

Alternativas al penoxsulam para control de *Echinochloa* spp. y ciperáceas en cultivo de arroz en el nordeste de España

G. Pardo^{1,*}, A. Marí¹, S. Fernández-Cavada², C. García-Floria³, S. Hernández⁴, C. Zaragoza¹ y A. Cirujeda¹

¹ Departamento de Sanidad Vegetal. CITA, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Avda. Montañana 930, 50059, Zaragoza, España

² Centro de Sanidad y Certificación Vegetal (CSCV). Dpto. de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Zaragoza, España

³ Atria Arroceros de Huesca, S. Lorenzo de Flúmen. Huesca, España

⁴ Atria Arroceros del Pirineo. Zaragoza, España

Resumen

Penoxsulam es un herbicida que se aplica de forma generalizada en los arrozales del nordeste peninsular al resultar eficaz frente a *Echinochloa* spp. y tener cierto control frente a ciperáceas, pero tiene el inconveniente de pertenecer a un grupo de herbicidas vulnerable a la aparición de resistencias. El objetivo del trabajo fue buscar programas de herbicidas alternativos al penoxsulam para preservar el máximo de tiempo posible las escasas materias activas disponibles. El trabajo constó de 6 ensayos, distribuidos en 3 localidades (Huesca y Zaragoza) durante tres años de cultivo (2011-2013). En cada ensayo se aplicaron 8 programas herbicidas repetidos dos veces y distribuidos al azar. Los resultados mostraron que, efectivamente, penoxsulam aplicado en estado de 1-3 hojas de arroz controla satisfactoriamente *Echinochloa* spp., con aplicación previa de oxadiazon en presiembra. Los dos mejores programas alternativos fueron: (1) Aplicación en presiembra de oxadiazon, en 1-3 hojas de arroz, profoxidim, y hasta ahijado del arroz, bentazona+MCPA, o halosulfuron-metil (2) aplicación en 1-3 hojas del arroz: propanil+bispiribac-Na, y hasta ahijado, bentazona+MCPA, controlando además ciperáceas, teniendo como inconveniente este último programa que bispiribac-Na es del mismo modo de acción que penoxsulam (aunque pertenece a otra familia química). Los resultados muestran, por tanto, que existen varias combinaciones eficaces sobre las malas hierbas objetivo para prevenir la aparición de resistencias a los herbicidas.

Palabras clave: Malas hierbas, pata de gallo, juncia de agua, castañuela, resistencia a herbicidas.

Abstract

Alternatives to penoxsulam to control *Echinochloa* spp. and cyperaceous weeds in rice crop in NE Spain

Penoxsulam is commonly-used in rice crop in North eastern Spain with excellent control against *Echinochloa* ssp. and with some effect on Cyperaceae, but it belongs to an herbicide group prone to develop resistant biotypes. The aim of this work was to test herbicide programmes alternative to penoxsulam to preserve the efficacy of the few available active ingredients. The work consisted of 6 trials. Located in three locations during three years (2011-2013). In each trial eight herbicide programmes were applied, in two replicates distributed randomly in the field. The results showed that, effectively, penoxsulam had

* Autor para correspondencia: gpardos@aragon.es

<http://dx.doi.org/10.12706/itea.2015.019>

a good control on *Echinochloa* spp. after applying oxadiazon presowing. The best two alternative programmes to control *Echinochloa* spp. and cyperaceous weeds were: (1) oxadiazon presowing followed by an application of profoxydim at 1-3 leaves stages of the rice and a third treatment until rice tillering of bentazone + MCPA or halosulfuron-metil and (2) propanil + bispyribac-Na at 1-3 leaves stage of the rice, a second treatment until rice tillering of bentazone + MCPA controlling both *Echinochloa* spp. and cyperaceous weeds. The drawback of this second programme is that bispyribac-Na belongs to the same mode of action group as penoxsulam although to different chemical families. However, the results show that it is possible to control the target weeds with several herbicide combinations to prevent herbicide-resistance appearance.

Key words: Weeds, barnyardgrass, late watergrass early watergrass, smallflower umbrella, sedge, herbicide resistance.

Introducción

Importancia de las malas hierbas en el cultivo del arroz

El cultivo de arroz en España alcanzó en 2013 más de 112.000 ha con una producción media de 7,8 t/ha. Hasta el año 2011 en el nordeste de la península (Navarra y Aragón) se sembraron más de 15.000 ha, habiéndose producido un descenso desde entonces (MAGRAMA, 2014) debido a sequías y a transformaciones de regadío.

Las malas hierbas son responsables de las mermas de rendimiento en arroz en mayor medida que las plagas o enfermedades (Oerke, 2006). A nivel mundial, se estima en un 37% la reducción de rendimiento en el arroz como consecuencia de ellas, suponiendo una producción media mundial de 3,9 t/ha. No obstante, como el rendimiento en España es mayor, es de esperar que la competencia también lo sea: el propio Oerke demuestra que la competencia de las hierbas se incrementa paulatinamente al aumentar el rendimiento potencial. En esta línea, para Europa se estima que las malezas sin controlar podrían causar entre un 55-60% de pérdidas en arroz (Oerke, et al., 1994) o concretamente en Italia hasta el 92% (Ferrero et al., 1999).

El cultivo del arroz sembrado en Europa presenta el problema adicional de que en la gran mayoría de los casos se realiza en forma de mo-

nocultivo, es decir, sin rotaciones. La rotación de cultivos es un método agronómico muy eficaz y frecuente en el manejo de las hierbas en muchos cultivos (Anderson, 2007). Sin embargo, no es una opción disponible para la mayoría de arrozales españoles, debido a la salinidad del suelo, aunque en zonas con niveles algo inferiores se está rotando con cebada o festuca.

A nivel mundial, la mala hierba más nociva y de difícil manejo en arroz es el arroz rojo o salvaje (*Oryza sativa* var. *sylvatica*) aunque en el noreste de España apenas prolifera. Poco frecuentes, de momento, son otras gramíneas del género *Leptochloa* spp. Más habituales son ciperáceas como *Cyperus difformis* y *Scirpus mucronatus* (especie perenne que se reproduce por tubérculos). Pero en Europa, también en las distintas áreas españolas, las especies del género *Echinochloa* son las que requieren mayores medidas de control (Osuna et al., 2012). Su manejo en arroz resulta muy complejo porque se trata de especies gramíneas muy similares al cultivo, con gran diversidad genética, germinación escalonada y gran capacidad de ahijamiento (Vidotto y Ferrero, 2013).

Por otra parte, la taxonomía de este género siempre ha sido fuente de controversia y contradicción entre los botánicos. Esto es así porque las especies de *Echinochloa* presentan un elevado polimorfismo y porque aún siendo plantas autóгамas, es relativamente frecuen-

te su hibridación interespecífica, apareciendo individuos con características intermedias, por lo que resulta difícil identificarlas y clasificarlas. Así, se han propuesto hasta 7 clasificaciones, siendo la más útil para España la de Carretero (1981). Este autor establece que en España, en zonas arroceras, existen 5 especies: *E. crus-galli*, *E. colonum*, *E. hispidula*, *E. oryzoides* y *E. oryzicola* (*E. phyllopogon*), aunque *E. colonum* prefiere condiciones de no inundación y es poco frecuente o ausente en arrozales. Desde hace algún tiempo es frecuente complementar las caracterizaciones morfológicas de *Echinochloa* spp. con las moleculares para identificar de manera rápida y correcta las diferentes especies y subespecies (Yasuda et al., 2002; Ruiz-Santaella et al., 2006; Tabacchi et al., 2006; Mennan y Kaya-Altóp, 2012).

