

APLICACIONES Y CONCENTRACIONES DE PLAGUICIDAS EN LA ZONA REGABLE DE LA VIOLADA TRAS LA MODERNIZACIÓN

*Balcells, M.*¹, *Isidoro, D.*², *Lambea, P.*³, *Sanz, M. A.*⁴

¹ Técnica (mbalcells@aragon.es), ² Investigador (disidoro@aragon.es), Unidad de Suelos y Riegos (Unidad Asociada EEAD-CSIC),

³ Técnica (pmlambea@aragon.es), ⁴ Investigadora (masanzq@aragon.es), Unidad de Calidad y Seguridad Alimentaria,

Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA-DGA), Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza.

Introducción

La Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) ha puesto en marcha en los últimos años (desde 2004) una red de control de plaguicidas (RCP) destinada a controlar la contaminación de origen agrícola/difuso causada por plaguicidas en 22 puntos de la red hidrográfica de la cuenca, entre ellos el B^{co} Violada (estación nº 230). El muestreo de la CHE se centra en las sustancias incluidas en las listas de sustancias prioritarias y otros contaminantes y en las sustancias preferentes (Anexos I y II respectivamente del RD 60/2011; de los productos incluidos en este decreto solo alacloro, atrazina y clorpirifós se analizan en este trabajo) y se realiza 5 veces al año, en los meses considerados de mayor interés (febrero, mayo, junio, julio y septiembre). En este estudio se propuso un control más intenso (con muestras cada 21 días) a lo largo de todo el año que incluyese además el análisis de los plaguicidas en uso en la zona, no solo los incluidos en las listas sustancias prioritarias y preferentes.

El polígono de La Violada es una zona regable de 4118 ha (media de 2006 a 2011). La zona regable ocupa la parte baja de la cuenca del B^{co} de La Violada aguas arriba de la estación de aforo nº 230 de la CHE, cuya superficie total es de 19637 ha (Figura 1). La mayor parte de esa zona pertenece a la Comunidad de Regantes de Almodívar (3556 ha), y el resto corresponde a las comunidades de Tardienta (346 ha) y Gurrea (111 ha).

Se eligió el polígono de La Violada por ser una zona bien conocida en cuanto a entradas de insumos agrícolas, propiedades de sus suelos y manejo del riego puesto que ya ha sido objeto de estudios anteriores por parte del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA-DGA) (desde 1982). Un interés añadido es el proceso de transformación del regadío recién concluido y que ha convertido a la Comunidad de Regantes de Almodívar de un sistema de riego tradicional por inundación en un sistema moderno de riego por aspersión. Es por ello que se espera encontrar diferencias en cuanto a los plaguicidas durante los años de la transformación (2008 y 2009) y los dos primeros años de riego por aspersión (2010 y 2011).

El objetivo principal de este trabajo es conocer los plaguicidas presentes en las aguas del B^{co} de La Violada (salida del drenaje de la zona regable de La Violada), así como sus concentraciones. Otro objetivo es conocer el manejo que se hace de los plaguicidas en los distintos cultivos de regadío por parte de los agricultores mediante encuestas.



Figura 1. Cuenca del B^{CO} de La Violada y zona regable de La Violada.

Trabajos realizados: Análisis de plaguicidas y encuestas de campo

Los plaguicidas (insecticidas/acaricidas y herbicidas) analizados se eligieron a partir de la lista de plaguicidas más usuales en Almuévar recopilada por el Centro de Protección Vegetal del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón. En total se analizaron trece plaguicidas: Nicosulfurón (NSF), Rimsulfurón (RSF), ácido 2,4-diclorofenoxiacético (24D), Tribenurón- metil (TBM), Molinato (MTO), Atrazina (ATZ), Acetocloro (ACC), Alacloro (ALC), Malation (MLA), Clorpirifós (CPF), Diclofop-metil (DFM), Cipermetrina (CPM) y Deltametrina (DTM). Los análisis se llevaron a cabo en la Unidad de Calidad y Seguridad Alimentaria (UCySA) del CITA mediante cromatografía de gases con detector de masas (CG-MS: ATZ, ALC, ACC, CPM, CPF, DTM, DFM, MAL y MTO) y cromatografía líquida de alta resolución con detector diodo array (HPLC-DAD: 24D, NSF, RSF y TBM). En la lista original estaba incluido también el Glifosato (GTO), cuya determinación analítica se está poniendo a punto en la UCySA. En la Tabla 1 se resumen los plaguicidas analizados y la técnica empleada en cada caso: cromatografía de gases-masas (CG-MS) y cromatografía líquida de alta resolución (HPLC-DAD).

