

# Seguimiento de la calidad y cantidad de los retornos de riego en Riegos del Alto Aragón. Estado de la cuestión

Farida Dechmi<sup>1</sup>, Ignacio Clavería, María Balcells, Daniel Isidoro

Unidad de Suelos y Riegos (Unidad Asociada EEAD-CSIC), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA), Avda. Montañana 930, 50059-Zaragoza. <sup>1</sup> [fdechmi@aragon.es](mailto:fdechmi@aragon.es)

## I- Introducción

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 2011. Este trabajo se realizó dentro de los proyectos “Control de la calidad medioambiental de los retornos de riego en la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón” y “Evaluación y medidas de control de fuentes difusas de contaminación del agua para la sostenibilidad económica y ambiental de los sistemas agrícolas de regadío en Aragón”. Ambos proyectos han sido financiados por LA CAIXA en concepto de ayuda a las actividades de I+D, y Riegos del Alto Aragón, principalmente a través la construcción de los aforos requeridos que representan la inversión mas importante de los dos proyectos. El objeto principal de estos dos proyectos es caracterizar la contaminación inducida por el regadío en el sistema de Riegos del Alto Aragón y calibrar un modelo hidrológico y de transporte de solutos que permita simular los efectos medioambientales de las prácticas agrícolas asociadas al regadío en las condiciones del Valle Medio del Ebro.

Los seis puntos de control han sido elegidos a partir de la red de mediciones de la Comunidad General de Riegos de Alto Aragón y se encuentran dentro de la cuenca del río Alcanadre. 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. Entre los posibles puntos identificados y considerando los criterios indicados, se ha seleccionado los puntos P4, P5, P7, P9, P10 y P11 (Fig. 1). Los desagües de los puntos P4, P5, P7 y P9, desembocan en el río Flumen, mientras que los de P10 y P11, se desembocan en el río Alcanadre. Las características de las cuencas drenadas por los puntos controlados se resumen en la Tabla 1.

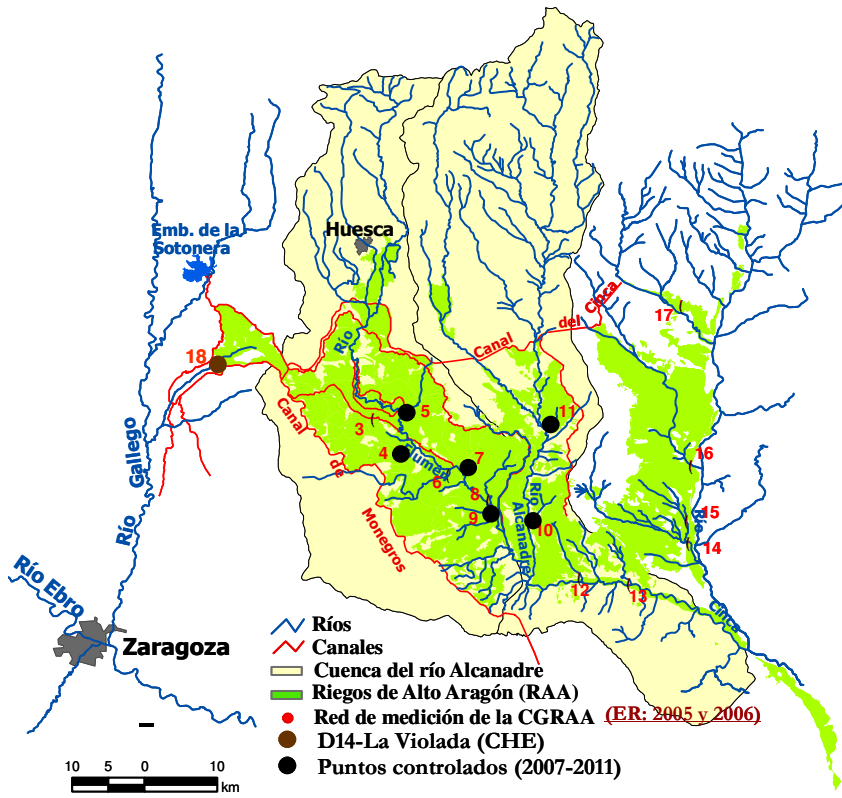
## II- Toma de muestras del agua, medición del caudal y análisis químicos del agua

La toma de muestras se inició a partir del 1 de octubre de 2007 en los puntos P5 (Grañén), P9 (Orillena) y P11 (Peralta de Alcofea) y a partir del 1 de octubre de 2009 en los puntos P4 (Montesusín), P7 (Laluzza) y P10 (Sariñena). En estos últimos puntos, se tomaron muestras de agua y se midió el caudal con periodicidad mensual o quincenal a partir del inicio del muestreo y con periodicidad diaria en el P4 a partir de abril 2011 tras la construcción de la estación de aforo e instalación de los equipos de medida.