Control químico de *Echinochloa* spp. y ciperáceas en cultivo de arroz

En el arroz la aplicación de herbicidas es mucho más complicada que en cualquier otro cultivo por las condiciones de inundación. Los requerimientos técnicos varían mucho de unas materias activas a otras. Unas veces es necesario incrementar el nivel de agua en la parcela (molinado, aplicación muy temprana) y otras lo contrario; para que *Echinochloa* spp. absorba los herbicidas se requiere que la planta sobrepase la lámina de agua con lo que se debe vaciar la parcela antes de tratar (p.e cihalofop y profoxidim). Posteriormente, para incrementar el efecto del herbicida se debe elevar el nivel del agua. La temperatura también tiene mucha importancia, pues si éstas son bajas, la mayoría de herbicidas frente *Echinochloa* pierden eficacia. En arrozales del norte de la península éste es un gran inconveniente, que se manifiesta sobre todo en los tratamientos de pre y postemergencia temprana que, por otra parte, es casi obligatorio realizar. Estas bajas temperaturas, además, hacen que el arroz en estas zonas, a diferencia de las del resto de

España, germine y se desarrolle lentamente y las malas hierbas, mejor adaptadas, ocupen antes el terreno. Esto hace necesario que haya tratamientos eficaces y selectivos en etapas iniciales del cultivo y además con herbicidas que sean activos en ambientes de bajas temperaturas, lo cual no es fácil de conseguir. Hay que tener en cuenta que los herbicidas pueden resultar fitotóxicos para el arroz y que éste es más sensible cuanto más joven es (Aguilar, 2010).

Por otra parte, es de esperar que las distintas especies de *Echinochloa* tengan distinta sensibilidad frente a un herbicida concreto, por lo que tener conocimiento de ello ayudaría a diseñar mejor los tratamientos (Senero et al., 2011). Algunos estudios previos muestran que propanil controla de manera eficaz *E. oryzicola* y *E. oryzoides* mientras que *E. hispidula* o *E. crus-galli* se controlan con eficacias algo peores. Ocurre justo al revés con profoxidim, cihalofop y molinado, es decir, se controlan con elevadas eficacias *E. hispidula* y *E. crus-galli* y con eficacias peores *E. oryzicola* y *E. oryzoides*. El azimsulfuron, en cambio, controla todas ellas con eficacias intermedias (Taberner, 2006).

También en Italia se han observado diferencias en la sensibilidad de las especies de *Echinochloa*. Concretamente, *E. crus-galli* resultaba más sensible frente a 5 materias activas (propanil, molinado, cihalofop-butyl, bensulfuron-metil y azimsulfuron) que *E. erecta* o *E. phyllopogon* (*E. oryzicola*) mientras todas tenían una susceptibilidad parecida al quinclorac (Vidotto et al., 2007).

En cuanto a la eficacia, las materias activas con tratamientos correctamente aplicados pueden obtener muy buenos resultados aún cuando se desconozca las especies de *Echinochloa* tratadas. Así, en un ensayo realizado en las marismas sevillanas se obtuvo un excelente control sobre *Echinochloa* spp. con los herbicidas profoxidim, bispiribac-Na y penoxsulam a los 30 días después del tratamiento y sin apenas fitotoxicidad al cultivo (Montes y Delgado,

2005). En otro ensayo en Chile aplicaciones de 20 a 40 g i a/ha penoxsulam aplicado sobre el agua consiguieron un 100% de control sobre *Echinochloa* spp. (Kogan et al., 2011).

En cuanto a ciperáceas, en la península destacan la especie *Cyperus difformis* (anual que se reproduce por semillas) y las del género *Scirpus* (normalmente perennes que se reproducen vegetativamente). Esto hace que *C. difformis* se disperse más rápidamente y que *Scirpus* spp. presente, en principio, mayor dificultad para ser controlada por herbicidas. Los herbicidas autorizados que más efecto tienen sobre este grupo de malezas son en su mayoría inhibidores de la enzima Acetolactato Sintasa (ALS) (Taberner, 2006). Por ejemplo en Chile (Kogan et al., 2011) encontraron una eficacia del 60% sobre *S. mucronatus* y del 90% frente a *C. difformis* con penoxsulam. Aunque también se logra un buen control con bentazona (interrupción del flujo de electrones en el fotosistema II), en *C. difformis*, mientras que MCPA obtiene peores resultados (Pardo et al., 2013b).

Las resistencias de malas hierbas del arroz frente a los herbicidas

El cultivo de arroz es una situación particularmente vulnerable a la aparición de resistencias según los criterios del CPRH (2000) porque (1) suele ser un monocultivo; (2) en una misma campaña se pueden dar hasta tres aplicaciones herbicidas (muchas veces con mezclas) para abarcar todo el espectro de flora que suele aparecer; (3) de los 18 herbicidas autorizados en España, 14 de ellos pertenecen a los grupos A o B, por lo que no existen muchas posibilidades a la hora de rotar su uso (Tabla 1); (4) la mayor parte de estas materias activas son inhibidoras ALS (Tabla 1.1), el modo de acción más propenso a generar resistencias (Heap, 2014).

De hecho, ya se han descrito numerosos casos de resistencias a herbicidas en malas hierbas

de arroz. Por ejemplo, hay 3 casos de resistencia en *S. mucronatus*, 8 casos de resistencia en *C. difformis*, todos ellos frente a herbicidas ALS (Heap, 2014), a los que hay que añadir otro descrito para Extremadura recientemente frente a penoxsulam (Pardo et al., 2013a). Pero el caso más preocupante es el de *Echinochloa*, pues hay 61 casos de resistencia a herbicidas en 6 especies (Heap, 2014) y está descrita como una de las situaciones en que más frecuentemente aparecen resistencias (Rao et al., 2007).

En los arrozales del norte de la península el control de *Echinochloa* se basa en gran medida en la aplicación de penoxsulam, que es una materia activa relativamente nueva y muy eficaz, por lo que los agricultores cada vez la usan más (Hernández y García, comunicación personal). De lo descrito anteriormente se deduce que si no se proponen alternativas a esta situación, la aparición de biotipos de *Echinochloa* resistentes a penoxsulam será un hecho en un futuro cercano. Por tanto, existe la necesidad de buscar alternativas al uso del penoxsulam en el control de *Echinochloa* para preservar esta herramienta durante el máximo de tiempo posible. Por otro lado, el control de ciperáceas es también complicado, por lo que en el presente trabajo se plantean tres objetivos: 1) Control de *Echinochloa* spp. con herbicidas alternativos al penoxsulam para la prevención de aparición de resistencias. 2) Evaluación de la eficacia de diferentes programas de herbicidas sobre cada especie concreta de *Echinochloa*. 3) Control de ciperáceas con diferentes programas herbicidas.