Tabla 1. Clasificación de los plaguicidas estudiados en función de la técnica de análisis empleada y su abreviatura, actividad y grupo químico al que pertenece.

Técnica	Plaguicida	Abreviatura	Actividad	Grupo químico
CG-MS	Atrazina	ATZ	herbicida	triazina
	Alaclor	ALC	herbicida	cloroacetanilida
	Acetoclor	ACC	herbicida	cloroacetamida
	Cipermetrina	CPM	insecticida/acaricida	piretroide
	Clorpirifós	CPF	insecticida	organofosforado
	Deltametrina	DTM	insecticida	piretroide
	Diclofop-metil	DFM	herbicida	ariloxifenoxipropionato
	Malation	MLA	insecticida/acaricida	organofosforado
	Molinato	MTO	herbicida	tiocarbamato
HPLC-DAD	2,4D	2,4D	herbicida	alquilclorofenoxiacido
	Nicosulfuron	NSF	herbicida	sulfanilurea
	Rimsulfuron	RSF	herbicida	sulfanilurea
	Tribenuron-metil	TBM	herbicida	sulfanilurea

Se tomaron un total de 64 muestras manuales de 2 litros en botellas de vidrio ámbar, aproximadamente cada 21 días, en la salida del drenaje de la zona regable durante los años hidrológicos 2008, 2009, 2010 y 2011. Las muestras se conservaron, desde el momento de la recogida hasta su análisis, en cámaras frigoríficas a una temperatura entre 0-3 °C, y se procesaron en un tiempo no superior a una semana desde la toma de la muestra.

Además, durante las campañas de riego de 2008, 2009, 2010 y 2011 se realizaron encuestas a los agricultores de la zona sobre aplicaciones de fitosanitarios (así como prácticas de fertilización y manejo del riego) para establecer los productos utilizados (sustancias activas), las dosis empleadas, fechas de aplicación y combinaciones de sustancias en las aplicaciones de plaguicidas. En total se realizaron 130 encuestas durante los años de estudio (29 en 2008, 17 en 2009, 32 en 2010 y 52 en 2011). El menor número de encuestas realizadas en el 2009 se corresponde con la disminución de superficie cultivada y la menor aplicación de fitosanitarios, por contrapartida se observa un aumento considerable en el año 2011, año en que prácticamente el 100% de la superficie se regó por aspersión. Los resultados de estas encuestas, en cuanto a productos empleados —sustancias activas— y fechas de aplicación, complementan a los resultados analíticos en el B^{co} Violada y permiten relacionar las fechas de aplicación con las salidas detectadas por el barranco.

Resultados y discusión

El proceso de transformación llevado a cabo en 2008 y 2009 ha dado lugar a una baja intensidad de cultivo que se refleja en (1) una mayor superficie en abandono (hasta el 45% en 2008 y 2009); (2) una mayor proporción de cereales de invierno y menor proporción de maíz con relación a años anteriores (los agricultores sembraron cebada, que puede cultivarse sin riego, a la espera de poder regarlo o completar con una segunda cosecha de maíz); (3) la permanencia en el campo de alfalfa de más de 5 años (los agricultores han preferido no levantar el cultivo y seguir realizando los cortes que sean posibles a la alfalfa antes de que las obras les obliguen a parar en 2008 y 2009); y (4) unas entradas de fertilizantes más bajas que en los años 90 (se prefiere invertir menos en los cultivos ante la posibilidad de no poder culminar su

cosecha), en parte también motivadas por el incremento en los precios del fertilizante nitrogenado. Como se verá a continuación, las aplicaciones de plaguicidas han sido inferiores en 2009 en comparación con 2008, 2010 y 2011 como consecuencia de las obras de transformación, según los resultados de las encuestas efectuadas.

