

# 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

Carlos Lacasta<sup>1</sup>✉, Enrique Estalrich<sup>1</sup>, Fernando Cordero<sup>1</sup>

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

**Resumen:** En un experimento de 33 años (1983-2016) donde se estudia el efecto de diferentes labores al suelo (veredera, chisel, cultivador y no laboreo) en rotación y en monocultivo de cebada, se ha hecho en los últimos 15 años (2002-2016) un seguimiento de la flora arvense. Los resultados indican que la pluviometría es la causante de la variabilidad en los rendimientos y en la mayor o menor abundancia de la flora arvense, y que el monocultivo tiene el doble de recubrimiento de malas hierbas y la mitad de rendimiento de grano que el cereal en rotación con otro cultivo. Las labores tienen poca incidencia en los rendimientos. Las especies *Lolium rigidum* y *Avena sterilis* están asociadas al monocultivo; *Bromus diandrus*, al no laboreo+monocultivo; *Scandix pecten-veneris*, al laboreo+monocultivo; y *Ononis spinosa* y *Cynodon dactylon*, al no laboreo.

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

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, se han llevado a cabo numerosísimos experimentos en distintos cultivos anuales, comparando sistemas convencionales de laboreo con otros que implican diferentes modalidades de laboreo de conservación, incluyendo el no laboreo o siembra directa. Los efectos del laboreo de conservación sobre el rendimiento de los cultivos y las malas hierbas han sido variables dependiendo de muchos factores, entre ellos: el suelo, la meteorología y la rotación empleada. Dentro de todos los experimentos de agricultura de conservación, merece una atención especial el realizado en la finca del Encín (IMIDRA), en Alcalá de Henares en el que están haciendo un seguimiento desde 1983 (Navarrete et al., 2009).

En los ambientes semiáridos donde la meteorología tiene una gran variabilidad pluviométrica los experimentos de larga duración dan una gran fiabilidad a los resultados, además de permitir evaluar la sostenibilidad de los métodos ensayados y estudiar las relaciones causa-efecto que gobiernan las tendencias de la productividad en un ambiente concreto.

La rotación de cultivos es un factor importante que afecta a la dinámica de poblaciones de malas hierbas, sobre todo reduciendo su densidad total. 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. La rotación 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 el presente trabajo se estudia, durante 15 años (2002-2016), la evolución de la flora arvense 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.

## 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, difícil de trabajar dada su dispar consistencia en los grados extremos de humedad, la velocidad de infiltración es pequeña y los mecanismos de expansión y contracción superan las posibles consecuencias de la suela de labor.

El diseño experimental es de bloques completos al azar con tres repeticiones.

Las variables fueron dos manejos de cultivo (rotación y monocultivo) con cuatro niveles en el manejo del suelo en la rotación: vertedera, chisel, cultivador (herbicida de contacto antes de la labor) y no laboreo; y dos niveles en el monocultivo: vertedera y no laboreo. La rotación fue de cebada con veza forraje (83-90), con girasol (90-98) y con garbanzo (98-16). La parcela elemental es de 520 m<sup>2</sup> (8 x 65 m). Los dos cultivos de las rotaciones se siembran todos los años. Se utilizaron los herbicidas más apropiados cada año y la fórmula de fertilización química fue 90-45-45. El nitrógeno se hizo en dos aplicaciones iguales, una en presiembra y la otra en pleno ahijamiento. Los cultivares de cebada han variado a lo largo del tiempo en función de la presencia o no de la variedad empleada en el mercado. Estos fueron desde el más antiguo: Nuevede, Reinete, Bolley e Icaria. La veza cv Senda, girasol cv Peredovik y garbanzo cv Eulalia.

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 muestreo de malas hierbas, se realizó entre los años 2002-2016, en las parcelas de cebada y en el mes de mayo. Como muchas de las malas hierbas tienen una distribución no uniforme, se consideró que la medida que mejor representaría el efecto de las hierbas era la de recubrimiento del suelo, en tanto por ciento, de cada especie dentro de toda la parcela, a través de una estimación visual.