Material y métodos

Se realizaron en total seis ensayos, tres en la provincia de Huesca: San Lorenzo de Flúmen de 2011 a 2013 (41° 53'N, 0° 11'W en 2011 y 2013; 41° 52'N, 0° 12'W en 2012) y otros tres en la provincia de Zaragoza: Santa Anastasia en

Tabla 1. Materias activas autorizadas en cultivo de arroz (2014) y modo de acción
 Table 1. Active matters authorized in rice crop (2014) and mode of action

Materia activa	Registrada	Registrada	Registrada	Modo de acción
	<i>Echinochloa</i> spp.	<i>Cyperus</i> spp.	<i>Scirpus</i> spp.	
azimsulfuron	X	X	X	Inhibidor ALS
bensulfuron-metil	–	X	–	Inhibidor ALS
bentazona	–	X	–	Inhibidor PSII
bispiribac-sodio	X	X	–	Inhibidor ALS
cletodim ¹	–	–	–	Inhibidor ACCasa
cicloxidim ¹	X	–	–	Inhibidor ACCasa
cihalofop-butil	X	–	–	Inhibidor ACCasa
clomazona	X	–	–	Inhibidor HPPD
halosulfuron-metil	–	X	–	Inhibidor ALS
Imazamox ^{2,3}	X	X ⁴	X	Inhibidor ALS
imazosulfuron	–	X	–	Inhibidor ALS
MCPA	–	–	–	Auxina sintética
molinato	X	–	–	Inhibidor síntesis lípidos
ortosulfamuron	–	X	–	Inhibidor ALS
oxadiazon ¹	X ⁵	–	–	Inhibidor PPO
penoxsulam	X	X	–	Inhibidor ALS
profoxidim	X	–	–	Inhibidor ACCasa
propaquizafop ¹	X	–	–	Inhibidor ACCasa

Tabla elaborada a partir del Registro de Productos Fitosanitarios del MARM.

¹ En presiembra; ² Solo en variedades "Clearfield"; ³ Solo controla bien *E. crus-galli*;

⁴ Medianamente sensible ⁵ Cierta acción complementaria.

2011 y 2012 (42° 9'N, 1° 14'W) y Ejea de los Caballeros en 2013 (42° 8'N, 1° 3'W). La siembra se realizó en todos los casos de forma manual, a voleo con la variedad "Guadamar" (tipo japónica), en las fechas indicadas en la Tabla 2.

Todos los años se aplicaron un total de 8 programas herbicidas en las fechas indicadas en la Tabla 2, que fueron elegidos de acuerdo a criterios de técnicos de la zona para controlar

Echinochloa pero también ciperáceas. Para cumplir con el objetivo del trabajo, algunas combinaciones tuvieron penoxsulam y otras sus posibles alternativas: profoxidim, bispiriba-Na...). No se incluyó cihalofop porque se le ha observado poca eficacia en la zona, con bajas temperaturas, sobre todo en aplicaciones tempranas que es cuando debe aplicarse. Algunos de estos programas fueron sustituidos o ligeramente modificados de un año a otro,

Tabla 2. Fecha de siembra y de los distintos tratamientos herbicidas realizados en los ensayos
 Table 2. Sowing date and herbicide treatments schedule of trials

Año	Localidad	Siembra	Presiembra	Postemergencia temprana ¹	Postemergencia tardía ²
2011	SLF (Hu)	19/05	13/05	16-18/06	26-28/06
	SA (Z)	16/05	10/05	14-16/06	01-03/07
2012	SLF (Hu)	02/06	28/05	25/06-03/07	05-10/07
	SA (Z)	05/06	30/05	02/07	06-27/07
2013	SLF (Hu)	01/06	27/05	03-09/07	22/07
	EDC (Z)	27/05	14/05	05/07	29/7

¹ Estado fenológico del arroz menor de tres hojas, salvo los tratamientos con molinato que se aplicaron 1-2 días tras la siembra.

² Estado fenológico del arroz antes de ahijado. SLZ (Hu): San Lorenzo de Flúmen (Huesca). SA (Z): Santa Anastasia (Zaragoza). EDC (Z): Ejea de los Caballeros (Zaragoza).

en función de los resultados obtenidos (Tabla 3). Cada parcela estuvo separada de la adyacente con caballones permitiendo tener entrada y salida de agua independiente para evitar problemas de contaminaciones entre tratamientos y poder controlar el nivel del agua según las necesidades del producto a aplicar.

Cada parcela elemental tratada dispuso de una parcela testigo adyacente de las mismas dimensiones. Las parcelas se distribuyeron en dos bloques al azar, siendo la parcela elemental de 100 m² (25x4) incluidos los testigos. Los tratamientos se realizaron con mochila de palanca marca "Maruyama" con barra de 2 m y boquillas Teejet® XR 110. Se realizaron dos pasadas en cada parcela. El volumen de caldo aplicado fue de 250 l/ha. Se añadieron los mojanteres recomendados en cada caso.

La eficacia de los programas ensayados se valoró todos los años entre septiembre y octubre cuando el arroz estaba ya espigado y su grano en estado de lechoso a duro. Para ello se contaron las inflorescencias de *Echinochloa* spp., y de ciperáceas presentes. El conteo se realizó lanzando un cuadro de 0,25 m², 4 veces al azar en la zona central de cada parcela. Posteriormente se determinó la eficacia mediante

la fórmula de Abbot: $E = 100 - (H/T * 100)$ siendo H la densidad en las parcelas tratadas y T la densidad en la parcela testigo adyacente (Ciba-Geigy, 1992). Además, en los dos últimos años en cada ensayo, se recogieron, siempre que fue posible (cuando la eficacia no fue total) diez panículas al azar en cada una de las parcelas tratadas y en los testigos, para identificar posteriormente en laboratorio la especie concreta de *Echinochloa* de que se trataba, empleando la clave de Carretero (2004).

En ensayos de malas hierbas suele ser frecuente que haya dificultad para normalizar los datos y conseguir varianzas homogéneas, aunque se realicen transformaciones, imposibilitando en estos casos realizar ANOVAs. Por ello, en la actualidad se tiende cada vez más a realizar estadística descriptiva (Onofri et al., 2009). En este estudio, se optó por representar los resultados en el llamado gráfico de cajas y bigotes o boxplot, ya que las transformaciones arco-seno y raíz (x) no lograron normalizar los datos. Este gráfico representa la mediana, los cuartiles, el límite superior e inferior, y los datos atípicos. Estos gráficos se realizaron con ayuda del software R (R Core Team, 2014) y siguiendo el protocolo descrito en Ritz y Streibig (2009).

