

Rotaciones de cultivos herbáceos en agricultura ecológica de ambientes semiáridos y su efecto sobre la flora arvense y el rendimiento del cereal, 24 años de experimentación

Carlos Lacasta¹✉, Enrique Estalrich¹, Fernando Cordero¹

¹CSIC. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Finca Experimental «La Higuera» 45530 Santa Olalla. Toledo. España
✉ c.lacasta@mncn.csic.es

Resumen: En un experimento de larga duración (24 años) de agricultura ecológica de cultivos herbáceos en ambientes semiáridos se ha evaluado durante 17 años (1999-2016) la evolución de la flora arvense y los rendimientos de cereal en las rotaciones ecológicas (cebada-barbecho, cebada-veza forraje, cebada-veza enterrada, cebada-girasol y cebada-garbanzo) y se ha comparado con dos monocultivos de cebada, uno con fertilización y escarda química y el otro en manejo ecológico. Los resultados indican que el aumento de las densidades de malas hierbas y las especies dominantes están determinadas por la meteorología y por los manejos implícitos en las diferentes rotaciones y éstas, a su vez, van a incidir en los rendimientos. La agricultura convencional de monocultivo de cebada tiene rendimientos menores que algunas rotaciones ecológicas.

Palabras clave: herbicidas, secano, cereal, garbanzo, veza, girasol.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo es la continuación del trabajo presentado en el XII Congreso de la SEMh en 2009 (Lacasta et al., 2009), incluyendo 8 años más de duración. Las conclusiones de entonces fueron que el monocultivo de cebada convencional no era viable económicamente en las condiciones climáticas de los ambientes semiáridos, que la abundancia de las malas hierbas en agricultura ecológica estaba relacionada con la precipitación de primavera, y que las rotaciones ecológicas, cuando sus ciclos de cultivo son diferentes, controlan la abundancia de la flora arvense a niveles similares a los herbicidas.

Una secuencia de cultivos está concebida para reducir la densidad de malas hierbas y mantener la diversidad de especies existentes en el campo, previniendo así la dominación de un número escaso de malas hierbas. Una rotación de cultivos afecta a la comunidad de malas hierbas por el cultivo en sí mismo y la gestión que lleva asociado puede crear diferentes hábitats para las especies de malas hierbas, de manera que cada secuencia de cultivos difiere en el tiempo de maduración, competitividad, manejo del suelo, etc., interrumpiendo la germinación, crecimiento y reproducción de las especies de malas hierbas (Santin et al., 2009).

En el presente trabajo se estudia, en un experimento que se estableció en 1992, la evolución de la flora arvense durante 17 años (1999-2016), así como su influencia en la producción de cebada en seis rotaciones ecológicas y una convencional, monocultivo de cebada.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se viene realizando desde la campaña 1992/93 en la Finca Experimental «La Higuera» de Santa Olalla, Toledo (40°3' N, 4°26' W, 450 m), perteneciente al Museo Nacional de Ciencias Naturales (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 m² (20 x 20 m). Los dos cultivos de las rotaciones se siembran todos los años. Los datos meteorológicos se tomaron de la estación ubicada en la misma finca perteneciente al Centro meteorológico del Tajo con el indicativo 3.358 b.

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. Todas las labores son superficiales, menos de 15 cm. Para la escarda en C-C se utilizaron diferentes 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 (1999-2016) en el mes de mayo y en las parcelas de cebada. Las malas hierbas tenían una distribución agregada por lo que se consideró que la medida que mejor representaría el efecto de las hierbas era la de recubrimiento de suelo, 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 $P < 0,05$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La media de los 24 años en los rendimientos de cebada sigue poniendo de manifiesto los resultados obtenidos hace 8 años, observándose que el monocultivo de cebada convencional con fertilización y escarda química es muy poco productivo en los ambientes semiáridos donde se desarrolla el experimento, teniendo producciones inferiores a la mayoría de las rotaciones ecológicas (Tabla 1).

En los 17 años de seguimiento de la flora arvense ha habido 129 especies, repartidas en 26 familias botánicas. El año con mayor densidad de hierba fue 2011, seguido de 2010, 2013, 2012 y 2004 y hubo 9 años con más de 50 especies, siendo los años 2002 y 2004 los años con mayor diversidad, con más de 70 especies.

