

LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS Y SALES EN FLUJOS SUBSUPERFICIALES DE UN ÁREA AGRÍCOLA EN EL VALLE DEL IREGUA (LA RIOJA)

TEODORO LASANTA MARTÍNEZ¹
MELCHOR MAESTRO MARTÍNEZ¹
M. PAZ ERREA ABAD¹

RESUMEN

En este trabajo se presenta la concentración de nitratos y sales solubles en cuatro fuentes de dos perímetros agrícolas (uno de regadío y otro de secano), localizados en el Bajo Iregua (La Rioja). Las fuentes se utilizan para riego y para consumo humano, por lo que el estudio de la concentración de nitratos tiene un alto interés. Los muestreos en las fuentes se realizaron semanalmente entre marzo de 2005 y mayo de 2006. Los resultados muestran que el caudal de salida registrado en las fuentes apenas fluctúa durante el periodo de muestreo. En las tres de regadío la concentración de nitratos supera a la admitida por la OMS para consumo humano (50 mg/L), dando valores medios entre 60 mg/L y 83,3 mg/L, mientras que la de secano registra valores medios tolerables (32,1 mg/L). El coeficiente de variación a lo largo del estudio es muy bajo en todas las fuentes. La concentración de sales solubles es menor en las fuentes de regadío (0,71 g/L) que en la de secano (0,88 g/L), con un coeficiente de variación también muy bajo. Entre los principales iones dominan los sulfatos, bicarbonatos y calcio. No se observan diferencias reseñables en las concentraciones de nitratos y sales solubles entre los periodos con riego y sin riego.

Palabras clave: nitratos, sales, agricultura mediterránea, flujos subsuperficiales, Cuenca del Ebro (España).

The concentration of nitrates and soluble salts is analysed in four drinking fountains of two agricultural areas (three fountains in irrigated lands and the other one in drylands). Study area is located in the Low Iregua Valley (La Rioja). The drinking fountains are used for irrigation and human consumption. Therefore, the nitrate concentration has a high interest. Water was analysed in the drinking fountains each week between March 2005 and May 2006. The results show that outflows do not fluctuate noticeably during the analysed period. In the drinking fountains located in the irrigated

1. Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC). Campus de Aula Dei. Apdo. 13034. 50080 – Zaragoza.

lands the concentration of nitrates exceed the levels accepted by the World Health Organisation (WHO) for human consumption (50 mg/L): average values between 60 mg/L and 83,3 mg/L. The drinking fountain located in the dryland agricultural area showed tolerable values (32,1 mg/L of average). Temporal variability of nitrate concentration was very low in the different drinking fountains. Salt concentration showed lower values in the drinking fountains of irrigated lands (0,71 g/L) than in the dryland agricultural area (0,88 g/L) but temporal variability was also very low. Sulfates, bicarbonates and calcium are their main ions. Noticeable differences in the nitrate and salt concentration are not observed as a function of the irrigated and non-irrigated periods.

Key words: Nitrate, Salts, Mediterranean agriculture, subsurface flows, Ebro River basin (Spain).

0. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los siglos el hombre ha tratado de transformar en regadío las tierras de cultivo, especialmente bajo condiciones climáticas semiáridas como ocurre en muchas áreas de la Cuenca del Ebro (Frutos, 1993). El regadío contribuye notablemente al aumento de la producción, a la diversificación de cultivos y a asegurar las cosechas. En el plano social permite frenar, o al menos mitigar, la despoblación de las áreas rurales, por la mayor necesidad de mano de obra directa y la posibilidad de generar industrias de manipulación y transformación de los productos agrícolas, lo que permite incrementar el empleo y añadir valor a la producción. El regadío ha sido un factor esencial en el Valle del Ebro para conseguir mayores índices de población activa y consecuentemente mejores niveles de renta, ahorro, capitalización y desarrollo (García-Ruiz *et al.*, 2001).

La instalación de los nuevos regadíos en suelos sódicos y/o salinos, como ocurre en Bardenas y Monegros, implica el incremento de la salinización en la capa superficial del suelo y la pérdida de calidad de las aguas de retorno, con consecuencias muy negativas sobre otros campos de regadío que las reutilizan y sobre la fauna y flora de los ríos (Alberto *et al.*, 1986; Bellot *et al.*, 1989; Machín *et al.*, 1995; Machín y Navas, 2000; Lasanta *et al.*, 2001).

La contaminación tiene también lugar por el incremento de la concentración de nitratos en las aguas de drenaje subsuperficiales (Jebellie *et al.*, 2004; Tanner *et al.*, 2005) y en las de percolación (Scanlon *et al.*, 2005), con efectos muy negativos para los acuíferos (Causapé *et al.*, 2006), y para el medio ambiente. El nitrato, junto a elementos nutritivos como el fósforo, favorecen el crecimiento excesivo de las plantas acuáticas, que al descomponerse consumen el oxígeno disuelto en el agua provocando la muerte de fauna acuática. En otras situaciones, el crecimiento y multiplicación de algas puede ser tan grande que impida el flujo normal del agua por canales y ríos (Ramos y Quílez, 1992). Por otro lado, la ingestión de altas concentraciones de nitrato puede causar o por lo menos contribuir a la aparición de enfermedades como la metahemoglobina en los niños (Martínez Cabrera y Velázquez Ogando, 1998; Hidalgo-Moya, 2003), y ciertas disfunciones en

animales rumiantes. También se ha sugerido que el nitrato favorece la aparición de cáncer gástrico (Ramos y Ocio, 1993). No obstante, algunos autores sostienen que los nitratos ingeridos en la dieta no sólo no son nocivos, sino que pueden constituir un mecanismo natural para prevenir infecciones digestivas (Duncan *et al.*, 1998). Las autoridades sanitarias han establecido en 50 mg/L la máxima concentración de nitratos tolerable para el agua potable. Varias normativas de la Unión Europea regulan la gestión y calidad del agua, entre las que se incluyen algunas que afectan a la actividad agraria, como la Directiva de Nitratos (91/676/CE), la Directiva de Control y Prevención Integrados de Contaminación (1996) y la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE). En España destacan los Reales Decretos 261/1996 y 140/2003, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. La aplicación de la legislación ha establecido códigos de buenas prácticas agrarias, zonas declaradas vulnerables y programas de acción con medidas de obligado cumplimiento.

