

Influencia de los sistemas de producción de cereales sobre las poblaciones de *Lolium rigidum* y *Papaver rhoeas*

José Dorado¹, Judit Barroso², Carolina San Martín², Dionisio Andújar¹, José Manuel Martín¹, David Campos¹, César Fernández-Quintanilla¹

¹ Instituto de Ciencias Agrarias (CSIC), 28006 Madrid

² Columbia Basin Ag. Research Center - OSU, Adams, Oregon 97810

 jose.dorado@csic.es

Resumen: En el año 2015 se inició en Arganda del Rey (Madrid) un experimento de larga duración enfocado a evaluar de una forma integral los efectos de diversos sistemas de producción de cereales (S1-agricultura de conservación, S2-agricultura ecológica y S3-manejo integrado) sobre las poblaciones de *Lolium rigidum* y *Papaver rhoeas*. Los resultados observados en 2016 han puesto de manifiesto un incremento significativo en las poblaciones de ambas especies en los dos sistemas con cebada establecida por siembra directa (S1 y S3). Por el contrario, el laboreo utilizado en el sistema con agricultura ecológica facilitó el control de los niveles de infestación. En el año 2017, las mayores reducciones en las poblaciones de malas hierbas (especialmente de *L. rigidum*) se registraron en el sistema de manejo integrado debido al efecto conjunto del laboreo, la rotación de cultivos y la efectividad del herbicida.

Palabras clave: manejo de malas hierbas, sistemas de producción, agricultura de conservación, agricultura ecológica, manejo integrado, rotación de cultivos, sistemas de laboreo, herbicidas.

1. INTRODUCCIÓN

Las malas hierbas que aparecen cada año en nuestros cultivos son la consecuencia de un banco de semillas formado en años anteriores. Las especies arvenses que conforman este banco de semillas estarán relacionadas fundamentalmente con los métodos de control (rotación de cultivos, laboreo, herbicidas, etc.) utilizados según el sistema de producción implementado. Aparte de la agricultura convencional, existen varias alternativas en cuanto a sistemas de producción que el agricultor puede realizar en cultivos cerealistas; por ejemplo, la agricultura de conservación, la agricultura ecológica o el manejo integrado, entre otros.

Los sistemas de producción que incluyen laboreo de conservación, es decir, aquellos que mantienen al menos un 30% de la superficie del suelo cubierta con residuos después de la siembra (Shrestha et al., 2006), producen una inversión de flora que conlleva la disminución e incluso la desaparición de algunas especies arvenses, en tanto que otras malas hierbas anuales (e.g. *Lolium rigidum*) proliferan hasta convertirse en un problema (Dorado and López-Fando, 2006). Son varios los factores que provocan esta inversión de flora, pero fundamentalmente están relacionados con la eliminación de la labor de vertedera y la consecuente acumulación de semillas de malas hierbas en la capa superficial.

El manejo de malas hierbas en agricultura ecológica utiliza muchas de las técnicas empleadas en sistemas convencionales, pero ciñéndose exclusivamente a estrategias que no utilizan agroquímicos, es decir, estrategias culturales y mecánicas: prevención, rotación de cultivos, competencia con el cultivo, control mecánico (e.g. laboreo) y físico (e.g. térmico), etc. Sin embargo, a menos que su implementación esté guiada por un conocimiento de la biología de las malas hierbas y su manejo esté dirigido a reducir el banco de semillas, estas prácticas pueden tener un beneficio mínimo, o incluso aumentar sus poblaciones (Gallandt, 2014).

En los sistemas de manejo integrado, aunque el uso de herbicidas no está prohibido, se elimina cualquier tratamiento químico programado de antemano, minimizando su aplicación en pro de un uso racional de estas medidas químicas en combinación con otras estrategias preventivas, culturales y mecánicas (Pardo et al., 2008). Es decir, la vigilancia permanente se convierte en la herramienta esencial de este sistema de producción, en el que cualquier tratamiento químico se restringe al caso y a la zona en que sea necesario. Aunque los principios generales en los que se basa el manejo integrado de malas hierbas están bien establecidos, son escasas las referencias de sistemas probados y adaptados a las condiciones específicas de los cultivos principales de nuestro país (Montull et al., 2015).

