

### **3 A.6 - ROTACIONES DE CULTIVOS HERBÁCEOS EN AGRICULTURA ECOLÓGICA DE AMBIENTES SEMIÁRIDOS Y SU EFECTO SOBRE LA FLORA ARVENSE Y EL RENDIMIENTO DEL CEREAL.**

C. Lacasta<sup>1</sup>, E. Estalrich<sup>1</sup>, R. Meco<sup>2</sup> y M. Benítez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>CSIC. Centro de Ciencias Medioambientales. Finca Experimental “La Higuera” 45530 Santa Olalla. Toledo, España. E-mail: csic@infonegocio.com.

<sup>2</sup>Servicio de investigación Agraria. Consejería de Agricultura de Castilla-La Mancha, C/ Pintor Matías Moreno, 4. 45071 Toledo, España. E-mail: ramonmeco@jccm.es.

<sup>3</sup>CSIC. Centro de Ciencias Medioambientales. C/ Serrano 115 dup., 28006 Madrid, España. E-mail: ebvbg77@ccma.csic.es

**Resumen:** En un experimento de larga duración (16 años) de Agricultura Ecológica de cultivos herbáceos en ambientes semiáridos, se ha evaluado durante 9 años (1999-2008) la evolución de la flora arvensis y los rendimientos de cereal en diferentes rotaciones ecológicas (cebada-barbecho, cebada-veza forraje, cebada-veza enterrada, cebada-girasol, cebada-garbanzo) y se ha comparado con dos monocultivos de cebada uno con fertilización y escarda química y el otro en las mismas condiciones que las rotaciones ecológicas sin fertilización y sin escarda; en todos los manejos se han dejado en el suelo los residuos de cosecha.

Los resultados indican que la pluviometría es la causante de la variabilidad en los rendimientos y en la abundancia de la flora arvensis, que todas las rotaciones ecológicas a excepción de la rotación cebada-garbanzo, producen más que el testigo monocultivo de cebada con fertilización y escarda química y además tienen mayor diversidad florística y un recubrimiento total similar de flora arvensis.

**Palabras clave:** Herbicidas, secano, garbanzo, veza, girasol.

## **INTRODUCCIÓN**

La rotación de cultivos es un factor importante que afecta a la dinámica de poblaciones de malas hierbas, sobre todo reduciendo la densidad total de malas hierbas, la razón es que una secuencia de cultivos difiere en el tiempo de siembra, maduración, competitividad, manejo del suelo, etc. De modo que la germinación, crecimiento y reproducción de las especies de malas hierbas se vería interrumpida al menos algunos años.

Las rotaciones puede causar un cambio en la flora adventicia a favor de especies que germinan en otoño y primavera y especies con germinación generalista (SANTIN *et al.*, 2007).

En un cultivo de cereal sometido a la rotación: Barbecho-cebada-veza enterrada-trigo, el manejo convencional con fertilización y escarda química obtenía solo un aumento de rendimiento por hectárea, en los valores medios de 10 años; de un 5 % cuando se comparaba con un manejo ecológico (LACASTA *et al.*, 2007), confirmando una vez más que en los secanos semiáridos españoles las producciones no dependen de la utilización de herbicidas o fertilización química, sino de las condiciones meteorológicas.

En el presente trabajo se estudia, durante 9 años (1999-2008), la evolución de la flora arvensis y su influencia en la producción de cebada en seis rotaciones ecológicas y una convencional, monocultivo de cebada; en un experimento que se estableció en 1992.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se realiza en la Finca Experimental “La Higuera” en Santa Olalla, Toledo, España, perteneciente al Centro de Ciencias Medioambientales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). El suelo es de textura arcillosa uniforme, profundo, con una gran capacidad de retención de agua. El diseño experimental es de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las variables fueron: seis rotaciones ecológicas; cebada-barbecho (C-B), cebada-veza forraje (C-VF), cebada-veza enterrada (C-VE), cebada-garbanzo (C-GAR), cebada-girasol (C-GIR) monocultivo de cebada (c-c) y una convencional, monocultivo de cebada (C-C). La parcela elemental es de 400 m<sup>2</sup> (20 x 20 m). Los dos cultivos de las rotaciones se siembran todos los años.

