha en promedio) es similar a la de P10 (22,9 kg/ha) e inferior a la de P11 (36,2 kg/ha), y claramente superior a la de P5, P4 y P7 (Figura 2). De hecho, la cantidad de nitrógeno exportada por unidad de superficie máxima en una cuenca (P11) es del orden de 14 veces superior a la mínima (P5). Tampoco se aprecia diferencia significativa entre la masa de nitrógeno exportada durante la estación de riego y la de no riego en P5 y P11 durante los años 2009, 2010, 2011 y 2012, y P4 durante el 2010. Para el resto de los puntos, se exporta más nitrógeno durante la estación de riego, especialmente en P7. Al igual que para SDT, la máxima masa exportada por unidad de superficie se registró en 2009 en P5, P9 Y P11.

Tabla 5. Masa exportada de sales calculada a la salida de las 6 cuencas consideradas durante los años hidrológicos 2008-2012. Se presenta en paréntesis el porcentaje de la masa exportada durante la estación de riego.

	Masa exportada (ton.)					Masa unitaria (kg/ha)				
	2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
P5	2009 (53%)	2876 (56%)	2128 (51%)	1878 (53%)	1321 (48%)	968	1385	1025	905	636
P9	11383 (59%)	14906 (63%)	12665 (61%)	11214 (61%)	7301 (29%)	2627	3440	2923	2588	1685
P11	1867 (66%)	3480 (53%)	2216 (49%)	2080 (54%)	1706 (54%)	1609	2999	1909	1792	1470
P4	-	-	4121 (54%)	3043 (56%)	2088 (51%)	-	-	2302	1700	1042
P7	-	-	5772 (79%)	5214 (77%)	-	-	-	2424	2190	-
P10	-	-	1767 (61%)	1579 (59%)	1423 (42%)	-	-	1220	1090	983

Tabla 6. Masa exportada de nitrógeno calculada a la salida de las 6 cuencas consideradas durante los años hidrológicos 2008-2012. Se presenta en paréntesis el porcentaje de la masa exportada durante la estación de riego.

	Masa exportada (ton.)					Masa unitaria (kg/ha)				
	2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
P5	6,0 (36%)	6,4 (56%)	5,7 (49%)	5,6 (50%)	4,0 (53%)	2,9	3,1	2,7	2,7	1,93
P9	104,0 (51%)	133,8 (65%)	106,3 (60%)	109,3 (59%)	79,7 (28%)	24,0	30,9	24,5	25,2	18,4
P11	35,1 (67%)	67,9 (53%)	39,2 (47%)	38,2 (53%)	29,4 (55%)	30,2	58,5	33,8	32,9	25,4
P4	-	-	9,3 (53%)	7,6 (58%)	4,3 (59%)	-	-	5,2	4,2	2,14
P7	-	-	8,1 (77%)	5,8 (79%)	-	-	-	3,4	2,4	-
P10	-	-	35,9 (61%)	33,8 (58%)	29,9 (41%)	-	-	24,8	23,3	20,7

En cuanto al fósforo total, la mayor exportación se produjo en P9 en 2011 (517 kg) y en P7 durante los años 2010 (489 kg) y 2011 (402 kg). La masa unitaria más importante de fósforo total se registró en P7 (187 kg/ha en promedio), seguida por P11 (177 kg/ha). En P10 se registró la masa exportada más baja de todos los puntos (16 kg/ha), lo que supone que en las cuencas con mayor aportación unitaria, el fósforo exportado por unidad de superficie es 9 veces superior a las cuencas con menor aportación.

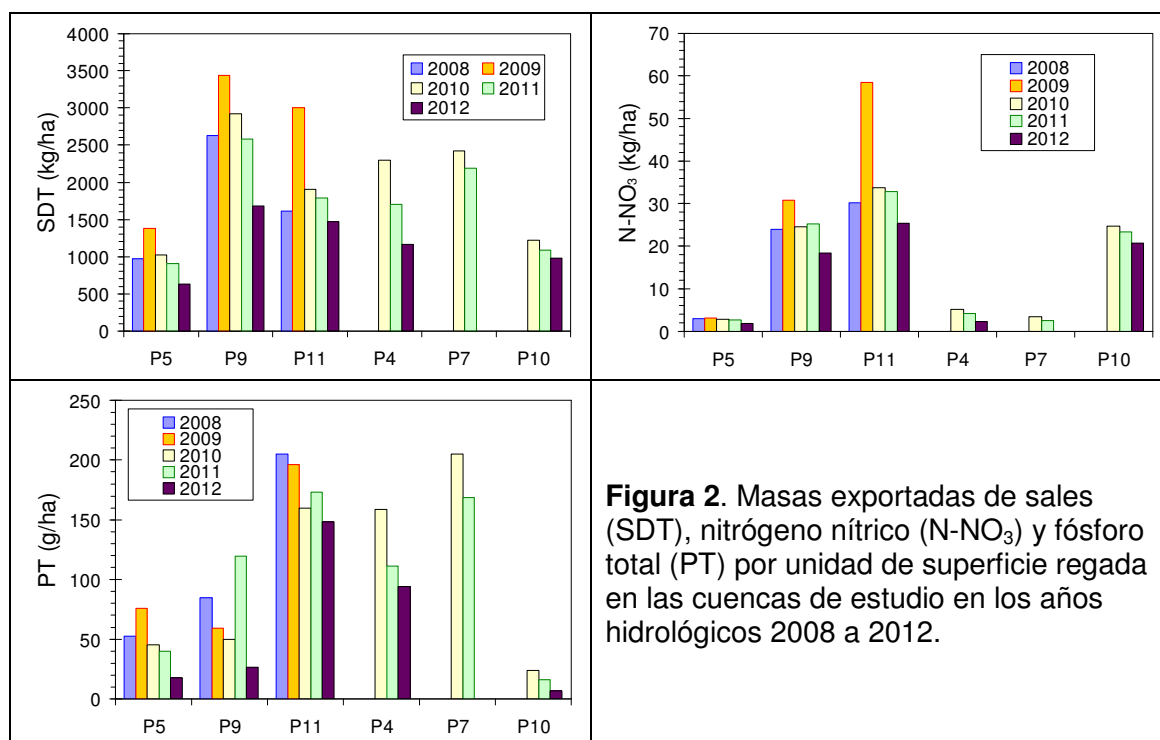
Por otro lado, no se observa una tendencia general en cuanto a la exportación estacional del fósforo total a lo largo del periodo considerado, siendo muy distinta para los distintos puntos y variable entre años dentro de un mismo punto. Así, mientras en P7 y P5 (salvo en 2010 y 2012 en P5) más del 75% de las salidas de P se producen