La superficie regada fue casi la mitad durante los dos años de transformación (2198 ha en 2008 y 2315 ha en 2009) que en 2010 (4072 ha) y 2011 (3989 ha). En los tres primeros años de estudio el cultivo mayoritario fue el cereal de invierno; la superficie de alfalfa se redujo de 900 ha en 2008 a 300 ha en 2009-10 por las obras de transformación y la de maíz aumentó de 90 ha en 2008-09 a 400 ha en 2010, tras la transformación. A partir de 2011 (segundo año de riego por aspersión) el patrón de cultivo en la zona regable de La Violada cambia, pasando a ser el maíz el cultivo mayoritario en detrimento del cereal de invierno (Figura 2).

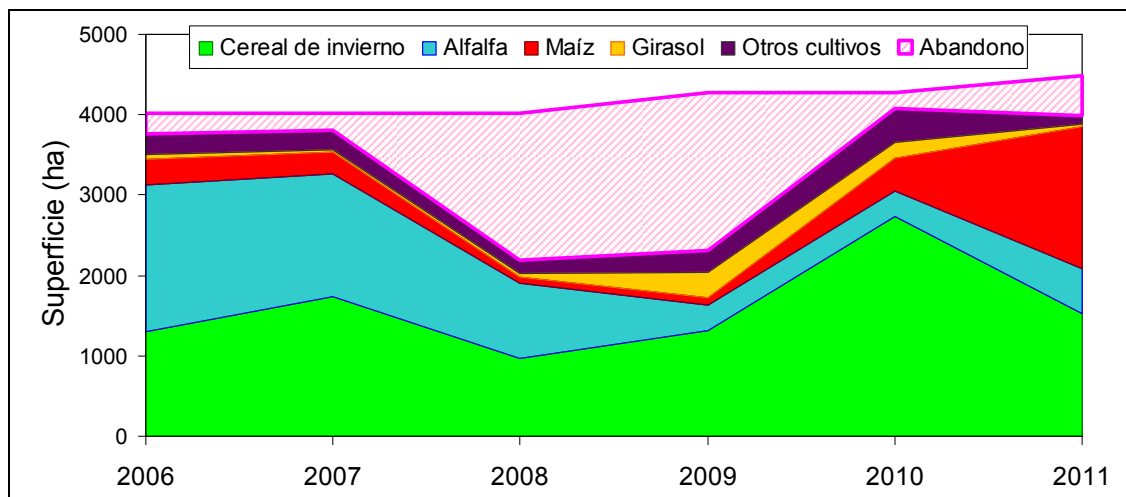


Figura 2. Evolución de la superficie cultivada en la zona regable de La Violada a lo largo del periodo 2006-2011.

En las Tablas 2, 3 y 4 se resumen las aplicaciones realizadas durante la época de estudio para los cultivos mayoritarios (cereal de invierno, alfalfa y maíz).

En cuanto al cereal (Tabla 2), el GTO fue el único herbicida empleado en presiembra y el TBM y 24D fueron los más empleados durante el periodo de invierno-primavera. Para los años 2008 y 2011 sólo un agricultor del total de los encuestados no realizó ningún tratamiento, en 2009 todos los agricultores trataron y en 2010 el 40% de los entrevistados no aplicaron nada. En el 27% de los casos los agricultores realizaron tratamientos de presiembra en el cereal, de los cuales el 87% realizaron posteriormente alguna aplicación más.

Los insecticidas más utilizados fueron CPM y MLA todos ellos aplicados en la alfalfa (Tabla 3). Sus aplicaciones se concentran en los meses de verano (finales de mayo a mitad de agosto). En 2009 la alfalfa no recibió tratamiento alguno pues no se llegó a culminar el cultivo por las obras de transformación, además por el mismo motivo, en 2008 el 50% de los encuestados tampoco realizaron ninguna aplicación. En maíz los plaguicidas más empleados fueron el ACC, OFF, DCA y ATZ (la ATZ solo hasta 2009) y sus aplicaciones se centran en los meses de abril (finales), mayo y junio (primera quincena) (Tabla 4). Todos los agricultores entrevistados para maíz en 2008, 2009 y 2010 han realizado algún tipo de aplicación. En 2011 hubo tres agricultores (13%) que no trataron al maíz, todos ellos habían cultivado previamente cebada en las parcelas (doble cultivo).

Tabla 2. Materias activas (concentración), dosis y número de encuestados (N) que han realizado cada aplicación (porcentaje sobre el total de encuestados) en el cultivo de cereal de invierno según la época de aplicación para cada año de estudio. *Dosis en g/ha.