El monocultivo convencional se fertiliza con abonos complejos antes de la siembra y con nitrato amónico cálcico en el inicio del ahijado con una fórmula 90-45-45. La fertilización de las rotaciones ecológicas se basa en la fijación de nitrógeno de los cultivos de leguminosas, cuando existen, y en los residuos de cosecha. Las labores todas son superficiales, menos de 15 cm. Para la escarda en C-C se utilizaron herbicidas. La veza enterrada para abono verde se incorporó al suelo con gradas en mayo.

El muestreo de malas hierbas, se realizó todos los años (1999-2008), en el mes de mayo. Como las malas hierbas tienen una distribución agregada, se consideró que la medida que mejor representaría el problema era la de la cobertura o recubrimiento, en tanto por ciento, de cada especie dentro de cada parcela, a través de una estimación visual.

Los resultados de producción fueron sometidos al análisis de la varianza, las diferencias entre tratamientos fueron separadas por medio del test de Tukey a un nivel de probabilidad de  $P < 0,05$ . Para el tratamiento estadístico de las malas hierbas se ha realizado el análisis del test de t para muestras pareadas (cada conjunto de datos obtenido en cada una de las parcelas se considera parte de un proceso en el tiempo) mediante el programa informático STATISTICA (StatSoft Inc., Tulsa, Oklahoma, USA). Para el cálculo del índice de la biodiversidad de Shannon, el programa utilizado ha sido BioDiversity.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La media de los nueve años de los rendimientos de cebada, pone de manifiesto que el monocultivo de cebada convencional con fertilización y escarda química, en los ambientes semiáridos donde se desarrolla el experimento, es muy poco productivo, teniendo producciones inferiores a la mayoría de las rotaciones ecológicas, incluso algunas de ellas, como C-B y C-VF, duplican los rendimientos del tratamiento C-C (Tabla 1). LÓPEZ BELLIDO y LÓPEZ BELLIDO GARRIDO (1999) y LACASTA y MECO (2005), en experimentos de larga duración y en agricultura convencional, coinciden en la menor productividad del monocultivo de cebada frente a las rotaciones de cultivo, produciendo el monocultivo de cebada alrededor de un 30% a un 50% menos que las rotaciones.

En los 9 años de seguimiento de la flora arvense (Tabla 2) ha habido 121 especies repartidas en 26 familias botánicas, habiendo todos los años un recubrimiento de malas hierbas (Mh) en el experimento, superior al 15% y 3 años que se superó el 30% (2002, 2004 y 2008). Las especies más importantes, que representaban el 75 % de recubrimiento de malas hierbas en el experimento, han sido por orden de importancia: *Anacyclus clavatus* (Desf.) Per, *Convolvulus arvensis* L., *Lolium rigidum* Gaudin, *Cirsium arvense* (L.) Scop. *Scandix pecten-veneris* L., *Torilis nodosa* (L.) Gaertnery, *Filago pyramidata* L., *Galium tricornutum* Dandy. Todas las rotaciones ecológicas tienen mayor diversidad que el monocultivo de cebada convencional. Los estudios, donde se comparan los modelos de agricultura ecológica y la convencional, señalan que la biodiversidad de la flora arvense, así como la proporción de especies vegetales, es mayor en los cultivos ecológicos que en los convencionales (CHAMORRO *et al.*, 2007).

La cobertura de malas hierbas en las rotaciones C-B, C-VF y C-GIR tienen un comportamiento semejante al monocultivo con herbicida (C-C) y todas con un recubrimiento medio en los 9 años por malas hierbas alrededor del 20% (Tabla 2). La rotación C-VE, tiene un recubrimiento alrededor del 25%, recubrimiento tolerable para la producción de cereal en secano. La rotación C-GAR

supera el 30% de recubrimiento de malas hierbas, encontrándose en una zona límite para su viabilidad económica. El monocultivo ecológico (c-c) supera el 45% de recubrimiento haciéndole prácticamente inviable.

**Tabla 1.** Rendimiento en kilos por hectárea y año en diferentes rotaciones ecológicas y convencional

Años	Rotaciones ecológicas											Convencional		
	C-B		C-VE		C-VF		C-GAR		C-GIR		c-c		C-C	
99-00	1763	a	2023	a	2400	a	1819	a	2531	a	1319	b	2129	a
00-01	981	a	559	bcd	755	abc	453	e	513	d	58	e	121	e
01-02	2058	b	2093	b	2774	a	2051	b	1366	c	2219	ab	2435	ab
02-03	3518	a	1576	c	2468	b	1535	c	2818	ab	124	d	1435	c
03-04	2593	ab	2109	b	2811	a	1183	c	2667	ab	372	d	1176	c
04-05	1378	abc	1550	ab	1614	a	342	de	774	cd	72	e	508	de
05-06	3608	a	1810	d	2358	bc	1736	d	2338	bc	1285	d	2873	abc
06-07	2701	a	2646	a	2945	a	918	b	2508	a	823	b	1162	b
07-08	1205	a	1232	a	1467	a	151	b	385	b	41	c	336	b
Media	2255		1697		2149		1046		1671		624		1256	