En los otros tres puntos de control (P5, P9 y P11) se midió el caudal con periodicidad diaria. En P11 se tomaron muestras diarias durante todo el periodo de estudio, mientras que en los puntos P5 y P9 la frecuencia de muestreo fue mensual o quincenal durante el año hidrológico 2008 y diaria a partir de octubre de 2008.

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); la conductividad eléctrica (CE) y plaguicidas. En algunas muestras se hicieron análisis iónicos completos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$ ) y también se midieron los sólidos en suspensión (SS, 11 muestras) y sólidos disueltos totales (SDT; 11 muestras). Todos los análisis químicos se han realizado en los laboratorios de la Unidad de Suelos y Riegos (salinidad, SS y nitrato) y de la Unidad de Calidad y Seguridad Alimentaria (plaguicidas) del CITA o han sido externalizados (fósforo) (Centro Tecnológico Agropecuario Cinco Villas). El análisis puntual de otras formas de nitrógeno (amonio y nitrito) reveló que éstas eran despreciables frente al nitrato, por lo que únicamente se consideró éste en el cálculo de las masas exportadas de nitrógeno.

Además, se tomaron muestras para el análisis de 13 plaguicidas en los 03 desagües (P4, P7 y P10) con periodicidad aproximadamente mensual que se analizaron en la Unidad de Calidad y Seguridad Alimentaria del CITA. Los plaguicidas analizados se eligieron entre los más empleados en la región y se analizaron por cromatografía de gases con detector de masas (*atrazina*, *alaclor*, *acetoclor*, *cipermetrina*, *clorpirifós*, *deltametrina*, *diclofop-metil*, *malatión* y *molinato*) o cromatografía líquida de alta resolución con detector de diodo array (2,4-D, *nicosulfuron*, *rimsulfuron* y *tribenuron-metil*). En octubre de 2011 se puso a punto el método de análisis para *terbutilazina* (y su metabolito, la *terbutilazina-hidroxi*), *MCPA* y *dicamba* por cromatografía líquida y para *oxifluorfen* y *lambda-cihalotrin* (así como el metabolito *desetil-atrazina*) por cromatografía de gases; todos ellos identificados como plaguicidas de uso bastante frecuente en la zona.



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

**Tabla 1.** Características generales de las cuencas controladas.

<b>Cuencas monitorizadas</b>	<b>P4* (Montesusín)</b>	<b>P5 * (Grañén)</b>	<b>P7 (Lalueza)</b>	<b>P9* (Orillena)</b>	<b>P10 (Sariñena)</b>	<b>P11* (Peralta de Alcofea)</b>
<b>Barranco</b>	La Sardeta	-	Común	Las Filadas	Malfaras	Arroyo del Reguero
<b>Colector</b>	D-46	C6	C-7 y C-8	D-78	D-CXXX-XXXI-1 <sup>a</sup>	D-C-27-28
<b>Año inicio de muestreo agua</b>	2010	2008	2010	2008	2010	2008
<b>Muestreo automático</b>	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí
<b>Fecha de inicio</b>	abril 2011	octubre 2009	-	abril 2011	-	enero 2008
<b>Caudal medio (l/s)</b>	89,4	89,1	220,5	484,2	51,7	62,3
<b>Caudal máximo (l/s)</b>	165,8	491,7	562,8	1000,5	113,6	586,0
<b>Caudal mínimo (l/s)</b>	36,0	36,4	25,8	91,0	24,3	30,0
<b>Superficie Total (ha)</b>	4813	3487,5	3533	9318	1978	1865
<b>Superficie regadío (ha)</b>	2003	2077	2381	4333	1448	1160
<b>Sistema de riego (%):</b>	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
<b>Suelos</b>	Franco y Franco-limosos. Posibles problemas de salinidad	Alternancia de horizontes limosos y arenosos. Posibles problemas de salinidad.	Sin datos medidos	Franco 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
<b>Comunidades de regantes</b>	Collarada 1 <sup>a</sup> y 2 <sup>a</sup> Sección.	Grañén-Flumen, Piracés, Sector VII del Flumen, Tramaced	La corona, Sector VII y X del Flumen, Sodeto, Alberuela y Lalueza.	Lanaja, Lalueza, Orillena	Lasesa	Alconadre

\* Equipamiento adicional de la CHE

### III- Calidad de los retornos de riego obtenidos

En todos los puntos, se establecieron las relaciones entre la CE y los Sólidos Disueltos Totales (SDT) para estimar la salinidad (SDT) del agua en cada desagüe a partir de la CE, de muy fácil medición, y se cuantificó la carga exportada por hectárea regada de sales, nitrógeno en forma de nitrato y fósforo total. Asimismo, se determinaron los plaguicidas mencionados y se establecieron sus frecuencias de detección y de superación de los límites de las normativas de calidad de aguas.