Año y aplicación	Materia activa (%)	Dosis (L/ha)	N (%)
Año 2008			
Presiembra/Siembra	GTO (40)	1	3 (27%)
Invierno (enero-febrero)	TBM (75)	20*	3 (27%)
	GTO	1.8	1 (9%)
	DFM+TBM (36)	1,5+20	1 (9%)
Primavera (marzo-abril)	TBM (75)	15*	3 (27%)
	24D+MCPA (35+30)	0,75	2 (18%)
	DFM	2	1 (9%)
Año 2009			
Presiembra/Siembra	GTO (40)	0,92	3 (33%)
Invierno (enero-febrero)	[§] TKX+ [§] OXI	1,25+2	1 (11%)
	[§] DFM+MCPA	1,25	1 (11%)
	TBM (75)	20*	1 (11%)
Primavera (marzo-abril)	24D+MCPA (35+30)	20	2 (22%)
	MCPA	0,76	2 (22%)
	24D	0,75	1 (11%)
Año 2010			
Presiembra/Siembra	GTO (40)	1,25	3 (20%)
Invierno (enero-febrero)	TBM	0,23*	1 (7%)
	OXI	0,6	1 (7%)
	[§] OFF+TBM	1+0,3*	1 (7%)
	TKX	1	1 (7%)
Primavera (marzo-abril)	MCPA	1	1 (7%)
	TBM+TKX	30*+1,4	1 (7%)
	TBM	12,5*	3 (20%)
Año 2011			
Presiembra/Siembra	GTO (40)	1,5	6 (30%)
Invierno (enero-febrero)	TKX	1,5	1 (5%)
	TBM	20*	5 (25%)
	[§] TRS	28*	2 (10%)
	TBM+DFM	25*+1,5	1 (5%)
	DFM	2,5	2 (10%)
	TBM+ [§] IPT	24*+2,5	1 (5%)
	ACC	4	1 (5%)
Primavera (marzo-abril)	24D	0,85	3 (15%)
	TBM	19*	1 (5%)
	DFM+ [§] CSF	2,5+15*	1 (5%)
	TKX	1,5	2 (10%)
	CPF	1	1 (5%)

[§]TKX: Tralkoxidim; [§]OXI: Oxitril; [§]DFM: Diflufenicam; [§]OFF: Oxifluorfen;

[§]TRS: Trisulfuron-metil; [§]IPT: Isoproturon; [§]CSF: Clorsulfuron.

Tabla 3. Materias activas (concentración), dosis y número de encuestados (N) que han realizado cada aplicación (porcentaje sobre el total de encuestados) en el cultivo de alfalfa según la época de aplicación para cada año de estudio. *Dosis en g/ha.

Año y fecha	Materia activa (%)	Dosis (L/ha)	N (%)
Año 2008			
15-abr	[§] LCI+MLA	0,1+0,5	1 (10%)
1-jun (15-may a 15-jun)	MLA+CPM (50+10)	0,9+0,3	4 (40%)
5-jun (25-may a 15-ago)	LCI (2.5)	0,2	2 (10%)
Año 2009			
-	-	-	-
Año 2010			
15-ene	[§] TFM	33*	1 (25%)
15-abr	LCI+CPM	0,1+0,3	1 (25%)
15-abr	[§] CTD	1	1 (25%)
15-jun	MLA+CPM	0,5+0,3	1 (25%)
25-jun	LCI	0,1	1 (25%)
Año 2011			
15-feb	TFM+ [§] MTZ		1 (25%)
20-abr	LCI+DTM		1 (25%)
25-abr	DTM+MLA	0,3+0,6	1 (25%)
26-abr	LCI+CPM		1 (25%)
15-may	LCI	0,15	1 (25%)
25-jun	DTM+CPM		1 (25%)

[§]LCI: Lambda-Cihalotrina; [§]TFM: Tifensulfurón-metil; [§]CTD: Cletodim; [§]MTZ: Metribuzina

Tabla 4. Materias activas (concentración), dosis y número de encuestados (N) que han realizado cada aplicación (porcentaje sobre el total de encuestados) en el cultivo de maíz según la época de aplicación para cada año de estudio. *Dosis en g/ha.