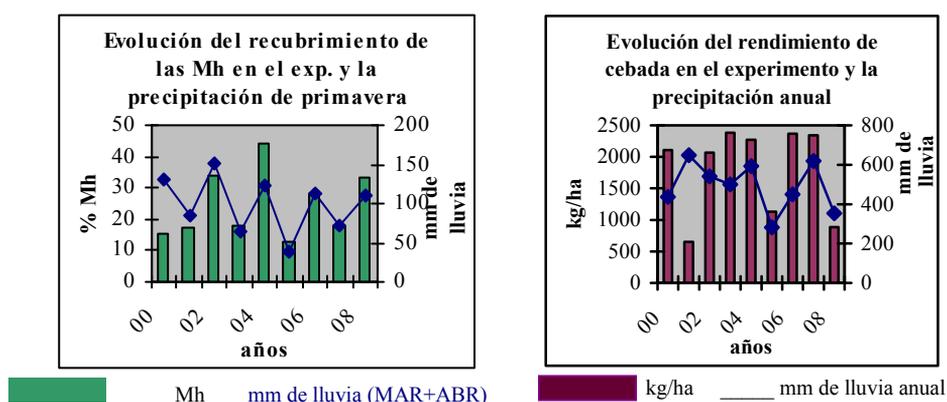
Los valores seguidos con letras distintas en una misma fila difieren significativamente ( $P < 0,05$ ; test Tukey). Los valores en negrita son los más altos del año.

**Tabla 2.** Recubrimiento medio en tanto por ciento de las 8 especies más importantes, recubrimiento medio de todas las malas hierbas, nº de especies, nº de familias y el índice de biodiversidad en las diferentes rotaciones.

Especies	Rotaciones ecológicas											Convencional		
	C-B		C-VE		C-VF		C-GAR		C-GIR		c-c		C-C	
<i>A. clavatus</i>	3,07	a	4,74	ab	3,72	ab	7,00	b	8,37	ab	5,04	ab	5,94	ab
<i>C. arvensis</i>	5,69	b	3,83	b	4,11	b	4,46	b	3,72	ab	2,48	a	1,78	a
<i>L. rigidum</i>	0,82	a	2,41	b	1,33	ab	3,76	b	1,48	b	3,85	b	2,24	b
<i>C. arvense</i>	0,50	b	3,33	c	0,78	b	3,15	c	0,09	a	5,48	c	0,82	b
<i>S. pecten-v</i>	1,02	ab	1,17	ab	1,20	ab	1,24	b	0,24	a	7,41	c	0,65	ab
<i>T. nodosa</i>	0,41	a	1,83	bcd	2,56	d	1,59	abc	0,82	ab	2,37	cd	1,69	abcd
<i>F. pyramidata</i>	0,74	a	1,48	a	1,13	a	1,11	a	1,89	a	3,80	a	0,41	a
<i>G. tricornutum</i>	1,48	abc	1,72	bc	0,33	a	1,91	c	0,35	a	3,59	c	0,61	ab
<b>Total de Mh</b>	19,58	a	25,51	ab	21,21	a	33,54	bc	23,36	ab	46,62	c	17,45	a
<b>Nº especies</b>	70		75		74		81		74		69		63	
<b>Nº familias</b>	21		22		22		24		20		24		23	
<b>Shannon</b>	1,81		2,10		2,15		2,35		1,91		2,28		1,71	

Los valores seguidos con letras distintas en una misma fila difieren significativamente ( $P < 0,05$ ; test Tukey). Los valores en negrita son los más bajos

Tanto la evolución de las malas hierbas como los rendimientos del cereal están relacionados con la pluviometría, pero mientras la producción de cebada se relaciona principalmente con la precipitación total, la flora arvense está más relacionada con las precipitaciones de primavera y más concretamente con las precipitaciones de los meses de marzo y abril (Fig. 1). Los años que no es tan clara esta relación es el año 2001 para la producción de cebada y el 2000 para las malas hierbas. El año 2001 las precipitaciones de otoño e invierno fueron tan intensas que se tuvo que sembrar a finales de febrero y el año 2000 el banco de semillas había sido mermado durante los dos años anteriores debido a que el año anterior 1999-2000 fue muy seco (292 mm) y 1998-1999 el otoño fue muy lluvioso y se sembró en invierno previo laboreo. Como las primaveras lluviosas en el periodo de estudio se han alternado, la presencia de malas hierbas ha mostrado también un claro diente de sierra. Cuando se comparan los gráficos de la figura 1, se observa también la poca relación que hay entre los rendimientos del cereal y la presencia de malas hierbas.