El comportamiento de las malas hierbas en las rotaciones con manejo ecológico es diferente a las rotaciones con manejo convencional. Mientras en manejo con agroquímicos la abundancia de malas hierbas está relacionada con los inviernos lluviosos y las primaveras secas (Lacasta et al., 2017), en agricultura ecológica la relación principalmente se debe a las primaveras lluviosas (Fig. 1). En agricultura convencional el problema es un problema de eficiencia del herbicida aplicado en invierno y una disminución de la capacidad de competencia del cultivo en primavera al no poder usar el fertilizante nitrogenado por déficit hídrico en primavera. En el caso de la agricultura ecológica la disminución de competencia del cultivo por falta de nutrientes, permite el desarrollo de las hierbas pero esto no significa que no se obtengan cosechas aceptables como ocurrió las campañas 03-07 y 12-13.

En el experimento hay 2 especies que destacan sobre las demás (*Anacyclus clavatus* (Desf.) Per. y *Lolium rigidum* Gaudin), que representan el 41,62% de cobertura media sobre el total de malas hierbas, y 9 especies (*Convolvulus arvensis* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Avena sterilis* L., *Papaver rhoeas* L., *Torilis nodosa* (L.) Gaertner, *Scandix pecten-veneris* L., *Galium tricornerutum*

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
92-93	267 a	334 a	331 a	401 a	481 a	412 a	206 a
93-94	3.056 a	3.137 a	3.092 a	2.879 a	3.136 a	1.454 b	2.783 a
94-95	949 a	279 bc	250 c	130 c	865 ab	63 c	258 c
95-96	3.195 a	3.039 a	2.684 a	2.888 a	2.917 a	1.995 b	2.832 a
96-97	2.494 a	2.151 ab	2.094 ab	1.032 c	1.440 bc	1.506 bc	1.812 b
97-98	1.600 a	1.545 a	1.589 a	1.582 a	1.528 a	435 b	1.893 a
98-99	2.717 a	1.888 bc	1.996 ab	1.342 cd	517 e	771 de	1.071 de
99-00	1.763 a	2.023 a	2.400 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	2.058 b	2.093 b	2.774 a	2051 b	1366 c	2219 ab	2435 ab
02-03	3.518 a	1.576 c	2.468 b	1535 c	2818 ab	124 d	1435 c
03-04	2.593 ab	2.109 b	2.811 a	1183 c	2667 ab	372 d	1176 c
04-05	1.378 abc	1.550 ab	1.614 a	342 de	774 cd	72 e	508 de
05-06	3.608 a	1.810 d	2.358 bc	1736 d	2338 bc	1285 d	2873 abc
06-07	2.701 a	2.646 a	2.945 a	918 b	2508 a	823 b	1162 b
07-08	1.205 a	1.232 a	1.467 a	151 b	385 b	41 c	336 b
08-09	1.786 a	1.387 ab	1.438 ab	469 cd	999 bc	215 d	647 c
09-10	831 a	770 a	726 a	251 a	840 a	392 a	578 a
10-11	1.447 a	1.126 a	1.092 a	469 b	533 ab	145 d	240 c
11-12	810 a	646 ab	951 a	123 c	447 bc	88 c	138 c
12-13	2.027 a	1.891 a	1.085 b	749 c	1.227 b	601 c	1.697 ab
13-14	757 c	1.011 b	1.337 a	319 dc	1.162 ab	186 c	494 d
14-15	1.594 ab	936 c	1.379 abc	1.119 bc	1.063 bc	542 d	1.678 a
15-16	1.785 a	2.353 b	2.047 b	1.258 c	2.357 b	584 d	1.513 c
Media	1.880	1.587	1.737	1.050	1.476	654	1.251
%	150	127	139	84	118	52	100

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.