Año y fecha	Materia activa (%)	Dosis (L/ha)	N (%)
Año 2008			
5-may	ACC (84)	4	1 (33 %)
20-may	ALC+ATZ (30+18)	4	1 (33 %)
25-jun	[§] DCA (48)	0,2	1 (33 %)
15-jun	NSF (75)	1	1 (33 %)
Año 2009			
15-abr	ACC+ATZ (36+18)	5	1 (100 %)
Año 2010			
24-abr	OFF+TKX	5+1	1 (11%)
2-may (20-abr a 15 may)	OFF+ACC	5,2+2,5	2 (22%)
11-may (1-may a 5-jun)	ACC	4,5	4 (44%)
26-may	ACC+GTO	4+1	1 (11%)
26-may	CPF		1 (11%)
25-jun	[§] DCA+ [§] FOP	0,6+0,5	1 (11%)
Año 2011			
28-abr (14-abr a 22-may)	ACC	5	14 (61%)
18-abr (16-abr a 20-abr)	ACC+GTO	4,5+1	2 (9%)
25 abr	ACC+TBZ	4	1 (4%)
18 may	DCA	1,5	1 (4%)
1-jun (20-may a 13-jun)	DCA+FOP	0,5+0,5	2 (9%)
5-jun (1-jun a 14-jun)	DCA+NSF	0,5+1	3 (13%)

[§]DCA: Dicamba; [§]FOP: Fluoroxipir; [§]TBZ: Terbutilazina

Los demás plaguicidas analizados se emplearon en menor medida. También se detectó el uso de materias activas no analizadas en los cultivos principales y en girasol, especialmente en 2010: MCPA, LCI, OXI y TKX (Tablas 2, 3 y 4).

Las mayores masas de materias activas que entraron a la zona regable corresponden a los productos más usuales en los cultivos más extendidos en cada año: GTO y TBM y algo menos 24D, MCPA y DFM (cereal, los 4 años); MLA, CPM y LCI en 2008, 2010 y 2011 (alfalfa); y ACC, DFM y OFF en 2010 y 2011 (maíz).

En cuanto a las aguas de retorno, se detectó algún plaguicida en el 89% de las muestras analizadas. Los plaguicidas encontrados con mayor frecuencia fueron CPM (35%), ATZ (34%), 24D (31%) y TBM (30%); con menor frecuencia se detectaron ACC, DTM, NSF, DFM, CPF, RSF, ALC y MLA; y en ningún caso se detectaron MTO. La elevada frecuencia de detección de ATZ (solo utilizada en maíz, cultivo con escasa superficie, en 2008 y 2009) se atribuye a su persistencia y su uso anterior en el cultivo de maíz. Se detectó ATZ en el B^{co} Violada desde octubre de 2007 hasta finales de febrero de 2010 [Figura 3(a)], a partir de entonces no se encontró ATZ en ninguna de las muestras analizadas. Para las sustancias menos frecuentes [Figura 3(b)] se observa un mayor número de detecciones en los años 2010 y 2011 que en los dos años de modernización (53 frente a 10). El ALC y el MLA solo se detectaron en una ocasión, ambos en 2011.

Las concentraciones más altas encontradas (superiores en alguna muestra al límite de 0,1 µg/L) corresponden a: (1) ACC en 2010, detectado en una única muestra con la máxima concentración registrada en este estudio: 5,51 µg/L, frente a dos únicos registros de 2008 (0,02 µg/L) y 2009 (0,05 µg/L) lo que se justifica por el aumento de la superficie de maíz en ese año. La frecuencia de detección del ACC se incrementó en casi un 50% en el año 2011 frente a lo observado en 2010 en consonancia con el aumento de la superficie cultivada de maíz; (2) CPM principalmente en 2010 (se detectó en 12 de las 17 muestras analizadas en 2010, con un registro superior a 0,5 µg/L, solo en 3 muestras en 2009 y en ninguna en 2008 y 2011); (3) TBM (detectado sobre todo en 2008, en 10 de 13 muestras, aunque la mayor concentración se dio en 2011); (4) 24D, detectado con mayor frecuencia en 2008 (en 9 muestras de 13), pero con concentraciones más altas en 2010 (solo en 4 muestras de 17, pero alcanzando 0,155 µg/L); (5) DFM, detectado una vez en 2009 y 4 en 2010 y 2011 (máximo de 0,329 µg/L); (6) NSF, detectado sobre todo en 2008, 2010 y 2011, presentando las concentraciones más altas en 2010 (máximo de 0,211 µg/L) y las mas bajas en 2011; y (7) DTM que se encontró especialmente en 2010 y 2011 (Figura 3).

