

Efecto del laboreo mínimo (chisel), la fertilización y los abonos verdes sobre la flora arvense y los rendimientos en una rotación de cultivos de cereales y leguminosas ecológicos

Lourdes Chamorro^{1✉}, Paola Baldivieso¹, José Manuel Blanco-Moreno¹,
Laura Armengot^{1,2}, F. Xavier Sans¹

¹Universidad de Barcelona-IRBio, Av.Diagonal 643, 08028-Barcelona
²Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), 5070 Frick, Switzerland
✉ lchamorro@ub.edu

Resumen: Entre 2011 y 2016 se realizó un experimento para evaluar el efecto del laboreo mínimo (chisel) respecto a arado de vertedera, de la fertilización con estiércol y de la siembra de abonos verdes antes de los cultivos de primavera, sobre los rendimientos del cultivo y la abundancia de las malas hierbas, en una rotación de 5 años (espelta, garbanzo, trigo, lenteja y espelta). El laboreo mínimo provocó un aumento significativo de las arvenses pero sin conllevar pérdidas significativas en los rendimientos de los cereales respecto a los rendimientos con el arado de vertedera. El abono verde ejerció un fuerte control sobre las malas hierbas, aunque este efecto no persistió durante el cultivo de la leguminosa inmediatamente posterior.

Palabras clave: gestión ecológica, flora arvense, laboreo de conservación, extensivos de secano, cultivos de cobertura.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se han desarrollado diversas técnicas y prácticas agrícolas para la mejora y la conservación de la calidad del suelo. La agricultura ecológica muestra ventajas en cuanto a la calidad y fertilidad del suelo y la conservación de su biodiversidad. Las técnicas de agricultura de conservación (siembra directa, laboreo mínimo, abonos verdes) conllevan diversos beneficios medioambientales como conservar la fertilidad del suelo y prevenir la erosión (FAO, 2013). Un inconveniente del uso de la siembra directa y del laboreo mínimo puede ser el aumento de la abundancia de malas hierbas y al mismo tiempo un cambio en la composición de la comunidad de arvenses, a veces en beneficio de aquellas especies más difíciles de controlar (Gruber & Claupein, 2009; Peigné et al., 2007).

El laboreo del suelo sin inversión, como es el caso del chisel, puede concentrar las semillas de malas hierbas en la capa superior del suelo, incrementando la emergencia de las plántulas y, en consecuencia, aumentando la infestación de malezas (Gruber and Claupein, 2009). La infestación de malezas es una de las principales preocupaciones de los agricultores frente a la implementación de la labranza reducida, lo que requiere una gestión adecuada de las arvenses para una producción exitosa. El control mecánico con la grada de púas flexibles es un método de post-emergencia que resulta eficaz (Armengot et al., 2012), aunque debe ser realizado apropiada y oportunamente en relación con la fase de crecimiento de las hierbas y los cultivos (Pardo et al., 2008).

En 2011 se estableció un experimento a largo plazo en el marco de los sistemas de producción de cultivos herbáceos extensivos ecológicos, para testar la implementación de técnicas sostenibles como el laboreo mínimo (sin inversión de las capas del suelo) y la fertilización con estiércol

compostado combinada con el empleo de abonos verdes, con el objetivo de hacer compatibles los parámetros de productividad de los cultivos con el mantenimiento y la mejora de la calidad del suelo. Hasta el momento, esta experiencia piloto consta de una rotación de 5 años con cereales: espelta (*Triticum spelta*) y trigo (*Triticum aestivum*) y leguminosas: garbanzo (*Cicer arietinum*) y lenteja (*Lens culinaris*).

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto del laboreo mínimo (chisel) respecto al arado de vertedera, el efecto de la fertilización con estiércol compostado respecto a la falta de fertilización, y de la presencia o ausencia de abonos verdes antes de los cultivos de primavera, sobre los rendimientos y la abundancia de las malas hierbas de los diferentes cultivos.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio. El experimento se estableció en 2011 en el Espacio Rural de Interés Natural de Gallecs (Mollet del Vallès, a unos 25 km de Barcelona), en una finca comercial donde se había cultivado cebada convencional hasta el año 2006 y posteriormente diferentes cultivos extensivos ecológicos (2006-2010). El diseño de la rotación fue: espelta-garbanzo-trigo var. Montcada-lenteja-espelta-alfalfa (4 años).