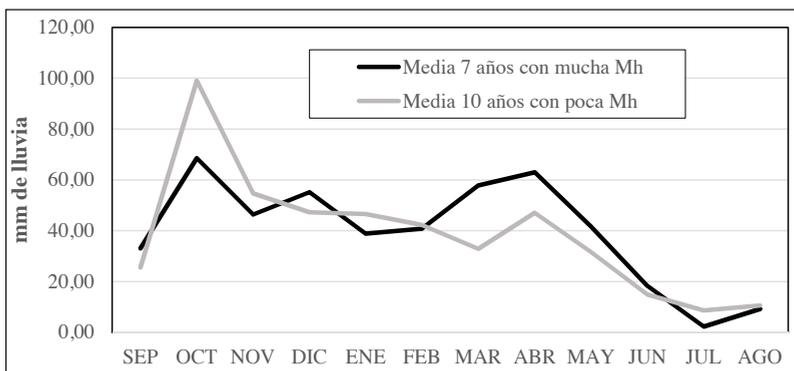


Figura 1. Evolución de la pluviosidad a lo largo del año agrícola y abundancia de malas hierbas.

Dandy, *Filago pyramidata* L., *Lactuca serriola* L.) que cubren el 42,55%. Estas 11 especies representan el 84,17 % de la cobertura de todas las hierbas.

Las rotaciones ecológicas C-B, C-VE, C-VF y C-GIR tienen un comportamiento similar de recubrimiento de malas hierbas del suelo al monocultivo de cebada con herbicida (C-C) (Tabla 2), todas con un recubrimiento medio del suelo de malas hierbas entre el 20%-30%. La rotación C-GAR está cerca del 40% de recubrimiento. El testigo de monocultivo sin herbicida y sin fertilización llega al 60% de recubrimiento haciéndole prácticamente inviable económicamente, pero es incluso más viable que el C-C ya que su mantenimiento, considerando solo los costes de los agroquímicos, supera los ingresos económicos que se obtienen por los 1.251 kilos de cebada (Tabla 1).

A. clavatus se encuentra en todas las rotaciones entre las 2 hierbas más importantes (Tabla 2). *L. rigidum* se encuentra en todas las rotaciones entre las 4 hierbas más importantes. *C. arvensis*, hierba perenne, también está en este grupo de hierbas importantes, pero tiene más dificultad en establecerse en la rotación c-c, ya que en ésta hay mayor competencia con otras hierbas. *C. arvensis* tiene importancia en las rotaciones C-VE, C-GAR y c-c, lo que indica que las labores de barbecho, la siega de la veza o el uso de herbicidas lo controlan correctamente. *A. sterilis* se encuentra relacionada con las rotaciones con veza C-VF y C-VE, ya que en la fecha que se siega o se entierra, la avena está ya madura y se incorpora al banco de semillas del suelo. *P. rhoeas* tiene importancia en la rotación con barbecho y en el monocultivo de cereal convencional, esto quizá sea debido a la mayor disponibilidad de nutrientes en estas dos rotaciones. Las demás hierbas tienen una importancia relativa en todas las rotaciones.

En las figuras 2 y 3, se detalla la evolución a lo largo de los 17 años en los diferentes tratamientos de las dos especies más importantes en el experimento *A. clavatus* y *L. rigidum*. El tratamiento con menor recubrimiento de *A. clavatus* es la rotación c-c por ser el que más competencia tiene con otras hierbas y el de mayor recubrimiento es en la cebada que rota con garbanzo (C-GAR). Las demás rotaciones controlan el *A. clavatus* al mismo nivel que el tratamiento con herbicida C-C e incluso mejor. Debido a las condiciones meteorológicas expuestas anteriormen-