Debido a la complejidad de su ciclo biogeoquímico, la identificación de las fuentes de nitrato suele ser bastante complicada, si bien por la gran solubilidad de este anión, las aguas subsuperficiales y subterráneas son elementos preferentes. De ahí que la agricultura, especialmente la de regadío, sea la principal fuente de contaminación por nitratos de las aguas subsuperficiales y subterráneas (Bellot y Golley, 1989; Keeney, 1989; Arauzo *et al.*, 2006).

El objetivo de este trabajo es conocer la concentración y exportación de nitratos en flujos subsuperficiales de dos pequeños polígonos agrícolas, uno de regadío y otro de secano, que son reutilizados para regar nuevos campos y para el consumo humano.

1. ÁREA DE ESTUDIO

Se han estudiado dos pequeños polígonos en un área agrícola próxima a Logroño (Fig. 1), en el sector noroccidental de la Depresión del Ebro. Uno de los polígonos es de regadío y otro de secano. Arcillas y areniscas en estratos horizontales alternan en un paisaje abierto en el que el Ebro y sus afluentes han excavado amplios valles con diferentes niveles de terrazas y glacis, muy favorables para la formación de acuíferos de recarga por percolación del agua en profundidad. En concreto, el polígono de regadío se localiza en un glacis holoceno y el de secano en un retazo de glacis del Pleistoceno Medio (Julián, 1996). Los suelos son cambisoles –derivados del sustrato oligoceno- y calcisoles pétricos, desarrollados sobre materiales alóctonos cuaternarios, libres de sales.

La precipitación media en el observatorio próximo de Varea es de 418,9 mm/año, distribuida de forma bastante regular en las cuatro estaciones: La primavera es la más lluviosa (34,7%), seguida por el invierno (24,7%), verano (21,5%) y otoño (19%). La evapotranspiración potencial alcanza los 750,2 mm, según Martínez Abaigar *et al.* (1994). La temperatura media es de 13,4°C, con inviernos frescos (5,5°C en enero) y veranos calurosos (22,2°C en julio). La elevada evapotranspiración y las escasas y con frecuencia intensas lluvias de verano explican el interés de los agricultores por el regadío.



Fig. 1. Área de estudio.

Los campos se riegan desde 1959, a partir de aguas derivadas de los embalses “González Lacasa” y “Pajares”, localizados en el tramo alto del río Iregua. En secano dominan los cereales de invierno (cebada, sobre todo), el viñedo, olivos y almendros, mientras que en regadío se cultivan también maíz, alfalfa, frutales y hortalizas. En las dos últimas décadas el regadío ha experimentado algunos cambios importantes, con la contracción superficial de los cultivos intensivos (hortalizas y frutales) y la expansión de la cebada y el viñedo (Lasanta, 2000; Lasanta y Nogués, 2001).

García-Ruiz *et al.* (1986) comprobaron que la existencia de una red de drenaje subsuperficial es muy frecuente en el área de estudio, apareciendo con frecuencia en campos de regadío, aunque también es observable en otros puntos con elevada presencia de arcillas dispersables y alto contenido en sodio.

2. METODOLOGIA

Se seleccionaron dos pequeños polígonos agrícolas en los municipios de Villamediana y Alberite. El polígono A, localizado en Villamediana, tiene una superficie de 478,5 ha y se riega completamente desde la acequia Hacedas, mientras que el polígono B (101,1 ha) tiene tierras en ambos municipios, siendo cultivadas en secano. Ambos perímetros cuentan con fuentes de agua, que son utilizadas para riego y consumo humano. La proximidad de tales fuentes a Logroño facilita que el número de personas que consumen agua sea numeroso. Las fuentes corresponden a la salida de canales subsuperficiales (*pipes*) en pequeñas vallonadas existentes en los glaciares. La cuenca A tienen 3 fuentes y la B, 1 (Figura 2). Esta última nace en la parte baja de un polígono de secano y es conducida por una tubería subterránea hasta el centro del pueblo de Villamediana. Las tres fuentes del polígono de regadío son utilizadas “in situ” y tienen anexa una pequeña zona de descanso y “picnic”.

Durante 62 semanas (25-03-05 al 14-05-06) se midió el caudal de cada fuente y se tomó una muestra de agua de la acequia de entrada al polígono de riego y de cada fuente. En los laboratorios del Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC) se realizaron los análisis de aguas para conocer la concentración de nitratos y sales. Se determinaron semanalmente por espectrofotome-