Tabla 3. Programas de herbicidas aplicados cada año
 Table 3. Programmes of applied herbicides each year

Programa	Año		Presiembra		Postemergencia temprana		Postemergencia tardía	
	2011	2012	Materia activa	Dosis g i.a./ha	Materias activas	Dosis g i.a./ha	Materias activas	Dosis g i.a./ha
1	x	x	oxadiazon	500	penoxsulam+bensulfuron-metil	40 + 60	-	-
2	x	x	oxadiazon	500	penoxsulam+halosulfuron-metil	40 + 3,75	-	-
3	x	x	oxadiazon	500	profoxicidim	100	bentazona+MCPA	1600 + 240
4	x	x	oxadiazon	500	profoxicidim	100	halosulfuron-metil	3,75
5	x		oxadiazon	500	clomazona	360	bentazona+ MCPA	1600 + 240
6	x		oxadiazon	500	clomazona+bensulfuron-metil	360 + 60	-	-
7	x	x	-	-	penoxsulam	40	bentazona+ MCPA	1600 + 240
8	x	x	-	-	molinato ¹	4320	halosulfuron-metil	3,75
5.1		x	-	-	penoxsulam+propanil	40 + 528	propanil	528
6.1	x	x	oxadiazon	500	propanil+MCPA	528 + 300	propanil	528
7.1		x	-	-	propanil+bispiribac-Na	528 + 12,2	bentazona+ MCPA	960 + 300
8.1		x	-	-	molinato*	4320	bentazona+MCPA	1000

¹ Aplicación en imbibición de la semilla de arroz (1-2 días tras la siembra).

Resultados y discusión

Control sobre *Echinochloa* spp.

Los programas 1 y 2 (penoxsulam+bensulfuron y penoxsulam+halosulfuron) fueron, como era de esperar, los más eficaces para controlar las especies de *Echinochloa*. En cualquier situación su eficacia no bajó del 90%. Hay que tener en cuenta que, además, esta eficacia se consigue solo con la adición previa de oxadiazon, y sin tener que aplicar otros herbicidas en postemergencia tardía (Figura 1). Ello explica por qué los agricultores usan en gran medida penoxsulam frente a *Echinochloa*. El resto de herbicidas de la mezcla, en principio, tendrían poca eficacia sobre esta gramínea, ya que solo están registrados para ciperáceas (Tabla 1). Los resultados coinciden con los de Kogan et al. (2011) que consiguieron un 100% de eficacia utilizando penoxsulam sobre *Echinochloa* en arrozales chilenos.

El programa 3 (oxadiazon/profoxidim/bentazona+MCPA) se presenta como una buena alternativa a los dos anteriores con un control muy bueno si exceptuamos el ensayo de Santa Anastasia en 2011. Esto indica que profoxidim es también una buena herramienta para controlar *Echinochloa*. El programa 4 (oxadiazon/profoxidim/halosulfuron) también obtuvo controles satisfactorios en la mayoría de las situaciones, lo cual refuerza el potencial del profoxidim como alternativa al penoxsulam.

Con el resto de programas ensayados se consiguieron resultados algo menos satisfactorios y variables. Los programas 5 y 6 a base de clomazona, con bentazona en postemergencia temprana y mezclado con bensulfuron, respectivamente, consiguieron eficacias que oscilaron entre el 50 y el 80% en 2011. Se debe tener presente que los programas 5 y 6 fueron diseñados para el control de ciperáceas. Los resultados de eficacia obtenidos sobre *Echinochloa* son inferiores a los publicados por otros autores. Sin embargo, aunque

en este trabajo la clomazona solo se incluye en 2 localidades y solo 1 año, estos resultados de eficacias intermedias pueden ser interesantes porque se trata de un modo de acción diferente del resto de herbicidas disponibles en este cultivo. Probablemente, si se pone a punto la forma de aplicación de esta sustancia, se podría considerar como alternativa. En otros estudios realizados en el valle del Ebro (Zaragoza), clomazona sí se muestra muy eficaz para controlar *Echinochloa* spp. (Cavero et al., 2011) aunque se trataba de situaciones distintas: el cultivo de arroz en aspersión, la aplicación del herbicida en presiembra y la especie *E. crus-galli* que en principio, dentro de este grupo de especies, es la mejor controlada por este producto.

Con el programa 7, a base de penoxsulam/bentazona+MCPA se obtuvieron resultados algo peores que con 1 y 2 (50-90% eficacia). Estos resultados confirman la utilidad de las aplicaciones de oxadiazon en presiembra. En 2013 se decidió sustituir el penoxsulam por la mezcla propanil+bispiribac-Na (tratamiento 7.1), obteniendo un resultado excelente. Por ello, bispiribac-Na podría ser una buena alternativa al penoxsulam ya que, aunque su modo de acción es el mismo, pertenece a distinta familia química. Respecto al propanil, programas 5.1 y 6.1, hay que decir que se han obtenido resultados variables. Aunque algunos autores han obtenido resultados muy buenos sobre *Echinochloa* con este producto (Pacanosc y Glatkova, 2009), lo han hecho en base a una dosis de aplicación mucho mayor que en este trabajo (4900 vs 528 g i.a./ha). Se tienen dudas sobre la eficacia de este producto a la dosis actualmente autorizada en España, casi 7 veces menos que la anterior. Además, es posible incluso que interfiera en la acción del penoxsulam si se aplican juntos, pues el tratamiento 5.1 obtuvo, en general, eficacias muy bajas.

Con el programa 8, a base de molinato/halosulfuron, o su sustituto en 2013, el 8.1, moli-