El diseño de sistemas de producción y manejo de malas hierbas debe estar basado en el conocimiento de la agroecología de las especies más problemáticas y en la disponibilidad de estrategias de gestión, las cuales deben ser evaluadas de acuerdo a diversos criterios. En este sentido, en el año 2015 se inició un estudio cuyo objetivo fundamental fue evaluar de una forma integral, utilizando criterios agronómicos, económicos y medioambientales, los beneficios potenciales derivados del uso de distintos sistemas de producción (i.e. conservación, ecológico, integrado) en cereales. En este artículo se presentan únicamente los datos relativos a la evolución de dos especies problemáticas, *L. rigidum* y *Papaver rhoeas*, durante los dos primeros años del estudio, en función del sistema de producción practicado.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El diseño experimental utilizado en este estudio se basa en el enfoque propuesto por la *Network of European Cropping Systems Experiments* (Lechenet et al., 2017), en el que cada tratamiento viene definido por el objetivo que se persigue, no por las prácticas específicas a realizar (laboreo, herbicidas, rotación) dentro de cada sistema de producción. En función de dichos objetivos se definen las prácticas que los hacen posibles. Si a lo largo del tiempo se ve que alguna de esas prácticas no son adecuadas para alcanzar dichos objetivos (o aparecen nuevas prácticas), se modifica el paquete tecnológico asociado. El presente trabajo pretende aplicar este enfoque experimental a cultivos típicos de ámbitos mediterráneos. En concreto, se diseñó un experimento de larga duración en la finca «La Poveda» (Arganda del Rey, Madrid), evaluándose 3 sistemas de producción (Tabla 1): S1 *conservación* (siembra directa, con herbicidas); su objetivo es minimizar el empleo de labores con objeto de reducir costes económicos, energéticos y medioambientales (erosión, emisiones de CO₂). S2 *ecológico* (sin herbicidas, con laboreo preparatorio del terreno [vertedera y rotocultivador] y durante el ciclo del cultivo [grada de púas en cereal y cultivador entre líneas en guisante]); el objetivo es suprimir el uso de plaguicidas con objeto de minimizar los efectos medioambientales de estos productos. S3 *manejo integrado* (rotación con leguminosas, tratamientos localizados, siembra directa en cereal); su objetivo es mantener la rentabilidad económica optimizando la eficiencia en el uso de recursos mediante la integración de diversas técnicas y prácticas. Como se ha indicado anteriormente, estos sistemas de producción son flexibles, en el sentido de que las prácticas a utilizar en cada momento se tratan de ajustar a las condiciones específicas de cada situación. El diseño experimental fue de bloques al azar con 4 repeticiones y 6 tratamientos: por existir dos sistemas con alternativas de cultivo (leguminosa o barbecho) era necesario disponer de dos parcelas para tener el mismo cultivo todos los años (Tabla 1). El tamaño de cada parcela individual es de 50 m × 21 m para permitir el uso de maquinaria convencional.

Tabla 1. Descripción de las rotaciones de cultivos, laboreo y herbicidas utilizados en los diferentes sistemas de producción

Sistema de producción	Rotación 2015-2016	Laboreo	Herbicidas
Conservación	S1 Cebada-Cebada	Siembra directa	Glifosato (pre.) + Diclofop (post.)
Ecológico	S2a Barbecho-Guisante-	Vertedera+rotocultiv. (todos)	
	S2b Guisante-Cebada-	Cultiv. entre líneas (guis.)	–
	S2c Cebada-Barbecho-	Grada de púas (ceb.)	
Integrado	S3a Guisante-Cebada	Rotocultivador (guis.)	Diclofop+Bentazona (guis.)
	S3b Cebada-Guisante	Siembra directa (ceb.)	diclofop (ceb.)