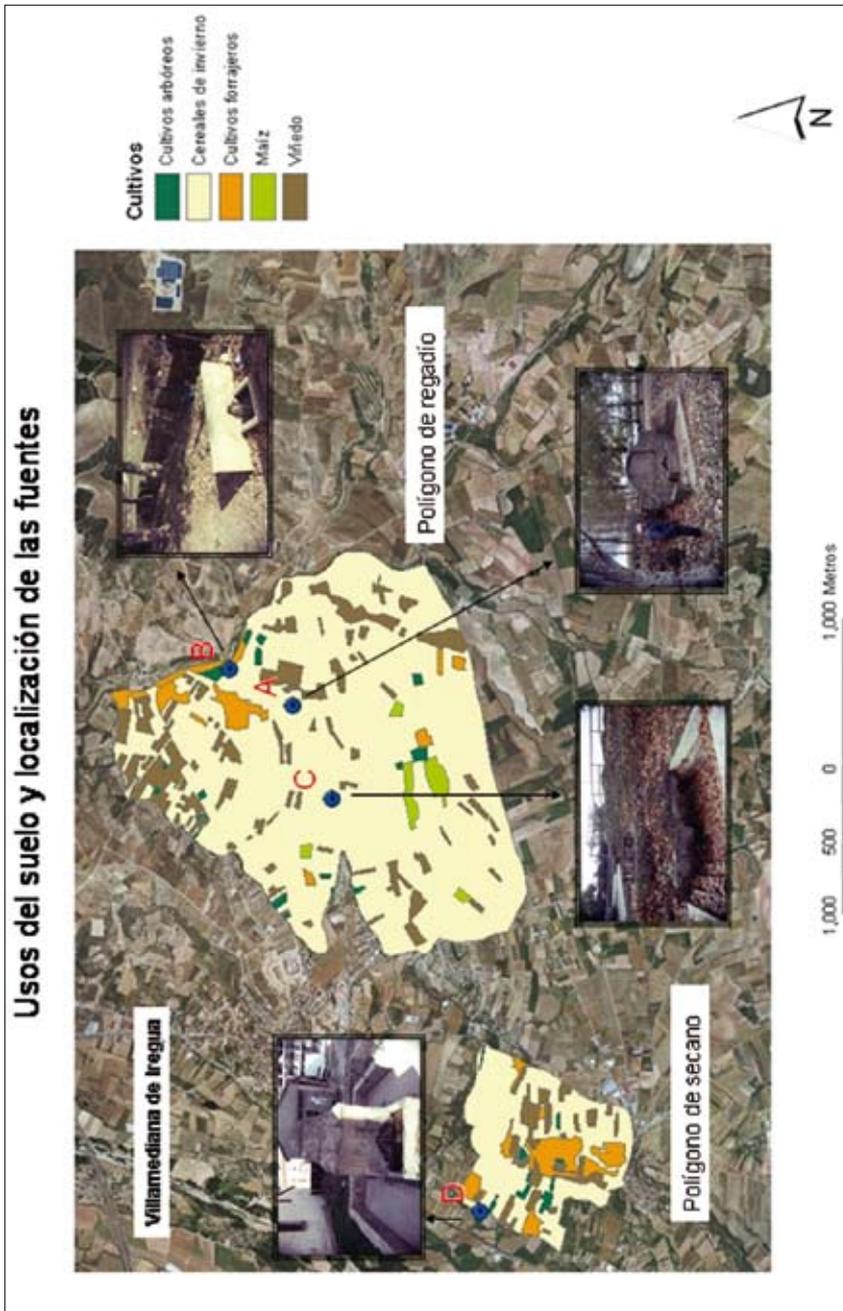


Fig. 2. Usos del suelo y localización de las fuentes.

tría ultravioleta (Unicam 8625) y midiendo la conductividad eléctrica a 25°C (Crison CM 2202). Trimestralmente se realizó un análisis iónico completo de los constituyentes mayoritarios con un valorador automático Metrohm Titrino y un cromatógrafo iónico Metrohm 761 (APHA, 1992).

Mediante trabajo de campo se cartografiaron los usos del suelo, que se incorporaron a un SIG para cuantificar la superficie ocupada por cada uno de ellos. A partir de encuestas a los agricultores se conoce la gestión agrícola: fertilización y riego. En el Sindicato de Riegos de Villamediana se tomó información sobre la distribución mensual de consumo de agua para riego.

3. RESULTADOS

3.1. Los usos del suelo y la gestión agrícola

En la figura 2 se incluye la distribución de usos del suelo en ambos perímetros. Los cereales de invierno (cebada, fundamentalmente) son los cultivos dominantes en ambos polígonos (82,5% de la superficie total en el de regadío y 61% en el de secano), estando también representados el viñedo (11,6% y 16,2%, respectivamente), los cultivos forrajeros (3,2% y 19,8%, respectivamente) y los cultivos arbóreos: olivos y almendros, básicamente. La mayor diferencia entre los usos agrícolas de ambos perímetros es la presencia de maíz en el de regadío. Desde los años ochenta los usos agrícolas del regadío se han ido simplificando, con la pérdida de los cultivos hortícolas, de frutales (manzano, melocotón, peral, ciruelo,...), patatas y remolacha, que en las décadas precedentes dominaban el paisaje agrícola (Lasanta y Nogués, 2001).

Las diferencias entre ambos perímetros se deben sobre todo a las entradas de agua, ya que el de secano sólo recibe las de lluvia, mientras que el de regadío cuenta también con el agua de riego, que se distribuye entre abril y octubre. La tabla 1 incluye el número de riegos que recibe cada cultivo. Los cereales de invierno registran un riego en abril, mientras que el maíz anota cinco riegos entre mayo y septiembre; los cultivos forrajeros (casi exclusivamente alfalfa) reciben de media diez riegos entre mayo y septiembre; el viñedo sólo uno en verano y los cultivos arbóreos dos, a finales de primavera y durante el verano.

Existen también algunas diferencias en la fertilización con N, debidas a la mayor cantidad que reciben los cereales de invierno y los cultivos forrajeros en regadío que en secano, mientras que el viñedo, olivo y almendro cuentan con los mismos insumos (Tabla 1). El maíz es el cultivo que registra mayor aportación de N, con una media según las encuestas de 213 kg/ha; de dicha cantidad, 98 kg/ha la recibe durante la siembra (mes de mayo) y el resto en cobertera (normalmente en junio). Los cereales de invierno también reciben fertilizantes en dos momentos: durante la siembra (meses de enero o febrero), 40 kg/ha en regadío, y en abril (51 kg/ha); los cereales de secano ven reducidas estas cantidades, especialmente la de cobertera. El viñedo y los cultivos forrajeros reciben toda la dosis en invierno (febrero

habitualmente), mientras que almendros y olivos la distribuyen casi a partes iguales entre el invierno y la primavera.

TABLA 1.
SUPERFICIE OCUPADA, NÚMERO DE RIEGOS Y FERTILIZACIÓN (N) EN LOS USOS AGRÍCOLAS DE SUELO

	Polígono de regadío			Polígono de seco	
	Superficie (ha)	Nº riegos año	N (kg/ha/año)	Superficie (ha)	N (kg/ha/año)
Cultivos arbóreos	5,9	2	50	2,9	50
Cereales de invierno	394,3	1	91	61,7	70
Cultivos forrajeros	15,4	10	75	20,0	50
Maíz	7,4	5	213	0	
Viñedo	55,6	1	60	16,4	60
TOTAL	478,6			101,1	

La figura 3 refleja el agua que entró en ambas cuencas durante el periodo de muestreo. Aunque se inició el estudio a finales de marzo de 2005, se ha incluido la precipitación desde el 1 de enero. A lo largo del año se registraron 338,3 L/m², por lo que se puede considerar como un año seco (80,6 L/m² menos que la media anual), especialmente durante los primeros nueve meses. Por el contrario, los seis meses estudiados de 2006 registraron una precipitación (263 L/m²) ligeramente superior a la media. Las entradas de agua por riego muestran una tendencia ascendente desde abril (52,8 L/m²), mayo (63,4 L/m²), junio (105,7 L/m²), hasta julio (157,6 L/m²), para iniciar un descenso en agosto (80,1 L/m²), septiembre (42,3 L/m²) y octubre (26,4 L/m²). Durante el año 2005, las entradas totales de agua de riego fueron de 528,4 L/m², observándose una concentración en primavera y verano (máximo primario en julio, a pesar de que no llovió durante el mes) y un mínimo en la estación fría. Durante el periodo analizado en 2006 se reproduce el