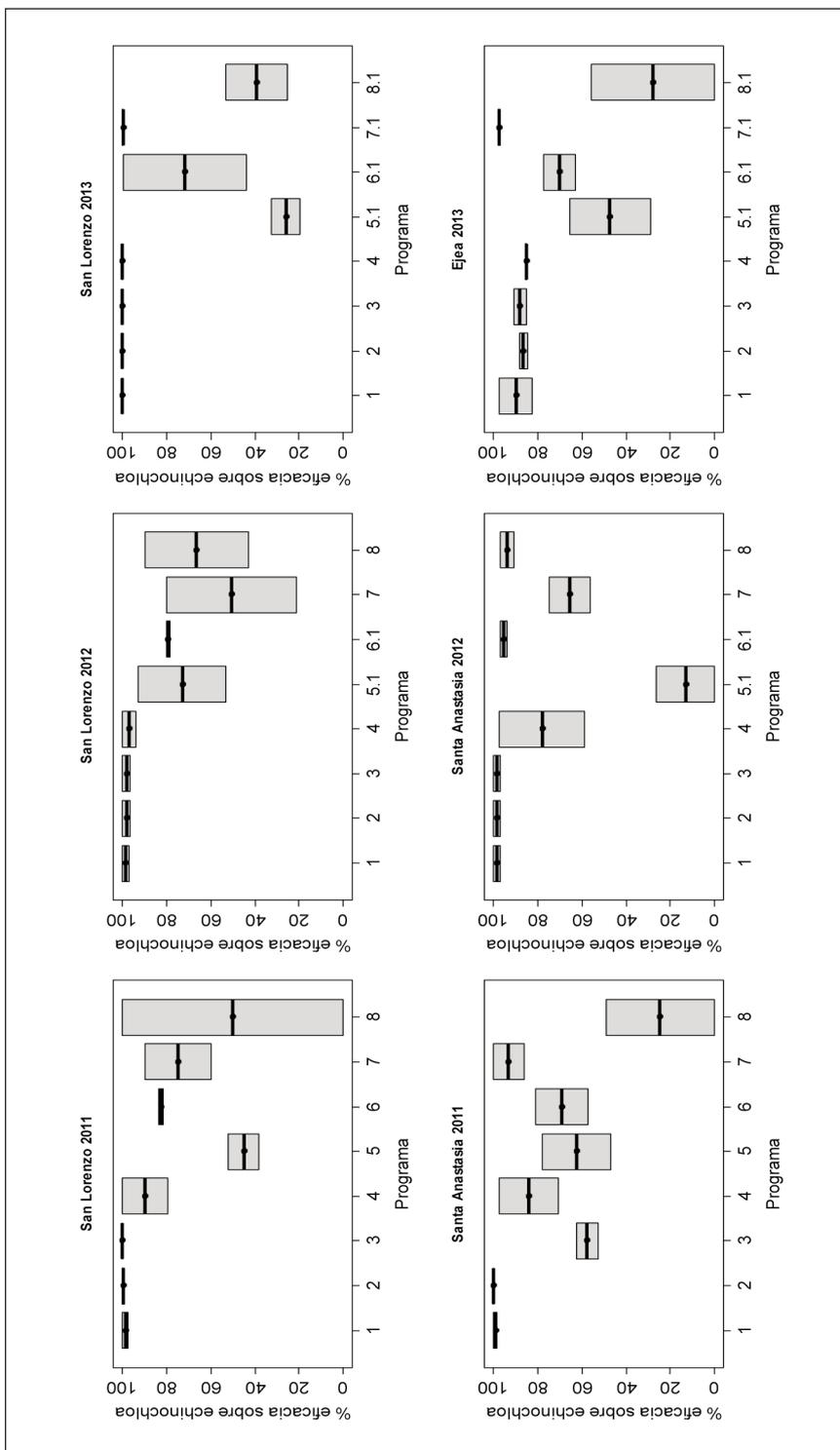


Figura 1. Eficacia de los diferentes programas sobre *Echinochloa* spp. a los 120 días tras la siembra.
 Figure 1. Efficacy of different programmes for *Echinochloa* spp. control at 120 days after sowing.

1: oxadiazon 500 / penoxsulam + bensulfuron-metil 40+60 / - **2:** oxadiazon 500 / penoxsulam+ halosulfuron-metil 40+3,75 / - **3:** oxadiazon 500 / proflorim 100 / bentazona+MCPA 1600+240. **4:** oxadiazon 500 / proflorim 100 / halosulfuron-metil 3,75. **7:** - / penoxsulam 40 / bentazona+MCPA 1600+240. **8:** - / molinato 4320 / halosulfuron-metil 3,75. **5.1:** - / penoxsulam+propanil 40+528 / propanil 528. **6.1:** oxadiazon 500 / propanil+MCPA 528+300 propanil 528. **7.1:** - / propanil+bispiribac-Na 528+12,2 / bentazona+MCPA 960+300. **8.1:** - / molinato 4320 / bentazona+MCPA 1000. Secuencia empleada en los programas: presiembr a / postemergencia temprana / postemergencia tardía. Las cifras tras las materias activas indican los g i.a/ha.

nato/bentazona+MCPA se obtuvieron, en la mayoría de las situaciones, los peores resultados del estudio (excepción Santa Anastasia, 2012). Ello puede ser lo esperado ya que, molinato, aunque está registrada para *Echinochloa*, es una materia que lleva muchos años aplicándose, y es normal que la flora se vaya adaptando poco a poco y pierda eficacia con el paso de los años o incluso haya biotipos resistentes, pues en California (EEUU) ya se ha demostrado este hecho en *E. crus-galli*, *E. oryzoides* y *E. oryzicola* (Heap, 2014).

En definitiva, los herbicidas que tienen eficacias similares al penoxsulam y que podrían sustituirlo y formar parte de programas herbicidas para controlar *Echinochloa* spp, serían el profoxidim y el bispiribac-Na.

Distribución de las distintas especies de *Echinochloa* spp.

Los resultados muestran que la especie dominante cuando no se trata con herbicidas (testigo) es *E. crus-galli*, con la excepción de San Lorenzo en 2012, en la que abundaban más *E. oryzoides* y *E. oryzicola* (Figura 2). Los resultados son los esperables, ya que se trata de zonas arroceras relativamente recientes y *E. crus-galli* se puede considerar autóctona de la zona, mientras que las otras especies son más típicas de zonas arroceras más tradicionales, mejor adaptadas a la inundación y, aunque hay excepciones con algunas materias activas, menos susceptibles a la mayoría de los herbicidas que se aplican en arroz (Vidotto et al., 2007).

La distribución de especies tras los tratamientos varía, aunque como norma general, *E. crus-galli* disminuye su proporción tras los tratamientos. Ello confirmaría lo dicho en el apartado anterior relativo a la mayor susceptibilidad general de esta especie frente a la mayoría de herbicidas aplicados, hecho también observado por Damalas et al. (2008). También se sabe que *E. oryzoides* y *E. oryzi-*

cola emergen más tarde y como muchos antigramíneas de los distintos programas se aplican muy temprano, simplemente escapan al tratamiento, pues cuando aparecen, el herbicida ya no es absorbido y es la causa de un control diferencial (Chun et al., 1996).

Los tratamientos más efectivos, sobre todo los que tienen como base a penoxsulam, para controlar gramíneas, siguiendo a oxadiazon (programas 1 y 2) parecen controlar a todas las especies muy eficazmente. La excepción sería Ejea en 2013 donde la eficacia fue algo peor, aunque controlando totalmente *E. crus-galli* pero quedando individuos aislados de *E. oryzoides* y *E. oryzicola*.

A propanil se le achaca mejor control sobre *E. oryzoides* o *E. oryzicola* en Cataluña (Taberner, 2006), pero de los resultados de nuestro estudio (programas 5.1, 6.1 y 7.1) sólo puede constatar esta afirmación débilmente en San Lorenzo 2013. Molinato (programas 8 y 8.1) sí hace descender la proporción de *E. crus-galli* en tres de las cuatro situaciones estudiadas (no varía respecto al testigo en Ejea, 2013). Por último, profoxidim (programas 3 y 4) cumple lo esperado y todos los años hace disminuir la proporción de *E. crus-galli* respecto a las demás especies, de manera ligera en Santa Anastasia en 2012 y más clara en el resto de situaciones.

En resumen, los resultados del estudio están en la línea de lo consultado en la bibliografía, excepto en el caso del propanil, aunque hay que tener en cuenta su baja dosis, y que no se ha probado una materia activa sola, sino en mezclas, y tanto el oxadiazon como las materias más encaminadas a controlar ciperáceas enmascaran posiblemente los resultados.