Durante el año 2015 toda la parcela experimental estuvo sembrada con cebada manejada uniformemente, llevándose a cabo un muestreo de la flora arvense en la posición de las parcelas individuales de acuerdo al diseño que se implantaría en 2016. De este modo dispusimos de una información de partida (línea base) que nos permitió valorar la densidad de malas hierbas en cada parcela individual antes de implementar los diferentes sistemas de producción. La evaluación de las malas hierbas (densidad de *L. rigidum* y *P. rhoeas*) se llevó a cabo en marzo de 2015, febrero de 2016 y marzo de 2017, utilizando en cada parcela 15 marcos de 1/10 m² siguiendo una malla regular de 10 m × 5 m. El crecimiento anual de las poblaciones se calculó utilizando el parámetro λ (densidad poblacional año $n+1$ / densidad poblacional año n). Un valor de $\lambda > 1$ significaría una población en crecimiento mientras que $\lambda < 1$ significaría una población en declive.

En el momento de la cosecha (julio de 2016) se tomaron los datos de producción de cebada y guisante con una microcosechadora de parcelas (ancho de peine: 1,5 m) mediante un pase de 50 m coincidiendo con la mediatriz de cada parcela. El análisis de los datos (densidad de malas hierbas y producción del cultivo) se llevó a cabo con un Modelo Lineal General univariante, y el contraste de medias con el test de Bonferroni ($p < 0,05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Influencia de los sistemas de producción sobre *Lolium rigidum*. Las parcelas sobre las que se estableció el experimento tenían una situación de partida relativamente homogénea en cuanto a densidad de *L. rigidum*, con la excepción de la zona coincidente con el sistema S2b que partía de una densidad inicial superior al resto de sistemas (Tabla 2).

Tras el primer año de establecimiento de los sistemas de producción (año 2016), los resultados observados en el cultivo de la cebada muestran un incremento significativo de la densidad de *L. rigidum* en todas las parcelas donde se realizó la siembra directa ($\lambda = 6,96$ y $8,51$ en los sistemas S3b y S1, respectivamente), mientras que en el sistema de producción ecológico (S2c), donde se utilizó laboreo de vertedera, esta variación en la densidad de plantas fue apenas de 1,78 veces respecto al año anterior. Estos resultados vienen a confirmar las referencias bibliográficas que apuntan a una proliferación de *L. rigidum* en siembra directa (Dorado & López-Fando, 2006). En efecto, en nuestro estudio el laboreo parece ser la causa que justifica el mayor control de *L. rigidum* durante este primer año, hecho que se confirma con los datos observados en el cultivo de guisante (sembrado en otoño, al mismo tiempo que la cebada), los cuales no presentan diferencias significativas entre los sistemas ecológico (S2b) e integrado (S3a) (Tabla 2).

Tabla 2. Densidad media (plantas m⁻²) de *Lolium rigidum* en función del sistema de producción (ver detalles de rotación, laboreo y herbicidas en tabla 1). Los datos de 2015 representan la situación inicial antes de comenzar el experimento. Los datos de 2016 y 2017 muestran el efecto de los sistemas de producción. Fechas de siembra: ¹ 17-nov-2015; ² 16-dic-2016; ³ 10-feb-2017

Sistema de producción		2015		2016		2017	
		Cultivo	Densidad	Cultivo	Densidad	Cultivo	Densidad
Conservación	S1	Cebada	7,5 b	Cebada ¹	63,8 a	Cebada ²	11,6 bc
Ecológico	S2a	Cebada	10,7 b	Barbecho	–	Guisante ³	24,8 b
	S2b	Cebada	18,5 a	Guisante ¹	16,4 b	Cebada ²	79,1 a
	S2c	Cebada	10,3 b	Cebada ¹	18,4 b	Barbecho	–
Integrado	S3a	Cebada	6,3 b	Guisante ¹	13,3 b	Cebada ²	12,9 bc
	S3b	Cebada	8,3 b	Cebada ¹	57,8 a	Guisante ³	1,7 c