El Espacio Rural de Interés Natural de Gallecs es un territorio de 747 hectáreas, eminentemente agrario con la excepción de pequeñas áreas de bosque, áreas recreativas y edificaciones rurales. La mayor parte del suelo agrícola está cultivado con cultivos extensivos de cereales (aproximadamente 71%), algunos gestionados de forma convencional (343 ha) y otros de manera ecológica (202 ha) siguiendo la normativa europea sobre agricultura ecológica. Actualmente el área rural de Gallecs es la zona de Cataluña donde hay una mayor concentración de cultivos extensivos en agricultura ecológica.

2.2. Diseño experimental. Se han evaluado 3 factores: el tipo de laboreo, laboreo mínimo (con chisel) versus inversión de capas (con arado de vertedera), la presencia o ausencia de fertilización con estiércol compostado y la presencia o ausencia de abonos verdes. Los abonos verdes solo se establecieron durante el otoño-invierno antes de los cultivos de primavera de leguminosas (garbanzo o lenteja) y consistieron en una mezcla de avena (*Avena sativa*), mostaza blanca (*Sinapis alba*), veza (*Vicia sativa*) y yero (*Vicia ervilia*). Estos tres factores dan lugar a 8 combinaciones experimentales, de las que se establecieron 4 réplicas, y hacen un total de 32 parcelas. Estas parcelas fueron distribuidas para poder facilitar las tareas de la maquinaria. La medida de las parcelas es de 12 m × 13 m (Fig. 1).

2.3. Establecimiento del cultivo y riqueza y abundancia de arvenses. En la fase de establecimiento del cultivo se evaluó la riqueza y abundancia de malas hierbas en el área interior (de 9 m × 8 m) dentro de cada parcela, donde se distribuyeron al azar 12 submuestras de 25 cm × 30 cm en las que se contabilizaron todos los individuos de cada especie arvense y del cultivo.

2.4. Rendimiento de cultivo y abundancia de arvenses en cosecha. Para la evaluación de los rendimientos de los cultivos y de la infestación de las malas hierbas en cada parcela, se tomaron 4 submuestras de 1 m × 1 m donde se recolectó toda la biomasa aérea del cultivo y de las especies arvenses, y se estimó visualmente la cobertura en el momento previo a la cosecha. Además, la cosecha de grano de cada cultivo se evaluó en cada una de las 32 parcelas con una microcosechadora.

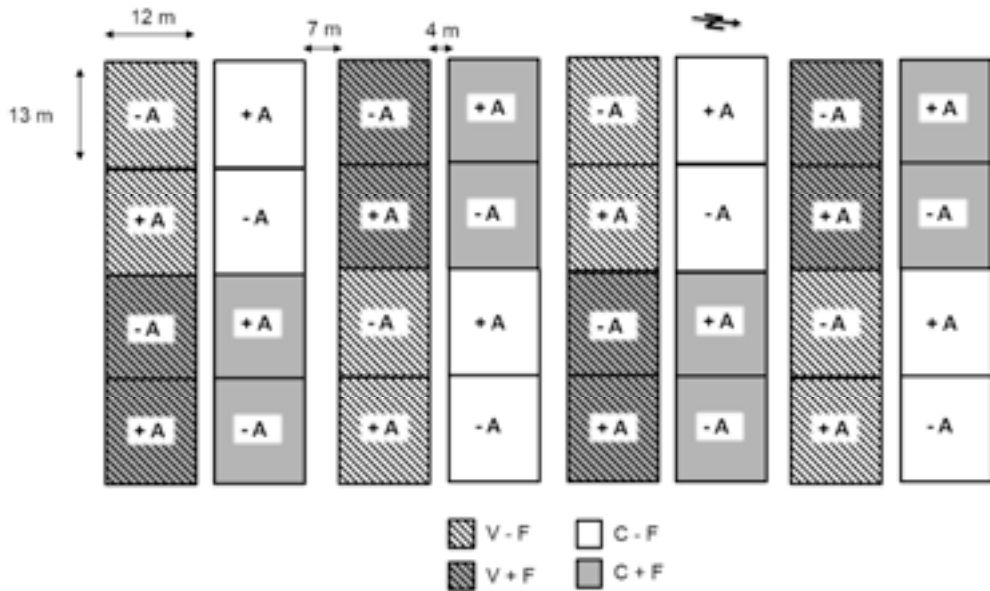


Figura 1. Diseño experimental con cuatro réplicas y tres factores: laboreo vertedera (V) vs. chisel (C), fertilización con estiércol compostado (+F) vs. no fertilización (-F) y empleo de abono verde previo al cultivo de primavera (+A) vs. ausencia de abono verde (-A).