Para el análisis de los rendimientos de las parcelas se cosechó toda la parcela con una minicosechadora Hege, todos los años. 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

**3.1. Rendimiento por hectárea.** El cultivo de cebada cuando se siembra en monocultivo tiene un rendimiento alrededor de 50% menor que cuando se siembra en rotación con otro cultivo (Tabla 1) y alrededor de un 20% más de recubrimiento de hierba (Tabla 2). En un experimento de larga duración como el que estamos comentando se pueden obtener otras informaciones. Por ejemplo: que la década de los años ochenta fue meteorológicamente más beneficiosa para los cultivos herbáceos de secano con valores medios en los rendimientos de todo el experimento de 3.362 kg/ha, mientras en la década de los 90 y la actual los rendimientos son menos de la mitad. La primera década de este siglo los rendimientos fueron un 34% menores que en la de los 80 del siglo pasado. De los 33 años, 22 dieron diferencias significativas a favor del manejo con rotación. Si se consideran las labores, hubo 6 años a favor del laboreo convencional con vertedera y otros 6 a favor del laboreo de conservación.

**Tabla 1.** Rendimiento en kg/ha de cebada en diferentes labores (rotación y monocultivo) durante el periodo 1983–2016

Años	Rotación de cultivos						Monocultivo de cereal		Pluvio anual mm				
	Vertedera	Chisel	Cultivador	No laboreo	vertedera	No laboreo							
83-84	5427	a	5498	a	<b>5656</b>	a	5339	a	4495	b	4568	b	481
84-85	5191	a	5184	a	<b>5393</b>	a	5246	a	3985	b	3647	b	458
85-86	<b>3331</b>	a	3220	ab	2874	c	3033	bc	2857	b	2668	b	299
86-87	3415	a	3829	a	3665	a	<b>3840</b>	a	2528	b	2602	b	509
87-88	2801	b	3333	ab	<b>3599</b>	a	3534	ab	1840	c	1650	c	611
88-89	<b>1375</b>	a	1117	a	1342	a	1079	a	1186	a	674	b	307
89-90	<b>2856</b>	a	2251	a	2336	a	2695	a	2608	a	2275	a	543
90-91	2756	a	2490	a	<b>2768</b>	a	2703	a	2551	ab	2134	b	432
91-92	229	ab	50	b	73	b	<b>458</b>	a	132	b	242	a	358
92-93	725	b	1266	ab	1321	ab	<b>1846</b>	a	247	c	457	c	413
93-94	2439	bc	1859	bc	2607	bc	3025	b	<b>3807</b>	a	3390	ab	454
94-95	0	a	0	a	0	a	77	a	80	a	<b>168</b>	a	275
95-96	2973	b	3097	ab	3273	ab	<b>3325</b>	a	2644	b	2178	c	535
96-97	<b>2583</b>	a	2200	a	2333	a	2117	a	2392	a	667	b	573
97-98	2631	a	2635	a	<b>2755</b>	a	2717	a	1693	b	1663	b	637
98-99	43	c	38	c	36	c	153	b	392	b	<b>1098</b>	a	292
99-00	<b>4293</b>	a	4070	ab	3810	ab	3401	b	2806	b	3215	b	437
00-01	651	a	682	a	533	a	634	a	353	b	<b>696</b>	a	649
01-02	4422	a	4524	a	<b>4666</b>	a	4548	a	3486	b	3040	b	542
02-03	<b>4188</b>	a	3088	b	3068	b	2882	b	915	c	458	c	500
03-04	<b>4649</b>	a	3262	b	3692	b	3948	b	894	d	1840	c	593
04-05	<b>1199</b>	a	833	b	786	b	599	c	440	cd	366	d	282
05-06	<b>3385</b>	a	2488	b	2722	b	1871	c	2062	bc	932	d	450
06-07	<b>3211</b>	a	2853	a	3114	a	2964	a	2218	b	1160	c	619
07-08	1084	a	963	a	<b>1206</b>	a	1088	a	450	b	452	b	354
08-09	2237	a	2050	a	<b>2334</b>	a	2051	a	2032	a	607	b	390
09-10	1536	a	1519	a	<b>1662</b>	a	1500	a	729	b	207	c	615
10-11	<b>3120</b>	a	2174	a	2754	a	3105	a	1229	b	975	b	459
11-12	288	a	199	a	243	a	323	a	178	b	69	b	221
12-13	1170	bc	<b>2048</b>	a	1868	b	835	c	654	c	1156	c	541
13-14	482	a	<b>706</b>	a	594	a	482	a	152	b	119	b	424
14-15	2737	a	<b>3361</b>	a	2977	a	2614	a	2228	b	1984	b	452
15-16	2595	b	2708	ab	2227	b	2342	b	2151	b	3205	a	481
<b>Media</b>	<b>2425</b>		<b>2291</b>		<b>2372</b>		<b>2314</b>		<b>1709</b>		<b>1532</b>		<b>460</b>
<b>%</b>	<b>158</b>		<b>150</b>		<b>155</b>		<b>151</b>		<b>112</b>		<b>100</b>		