durante la estación de riego, en P9 y P10 hay años en que las salidas durante la estación de no riego superan claramente a las de la estación de riego.

Tabla 7. Masa exportada de fósforo total calculada a la salida de las 6 cuencas de consideradas durante los años hidrológicos 2008-2012. Se presenta en paréntesis el porcentaje de la carga exportada durante la estación de riego.

	Masa exportada (kg)					Masa unitaria (g/ha)				
	2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
P5	110 (76%)	157 (87%)	95 (54%)	83 (84%)	37 (46%)	53	76	46	40	18
P9	366 (43%)	256 (66%)	217 (79%)	517 (33%)	115 (44%)	85	59	50	119	27
P11	238 (65%)	228 (56%)	185 (70%)	201 (63%)	172 (69%)	205	197	160	173	148
P4	-	-	284 (68%)	199 (68%)	168 (77%)	-	-	159	111	84
P7	-	-	489 (92%)	402 (88%)	-	-	-	205	169	-
P10	-	-	35 (28%)	24 (55%)	10 (45%)	-	-	24	16	7

La exportación de nutrientes por unidad de superficie se relaciona con la superficie ocupada por cultivos que necesitan un aporte importante de nitrógeno (sobre todo) y fósforo, especialmente el maíz, y la presencia de explotaciones ganaderas, cuyos residuos se emplean de modo generalizado en la fertilización de las tierras aledañas.



En ese sentido, la reducida masa de nitrógeno exportada por P4, P5 y P7 puede estar relacionada con el predominio del cereal de invierno (cuyas necesidades de fertilización son muchos menores) y, sobre todo, de las tierras sin cultivar en los años de estudio (datos no presentados) debido a las obras de transformación del sistema de riego; mientras que las masas exportadas de nitrógeno, muy superiores, por P9, P11 y P10 se pueden relacionar con el predominio del maíz en sus cuencas. Las cuencas de P4, P7 y P11 presentan los mayores niveles de masas exportadas de PT y también las mayores densidades de explotaciones ganaderas en conjunto (junto con P9): el uso de los residuos ganaderos de estas explotaciones en sus cuencas puede explicar, en parte, el elevado nivel de PT exportado por unidad de superficie.

4- Conclusiones y Recomendaciones

La reducida masa de nitrógeno exportada por P4, P5 y P7 puede estar relacionada con el predominio del cereal de invierno y, sobre todo, de las tierras sin cultivar en los años de estudio; mientras que las masas exportadas de nitrógeno, muy superiores, por P9, P11 y P10 se pueden relacionar con el predominio del maíz en sus cuencas. Por otra parte, la mayor densidad de explotaciones ganaderas en P4, P7 y P11 puede explicar, en parte, el elevado nivel de PT exportado por unidad de superficie. Estos resultados apuntan que una mejora en el manejo del agua de riego y de los fertilizantes permitiría disminuir la concentración y la emisión de nitrato en las cuencas regadas por aspersión; así como la conveniencia de seguir la evolución de las concentraciones durante y tras los procesos de modernización actualmente en marcha en otras cuencas de RAA. La validez de estas conclusiones, no obstante, se ve limitada por las incertidumbres sobre la distribución de cultivos puesto que los datos de SIGPAC no reflejan siempre, la existencia de dobles cosechas (de cereal y maíz, por ejemplo) y por la puesta al día de los datos sobre explotaciones ganaderas.

5- Agradecimientos

Este Trabajo se ha realizado con la ayuda financiera de *La Caixa*, la participación de la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón, del sub-proyecto del Plan Nacional I+D+i (2008-2011) del Ministerio de Ciencia e Innovación AGL2010-21681-C03-03 y ha contado con la colaboración del personal de la Unidad Suelos y Riegos del CITA.

6- Referencias bibliográficas

- Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29. Rev. 1. FAO, Rome.
- Playán, E., Caverro, J., Mantero, I., Salvador, R., Lecina, S., Faci, J. M., Andrés, J., Salvador, V., Cardeña, G., Ramón, S., Lacueva, J. L., Tejero, M., Ferri, J. y Martínez-Cob, A., 2007. A Database Program for Enhancing Irrigation District Management in the Ebro Valley (Spain). *Agric. Wat. Manage.*, 87(2): 209-216.
- Sharpley, A.N., Rekolainen, S., 1997. Phosphorus in agriculture and its environmental implications. In: *Phosphorus loss from soil to water* (Eds. H. Tunney, O.T. Carton, P.C. Brooks & A.D. Johnston), CABI Publ. Cambridge, pp.1-54.
- 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, DOCE L 327/1-72.