Control sobre ciperáceas

La menor densidad y mayor heterogeneidad en campo de *Cyperus* spp. y *Scirpus* spp. fueron las causas que explican que los datos sean variables de un ensayo a otro. No se mues-

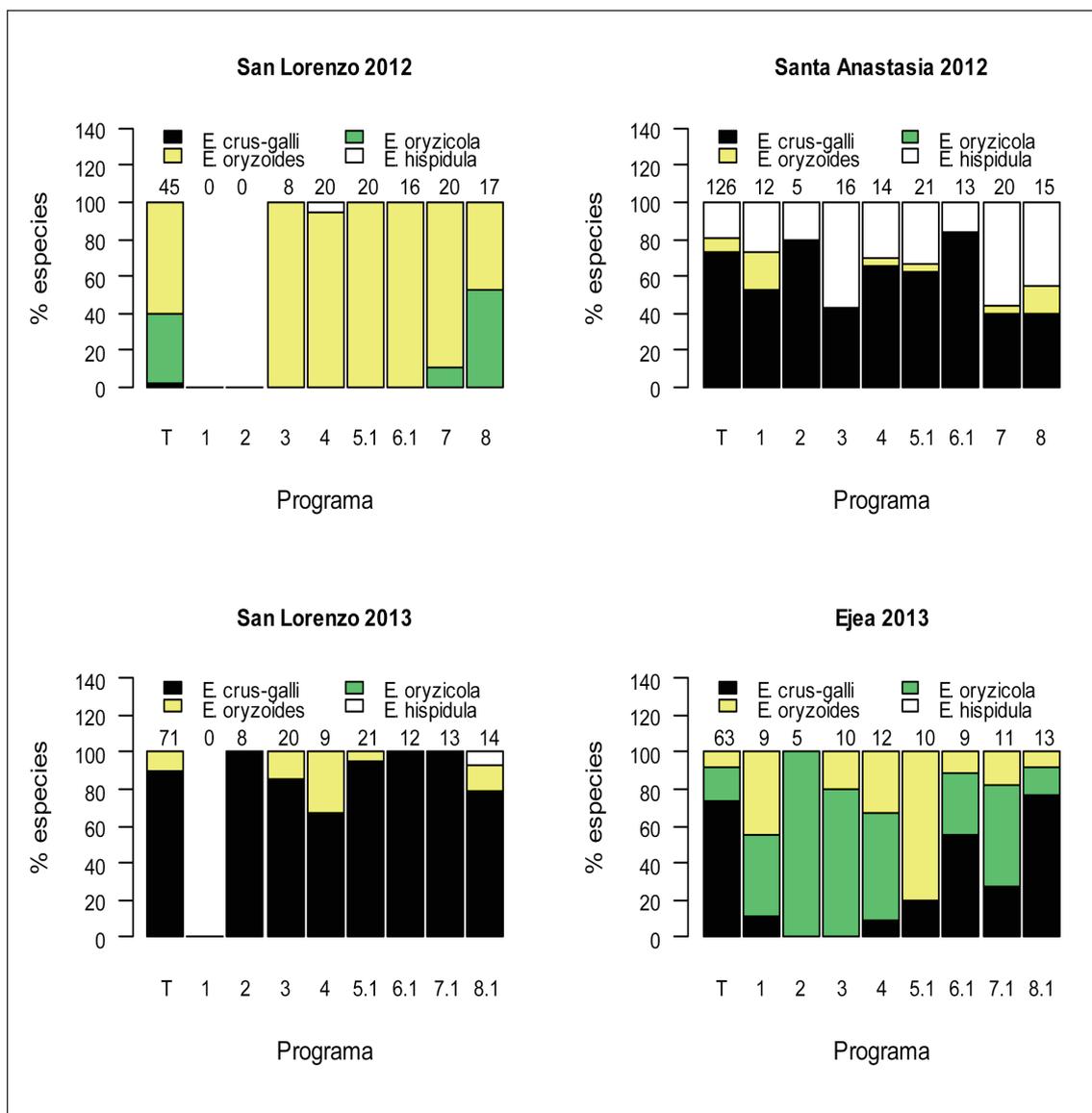


Figura 2. Porcentaje de cada especie de *Echinochloa* spp. en cada ensayo y en cada programa aplicado.
 Figure 2. Percentage of each species of *Echinochloa* spp. by trial and in each programme applied.

T: Testigo. **1:** oxadiazon 500 / penoxsulam + bensulfuron-metil 40+60 / -. **2:** oxadiazon 500 / penoxsulam + halosulfuron-metil 40+3,75 / -. **3:** oxadiazon 500 / profoxidim 100 / bentazona+MCPA 1600+240. **4:** oxadiazon 500 / profoxidim 100 / halosulfuron-metil 3,75. **7:** - / penoxsulam 40 / bentazona+MCPA 1600+240. **8:** - / molinato 4320 / halosulfuron-metil 3,75. **5.1:** - / penoxsulam+propanil 40+528 / propanil 528. **6.1:** oxadiazon 500 / propanil+MCPA 528+300 propanil 528. **7.1:** - / propanil+bispiribac-Na 528+12,2 / bentazona+MCPA 960+300. **8.1:** - / molinato 4320 / bentazona+MCPA 1000. Secuencia empleada en los programas: presiembra / postemergencia temprana / postemergencia tardía. Las cifras tras las materias activas indican los g i.a/ha. El n° sobre las barras indica el n° de panículas analizadas para cada programa.

tran los datos de control en Santa Anastasia 2012 debido a la baja densidad de ciperáceas en los testigos, lo que impidió obtener resultados fiables.

Del conjunto de los ensayos se desprende que bentazona fue la materia activa que consiguió mejores resultados. Los programas que incluyeron esta materia activa (3, 5, 7 y 7.1) obtuvieron alrededor de un 70-95% de control (Figura 3) con la excepción del programa 8.1 en la localidad de San Lorenzo en 2013. Más concretamente, esta materia activa consigue los mejores resultados en el programa 3 (oxadiazon/profoxidim/bentazona+MCPA) a pesar de que se presupone poco efecto, tanto a oxadiazon como a profoxidim, que ni siquiera están registrados para ciperáceas (Tabla 1). MCPA tampoco lo está pero se sabe que sí puede mostrar efecto en la práctica (Pardo *et al.*, 2013b). Aparte de estar registrada para este grupo de especies, en otros ensayos bentazona ha ejercido un control excelente en *Cyperus difformis* resistente a penoxsulam (Pardo *et al.*, 2013a), así que estos resultados fueron los esperados.

Con el programa 7.1 propanil+ bispiribac-Na/bentazona+MCPA también se obtuvieron resultados muy buenos. A priori, bispiribac-Na controla bien ciperáceas, con lo que su efecto se añade al de la bentazona. Además, se sabe que el MCPA incrementa el efecto de la bentazona utilizada por sí sola (González-Blanco *et al.*, 2013). Se encontraron eficacias inferiores si en lugar de añadir bispiribac-Na, se emplea clomazona aunque se haya aplicado además oxadiazon en presiembra (programa 5) molinato (programa 8.1) o penoxsulam (programa 7). Este último programa, en teoría debería ser eficaz, porque a parte de bentazona, penoxsulam está registrado para ciperáceas y ha mostrado buen control en otros estudios (Kogan *et al.*, 2011), aunque también hay trabajos realizados en España donde se muestra la baja eficiencia de penoxsulam sobre ciperáceas (González-Blanco *et al.*, 2013) o que pueden generar resistencias (Pardo *et al.*, 2013a).