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.

**3.2. Pluviometría.** El rendimiento esta muy supeditado en estos ambientes a la cantidad de lluvia y a su distribución. En la tabla 1 se observa que de los 33 años estudiados hay 20 que los rendimientos estuvieron por encima de la media y coincide con años donde la pluviometría estuvo por encima de los 400 mm/anales y con una distribución en otoño (SEP, OCT y NOV) del 34% sobre el total, en invierno (DIC, ENE, FEB y MAR) del 37% del total y en primavera (ABR y MAY) del 21% (Fig. 1). En cambio los años secos, la bajada de rendimiento se debe principalmente

a la disminución de las precipitaciones y el adelanto del déficit hídrico. Los años con menos de 1000 kg/ha se debe a esta causa. Ha habido 4 años que la disminución de los rendimientos es debido a la mala distribución de las precipitaciones, invierno con el 57% del total de las lluvias y una primavera seca (10%). En cambio la abundancia de malas hierbas se debe no al total de las precipitaciones sino a la distribución de de ellas (Fig. 2 y Tabla 3), otoños húmedos (40%), inviernos secos (28%) y primaveras normales (23%), poca hierba, pero otoños normales (31%), inviernos lluviosos (51%) y primaveras secas (13%) mucha hierba. En este experimento en que el control de hierba se hace con herbicidas, los inviernos lluviosos impide hacer el tratamiento en el momento adecuado.

**Tabla 2.** Porcentaje de recubrimiento medio de las especies más importantes en cada tratamiento durante el período 2002–2016 y el porcentaje sobre el total de malas hierbas

ESPECIE	Cebada en rotación								Cebada monocultivo				% sobre el total de Mh. Media 15 años
	Vertedera		Chisel		Cultivador		No labor		Vertedera		No labor		
	Nº orden	% recub	Nº orden	% recub	Nº orden	% recub	Nº orden	% recub	Nº orden	% recub	Nº orden	% recub	
<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	4	1,39	2	4,14	2	3,79	1	6,82	2	8,22	2	8,40	19,20
<i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Per.	2	2,25	1	5,60	1	4,74	2	3,57	5	2,74			11,88
<i>Bromus diandrus</i> Roth											1	16,73	11,45
<i>Avena sterilis</i> L.									1	9,29	3	3,99	9,77
<i>Torilis nodosa</i> (L.) Gaertner	5	1,10	4	1,31	5	1,37			4	2,82	4	3,36	6,99
<i>Galium tricorutum</i> Dandy	1	2,28	3	2,30	3	2,51							5,49
<i>Scandix pecten-veneris</i> L.									3	4,27			5,22
<i>Convolvulus arvensis</i> L.			5	1,21	4	1,41	4	1,91					4,43
<i>Ononis spinosa</i> subsp. <i>Spinosa</i> L.							3	2,61			6	2,33	3,94
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.							5	1,86			5	2,47	2,95
<i>Ridolfia segetum</i> Moris	3	1,87											2,32
Recubrimiento suelo %		12,73		22,09		21,02		29,15		34,00		48,25	
Nº de especies en los 15 años		58		66		70		71		57		68	

**3.3. Malas hierbas.** La labor de vertedera en rotación es la que menos recubrimiento medio de hierba tiene, menos del 13%, mientras que los otros manejos del suelo en rotación tienen un recubrimiento menor del 30% de media anual, valores que no inciden de forma importante en los rendimientos. En cambio, el monocultivo genera problemas de malas hierbas (Tabla 2).