2.5. Análisis estadístico. Los efectos del tipo de laboreo (vertedera vs. chisel), de la fertilización (presencia vs. ausencia) y de los abonos verdes (presencia vs. ausencia) y de sus interacciones sobre el establecimiento y los rendimientos de los diferentes cultivos, y sobre la riqueza, densidad, cobertura y biomasa aérea de las arvenses en los mismos fueron evaluados mediante modelos lineales mixtos. Para el cultivo de espelta del primer año no se analizó el factor de abono verde ya que éste se implementó en el otoño siguiente. El laboreo, la fertilización y el abono verde se evaluaron como factores de efectos fijos y el bloque se introdujo como un factor de efecto aleatorio. La normalidad de los datos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad se evaluó mediante la prueba de Barlett. Para satisfacer los requisitos de normalidad y homocedasticidad, se utilizó la transformación logarítmica o raíz cuadrada en los datos cuando fue necesario. Todos los análisis se realizaron con la versión 3.2.2 de R (R Development Core Team, 2015) con el paquete lme4 (Bates et al., 2011) para el ajuste de modelos lineales de efectos mixtos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Establecimiento del cultivo y rendimientos. Los rendimientos promedio entre todos los tratamientos en los cereales fueron de 3200 kg/ha en el trigo var. *Montcada* (2014), y de 2330 y 2145 kg/ha en la espelta en los años 2012 y 2016, respectivamente. En el cultivo de garbanzos (2013) se obtuvo un rendimiento promedio de 385 kg/ha y en el de lentejas no hubo cosecha debido a la fuerte sequía en la primavera-verano del año 2015. Tras practicar el laboreo mínimo con chisel durante 5 años de rotación, los rendimientos no fueron significativamente diferentes respecto a los rendimientos tras utilizar el arado de vertedera

durante dicho periodo. En cambio, la fertilización con estiércol orgánico compostado sí hizo variar los rendimientos, pero de manera diferente según el cultivo. Solo en los cultivos de espelta de 2012 y trigo se observó un aumento significativo de los rendimientos con la fertilización, mientras que este efecto no se observó en el rendimiento de la espelta de 2016, del garbanzo y en la biomasa de lenteja. El hecho de que no aumentaran los rendimientos en las leguminosas podría estar relacionado con la alta infestación de arvenses, debido probablemente a un control deficiente de las hierbas (Fig. 2).

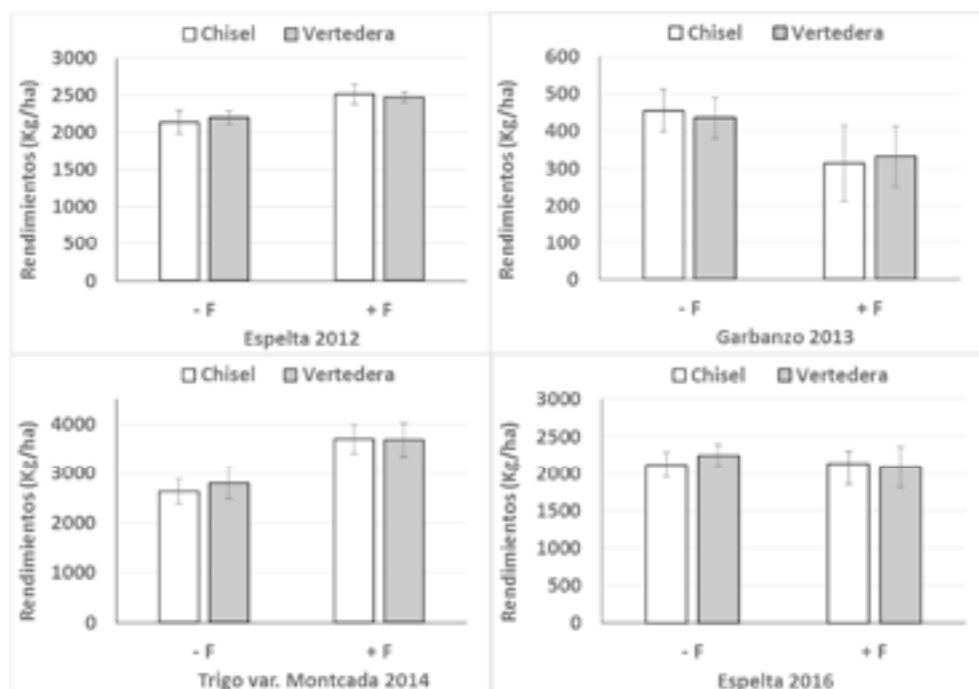


Figura 2. Rendimientos de cosecha de espelta (2012 y 2016), garbanzo (2013) y trigo var. Montcada (2014) en las parcelas labradas con arado de vertedera y con chisel; fertilización con estiércol compostado (+F) y sin fertilización (-F).