#### A. 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 2011. 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 abril). Durante los años 2008 y 2009, la CE media resultó más alta en P11 que en P5 y P9, y durante 2010 y 2011, 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, 2009, 2010 y 2011 en los 06 puntos controlados.

		Media (dS/m)				Máximo (dS/m)			
		2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
<b>P5</b> <b>Grañén</b>	<b>AH</b>	1,23	1,25	1,20	1,20	1,71	1,74	1,75	1,86
	<b>ER</b>	0,96	1,00	0,94	1,03	1,71	1,74	1,51	1,60
	<b>ENR</b>	1,60	1,44	1,42	1,39	1,70	1,66	1,75	1,86
<b>P9</b> <b>Orillena</b>	<b>AH</b>	1,16	1,12	1,07	0,94	1,53	1,30	1,35	1,44
	<b>ER</b>	1,03	1,07	1,00	0,93	1,53	1,24	1,07	1,44
	<b>ENR</b>	1,09	1,16	1,10	1,10	1,49	1,30	1,35	1,33
<b>P11</b> <b>Peralta de</b> <b>Alcofea</b>	<b>AH</b>	1,79	1,70	1,68	1,59	2,09	2,00	1,95	1,88
	<b>ER</b>	1,69	1,58	1,58	1,51	2,09	1,99	1,89	1,81
	<b>ENR</b>	1,99	1,81	1,77	1,69	2,06	2,00	1,95	1,88
<b>P4</b> <b>Montesusín</b>	<b>AH</b>	-	-	2,08	2,11	-	-	3,01	2,88
	<b>ER</b>	-	-	1,65	1,98	-	-	2,12	2,45

	<b>ENR</b>	-	-	2,37	2,29	-	-	3,01	2,88
<b>P7 Lalueza</b>	<b>AH</b>	-	-	1,70	1,58	-	-	2,80	2,55
	<b>ER</b>	-	-	0,90	1,31	-	-	1,15	2,55
	<b>ENR</b>	-	-	2,34	1,99	-	-	2,80	2,55
<b>P10 Sariñena</b>	<b>AH</b>	-	-	1,49	1,49	-	-	1,88	1,81
	<b>ER</b>	-	-	1,44	1,41	-	-	1,72	1,46
	<b>ENR</b>	-	-	1,45	1,54	-	-	1,88	1,81

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 alrededor de 100 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.

**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, 2009, 2010 y 2011 en los 06 puntos controlados.

		Media (mg/l)				Máximo (mg/l)			
		2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
<b>P5 Grañén</b>	<b>AH</b>	13,3	9,7	11,3	12,2	43,9	18,1	42,1	40,9
	<b>ER</b>	7,0	7,4	8,5	9,5	14,9	12,7	42,1	40,9
	<b>ENR</b>	21,8	11,6	13,7	14,8	43,9	18,1	20,7	28,2
<b>P9 Orillena</b>	<b>AH</b>	35,9	35,0	31,9	30,9	46,6	42,2	37,8	40,5
	<b>ER</b>	32,6	35,2	29,2	30,6	46,3	42,2	32,6	40,5
	<b>ENR</b>	39,5	34,8	32,8	36,1	46,6	39,2	37,8	38,6
<b>P11 Peralta de Alcofea</b>	<b>AH</b>	109,7	113,6	100,7	99,3	172,9	166,3	151,3	118,1
	<b>ER</b>	105,5	107,6	92,2	94,1	172,9	166,3	114,6	113,2
	<b>ENR</b>	117,8	119,7	109,9	107,7	135,7	142,7	151,3	118,1
<b>P4 Montesusín</b>	<b>AH</b>	-	-	16,6	16,8	-	-	29,5	27,5
	<b>ER</b>	-	-	12,7	15,2	-	-	15,7	18,2
	<b>ENR</b>	-	-	19,4	19,0	-	-	29,5	27,5
<b>P7</b>	<b>AH</b>	-	-	8,9	6,2	-	-	32,0	13,9