Se observa el aumento del % de recubrimiento de malas hierbas entre los años 2009-2014 (Tabla 3) y una disminución de la cosecha entre 2011-2014 (Tabla 1), consecuencia de una secuencia meteorológica de inviernos lluviosos con primaveras secas. De los 15 años hubo 6 con problemas de malas hierbas, más de un 30% de recubrimiento y 5 que no hubo ninguna especie de mala hierba que destacara de forma importante (Tabla 3).

Los datos medios de malas hierbas (Tabla 2), indican que las especies *Anacyclus clavatus* (Desf.) Per., *Lolium rigidum* Gaudin, *Bromus diandrus* Roth y *Avena sterilis* L., ocupan más de la mitad (52,30%) del recubrimiento total de malas hierbas en los valores medios de los 15 años en

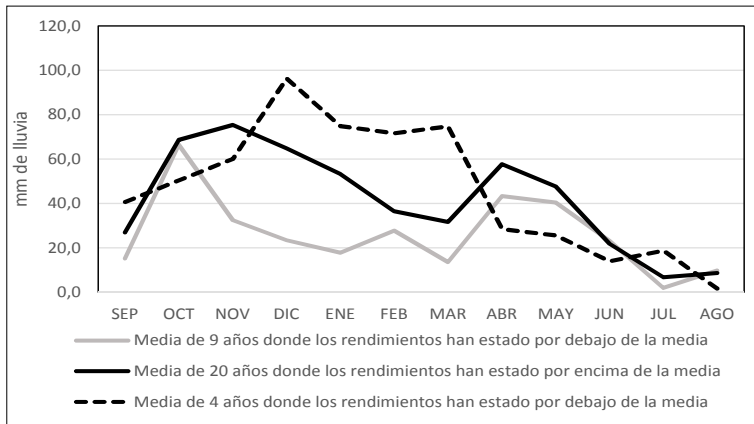


Figura 1. Evolución de la pluviometría a lo largo del año agrícola y rendimiento de la cebada.

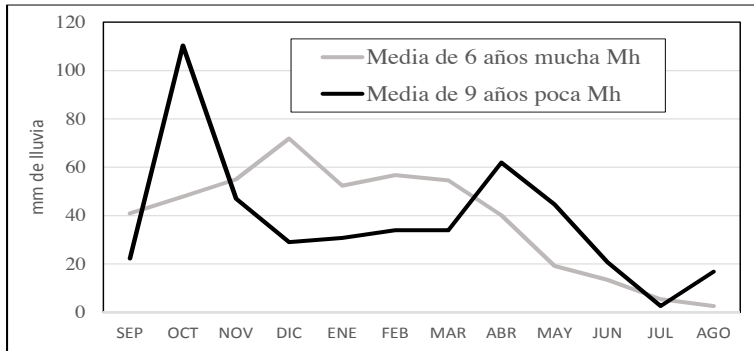


Figura 2. Evolución de la pluviometría a lo largo del año agrícola y abundancia de malas hierbas.

**Tabla 3.** Los valores medios en rotación y en monocultivo de las especies que superaron para ese año el 10% durante el periodo 2002-2016. Los valores sombreados son los que corresponden a la rotación. La pluviometría de invierno (DIC, ENE, FEB y MAR) y primavera (ABR y MAY) en mm

Especie	Años															
	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	
<i>Lolium</i>		13,8			13,0				11,3		11,2		27,0			
<i>Anacyclus</i>										18,7		24,3				
<i>Bromus</i>					13,3		32,0	10,1		34,3	70,3	10,2	44,6	29,1		
<i>Avena</i>														10,3		
<i>Scandix</i>		17,7	16,0				10,7									
<i>Ridolfia</i>												14,1				
Rec. total Mh medio	16,6	37,3	24,0	22,8	26,8	24,4	21,7	13,5	32,9	38,8	32,0	63,2	43,9	9,7	14,6	
Plu. invier	157	251	126	70	102	96	65	116	407	234	50	241	232	68	105	
Plu. primv	148	38	128	25	58	150	179	51	68	77	72	61	41	66	156	