En general, la frecuencia de detección de los plaguicidas fue superior en los años de riego por aspersión (2010-11) que en 2008-09 (salvo para 24D y TBM) y las concentraciones encontradas fueron también superiores estos dos años (excepto para TBM). En 2009 además, tanto las frecuencias de detección como las concentraciones son inferiores a 2008 y 2010-11 (excepto para ATZ) (Figura 3). Todo ello parece indicar una menor movilización de plaguicidas en 2009 (derivada de la menor superficie de cultivo y las menores aplicaciones) y una mayor movilización en 2010-11, debida al incremento en la superficie cultivada y en las aplicaciones de plaguicidas (Figura 2 y Tablas 2, 3 y 4). El aumento de CPM y la aparición de DTM en 2010-11 no obedecen a un aumento de la superficie de alfalfa (Figura 2), sino al aumento del uso de plaguicidas en alfalfa (Tabla 3). La aparición de ACC y CPF en 2010-11 se sigue del incremento de la superficie y de las aplicaciones de maíz (Figura 2; Tabla 4).

	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)
ALC	0,3	0,7	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01
ATZ	0,6	2	0,03	0,06	0,02	0,06	0,01	0,09	0	0
CPF	0,03	0,1	0	0	0	0	0,003	0,045	0,012	0,02

Tabla 6. Porcentaje de muestras que superan el límite de detección (%>LD) y de concentración para plaguicidas individuales admitido para aguas destinadas para consumo humano en el RD 140/2003 (%>0,1µg) para las sustancias activas más empleadas según cultivos durante los cuatro años de estudio.

Cultivo	Sustancia activa	%>LD	%>0,1 µg/L
Maíz	ATZ	34	0
	ACC	28	14
	NSF	21	2
Alfalfa	CPM	35	5
	DTM	25	2
Cereal de invierno	24D	31	5
	TBM	30	5
	DFM	16	2

Conclusiones y Recomendaciones

Los métodos analíticos puestos a punto por la UCySA permiten determinar la mayoría de los plaguicidas considerados inicialmente de interés en la zona de Almodévar.

Las sustancias activas encontradas con mayor frecuencia fueron CPM, ATZ, 24D y TBM. La ATZ es la segunda sustancia más frecuente pesar de que su uso apenas se ha verificado en los cuatro años, lo que revela un posible lavado de ATZ acumulada de las aplicaciones de años anteriores. Con el riego por aspersión (2010 y 2011), el número de detecciones se ha incrementado notablemente apareciendo también concentraciones mayores que en los años de la transformación (2008 y 2009), de menor intensidad de cultivo. Esto, unido a la detección de plaguicidas en periodos no muestreados en la RCP de la CHE indica el interés de realizar muestreos de mayor frecuencia.

Los resultados de las encuestas apuntan a un cambio en los plaguicidas empleados respecto a los considerados inicialmente. Estos datos sugieren la necesidad de desarrollar métodos de análisis para algunas de estas sustancias, especialmente GTO y en menor medida MCPA y LCI. La complejidad detectada en los patrones de aplicación de plaguicidas y la rápida evolución de los productos empleados indican la conveniencia de un mayor número de encuestas para definir correctamente las aplicaciones de fitosanitarios.

Agradecimientos

La Comunidad de Regantes de Almodévar ha facilitado la información sobre superficies de cultivo y ha colaborado en la realización de las encuestas. El Centro de Protección Vegetal (DA-GA) ha colaborado en la identificación inicial de los compuestos de interés y ha contribuido a la realización de los muestreos. José Ángel Esevenri de la Cooperativa Virgen de la Corona de Almodévar y Rocío Barros del CITA han facilitado información sobre las prácticas de manejo de fitosanitarios. Este estudio ha sido financiado por los proyectos AGL 2006-11860/AGR y AGL 2010-21681-C03-03 del Plan Nacional de I+D+i y ha contado con la colaboración de la Confederación Hidrográfica del Ebro a través de los convenios de colaboración CITA-CHE.

Bibliografía

Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas. BOE Nº 19 de 22 de enero de 2011: 6854-6870.

Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE N° 45 de 21 de febrero de 2003: 7228-7245.