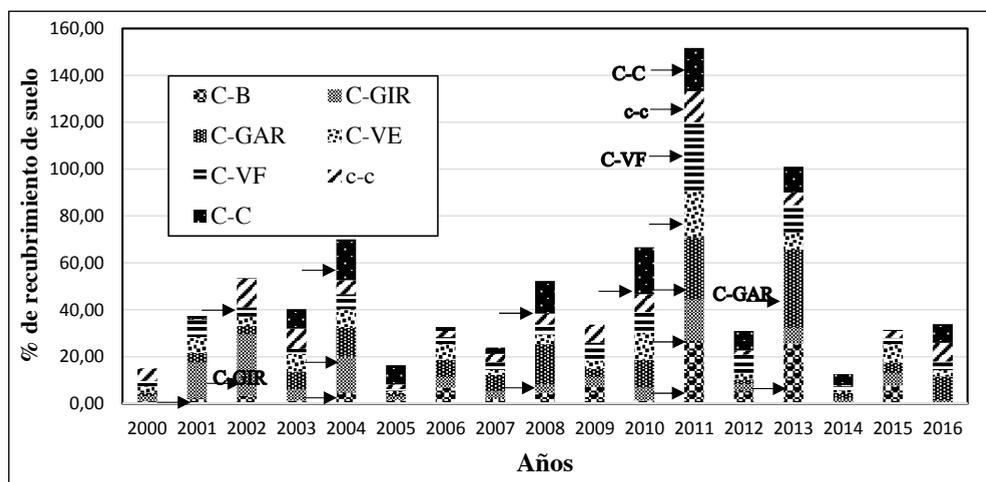


Figura 2. Evolución de *Anacyclus clavatus* (Desf.) Per. a lo largo de los 17 años. La flecha indica las rotaciones que en ese año tuvieron un recubrimiento mayor del 10%.

Tabla 2. Las 5 hierbas más importantes en cada rotación en % recubrimiento medio (17 años)

ESPECIE	Rotaciones ecológicas											A Conv		
	C-B		C-VE		C-VF		C-GAR		C-GIR		c-c		C-C	
	Nº orden	% recub	Nº orden	% recub	Nº orden	% recub	Nº orden	% recub	Nº orden	% recub	Nº orden	% recub	Nº orden	% recub
<i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Per.	1	6,16	1	5,87	1	6,28	1	9,25	1	6,98	2	5,44	2	7,31
<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	4	1,79	2	5,35	2	5,25	2	7,81	3	2,52	1	12,03	1	9,71
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	2	4,82	4	3,01	4	3,07	4	2,93	2	2,86			4	1,43
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.			3	3,36	9	0,76	3	3,56			3	4,91		
<i>Avena sterilis</i> L.			5	2,62	3	3,82					5	3,08		
<i>Papaver rhoeas</i> L.	3	3,50											3	2,27
<i>Scandix pecten-veneris</i> L.											4	4,24		
<i>Galium tricornutum</i> Dandy	5	1,43					5	1,73						
Recubrimiento suelo %		26,88		29,52		28,34		38,28		22,82		60,08		26,43
Nº de especies en los 17 años		78		81		81		87		88		78		68

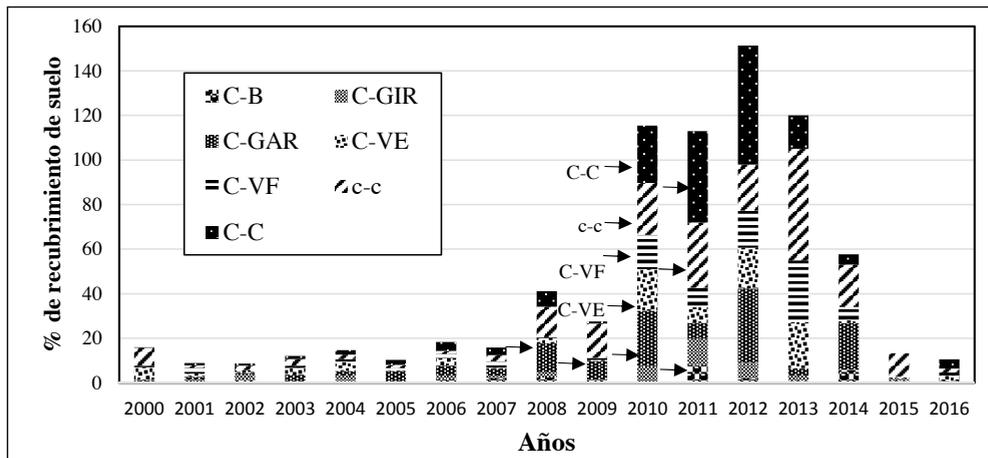


Figura 3. Evolución *Lolium rigidum* Gaudin, a lo largo de los 17 años. La flecha indica las rotaciones que en ese año tuvieron un recubrimiento mayor del 10%.

te, hay un aumento de recubrimiento en 2011 y 2013 en todas las rotaciones. A diferencia de *A. clavatus* que ha sido importante todos los años, *L. rigidum* ha sido una hierba importante entre 2010-2014. El resto de los años fue una hierba secundaria. Los monocultivos son los que peor controlan *L. rigidum*. La razón es que las rotaciones C-B y C-GIR, permiten que las labores de otoño-invierno controlen su nascencia y en el caso de C-VE y C-VF, ha sido el enterrado o la siega en primavera los que han impedido que complete su ciclo.