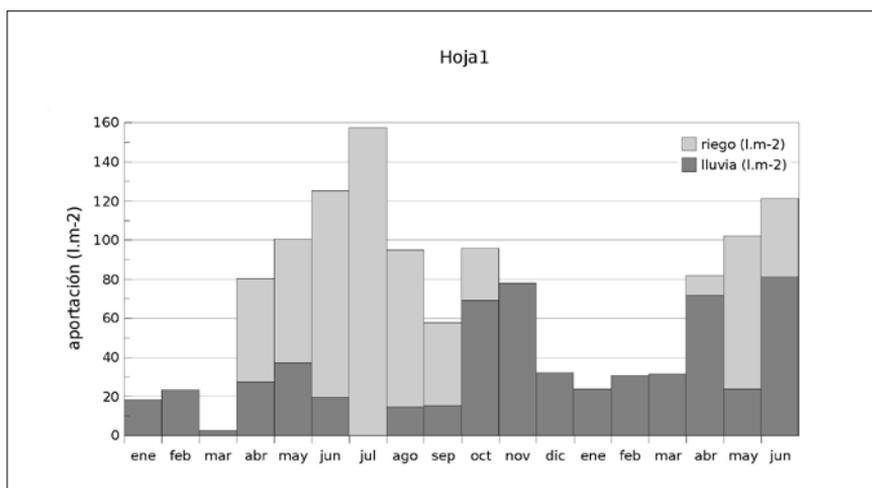


Fig. 3. Entradas mensuales de agua (precipitación y riego) durante el periodo de estudio.

mismo patrón que en 2005, si bien se observa una menor aportación por riego debido a que el año fue más lluvioso, confirmando el ajuste de las dosis de riego a las necesidades de los cultivos (Causapé y Clavería, 2007).

3.2. Salida de nitratos y sales

El caudal de agua en las fuentes fue muy homogéneo a lo largo del año. De hecho en tres de ellas (A, B, y D) no presentó ninguna fluctuación. Las fuentes A y B dieron un caudal de 0,5 L/s, mientras que en la D fue de 0,25 L/s. La C tuvo algunos cambios durante el periodo de estudio, oscilando el caudal entre 0,25 L/s en el periodo de riego y 0,17L/s en el periodo sin riego.

La tabla 2 incluye el valor medio de concentración de nitratos, la desviación estándar y el coeficiente de variación, separando la estación de riego de la sin riego. La concentración media de nitratos en la acequia Hacedas fue de 4,2 mg/L. Las salidas presentan una concentración muy superior en las tres fuentes del polígono de regadío: 83,3 mg/L en la A, de 82,7 mg/L en la B y de 60 mg/L en la C, mientras en la D, localizada en la cuenca de secano, la concentración media fue de 32,1 mg/L. Las desviaciones estándar y los coeficientes de variación son muy bajos, dadas las escasas fluctuaciones registradas a lo largo del periodo de estudio (ver figura 4). Apenas existen diferencias entre la estación de riego y sin riego. No obstante, en las 4 fuentes hay una concentración ligeramente superior en la estación de riego. Lógicamente en la D el incremento es menor (2,28 mg/L) que en las de regadío (valores de 10,73 mg/L, 7,17 mg/L y 8,75 mg/L, respectivamente), que presentan de forma puntual concentraciones elevadas.

TABLA 2.
CONCENTRACIÓN MEDIA DE NITRATOS (MG/L)

Fuente	A	B	C	D
Periodo de estudio				
Concentración Media	83,3	82,7	60	32,1
Desviación Estándar	10,6	7,1	8,2	3,6
Valor Máximo	105,50	97,0	85,40	39,10
Valor Mínimo	70,26	68,35	47,51	24,15
Coficiente Variación	0,13	0,08	0,13	0,11
Estación de riego				
Concentración Media	88,00	85,56	63,56	32,99
Desviación Estándar	11,60	6,75	8,27	3,53
Valor Máximo	105,54	97,0	85,40	38,82
Valor Mínimo	71,17	74,20	48,85	26,31
Coficiente Variación	0,13	0,08	0,13	0,11
Estación sin riego				
Concentración Media	77,63	78,39	54,81	30,71
Desviación Estándar	4,30	5,29	4,50	3,34
Valor Máximo	84,88	90,00	62,88	39,10
Valor Mínimo	70,26	68,35	47,51	24,15
Coficiente Variación	0,06	0,07	0,08	0,11

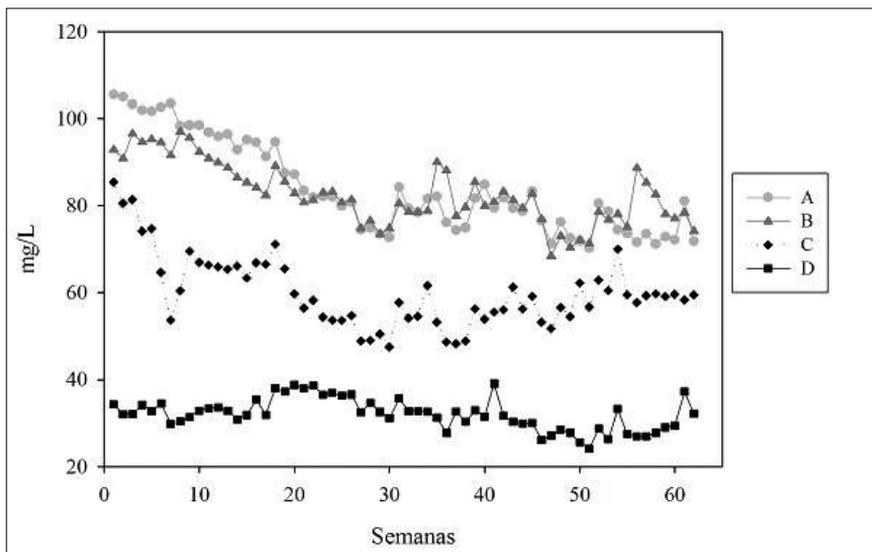


Fig. 4. Evolución de la concentración de nitratos durante el periodo de estudio.