En cada columna, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Debido al alto rendimiento obtenido en la cosecha de cebada en 2016 (Tabla 3), en la siguiente campaña la cantidad de paja presente en el rastrojo supuso un problema importante a la hora de realizar la siembra directa de cebada en el sistema de conservación (S1). Por dicho motivo este tratamiento tuvo que ser modificado, realizando una labor previa de rotocultivador para reducir la gran cantidad de residuos en superficie y así permitir la siembra del cultivo. Además, la ejecución de dicha operación se tuvo que retrasar debido a un periodo de intensas lluvias hasta el 16 de diciembre, fecha en la que la mayor parte de las plántulas de *L. rigidum* ya habían nacido. La consecuencia de estos factores, unidos (supuestamente) al efecto del diclofop en la campaña anterior, fue una reducción significativa de la densidad de *L. rigidum* en S1 ($\lambda = 0,18$). En el sistema integrado (S3a), el tratamiento con diclofop en el guisante durante la campaña previa más el retraso de siembra en esta campaña mantuvieron estables las poblaciones de esta especie, con una densidad similar a la observada en S1. En cambio, en el sistema ecológico (S2b) la densidad de *L. rigidum* aumentó 4,82 veces respecto al año anterior debido a su deficiente control conseguido en dicho año con la grada de púas (Tabla 2).

Tabla 3. Producción de grano (kg ha⁻¹ ± desviación estándar) en los cultivos de cebada y guisante en 2016, en parcelas con diferentes sistemas de producción (ver detalles de la rotación, laboreo y herbicidas en tabla 1)

Sistema de producción		Cebada (kg ha ⁻¹)	Guisante (kg ha ⁻¹)
Conservación	S1	5627±375 a	–
Ecológico	S2a	–	–
	S2b	–	2099±119 b
	S2c	5225±363 a	–
Integrado	S3a	–	3228±256 a
	S3b	5399±201 a	–

En cada columna, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

En las parcelas de guisante establecidas en 2017 se observó el efecto conjunto de la fecha de siembra (primavera) y de las operaciones realizadas en la campaña previa. En el sistema integrado (S3b) dicha conjunción supuso una drástica reducción ($\lambda = 0,03$) de la densidad de *L. rigidum*. Por el contrario, en el sistema ecológico (S2a) se observó un incremento sustancial en la densidad de *L. rigidum* respecto al año anterior de barbecho (Tabla 2) debido al deficiente control de esta especie con la labor de cultivador entre líneas y a su rápida recuperación en las condiciones de baja competencia del guisante.

3.2. Influencia de los sistemas de producción sobre *Papaver rhoeas*. La evaluación realizada en el año de establecimiento del ensayo puso de manifiesto diferencias en la situación de partida, con densidades de *P. rhoeas* más bajas en las zonas coincidentes con los sistemas S1, S2c y S3b respecto al resto de parcelas (Tabla 4).

Al igual que la especie anterior, en el año 2016 *P. rhoeas* incrementó su densidad en las parcelas de cebada con siembra directa ($\lambda = 3,39$ y $5,94$ en los sistemas S3b y S1, respectivamente). Resultados similares han sido publicados por Torra et al. (2015), quienes encontraron mayores densidades de esta especie en siembra directa respecto a otros sistemas de laboreo. Por el contrario, el empleo de laboreo de vertedera en el sistema de producción ecológico (S2c) disminuyó la densidad de plantas respecto al año anterior ($\lambda = 0,32$). En el caso del guisante, el laboreo previo a la siembra fue también un método de control eficiente al reducir de forma significativa la densidad de *P. rhoeas* respecto al año anterior ($\lambda = 0,74$ y $0,44$ en los sistemas de manejo integrado [S3a] y ecológico [S2b], respectivamente) (Tabla 4).

Tabla 4. Densidad media (plantas m⁻²) de *Papaver rhoeas* en función del sistema de producción (ver detalles de rotación, laboreo y herbicidas en tabla 1). Los datos de 2015 representan la situación inicial antes de comenzar el experimento. Los datos de 2016 y 2017 muestran el efecto de los sistemas de producción. Fechas de siembra: ¹ 17-nov-2015; ² 16-dic-2016; ³ 10-feb-2017

Sistema de producción	2015		2016		2017	
	Cultivo	Densidad	Cultivo	Densidad	Cultivo	Densidad
Conservación S1	Cebada	3,2 b	Cebada ¹	19,0 a	Cebada ²	19,1 b
Ecológico	S2a	Cebada 7,5 ab	Barbecho	–	Guisante ³	2,1 c
	S2b	Cebada 10,7 a	Guisante ¹	4,7 bc	Cebada ²	19,9 b
	S2c	Cebada 4,4 b	Cebada ¹	1,4 c	Barbecho	–
Integrado	S3a	Cebada 12,9 a	Guisante ¹	9,5 abc	Cebada ²	43,3 a
	S3b	Cebada 4,1 b	Cebada ¹	13,9 ab	Guisante ³	4,0 c