<b>Lalueza</b>	<b>ER</b>	-	-	4,4	5,4	-	-	7,8	10,4
	<b>ENR</b>	-	-	12,5	7,5	-	-	32,0	13,9
<b>P10 Sariñena</b>	<b>AH</b>	-	-	99,7	105,6	-	-	124,5	123,2
	<b>ER</b>	-	-	94,7	97,6	-	-	113,2	110,7
	<b>ENR</b>	-	-	99,8	113,0	-	-	124,5	123,2

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 los valores máximos registrados en este punto son altos y superiores al límite de eutrofización (0,02 mg/l) en 2010. Los valores medios de fósforo más altos (superiores a 0,08 mg/l) se presentan en P11 y P4. 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 2009-2011. Esta tendencia se observa también en P7. 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.

**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, 2009, 2010 y 2011 en los 06 puntos controlados.

		Media (mg/l)				Máximo (mg/l)			
		2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
<b>P5 Grañén</b>	<b>AH</b>	0,050	0,040	0,060	0,035	0,090	0,120	0,226	0,103
	<b>ER</b>	0,057	0,070	0,044	0,054	0,091	0,120	0,145	0,103
	<b>ENR</b>	0,034	0,029	0,064	0,016	0,078	0,038	0,226	0,028
<b>P9 Orillena</b>	<b>AH</b>	0,033	0,014	0,015	0,035	0,203	0,048	0,050	0,230
	<b>ER</b>	0,027	0,017	0,021	0,022	0,101	0,048	0,041	0,028
	<b>ENR</b>	0,041	0,012	0,009	0,051	0,203	0,032	0,050	0,230
<b>P11 Peralta de Alcofea</b>	<b>AH</b>	0,179	0,061	0,091	0,118	1,010	0,850	0,593	0,950
	<b>ER</b>	0,171	0,065	0,119	0,135	1,010	0,520	0,593	0,950
	<b>ENR</b>	0,194	0,057	0,062	0,089	0,507	0,850	0,250	0,296
<b>P4 Montesusín</b>	<b>AH</b>	-	-	0,106	0,087	-	-	0,138	0,296
	<b>ER</b>	-	-	0,118	0,086	-	-	0,138	0,296
	<b>ENR</b>	-	-	0,098	0,096	-	-	0,131	0,137
<b>P7 Lalueza</b>	<b>AH</b>	-	-	0,053	0,066	-	-	0,131	0,158
	<b>ER</b>	-	-	0,060	0,071	-	-	0,131	0,158
	<b>ENR</b>	-	-	0,047	0,059	-	-	0,110	0,136
<b>P10 Sariñena</b>	<b>AH</b>	-	-	0,014	0,017	-	-	0,110	0,039
	<b>ER</b>	-	-	0,011	0,017	-	-	0,028	0,039
	<b>ENR</b>	-	-	0,019	0,017	-	-	0,110	0,035



## **B. 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, 2009, 2010 y 2011. 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 (1673 toneladas en promedio), pero en términos de masa unitaria, es P5 el que exporta menos kilogramos por hectárea (1070 kg/ha de media). Los valores de masa exportada total (12542 toneladas) y unitaria (2894 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 máxima es del orden de 3 veces la mínima (Figura 2).

En todos los puntos y años (excepto para 2010 en P11), 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, y en menor medida en P10, 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 durante el año 2009 para los puntos P5, P9 y P11 con 4 años de observaciones.

**Tabla 5.** Masa exportada de sales calculada a la salida de las 6 cuencas consideradas durante los años hidrológicos 2008, 2009, 2010 y 2011. 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	2008	2009	2010	2011
<b>P5 (Grañén)</b>	2009 (53%)	2876 (56%)	2128 (51%)	1878 (53%)	968	1385	1025	905
<b>P9 (Orillena)</b>	11383 (59%)	14906 (63%)	12665 (61%)	11214 (61%)	2627	3440	2923	2588
<b>P11 (Peralta de Alcofea)</b>	1867 (66%)	3480 (53%)	2216 (49%)	2080 (54%)	1609	2999	1909	1792



<b>P4 (Montesusín)</b>	-	-	4121 (54%)	3043 (56%)	-	-	2302	1700
<b>P7 (Lalueza)</b>	-	-	5772 (79%)	5214 (77%)	-	-	2424	2190
<b>P10 (Sariñena)</b>	-	-	1767 (61%)	1579 (59%)	-	-	1220	1090

Para el nitrógeno, la masa exportada es mucho más baja en P5, P4 y P7 y muy superior en P9. Sin embargo, la masas unitaria en P9 (26,2 kg/ha en promedio) es similar a la de P10 (24,1 kg/ha) e inferior a la de P11 (38,8 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 y 2011, y P4 durante el 2010. Para el resto de los puntos, se exporta más nitrógeno durante la estación de riego, especialmente en P7 y P10.