La figura 4 muestra la evolución semanal de la concentración de nitratos. Lo más destacable son las bajas oscilaciones que se registran en las 4 fuentes, aunque muy especialmente en la D. La fuente C, por el contrario, presenta algunos picos más acusados que el resto de fuentes. La segunda cuestión que llama la atención es que la mayor concentración en las fuentes de regadío se produce durante las primeras semanas de muestreo: de hecho, los valores más altos (superiores a 100 mg/L en la fuente A) se alcanzan en las primeras semanas. A partir de la 6^a-7^a semana se inicia una ligera tendencia descendente hasta la semana 25 (3-09-05). A partir de dicha fecha se produce una evolución en dientes de sierra con pequeños incrementos y descensos, para observarse al final del periodo de estudio una muy leve tendencia ascendente, aunque no se llegan a alcanzar los valores del año anterior.

La tabla 3 incluye la concentración media de sales. El agua de la acequia puede considerarse de buena calidad ($CE = 358,2 \mu S/cm$), con una concentración media de sales de 222,3 mg/L, destacando la aportación de Ca^{++} (60,23 mg/L), HCO_3^- (98,9 mg/L) y $SO_4=$ (26,35 mg/L), mientras que la de nitratos fue de 4,2 mg/L. Esta concentración refleja el origen del agua, procedente de la cuenca del río Iregua, Sistema Ibérico, con predominio de cuarcitas y conglomerados silíceos y pequeños afloramientos calcáreos. El valor medio más alto durante el periodo de estudio lo aporta la fuente D (0,88 g/L), mientras que las de regadío registran valores de 0,71 g/L (fuentes A y C) y de 0,70 g/L la fuente B. Las diferencias entre las estaciones con riego y sin riego son prácticamente inexistentes. En la figura 5 se observa, por un lado, la distinta concentración media que presentan las fuentes de regadío respecto a la de secano. Por otro lado, se confirma que los valores

de concentración son muy homogéneos a lo largo del periodo de estudio en cada fuente. De ahí, que las desviaciones estándar y los coeficientes de variación sean muy bajos.

TABLA 3.
CONCENTRACIÓN MEDIA DE SALES SOLUBLES (G/L)

Fuente	A	B	C	D
Periodo de estudio				
Concentración Media	0,71	0,70	0,71	0,88
Desviación Estándar	0,02	0,02	0,03	0,02
Valor Máximo	0,748	0,750	0,810	0,927
Valor Mínimo	0,624	0,666	0,623	0,826
Coefficiente Variación	0,03	0,03	0,05	0,03
Estación de riego				
Concentración Media	0,71	0,70	0,72	0,88
Desviación Estándar	0,03	0,02	0,04	0,03
Valor Máximo	0,75	0,74	0,81	0,93
Valor Mínimo	0,62	0,67	0,62	0,83
Coefficiente Variación	0,04	0,03	0,06	0,03
Estación sin riego				
Concentración Media	0,71	0,69	0,70	0,87
Desviación Estándar	0,01	0,02	0,01	0,01
Valor Máximo	0,73	0,75	0,72	0,89
Valor Mínimo	0,70	0,67	0,68	0,84
Coefficiente Variación	0,01	0,03	0,01	0,01

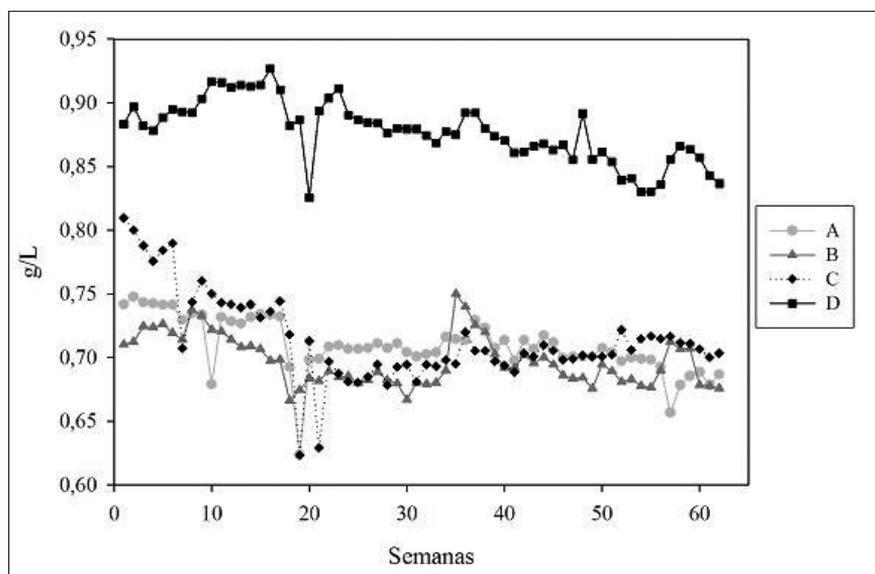


Fig. 5. Evolución de la concentración de sales solubles durante el periodo de estudio.

Una estimación sencilla de la exportación de nitratos y sales se incluye en la tabla 4. Para ello se ha tenido en cuenta la salida de agua y la concentración media. La exportación total de sales en las tres fuentes del polígono de regadío fue de 26.711 kg/año a los que hay que sumar 6.934 kg/año de la fuente de secano. El 9,65% de la exportación de sales fue de nitratos. Las fuentes de regadío aportaron 2.995,9 kg/año (92,2% del total), contribuyendo la A y B con proporciones similares, mientras que la C exportó bastante menos (378 kg/año), fruto de sus menores concentraciones y de los caudales más modestos.

TABLA 4.
EXPORTACIÓN DE NITRATOS Y SALES SOLUBLES A TRAVÉS DE LAS FUENTES (KG/AÑO)

Fuente	Nitratos	Sales
A	1313,5	11.195,3
B	1304	11.037,6
C	378,4	4478,1
D	253,1	6934
TOTAL	3249	33645

3.3. La calidad de las aguas para el consumo humano

En la tabla 5 se incluyen los parámetros habituales para conocer la potabilidad de las aguas. En la primera columna se anotan las concentraciones máximas admisibles para considerar un agua apta para el consumo humano (R.D. 1138/1990). Las columnas intermedias corresponden a las cuatro fuentes estudiadas. En la última columna aparecen los valores medios de los análisis realizados en el agua para abastecimiento urbano en el municipio de Villamediana, recogida semanalmente en un grifo de la red de abastecimiento.