Propanil aplicado dos veces en el programa 6.1 oxadiazon/propanil+MCPA/propanil, también dio un control casi total en 3 de las 4 veces que se ensayó, no obstante como ya no consta en la lista de productos autorizados en España (2014) para arroz no es necesario insistir en los resultados obtenidos.

Con halosulfuron-metil y sus mezclas se obtuvieron resultados inferiores a los conseguidos por bentazona, pero buenos en el caso de aplicaciones tempranas y mezclado con penoxsulam, y tras aplicar oxadiazon en presiembra (programa 2). Ello es lo esperable ya que tanto halosulfuron-metil como penoxsulam están registrados en España para ciperáceas (Tabla 1). El programa 4 (oxadiazon/profoxidim/halosulfuron) obtiene resultados más irregulares en función de los años y puede ser debido a que profoxidim no controla ciperáceas. Y mucho peor control ejerce el programa 8 (molinato/halosulfuron), ya que el molinato no está registrado para ciperáceas.

Para finalizar conviene señalar que con el programa 1 (oxadiazon/penoxulam+bensulfuron) se obtuvieron resultados discretos sobre ciperáceas, aunque a priori todas las materias activas deberían tener algún efecto sobre esta familia, aunque desde hace tiempo ya se detectaron en Badajoz biotipos resistentes de *C. difformis* a bensulfuron (Ruíz-Santaella *et al.*, 2004). Por último, el programa 6 (oxadiazon/clomazona+bensulfuron) fue el que peores resultados obtuvo, es de suponer que por el insuficiente control ejercido por la clomazona sobre estas especies.

En resumen, parece claro que bentazona es un herbicida interesante para formar parte de programas para controlar ciperáceas; además tiene la ventaja de que pertenece a un grupo de acción distinto al de los inhibidores ALS, al que pertenecen prácticamente el resto de herbicidas que tienen efecto sobre este grupo de especies.

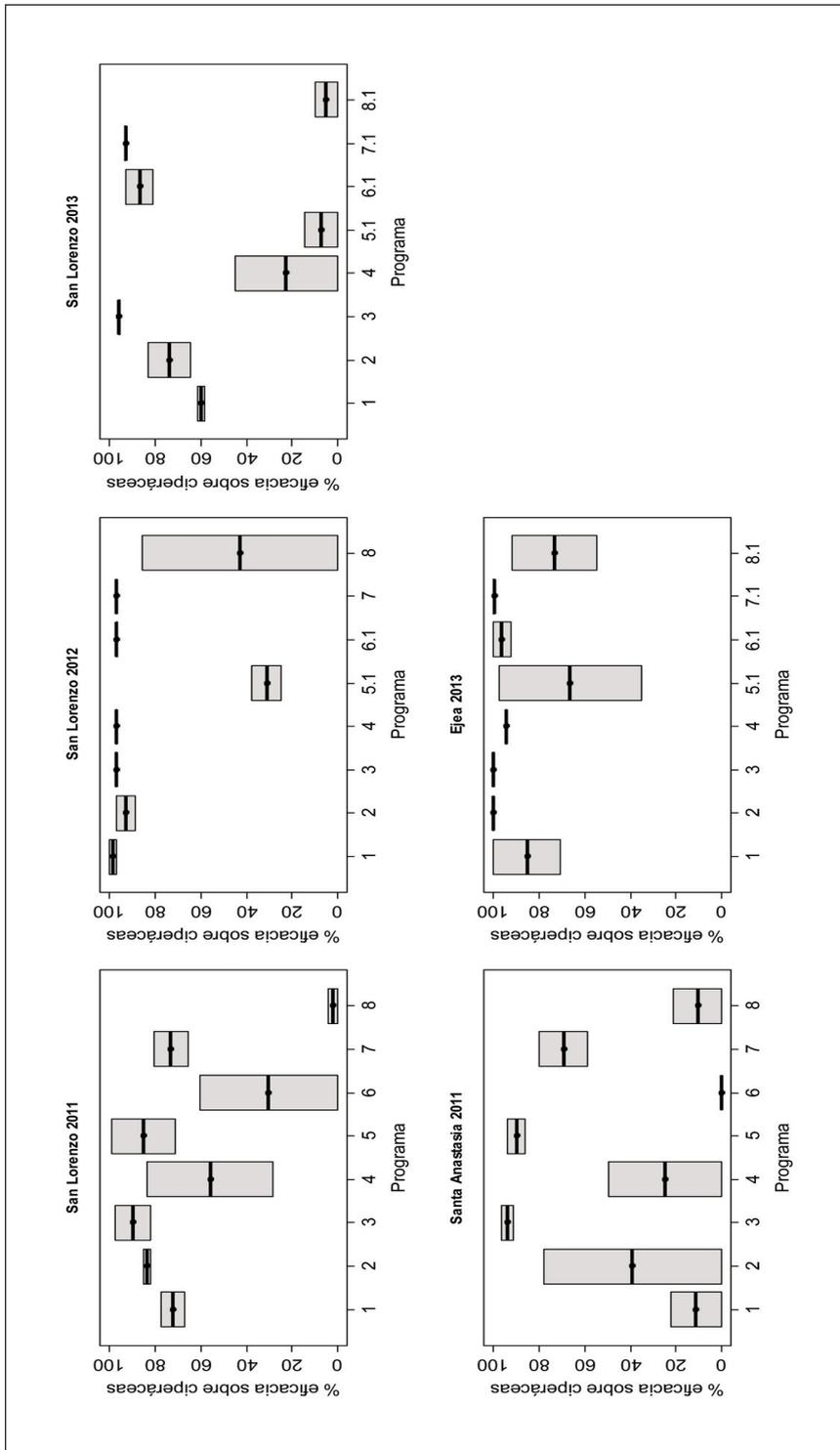


Figura 3. Eficacia los diferentes programas sobre ciperáceas a los 120 días tras la siembra.

Figure 3. Efficacy of different programmes for cyperaceous weeds control at 120 days after sowing.

1: oxadiazon 500 / penoxsulam + bensulfuron-metil 40+60 / - **2:** oxadiazon 500 / penoxsulam+ halosulfuron-metil 40+3,75 / - **3:** oxadiazon 500 / profloridim 100 / bentazona+MCPA 1600+240. **4:** oxadiazon 500 / profloridim 100 / halosulfuron-metil 3,75. **7:** - / penoxsulam 40 / bentazona+MCPA 1600+240. **8:** - / molinato 4320 / halosulfuron-metil 3,75. **5.1:** - / penoxsulam+propanil 40+528 / propanil 528. **6.1:** oxadiazon 500 / propanil+MCPA 528+300 propanil 528. **7.1:** - / propanil+bispiribac-Na 528+12,2 / bentazona+MCPA 960+300. **8.1:** - / molinato 4320 / bentazona+MCPA 1000. Secuencia empleada en los programas: presiembra / postemergencia temprana / postemergencia tardía. Las cifras tras las materias activas indican los g.i.a/ha.

Conclusiones

Dos materias activas, profoxidim y bispiribac-Na, han mostrado alta eficacia en el control de *Echinochloa* spp., por lo que pueden ser alternativas a penoxsulam. En cuanto a ciperáceas, bentazona se muestra como la mejor materia para controlar ciperáceas mejorando su efecto si se añade MCPA.