3.2. Abundancia (biomasa y cobertura) de la vegetación arvense. En el Espacio rural de Gallecs el control de las hierbas en los cultivos de cereales ecológicos se lleva a cabo generalmente con la grada de púas flexibles entre enero y febrero, en un momento favorable cuando las condiciones climáticas lo permiten. En el cultivo de garbanzo se pasó el cultivador entre las líneas de cultivo, las cuales estaban sembradas a una distancia de 75 cm para facilitar el desherbado con esta maquinaria. En cambio las lentejas se sembraron a una distancia de 12 cm, para intentar evitar la competencia de las hierbas, aunque la falta de lluvias provocó escaso desarrollo del cultivo y una fuerte competencia de las arvenses, principalmente de desarrollo estival como *Chenopodium album*. Las especies más frecuentes y abundantes en espelta y trigo fueron: *Polygonum convolvulus*, *Convolvulus arvensis*, *Polygonum aviculare* y *C. album*, mientras que en garbanzo y lenteja fueron *Diploaxis erucoides*, *Setaria viridis*, *C. album* y *P. convolvulus*. Después

de los 5 años de experiencia no se ha observado un aumento significativo ni en la abundancia ni en la riqueza de las malas hierbas. Al contrario, el cultivo de espelta del quinto año (2016) es el que ejerció un mejor control de las arvenses, las cuales presentaron una biomasa aérea muy baja, incluso en comparación con el cultivo de espelta en 2012 (Fig. 3).

La fertilización de los cultivos de cereales redujo significativamente la abundancia de arvenses por competencia del cultivo, mientras que en el de garbanzo no se vio ningún efecto y en el de lenteja se aumentó su biomasa. En las parcelas donde se había sembrado abono verde, previamente al cultivo de leguminosa, se observó un control de este cultivo de cubierta sobre las malas hierbas, aunque este efecto no se trasladó al periodo del cultivo de leguminosa.

En las parcelas labradas con chisel se detectó un aumento significativo de la abundancia de las malas hierbas solo en el tercer y cuarto año (cultivos de trigo y lenteja), aunque este aumento no conllevó cambios en los rendimientos de los cereales e hizo que se mantuvieran valores similares a los obtenidos en las parcelas labradas con el arado de vertedera (Tabla 1). En general, se observa que a pesar del aumento de la abundancia de arvenses los rendimientos no se reducen y se mantienen estables a lo largo de los cinco años de rotación, aunque haya cierta variabilidad entre los tratamientos.

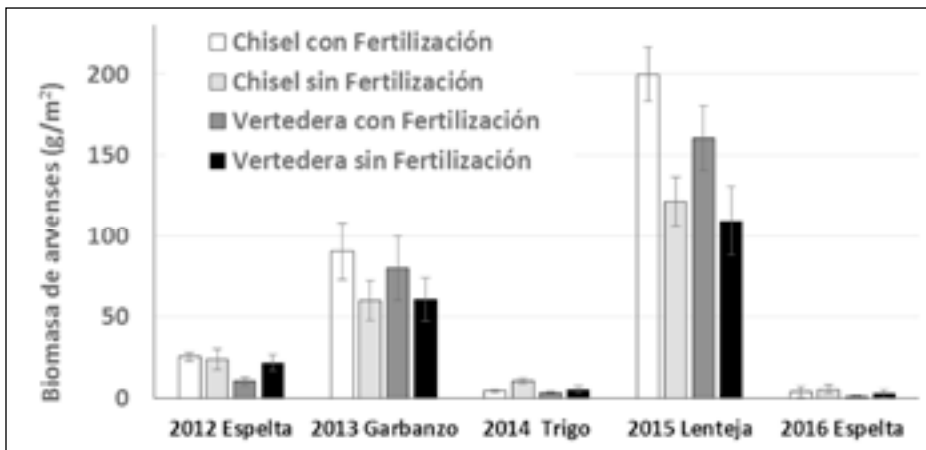


Figura 3. Abundancia de arvenses durante los cultivos de espelta (2012 y 2016), garbanzo (2013) y trigo var. Montcada (2014), y lenteja (2015) en las parcelas con arado de vertedera y con chisel; y con fertilización o sin ella. Las barras de error indican el error estándar de la media.