En un entorno que favorece la presencia de malas hierbas como es el tratamiento de monocultivo de cereal en ecológico (c-c), las hierbas se van alternando bien por factores exógenos o endógenos. Las condiciones ambientales entre 2000-2003 fueron favorables a *C. arvensis*, en 2003-2007 a *S. pecten-veneris*, 2008-2013 a *L. rigidum* y 2013-2016 a *A. sterilis*.

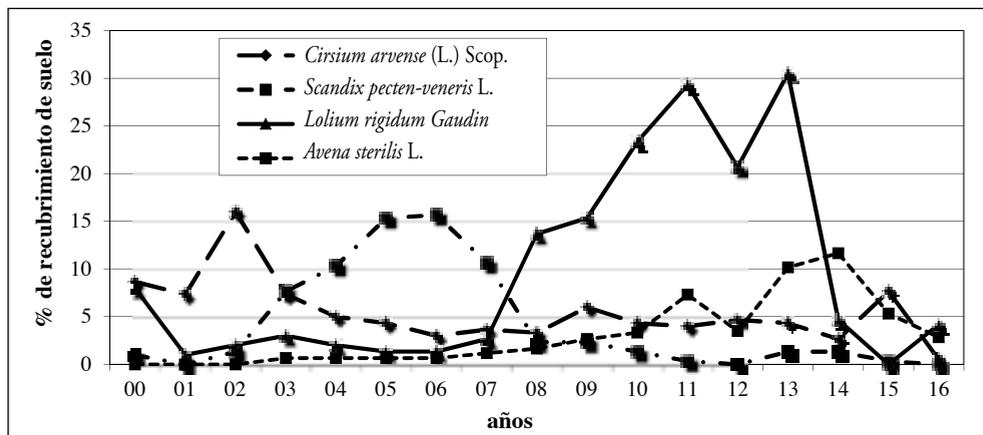


Figura 4. Evolución de cuatro hierbas en la rotación c-c, a lo largo de los 17 años.

4. 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 de los experimentos de larga duración que se realizan en la finca experimental La Higuera, así como a José María Gómez Camacho y a José Ramón Vadillo por su dedicación a los trabajos experimentales de campo.

5. REFERENCIAS

- Lacasta C, Estalrich E, Meco R and Benítez M (2009). Rotaciones de cultivos herbáceos en agricultura ecológica de ambientes semiáridos y su efecto sobre la flora arvense y el rendimiento del cereal. XII Congreso de la SEMh, 1, 341-345.
- Lacasta C, Estalrich E, Cordero, F. (2017). Rotaciones de cultivos herbáceos en agricultura de conservación y convencional en ambientes semiáridos y su efecto sobre la flora arvense y el rendimiento del cereal, 33 años de experimentación. XVI Congreso de la SEMh.
- Santín Montanyá MI, Lorenzo Iñigo I, López Muñoz E, Tenorio Pasamón JL and García-Baudín JM (2009). Efecto de las rotaciones de cultivo en la flora adventicia de un campo en condiciones semiáridas. XII Congreso de la SEMh, 1, 347-350.

Rotations of herbaceous crops in ecological agriculture of semi-arid environments and their effect on the flora and cereal yield, 24 years of experimentation

Summary: In a long-term experiment (23 years) in organic agriculture of arable crops in semi-arid environments we studied the evolution of weeds and cereal yields in ecological rotations (barley-fallow, barley-forage vetch, barley-underground vetch, barley-sunflower, barley-chickpea) and in two monocultures of barley, one with chemical fertilization and another in ecological management. The results indicate that the increase of weeds and cereal yields was determined by the meteorology and management involved in the different rotations. Conventional barley monoculture has lower yields than some organic rotations.

Keywords: herbicides, dryland, cereal, vetch, sunflower.