**Tabla 6.** Masa exportada de nitrógeno calculada a la salida de las 6 cuencas consideradas durante los años hidrológicos 2008, 2009, 2010 y 2011. 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	2008	2009	2010	2011
<b>P5 (Grañén)</b>	6,0 (36%)	6,4 (56%)	5,7 (49%)	5,6 (50%)	2,9	3,1	2,7	2,7
<b>P9 (Orillena)</b>	104,0 (51%)	133,8 (65%)	106,3 (60%)	109,3 (59%)	24,0	30,9	24,5	25,2
<b>P11 (Peralta de Alcofea)</b>	35,1 (67%)	67,9 (53%)	39,2 (47%)	38,2 (53%)	30,2	58,5	33,8	32,9
<b>P4 (Montesusín)</b>	-	-	9,3 (53%)	7,6 (58%)	-	-	5,2	4,2
<b>P7 (Lalueza)</b>	-	-	8,1 (77%)	5,8 (79%)	-	-	3,4	2,4
<b>P10 (Sariñena)</b>	-	-	35,9 (61%)	33,8 (58%)	-	-	24,8	23,3

En cuanto al fósforo total, la mayor exportación se produjo en P9 en 2011 (517 kg) y en P7 durante el año 2010 (489 kg). La masa unitaria más importante de fósforo total se registró en P7 (187 kg/ha en promedio), seguida por P11 (184 kg/ha). En P10 se registró la masa exportada más baja de todos los puntos (20 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.

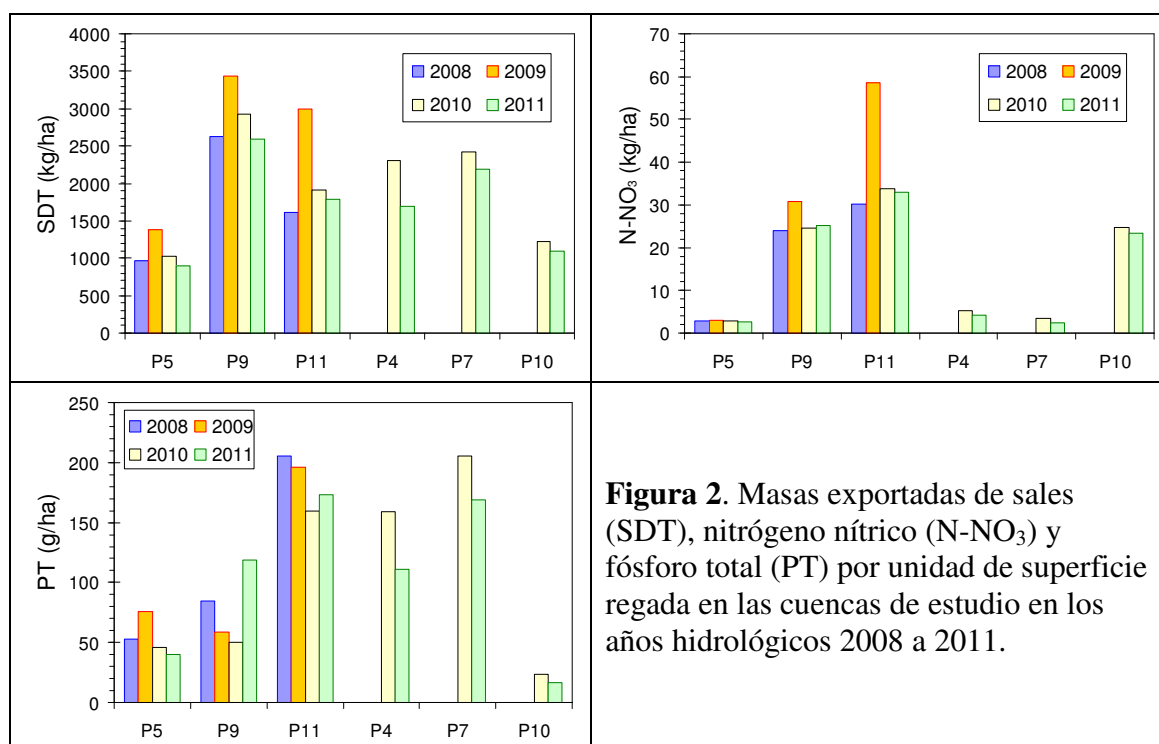
Por otro lado, no se observa una tendencia general en cuanto a la exportación estacional del fósforo total a lo largo del periodo considerado, siendo muy distinta para los distintos puntos y variable entre años dentro de un mismo punto. Así, mientras en P7 y P5 (salvo en 2009) más del 75% de las salidas 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, 2009, 2010 y 2011. 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	2008	2009	2010	2011
<b>P5 (Grañén)</b>	110 (76%)	157 (87%)	95 (54%)	83 (84%)	53	76	46	40
<b>P9 (Orillena)</b>	366 (43%)	256 (66%)	217 (79%)	517 (33%)	85	59	50	119
<b>P11 (Peralta de Alcofea)</b>	238 (65%)	228 (56%)	185 (70%)	201 (63%)	205	197	160	173
<b>P4 (Montesusín)</b>	-	-	284 (68%)	199 (68%)	-	-	159	111
<b>P7 (Lalueza)</b>	-	-	489 (92%)	402 (88%)	-	-	205	169
<b>P10 (Sariñena)</b>	-	-	35 (28%)	24 (55%)	-	-	24	16