**Figura 1.** Evolución del recubrimiento de las malas hierbas y el rendimiento de cebada, en las rotaciones ecológicas, con diferentes periodos de precipitación anual.

### CONCLUSIONES

1. Las rotaciones ecológicas obtienen un rendimiento superior al monocultivo de cebada convencional con fertilización y escarda química, llegando en alguna rotación y en la media de los 9 años a producir un 80% más.
2. Tanto la evolución de las malas hierbas como los rendimientos del cereal están relacionados con la pluviometría, pero mientras la producción de cebada se relaciona principalmente con la precipitación total, la flora arvense está más relacionada con las precipitaciones de primavera y más concretamente con las precipitaciones de los meses de marzo y abril.
3. Hay poca relación entre los rendimientos del cereal y la presencia de malas hierbas, cuando estas tienen una cobertura menor del 25 %.
4. La cobertura de malas hierbas en la cebada ecológica, en rotación con barbecho, girasol o veza para heno, es similar al monocultivo de cebada que se usa herbicida para el control de la flora

arvense. Todas las rotaciones ecológicas tienen mayor diversidad que el monocultivo de cebada convencional.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Servicio de Investigación de la Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha por la financiación del proyecto 166/CH-46 “Mejora de la fertilidad del suelo a través de la rotación de cultivos” y a Luis Martín de Eugenio y José Ramón Vadillo, por su dedicación a los trabajos experimentales de campo.

## BIBLIOGRAFIA

- CHAMORRO, L.; ROMERO, A.; MASALLES, R. M.; SANS, F. X. (2007). Cambios en la diversidad de las comunidades arvenses en los cereales de secano en Cataluña. XI Congreso SEMh. La Malherbología en los nuevos sistemas de producción agraria, 51-57.
- LACASTA, C.; ESTALRICH, E.; MECO, R.; BENITEZ, M. (2007). Interacción de diferentes escardas y fertilizaciones sobre el control de la flora arvense y el rendimiento del cereal. XI Congreso SEMh. La Malherbología en los nuevos sistemas de producción agraria, 197-202.
- LACASTA, C.; MECO, R. (2005) Interacción entre laboreo y rotaciones de cultivos en ambientes semiáridos en la producción del cereal y las propiedades químicas y bioquímicas del suelo. El Reto de la Agricultura, el Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria Común. Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación, 423-428.
- LÓPEZ BELLIDO L, LÓPEZ BELLIDO GARRIDO R J. (1999). Sistemas agrícolas de secano mediterráneos. Actas del Congreso Europeo de Agricultura Sostenible en Ambientes Mediterráneos, 105-112.
- SANTIN, I.; TENORIO, J. L.; GARCIA-BAUDIN, J.M. (2007). Efectos de las prácticas agronómicas en la comparación de la flora adventicia de un campo. XI Congreso SEMh. La Malherbología en los nuevos sistemas de producción agraria, 165-169.

Summary: Effect of different rotations of organic arable crops in semiarid environments on weed population and barley grain yield

In a long-term experiment (16 years) on organic herbaceous arable crops in semiarid environments, the evolution of weeds and barley grain yields in different rotations (barley-fallow, barley-forage vetch, barley-buried vetch, barley-sunflower, barley-chickpea) has been assessed during eight years (1999-2007). The results have been compared with the obtained in two monoculture barley crops, one of them subjected to both chemical fertilization and weed control, and the other conducted under the same conditions as organic rotations, with no fertilization and weed control; in all the managements, the crop residues were left on the soil.

Results indicated that rainfall is the main cause of variability in yields and weed abundance. On the other hand, all rotations except barley-chickpea were more productive than barley monoculture with both chemical fertilization and weed control, and also presented a greater diversity of flora and a similar total recovery of weeds.

Key words: Rotations, monoculture, chickpea, vetch, sunflower.