Lógicamente, el agua del grifo es potable en todos los iones. Sin embargo, ninguna de las fuentes cumple la totalidad de los criterios de potabilidad. Las tres fuentes de regadío superan ampliamente las concentraciones de nitratos tolerables, especialmente la A (83,8 mg/L) y la B (82,7 mg/L); la C (60 mg/L) se acerca al máximo admisible. El resto de parámetros aportan valores inferiores al máximo tolerable. La fuente localizada en el polígono de secano, por el contrario, tiene una concentración de nitratos adecuada para consumo humano, pero excede en 115,5 mg/L el máximo de sulfatos recomendable para aguas potables.

TABLA 5.
PRINCIPALES COMPONENTES DE LAS AGUAS EN LAS FUENTES UTILIZADAS PARA CONSUMO HUMANO

Parámetros	CMA*	A	B	C	D	Grifo
pH		7,5	7,5	7,4	7,4	8,3
CE (µS/cm)		1083,2	1099,5	1072,2	1360,7	342,0
HCO ₃ ⁻ (mg/l)		132,0	149,3	127,0	116,1	97,8
SO ₄ ⁼ (mg/l)	400	232,1	228,8	287,3	516,5	51,5

Parámetros	CMA*	A	B	C	D	Grifo
Cl- (mg/l)	350	52,6	66,2	47,5	44,5	17,3
NO ₃ ⁻ (mg/l)	50	83,8	82,7	60,0	32,1	3,5
F- (mg/l)	1,5	0,2	0,3	0,4	0,3	0,0
Br- (mg/l)		0,2	0,2	0,2	0,1	0,0
Ca ⁺⁺ (mg/l)	200	124,3	130,7	114,2	160,2	50,1
Mg ⁺⁺ (mg/l)	50	27,4	28,5	32,7	42,9	4,6
Na+ (mg/l)	150	25,6	26,7	33,8	47,9	7,5
K+ (mg/l)		0,9	3,4	0,9	1,3	0,3
Dureza °f		42,3	44,4	42,0	57,7	14,4
		dura	dura	dura	muy dura	semidura
Sales Totales (mg/l)	1000	679,0	716,9	704,1	962,1	232,7

*Concentraciones Máximas Admisibles.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los flujos de retorno, tanto superficiales como subsuperficiales, constituyen una fuente de contaminación de las aguas, que tiene incidencia sobre los suelos, la flora y fauna (Basso *et al.*, 1990; Isidoro *et al.*, 2002; Causapé, 2002; Lasanta *et al.*, 2001). Además, puede tener efectos en la salud humana cuando entre los destinos se incluye el consumo por la población.

En áreas agrícolas de la Depresión del Ebro los canales ligados a la escorrentía subsuperficial aparecen con cierta frecuencia, tanto en áreas de secano (Gutiérrez Elorza *et al.*, 1998; Barrón *et al.*, 1994) como de regadío, fundamentalmente en cultivos que exigen varios riegos cada campaña y que permanecen sin arar durante varios años (García-Ruiz *et al.*, 1986). En estos ambientes una proporción importante del agua de riego se canaliza a través de los flujos subsuperficiales; García-Ruiz *et al.*, (1997) calcularon que entre el 8 y el 15% de las entradas de agua salen a través de la red de *pípes*.

Algunos de estos canales, sobre todo los que presentan un flujo permanente, suelen ser utilizados como fuentes para consumo humano. Para este trabajo se seleccionaron cuatro localizados próximos a Logroño, aunque en el perímetro de regadío estudiado hay algunos más. Los resultados obtenidos ponen de relieve que los caudales de salida apenas fluctúan a lo largo del año, siendo completamente estables en tres fuentes (A, B y D) y mostrando una pequeña variación en la fuente C, que tarda en llenar 1 litro de agua cuatro segundos en el periodo de riego y seis segundos en el periodo sin riego. Las escasas fluctuaciones en los caudales sugieren que los acuíferos suministradores no tiene especiales problemas de recarga, especialmente en el perímetro de regadío, gracias a las aportaciones por medio del riego. Por otro lado, la escasa variabilidad de caudal y de concentración de sales y nitratos parece indicar que se trata de fuentes con área de drenaje profundo, que hace de amortiguador de las fluctuaciones de las entradas de agua. Es posible, además, que las cuencas de recepción sean más amplias que los perímetros delimitados para este trabajo, lo que también contribuiría

a explicar el mantenimiento de flujos constantes. Se trataría, pues, de una recarga lenta y profunda, a la que el riego contribuye, al menos en parte. Ello se comprueba por la mayor carga de nitratos en las fuentes de regadío; también lo confirma el hecho de que la fuente de secano tiene mayor concentración de sales, que en cambio quedan más diluidas en las fuentes de regadío.

El agua de la acequia es de buena calidad, mostrando una concentración muy baja en sales (222,3 mg/L), de las que los nitratos sólo representan 4,2 mg/L. Las concentraciones experimentan un fuerte incremento en los flujos de salida, con valores medios de nitratos entre 60 y 83,3 mg/L en las fuentes de regadío y de 32,1 mg/L en la fuente de secano. También las sales solubles aumentan mucho, aportando valores medios de 0,71 g/L en las fuentes A y C, de 0,70 g/L en la B, y de 0,88 g/L en la fuente de secano.

Apenas existen variaciones en las concentraciones entre las estaciones de riego y sin riego, debido quizás a los mínimos cambios de caudal. La bibliografía señala que las concentraciones suelen aumentar cuando los caudales bajan y disminuir en épocas de incremento de caudales, como consecuencia de la mayor dilución (Navas y Machín, 1995; Lasanta *et al.*, 1999; Causapé *et al.*, 2004).