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.



**Figura 2.** Masas exportadas de sales (SDT), nitrógeno nítrico (N-NO<sub>3</sub>) y fósforo total (PT) por unidad de superficie regada en las cuencas de estudio en los años hidrológicos 2008 a 2011.

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 (Tabla 8); 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 P09): 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. Este análisis, no obstante, está limitado por las incertidumbres sobre la distribución de cultivos puesto que los datos de SIGPAC no reflejan siempre, especialmente, la existencia de dobles cosechas (de cereal y maíz, por ejemplo) y por la puesta al día de los datos sobre explotaciones ganaderas.

**Tabla 8.** Distribución de cultivos media en los años 2010 y 2011 y densidad de explotaciones ganaderas (datos de 2007) en las cuencas de estudio.

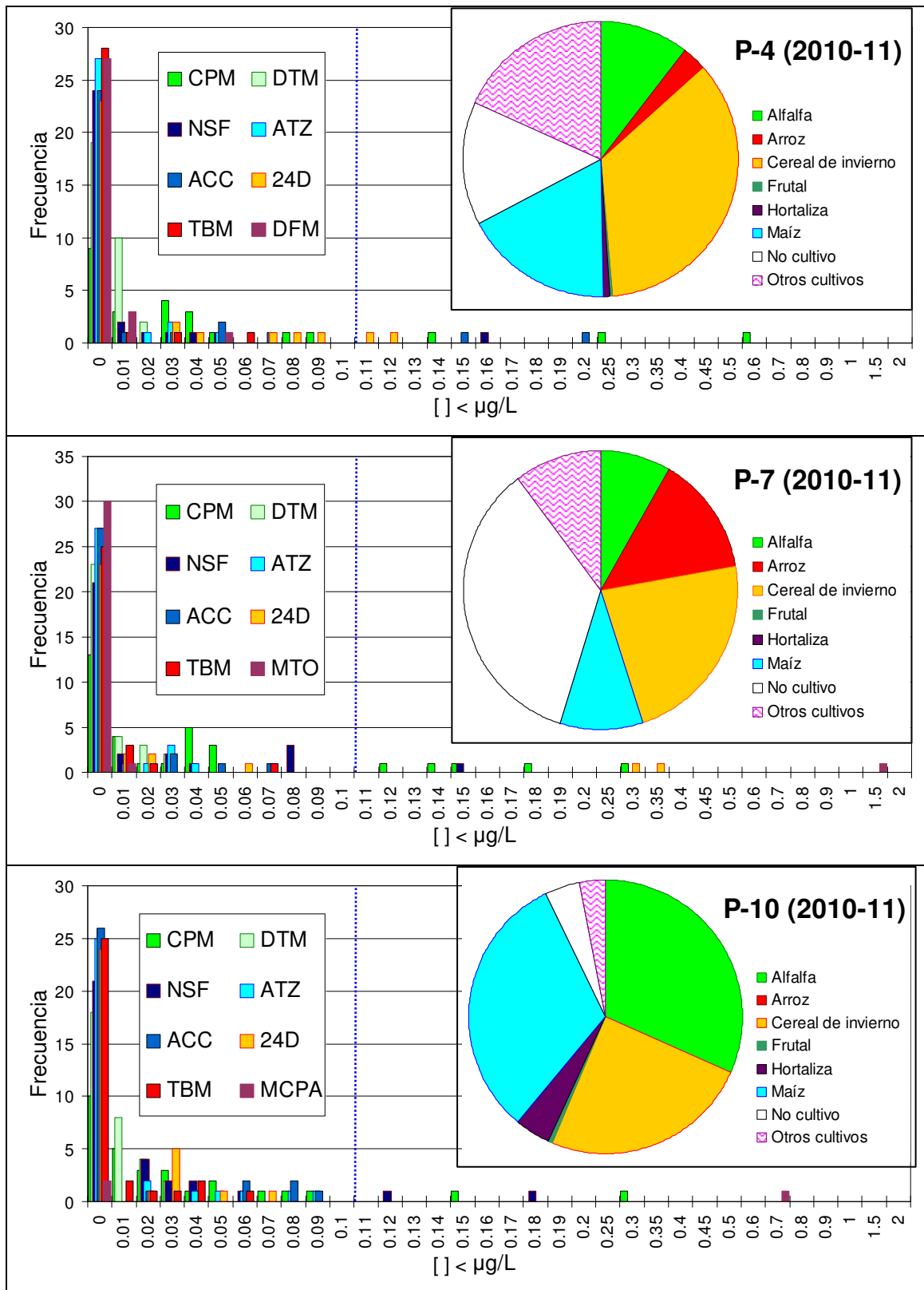
	Distribución de cultivos (%)						Nº explotaciones por cada 10 km <sup>2</sup>				
	Alfalfa	Maíz	Cereal	Arroz	Otros	Sin cultivo	Porcino	Ovino	Vacuno	Conejos	Total
P5	12	13	16	2	11	47	1.0	1.0	1.0	0.5	3.4
P9	24	18	40	3	7	9	5.8	2.3	1.2	0.2	9.5
P11	15	44	32	0	5	5	7.8	0.9	0.0	0.0	8.6
P4	10	17	35	3	20	14	9.5	2.8	1.1	0.6	14.0
P7	8	10	23	14	10	35	2.5	2.5	3.8	0.0	8.8
P10	32	32	25	0	8	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