Notas: *Bromus diandrus* solo se presenta en las parcelas de no laboreo.

el experimento. Otras especies importantes son: *Torilis nodosa* (L.) Gaertner, *Galium tricornerutum* Dandy, *Scandix pecten-veneris* L., *Convolvulus arvensis* L., *Ononis spinosa* subsp. *Spinosa* L., que ocupan el 26%. Estas 9 especies ocupan cerca del 80% de recubrimiento de las malas hierbas. El menor número de especies encontradas ha sido en el manejo de vertedera. Navarrete et al., 2015 encontraron más abundancia de flora arvense en no laboreo que en los otros tratamientos de labores, como encontramos aquí (Tabla 2). En los 15 años de estudio ha habido 96 especies en todo el experimento. Los años con un recubrimiento de malas hierbas superior al 30%, han sido 2003 y los comprendidos entre 2010-2014, destacando 2013 con un 63,32% de recubrimiento de malas hierbas. El año con menor recubrimiento fue 2015 (Tabla 3).

Las especies *Lolium rigidum* y *Avena sterilis*, están asociadas al monocultivo y al no laboreo (Tabla 2), la rotación con garbanzo de ciclo de primavera-verano permite el control de estas hierbas de otoño e invierno. *Bromus diandrus* está asociado al No laboreo + monocultivo. *Scandix pecten-veneris* al laboreo + monocultivo, *Ononis spinosa* y *Cynodon dactylon* al No laboreo. *Anacyclus clavatus* y *Galium tricornerutum*, se presentan tanto en monocultivo como en rotación y los valores más altos se presentan en las parcelas de rotación, porque en las parcelas de monocultivo el espacio está ocupado por otras hierbas que tienen una emergencia más temprana. Dorado et al. (1997) encontraron que cuando se combinaba el monocultivo con el no laboreo, aumentaba el número de plantas/m<sup>2</sup> de malas hierbas y que cada una de estas dos técnicas por separado no son capaces de explicar el incremento.

#### 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

- Dorado J, del Monte JP and López-Fando C (1997). Efectos de la rotación de cultivos y los sistemas de laboreo sobre la flora arvense en ambiente semiárido. VI Congreso de la SEMh, 41-46.
- Navarrete L, Sánchez del Arco MJ, Hernanz JL and Sánchez-Girón V (2009). Evolución de la vegetación arvense en cultivos de secano bajo diferentes sistemas de laboreo durante los últimos tres años. XII Congreso de la SEMh, 1, 122-126.
- Navarrete L, Sánchez MJ, Alarcón R, Hernanz JL and Sánchez-Girón V (2015). Respuesta de los cultivos y la vegetación arvense a la reducción de la fertilización y al tipo de laboreo en sistemas cerealistas de secano. XV Congreso de la SEMh, 2, 389-396.
- 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 arable crops in conservation and conventional agriculture in semi-arid environments and their effect on weeds and cereal yield, 33 years of experimentation

**Summary:** In a 33 years experiment (1983-2016) where the effect of different tillage on the soil (landfill, chisel, cultivator and non-tillage) in rotation and monoculture of barley is studied; a monitoring of the weeds has been made in the last 15 years (2002-2016). The results indicate that rainfall is the cause of the variability in the yields and in the greater or less abundance of the weeds. Monoculture has twice as much weeds covering and half grain yield as the cereal rotates with another crop. The tillage has little impact on yields. The species *Lolium rigidum* and *Avena sterilis*, are associated to the monoculture, *Bromus diandrus* to non-tillage + monoculture. *Scandix pecten-veneris* to tillage + monoculture and *Ononis spinosa* and *Cynodon dactylon* to non-tillage.

**Keywords:** herbicides, dry, chickpea, vetch, sunflower.