Un hecho a destacar es que las fuentes de regadío superan la concentración de nitratos admisible por la OMS para las aguas de consumo humano, mientras que la de secano está por debajo del límite tolerable. Este hecho implicaría que las fuentes de regadío deberían considerarse como no potables, dados sus efectos en la salud humana, sobre todo de la población lactante. Algunos autores señalan que los nitratos se absorben rápidamente en el organismo, produciéndose en saliva y estómago una reducción de nitratos a nitritos. En los lactantes, el contenido elevado de nitrato puede originar metahemoglobina, que imposibilita el transporte de oxígeno. Asimismo, se ha establecido una relación causa-efecto entre el contenido en nitrato y la formación de nitrosaminas en los adultos, las cuáles muestran propiedades cancerígenas (Díez López, 1995). No obstante, González-Quesada y González-Carballo (1995) consideran que el concepto de "potabilidad" es meramente legal y que es muy estricto para aniones y cationes, sin que los valores máximos admisibles estén muy justificados, ya que pequeños incrementos en tales valores no tendrían incidencia sanitaria. Insisten en que cada vez más se considera que la calidad del agua está más relacionada con los micro-contaminantes orgánicos e inorgánicos que con los componentes salinos.

La excesiva concentración de nitratos y sales solubles tiene mucho que ver con las prácticas agrícolas, que utilizan excesivos fertilizantes y demasiada agua para el riego. Entre 1950 y 2003 el consumo de fertilizantes nitrogenados pasó en España de 11 kg/ha a 74,6 kg/ha (Ministerio de Agricultura). Una característica de los fertilizantes nitrogenados es su elevada solubilidad, lo que hace que una proporción importante (entre el 40 y 50%) de las aportaciones se vayan con el agua, sobre todo con la de percolación

(Díez López, 1995). De ahí, que los agricultores efectúen dos abonados con nitrógeno, durante la siembra y en el momento de máximo desarrollo de la planta (abonado de cobertera). Por otro lado, las dosis de riego son muy elevadas, lo que implica altos flujos de retorno y excesiva infiltración. Causapé *et al.*, (2006 a) han realizado una revisión sobre la eficacia del riego en 22 polígonos de regadío de la cuenca del Ebro, comprobando que es muy baja (media del 53%) en áreas con suelos muy permeables y poco profundos, siendo algo más elevada (79%) en suelos más apropiados para el riego y muy alta (94%) en los regadíos modernos: automatizados y presencia de riego localizado.

La escorrentía superficial y, especialmente, la subsuperficial y la percolación implican el arrastre de todas las sales (sobre todo del nitrato) que se encuentran en el sistema radicular contaminando acuíferos (Pereira y Quelhas Dos Santos, 1991; Tan *et al.*, 1993). Esta contaminación difusa y extensa en superficie está considerada en los países desarrollados como uno de los principales problemas medioambientales, dada la escasez de agua potable y la necesidad de las aguas subterráneas para el consumo humano. En Francia, por ejemplo, más del 60% de la población utiliza aguas subterráneas para su consumo (Roux, 1995), mientras que en España la concentración de nitratos por encima de los límites tolerables afecta a más de 1000 municipios y 2 millones de habitantes (Causapé *et al.*, 2006). De ahí, que uno de los retos de la agricultura sea reducir en el futuro las pérdidas de nitratos y sales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto: *Procesos y balances hidrológicos y de sedimentos a diferentes escalas espaciales en ambientes mediterráneos: Efectos de la variabilidad climática y los cambios de uso del suelo* (PROBASE) (CGL2006-11619/HID), financiado por la CICYT.

BIBLIOGRAFÍA

- Alberto, F., Machín, J, y Aragüés, R. 1986. La problemática general de la salinidad en la cuenca del Ebro. En: *Sistema integrado del Ebro. Estudio interdisciplinar*: 221-236, Zaragoza.
- APHA, AWWA, WPCF. 1992. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Ed. Díaz de Santos S.A., Madrid.
- Arauzo, M., Valladolid, M., Martínez-Bastida, J.J. y Gutiérrez, C. 2006. Dinámica espacio-temporal del contenido en nitrato de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del río Oja (La Rioja, España): Vulnerabilidad del acuífero aluvial. *Limnética*, 25(3): 753-762.
- Barrón, G., Echeverría, M.T., Ibarra, P., Parco, P. y Pérez-Cabello, F. 1994. Algunas consecuencias geomorfológicas del uso del suelo agrícola en las últimas décadas. La actividad del piping en el bajo valle del Huerva (Zaragoza, España). En: *Estudios de Geomorfología en España* (J. Arnáez,

- J.M. García-Ruiz y A. Gómez-Villar, eds). Sociedad Española de Geomorfología: 255-266, Logroño.
- Basso, L., Machín, J. y Pellicer, F. 1990. Masa de sales exportada por la red de drenaje de Bardenas I, Monegros I y Cinca a las aguas superficiales de la cuenca del Ebro. *Anales de Aula Dei*, 20 (1-2): 163-181.
- Bellot, J. y Golley, F.B. 1989. Nutrient input and output of an irrigated agroecosystem in an arid Mediterranean landscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 25: 175-186.
- Bellot, J., Golley, F.B. y Aguinaco, M.T. 1989. Environmental consequences of salts exports from a irrigated landscape in the Ebro Bassin, Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 27: 131-138.
- Causapé, J. 2002. *Repercusiones medioambientales de la agricultura sobre los recursos hídricos de la comunidad de regantes nº V y de Bardenas (Zaragoza)*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza: 153 pp., Zaragoza.
- Causapé, J. y Clavería, I. 2007. Drought as agri-environmental determinant of irrigation land: the case of Bardenas (Spain). *Environmental Geology*, 51: 1213-1220.
- Causapé, J., Quílez, D. y Aragüés, R. 2004. Salt and nitrate concentrations in the surface waters of the CR-V irrigation district (Bardenas I, Spain): diagnosis and prescriptions for reducing off-site contamination. *Journal Hydrology*, 295(1-4): 87-100.
- Causapé, J., Quílez, D. y Aragüés, R. 2006. Groundwater quality in CR-V irrigation in GR-V irrigation district (Bardenas I, Spain): Alternative scenarios to reduce off-site salt and nitrate contamination. *Agricultural Water Management*, 84: 281-289.
- Causapé, J., Quílez, D. y Aragüés, R. 2006 a. Irrigation efficiency and quality of irrigation return flows in the Ebro River Basin: an overview. *Environmental Monitoring and Assessment*, 117: 451-461.
- Díez López, J.A. 1995. Situación actual de la contaminación de los acuíferos por nitratos. En: *La calidad de las aguas continentales españolas. Estado actual e Investigación* (M. Álvarez-Cobelas y F. Cabrera Capitán, Eds). Geoforma Ediciones: 223-231, Logroño.
- Duncan, C., Li, H., Dykhuizen, R., Frazer, R., Johnston, P., Macknight, G., Smith, I., Lamza, K., McKenzie, H., Batt, L., Kelly, D., Golden, M., Benjamin, N. y Leifert, C. 1998. Protection against oral and gastrointestinal diseases: importante of dietary nitrate intake, oral nitrate reduction and enterosalivary nitrate circulation. *Fertilizer International*
- Frutos, L.M. 1993. Los cambios en la agricultura de regadío aragonesa (1950-1990). En: *Medio siglo de cambios agrarios en España* (A. Gil Olcina y A. Morales). Instituto de Cultura "Juan Gil-Albert" (Diputación Provincial de Alicante): 771-803, Alicante.

- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T. y Alberto, F. 1997. Soil erosion by piping in irrigated fields. *Geomorphology*, 20 (3-4): 269-278.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T. y Biarge, F. 2001. *Agua, tierra y paisaje. Complejidad y diversidad en el territorio de Riegos del Alto Aragón*. Confederación Hidrográfica del Ebro – Comunidad General de Riegos del Alto Aragón: 164 pp, Zaragoza.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., Ortigosa, L. y Arnáez, J. 1986. Pipes in cultivated soils of La Rioja: Origin and evolution. *Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl.*, 58: 93-100.
- González-Quesada, R. y González-Carballo, J.A. 1995. Aguas potables. En: *La calidad de las aguas continentales españolas. Estado actual e Investigación* (M. Álvarez-Cobelas y F. Cabrera Capitán, Eds). Geoforma Ediciones: 45-56, Logroño.
- Gutiérrez Elorza, M., Rodríguez Vidal, J. y Benito, G. 1988. Piping in badlands areas of the middle Ebro Basin, Spain. *Catena Suppl.*, 13: 49-60.
- Hidalgo-Moya, J.R. 2003. Nitratos en agua y protección de la salud. *Diario de la Seguridad Alimentaria*. Fundación Grupo Eroski: 1-4 pp.
- Jebellie, S.J., Madani, A. y Mamat, M. 2004. Role of cultivation seasons in reducing soil and water pollution from nitrate in subsurface drained farms of dry regions. *ASAE Annual International Meeting*: 3063-3068.
- Julián, A. 1996. *Cartografía y correlación general de las acumulaciones cuaternarias de la Depresión del Ebro*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza: 579 pp., Zaragoza.
- Keeney, D.R. 1989. Sources of nitrate to ground water. In: *Nitrogen Management and Ground Water Protection* (Follett, R.F., ed.). Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- Isidoro, D., Causapé, D., Quílez, D. y Aragüés, R. (2002): Calidad de las aguas de drenaje de la Comunidad de Regantes V del Canal de las Bardenas (Zaragoza). *Investigaciones Agrarias: Producción y Protección Vegetal*, 17(3): 375-394.
- Lasanta, T. 2001. Cambios de uso en el regadío de La Rioja durante la segunda mitad del siglo XX: De la intensificación a la extensificación. En: *Investigación humanística y científica en La Rioja*. Instituto de Estudios Riojanos: 355-367, Logroño.
- Lasanta, T. y Nogués, D. 2001. Evolución de los usos agrícolas del suelo en el Bajo Iregua: Su influencia en la homogeneización del paisaje agrario. *Zubía, monográfico* 13: 211-226.
- Lasanta, T., Mosch, W., Pérez-Rontomé, M.C., Maestro, M. y Machín, J. 1999. Variabilidad espacial de la pérdida de solutos en un polígono de regadío de Bardenas durante una campaña de riego. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 25: 25-44.

- Lasanta, T., Pérez-Rontomé, M.C., Machín, J., Navas, A., Mosch, W. y Maestro, M. 2001. La exportación de solutos en un polígono de regadío de Bardenas (Zaragoza). *Cuaternario y Geomorfología*, 15 (3-4): 51-66.
- Machín, J. y Navas, A. 2000. *Análisis y evaluación de los efectos de los regadíos sobre la salinidad de las aguas*. Informe Técnico. Confederación Hidrográfica del Ebro, Anexos, 3: 78 pp., Zaragoza.
- Machín, J., Basso, L. y Navas, A. 1995. Salinity of the return flows from a pilot basin in the Bardenas I irrigation Project. ESSC Meeting: *The soil as a stratic resource: Degradation processes and conservation measures*. La Laguna, Tenerife.
- Martínez Abaigar, J., Núñez Olivera, E. y Tomás, R. 1994. *Agroclimatología de La Rioja*. Instituto de Estudios Riojanos: 155 pp., Logroño.
- Martínez-Cabrera, J. y Velázquez-Ogando, R. 1998. Intoxicación por sustancias metahemoglobinizantes. Estudio retrospectivo de 39 pacientes. *Revista Cubana de Medicina*, 37(2): 77-82.
- Navas, A. y Machín, J. 1995. Salinidad en las aguas superficiales de la cuenca del Ebro. En: *La calidad de las aguas continentales españolas. Estado actual e Investigación* (M. Álvarez-Cobelas y F. Cabrera Capitán, Eds). Geoforma Ediciones: 223-231, Logroño.
- Pereira, L.S. y Quelhas Dos Santos, J. 1991. Fertilizar and water application, and control of nitrate pollution management issues. In: *Nitrate contamination* (I. Bogardi y R.D. Kuselka, eds). Springer Verlag : 141-162, Berlin.
- Ramos, C. y Ocio, J.H. 1993. La agricultura y la contaminación de las aguas por nitrato. *Hojas divulgativas* n^a 7/92. IRYDA: 31 pp., Madrid.
- Ramos, C. y Quílez, D. 1992. La calidad de las aguas. *ITEA*, 12: 65-87.
- Scanlon, B.R., Reedy, R.C., Stonstrom, D.A., Prudic, D.E., Dennehy, K.F. 2005. Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US. *Global Change Biology*, 11 (10): 1577-1593.
- Tan, C.S., Drury, C.F., Gaynor, J.D. y Welacky, T.W. 1993. Irrigated soil, crop and water management system to abate herbicide and nitrate contamination of the great lakes. *Water Science Technology*, 28: 497-507.
- Tanner, C.C., Nguyen, M.L. & Sukias, J.P.S. 2005. Constructed wetland attenuation of nitrogen exported in subsurface drainage from irrigated and rain-fed dairy pastures. *Water Science and Technology*, 51(9): 55-61.