### C. Plaguicidas

En total se efectuaron 32 análisis de plaguicidas en las 03 cuencas seleccionadas (P4 – solo 31 muestras-, P7 y P10, en total 95 muestras) entre febrero de 2010 y diciembre de 2011 que permitieron identificar los plaguicidas más frecuentes en las aguas de retorno: *cipermetrina* (detectado en 54 muestras de un total de 95) y *deltametrina* (en 35 muestras), asociados al control de plagas en alfalfa; *nicosulfuron* (en 27 muestras), herbicida empleado en maíz; *2,4-D* (en 21 muestras), herbicida utilizado principalmente en cereales de invierno; *acetoclor*, herbicida fundamental del maíz (18 detecciones); *atrazina*, antes empleada en maíz y actualmente en desuso (16 detecciones); y *tribenuron-metil*, herbicida empleado en cereales de invierno y maíz (15 detecciones). Las frecuencias de detección de todos los plaguicidas analizados en las 3 cuencas se presentan en la Figura 3.

En P-4 se detectó algún plaguicida en el 81% de las muestras analizadas; en P-7, en el 88% y en P-10, en el 97%; es decir, en la mayoría de las muestras se detectó algún plaguicida. Las frecuencias de detección para cada plaguicida individual son mucho más bajas, destacando la detección de *cipermetrina* (en más del 50% de las muestras en cada punto).

El tipo de plaguicidas encontrado en cada desagüe y sus concentraciones están relacionados con los cultivos dominantes en sus cuencas. En concreto, el *molinado*, utilizado en el cultivo de arroz, solo se detectó en P7, la cuenca con mayor presencia de arroz (14%); en P10 (con altos porcentajes de alfalfa, cebada y maíz) las concentraciones más altas corresponden a la *cipermetrina* (alfalfa), *MCPA* (cebada) y *nicosulfuron* (maíz); y en P4, donde predomina el cereal de invierno, aparecen también altas concentraciones de *2,4-D* junto a otros plaguicidas del maíz y la alfalfa.



**Figura 3.** Histograma de concentraciones de los plaguicidas más frecuentes en P4, P7 y P10 a lo largo del periodo de estudio y distribución de cultivos en sus cuencas: cipermetrina (CPM), deltametrina (DTM), nicosulfuron (NSF), atrazina (ATZ), acetoclor (ACC), 2,4-D (24D), tribenuron-metil (TBM), diclofop-metil (DFM), molinato (MTO) y MCPA.