Aunque los resultados muestran que existen, de momento, herbicidas alternativos al penoxsulam, se recomienda hacer uso de otros métodos no químicos de control complementarios, como los culturales, mecánicos en presiembra, y si es posible, rotar el cultivo para prevenir la aparición de resistencias.

Agradecimientos

El trabajo fue financiado por la Encomienda de Gestión del centro de Sanidad y Certificación vegetal del Gobierno de Aragón al CITA (decreto 173/2009 de 6 de octubre). Se agradece a Francisco Pinos, Francisco Alayeto y Pedro Marcellán el haber cedido los campos donde se llevaron a cabo los ensayos y a José García Vera la realización de los tratamientos.

Bibliografía

- Aguilar M (2010). Producción integrada del arroz en el sur de España. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, 316 pp.
- Anderson RL (2007). Managing weeds with a dualistic approach of prevention and control. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 27: 13-18
- Carretero JL (1981). El género *Echinochloa* Beauv. en el suroeste de Europa. *Anales Jardín Botánico de Madrid*, 38: 91-108.
- Carretero JL (2004). Flora arvense española. Las malas hierbas de los cultivos españoles. *Phytoma*, Valencia, 754 pp.
- Cavero J, Zaragoza C, Cirujeda A, Anzalone A, Faci JM, Blanco O (2011). Selectivity and weed control efficacy of some herbicides applied to sprinkler irrigated rice (*Oryza sativa* L.). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9: 597-605.
- Ciba-Geigy (1992). *Manual for Field Trials in Plant Protection*. 3rd edn. Plant Protection Division, Ciba-Geigy Limited, Suiza.
- Chun JC Kim SE, Park NI (1996). Difference in early growth of *Echinochloa* species and the differential susceptibility to herbicides. *Korean Journal of Weed Science*. 16: 194-199.
- CPRH (2000). La resistencia de las malezas a los herbicidas. Comité de Prevención de Resistencias a Herbicidas. Tríptico. SPV. Lérida. España.
- González-Blanco J, Senero E, Romano Y, Osuna MD, Palmerín JA (2013) Control químico de *Cyperus difformis* en diferentes estadios de desarrollo. *Phytoma España* 250: 95-99.
- Damalas CA, Dhima KV, Eleftherohorinos IG (2008). Morphological and Physiological Variation among Species of the Genus *Echinochloa* in Northern Greece. *Weed Science*, 56: 416-423.
- Ferrero A, Vidotto F, Balsari P, Airoldi G (1999). Mechanical and chemical control of red rice (*Oryza sativa* L. var. *sylvatica*) in rice (*Oryza sativa*) pre-planting. *Crop Protection*, 18: 245-251.
- Heap I (2014). The international survey of herbicide-resistant weeds. Disponible online en: www.weedscience.org.
- Kogan M, Gómez P, Fischer A, Alister C (2011). Using penoxsulam ALS inhibitor as a broad-spectrum herbicide in Chilean rice. *Ciencia e Investigación Agraria*, 38(1): 83-93.
- MAGRAMA (2014). Superficies y producciones anuales de cultivo de acuerdo con el Reglamento (CE) 543/2009. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>.
- Mennan H, Kaya-Altın E (2012). Molecular techniques for discrimination of late watergrass (*Echinochloa oryzicola*) and early watergrass (*Echinochloa oryzoides*) species in Turkish rice production. *Weed Science* 60(4): 525-530.

- Montes F, Delgado F (2005). Control químico de *Echinochloa* spp. en el cultivo del arroz en las Marismas del Guadalquivir. Actas del X Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 5-7 octubre 2005, Huelva, España, pp. 533-537.
- Oerke EC, Dehne, HW, Schönbeck F, Weber A (1994). Crop production and crop protection: estimated crop losses in major food and cash crops. Elsevier Science. Holanda. 808 pp.
- Oerke EC (2006). Crop losses to pests. Journal of agricultural Science, 144: 31-43.
- Onofri A, Carbonell EA, Piepho HP, Mortimer AM, Cousens RD (2009) Current statistical issues in Weed Research. Weed Research, 50: 5-24.
- Osuna MD, Romano Y, Quiles JM (2012). Principales malas hierbas y métodos de control en el cultivo de arroz en España. Vida Rural, 339: 74-77.
- Pacanosc Z, Glatkova G (2009). The use of herbicides for weed Control in direct wet-seeded rice (*Oryza sativa* L.) in rice production regions in the republic of Macedonia. Plant Protection Science, 45(3): 113-118.
- Pardo G, Hens R, Espejo R, Paniagua L, Urbano JM (2013a). *Cyperus difformis* resistente a penoxsulam. Dosis respuesta. Actas del XIV Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 5-7 noviembre 2013, Valencia, España, pp.149-152.
- Pardo G, Hens R, Espejo R, Paniagua L, Urbano JM (2013b). Opciones para el control de *Cyperus difformis* resistente a penoxsulam. Actas del XIV Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 5-7 noviembre 2013, Valencia, España, pp.145-148.
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Rao AN, Johnson DE, Sivaprasad B, Ladha JK, Mortimer AM (2007). Weed management in direct-seeded rice. Advances in Agronomy, 93: 153- 255.
- Ritz C, Streibig JC (2009). Workshop on the free Statistical Software R. Agricultural Institute of Slovenia, 1000 Ljubljana.
- Ruiz-Santaella JP, Bastida F, Franco AR, De Prado R (2006). Morphological and molecular characterization of different *Echinochloa* spp. and *Oryza sativa* populations. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54 (4): 1166-1172.
- Ruiz-Santaella JP, Bakkaliu Y, Osuna MD, De Prado R, (2004). Evaluation of resistance in *Cyperus difformis* populations to ALS inhibiting herbicides. Communications in agricultural and applied biology sciences, 69(3): 91-6.
- Senero ME, Romano Y, González-Blanco J, Gordillo J, Osuna MD (2011). Control de *Echinochloa* spp. en arrozales en Extremadura. Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 24-24 noviembre, La Laguna, España, pp.169-172.
- Tabacchi M, Mantegazza R, Spada A, Ferrero A (2006). Morphological traits and molecular markers for classification of *Echinochloa* species from Italian rice fields. Weed Science, 54: 1086-1093.
- Taberner A (2006). Control de malas hierbas en arroz. Dossier Tecnico 12: 19-24. http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_DT%5CDT_200612_19_24.pdf.
- Vidotto F, Tesio F, Tabacchi M, Ferrero A (2007). Herbicide sensitivity of *Echinochloa* spp. accessions in Italian rice fields. Crop Protection, 26: 285-293.
- Vidotto F, Ferrero A (2013). Weed management in Italian Rice. Actas del XIV Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 5-7 noviembre 2013, Valencia, España, pp 139-144.
- Yasuda K, Yano A, Nakayama Y, Yamaguchi H (2002). Molecular identification of *Echinochloa oryzicola* and *E. crus-galli* using a polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism technique. Weed Biology Management, 2(1): 11-17.

(Aceptado para publicación el 20 de enero de 2015)