Tabla 1. Efecto de la fertilización (+F) y del arado de vertedera (P) respecto al chisel (C) en el rendimiento (kg/ha) y la biomasa aérea de malas hierbas (MH, en g/m²) en 5 años de rotación (> aumenta y < disminuye significativamente, = no hay efecto significativo). * Interacción significativa. El rendimiento de lenteja se estimó a partir de la biomasa aérea (g/m²)

	Espelta 2012		Garbanzo 2013		Trigo 2014		Lenteja 2015		Espelta 2016	
	+F/-F	P/C	+F/-F	P/C	+F/-F	P/C	+F/-F	P/C	+F/-F	P/C
Rendimiento	>	=	=	=	>	=	=	>	=	=
Biomasa MH	<	=*	=	=	<	<	>	<	=	=

Este experimento a largo plazo permite hacer una valoración de los beneficios e inconvenientes de las prácticas de conservación a lo largo del tiempo. El efecto de las prácticas de conservación puede variar entre los cultivos (disponibilidad de nutrientes, poblaciones de malas hierbas, capacidad competitiva del cultivo), particularmente entre cultivos de invierno y de primavera. Además, los cambios en el suelo (materia orgánica, biomasa microbiana, etc.) son lentos y el rendimiento de los cultivos varía de un año a otro debido fundamentalmente a las diferentes condiciones meteorológicas. La incorporación de nuevas prácticas por parte de los agricultores resulta más fácil si éstos pueden acceder a una información científicamente validada y que se ajuste a las condiciones climáticas de su territorio.

4. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la participación de todo el personal del grupo de investigación y de los diferentes colaboradores en el campo y el laboratorio y particularmente el apoyo técnico de Alejandro Pérez-Ferrer y la experiencia en maquinaria de Salvi Safont. Permitieron financiar este trabajo: el Ministerio de Economía y Competitividad de España a través del INIA, la CORE Organic Plus FP7 ERA-Net y la Comisión Europea a través de los proyectos TILMAN-ORG y FERTIL-CROP, y el Departament d'Agricultura de la Generalitat de Catalunya (proyectos 2011 AGECE 001, 2012 AGECE 00027, 53 05007 2015), y una beca del Ministerio de Educación, Cultura y Deportes de España concedida a Paola Baldivieso.

5. REFERENCIAS

- Armengot L, José-María L, Chamorro L and Sans FX (2012). Weed harrowing in organically grown cereal crops avoids yield losses without reducing weed diversity. *Agronomy for Sustainable Development*. 33, 405-411.
- Bates D, Maechler M and Bolker B (2011). lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and Eigen. *Journal of Statistical Software*. 65, 1-68.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015). What is conservation agriculture? [WWW Document]. URL <http://www.fao.org/ag/ca/1a.html>.
- Gruber S & Claupein W (2009). Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. *Soil & Tillage Research*. 105, 104-111.
- Pardo G, Cirujeda A, Aibar J, Cavero J and Zaragoza C (2008). Weed harrowing in winter cereal under semi-arid conditions. *Spanish Journal of Agriculture. Res.* 6, 661-670.
- Peigné J, Ball BC, Roger-Estrade J and David C (2007). Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use Management*. 23, 129-144.
- R Development Core Team (2015). R: A Language and Environment for Statistical Computing.

Effects of reduced tillage, fertilization and green manures on the weeds and crop yields in a cereal-legume crop rotation under organic farming

Summary: On 2011, we established a long-term experiment to evaluate the effects of reduced tillage (chisel vs mouldboard plough), fertilization with semicomposted manure and sowing of green manures before spring crops, on crop yields and weed abundance in a 5-year rotation (spelt, chickpea, wheat, lentil and spelt). After five years, there was not noticeable increment in weed abundance or richness. Reduced tillage caused a significant increase of weeds compared with mouldboard plough, but this increase did not cause significant yield loss in cereal crops. Green manures exerted a strong weed suppression, although this effect did not persist on the subsequent (legume) crop.

Keywords: organic management, arable weeds, conservation tillage, cover crops, dry cereal crops.