En cada columna, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

En la campaña de 2017, la labor tardía de rotocultivador en el sistema de monocultivo de cebada con laboreo de conservación (S1) frenó el crecimiento de las poblaciones de *P. rhoeas*, manteniéndose su densidad en valores similares al año anterior. En los dos sistemas en los que la cebada se cultivaba tras guisante, se observaron incrementos significativos de la densidad de *P. rhoeas* respecto al año anterior ($\lambda = 4,23$ y $4,56$ en los sistemas ecológico [S2b] y manejo integrado [S3a], respectivamente) (Tabla 4). En el sistema ecológico esta diferencia se justifica por el

deficiente control conseguido con la labor de cultivador entre líneas y a su rápida recuperación en las condiciones de baja competencia del guisante. En el sistema integrado este incremento pudo deberse a la baja efectividad de la bentazona sobre esta especie.

En las parcelas de guisante, el efecto conjunto del retraso de la fecha de siembra y el cultivo previo favoreció el control de *P. rhoeas* en el sistema integrado (S3b) ($\lambda = 0,29$). En cambio, en el sistema ecológico (S2a) se observó un ligero incremento en la densidad de *P. rhoeas* en relación al año anterior de barbecho (Tabla 4).

4. AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el MINECO (proyecto AGL2014-52465-C4-1-R).

5. REFERENCIAS

- Dorado J & López-Fando C (2006). The effect of tillage system and use of a paraplow on weed flora in a semiarid soil from central Spain. *Weed Research*, 46, 424-431.
- Gallandt E (2014). Weed Management in Organic Farming. En: Recent Advances in Weed Management. (eds. BS Chauhan & G Mahajan), pp. 63-85. Springer New York, New York, NY.
- Lechenet M, et al. (2017). Diversity of methodologies to experiment Integrated Pest Management in arable cropping systems: Analysis and reflections based on a European network. *European Journal Agronomy*, 83, 86-89.
- Montull JM, Llenes JM and Taberner A (2015). Manejo integrado de *Bromus diandrus*. Resultados de tres años de ensayos. XV Congreso de la SEMh. Ed. by Alarcón R, Contreras JM, Dorado J, González P, López N, Osca JM, Pérez M & Urbano JM, pp. 29-34, Servicio de Publicaciones y Divulgación de La Junta de Andalucía, Sevilla.
- Pardo G, Riravololona MJ, Petit MS, Farcy P and Munier-Jolain N (2008). Consecuencias del manejo integrado de malas hierbas sobre la organización del trabajo y la rentabilidad económica de la explotación agrícola. *ITEA*, 104, 448-471.
- Shrestha A, Lanini T, Wright S, Vargas R, Mitchell J (2006). Conservation tillage and weed management. ANR publication 8200. <http://anrcatalog.ucanr.edu/pdf/8200.pdf>.
- Torra J, Royo Esnal A, Rey Caballero J, Recasens J. and Salas M (2015). Opciones de manejo de *Papaver rhoeas* con resistencia múltiple a herbicidas. En XV Congreso de la Sociedad SEMh: La Malherbología y la transferencia tecnológica, pp. 177-184, Sevilla.

Influence of cereal production systems on populations of *Lolium rigidum* and *Papaver rhoeas*

Summary: A long-term experiment was started in 2015 in Arganda del Rey (Madrid) to evaluate in an integral way the effects of various cereal production systems (S1-conservation agriculture, S2-organic farming and S3-integrated management) on the populations of *Lolium rigidum* and *Papaver rhoeas*. The results observed in 2016 have shown a significant increase in the populations of both species in the two systems with winter barley established by direct seeding (S1 and S3). On the contrary, the tillage used in the organic farming system seemed to be responsible for weed control. In 2017, the largest reductions in weed populations (especially *L. rigidum*) were recorded in the integrated management system due to the combined effect of tillage, crop rotation and herbicide effectiveness.

Keywords: weed management, production systems approach, conservation agriculture, organic farming, integrated management, crop rotation, tillage systems, herbicides.