En las 3 cuencas se encontraron concentraciones de plaguicidas individuales superiores al límite de 0,1 µg/l (para aguas destinadas a consumo humano), destacando 1,45 µg/l de *molinato* en P7 y 0,67 µg/l de *MCPA* en P10. Los plaguicidas que se encontraron en concentraciones superiores a 0,1 µg/l fueron *cipermetrina* (en 10 muestras de un total de 95), *nicosulfuron* (en 4 muestras de 95), *2,4-D* (también en 4 muestras), *acetoclor* (en 2 muestras) y *molinato* (en una única muestra).

Además, entre los plaguicidas analizados únicamente a partir de octubre de 2011 (en total 3 muestras en cada punto), se detectaron *terbutilazina* en 2 muestras en P7 y P10 y en una muestra en P4; el metabolito *terbutilazina-hidroxi* en una muestra en cada punto; y *MCPA* en una única muestra en P10.

La suma de todos los plaguicidas analizados superó el límite de 0,5 µg/l para aguas potables en 1 muestra (3% de las observaciones) en P4 y P10 y en 3 muestras (9%) en P7.

#### IV- Conclusiones

Los resultados en cuanto a concentraciones de SDT, nitrato y PT presentan una gran variabilidad entre puntos de muestro (más acusada aún para las masa exportadas por unidad de superficie) y más patente para nitrato y PT que para la salinidad. El PT también refleja una mayor variabilidad entre años dentro de cada punto de muestreo que la salinidad y el nitrato.

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). Se puede concluir que los retornos de riego de dichos desagües no presentan problemas serios de salinidad y pueden ser reutilizados en el sistema, al menos para el riego de cultivos poco sensibles. 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. Los resultados apuntan la conveniencia de dar prioridad al análisis de los suelos drenados por P4 (donde se presentan los valores más altos de salinidad) para investigar el origen de la salinidad de los retornos de riego; y de efectuar un seguimiento continuo de la salinidad en los puntos P11 y P7 (seguimiento aún más importante para las concentraciones de nitrato y PT, más variables en el tiempo).

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 (105,8 mg/l) y P10 (102,6 mg/l). Además, los retornos de riego del P9 presentan concentraciones relativamente altas (33,4 mg/l), relativamente preocupantes, ya que drena un regadío en fase de modernización. A pesar de que esta concentración en P4 es muy inferior a las registradas en el P10 y P11, su masa unitaria exportada (26,2 kg/ha) es similar a la de P10 (24,1 kg/ha) y algo inferior a la de P11 (38,8 kg/ha). La masa exportada por unidad de superficie en las otras 3 cuencas (P4, P5 y P7) es muy inferior (del orden de 3 kg/ha). Estos resultados apuntan que una mejora del 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.

Al contrario que para el nitrógeno, 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. Las masas exportadas por unidad de superficie resultaron muy superiores en P4, P7 y P11 en relación con P5 y P9 y sobre todo con P10.

En cuanto a los plaguicidas, los detectados más frecuentemente corresponden a plaguicidas utilizados en alfalfa (*cipermetrina* y *deltametrina*), maíz (*nicosulfuron* y *acetoclor*) y cereales de invierno (*tribenuron-metil* y *2,4-D*). Se encontraron concentraciones superiores al límite de 0,1 µg/l para todos ellos (excepto *tribenuron-metil*) y para el *molinato* en P7 (única cuenca con presencia importante de arroz, cultivo en el que se emplea el *molinato*) y concentraciones de plaguicidas totales superiores a 0,5 µg/l (límite para consumo humano) en las 3 cuencas (entre el 3% y el 9% de las observaciones). Sin ser valores alarmantes, sí indican la necesidad de controlar la evolución de las concentraciones y las aplicaciones de plaguicidas en los regadíos del Alto Aragón.

### **Agradecimientos**

Este Trabajo se ha realizado con la ayuda financiera de *La Caixa* y la participación de la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón, y ha contado con la colaboración del personal de la Unidad Suelos y Riegos y de la Unidad de Calidad y Seguridad Alimentaria del CITA-DGA. Un especial agradecimiento a todo el personal de la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón por su colaboración, muy especialmente a Yolanda Gimeno y a la brigada de obras de Riegos del Alto Aragón, cuya magnífica labor ha hecho posible este trabajo.

### **Bibliografía**

- Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29. Rev. 1. FAO, Rome.
- Playán, E., Cavero, 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.