



A1-512 Efecto del laboreo mínimo sobre el rendimiento, la abundancia de la flora arvense y el balance energético y económico en una rotación de espelta, garbanzos y trigo en la Región Mediterránea

Baldivieso-Freitas P, Armengot L, Sans FX.

Equipo de investigación de Ecología de los Sistemas Agrícolas, Instituto de Investigación de la Biodiversidad (IRBio^o) Departamento de Biología Vegetal, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona. Email: pbaldivieso@ub.edu

Resumen

El laboreo mínimo en sistemas herbáceos extensivos ecológicos en Europa, se ha llevado a cabo sobre todo en climas templados. El equipo de investigación Ecología de los Sistemas Agrícolas de la Universidad de Barcelona estableció un experimento a largo plazo en 2011 que tiene el objetivo de evaluar la viabilidad del laboreo mínimo en cultivos herbáceos extensivos ecológicos en clima mediterráneo. Este trabajo analiza el efecto del tipo de laboreo y la fertilización con estiércol compostado sobre el rendimiento de los cultivos de cereales y leguminosas, la abundancia de la flora arvense y el balance económico y energético. El laboreo mínimo no afectó los rendimientos de los cultivos y la fertilización favoreció a los cultivos de cereales. Los balances económico y energético no mostraron diferencias significativas con el tipo de laboreo ni con la fertilización, con la excepción de una mayor cantidad de salida de energía en las parcelas fertilizadas en el cultivo de trigo.

Palabras claves: arado de cincel; arado de vertedera; fertilización orgánica.

Abstract

The application of reduced tillage under organic systems in Europe has been introduced in template climates. In 2011, a long-term experiment was established by the research group of Agroecosystems of the University of Barcelona to evaluate the feasibility of reduced tillage in organic arable cropping systems under Mediterranean climate conditions. In this study we analyse the effect of reduced tillage and fertilization with composted farmyard manure on cereal and legume crop yields, on weed abundance and on the economic and energy balances. Results showed that reduced tillage did not affect crop yields and fertilization increases cereal grain yields. The economic and energetic balances did not show significant differences with the type of tillage and fertilization, with the exception of a higher energy output in fertilized plots in winter wheat crop.

Key words: mouldboard ploughing; chisel ploughing; organic fertilization.

Introducción

El laboreo mínimo es una práctica de la agricultura de conservación, que se basa en la baja perturbación del perfil del suelo, y que puede aumentar a largo plazo el contenido de materia orgánica y nutrientes, mejorar la estructura y la actividad biológica del suelo, reducir la erosión y aumentar la retención de agua y, por tanto, su disponibilidad para el cultivo (Holland, 2004; Berner et al., 2008; Henneron et al., 2014). Sin embargo, el laboreo mínimo, que se ha desarrollado en el contexto de la agricultura convencional, todavía es poco aceptado por los agricultores ecológicos, debido a que generalmente va asociado al incremento de la abundancia de la flora arvense (Bàrberi, 2002). El tipo y la profundidad del laboreo afecta la distribución y la viabilidad de las semillas en el perfil del suelo, la emergencia y la supervivencia de las plántulas, la producción de semillas y la supervivencia

de las estructuras vegetativas en el caso de las especies perennes (Gruber y Claupein, 2009; Sans et al., 2011; Armengot et al., 2014).

La fertilización tiene un papel importante en los sistemas ecológicos con el objetivo de optimizar el rendimiento y mejorar la calidad del suelo. La fertilización y de manera particular la disponibilidad de nitrógeno debe adaptarse en los sistemas con laboreo mínimo, debido a que la mineralización de la materia orgánica puede disminuir y afectar negativamente el rendimiento de los cultivos (Peigné et al., 2007). La utilización del laboreo mínimo junto con el adecuado uso de fertilizantes orgánicos puede proporcionar rendimientos similares a los de los sistemas convencionales e incluso en algunos casos, rendimientos mayores que con el laboreo convencional (Krauss et al., 2010). Estudios a largo plazo en sistemas ecológicos han demostrado que la aplicación de estiércol tiene efectos positivos sobre el contenido de carbono orgánico y la actividad microbiana del suelo (Fließbach et al., 2007).

La mayor parte de los estudios sobre el efecto de la introducción del laboreo mínimo en el funcionamiento de los sistemas ecológicos se ha llevado a cabo en climas templados, por ello la incorporación de esta práctica agrícola en la región mediterránea constituye un reto debido a las diferentes condiciones climáticas. La elevada temperatura puede facilitar la mineralización de la materia orgánica, mientras que la baja disponibilidad de agua puede disminuirla. Sin embargo, varios estudios muestran que el laboreo mínimo promueve la retención del agua del suelo y es una excelente estrategia para hacer frente a la erosión, proceso muy relevante en la región mediterránea (Moussa-Maghraoui et al., 2010).

Diversos estudios indican que el consumo energético puede disminuir hasta el 20% en los sistemas ecológicos respecto a los sistemas convencionales (Mader et al., 2002) y que la incorporación del laboreo mínimo puede reducir los costos energéticos y económicos. Una menor intensidad de laboreo puede reducir los costos operacionales y en consecuencia, el consumo de energía y las emisiones de CO₂ de los sistemas agrícolas (Holland, 2004; Ozpinar, 2006). El objetivo de este estudio es analizar el efecto del tipo de laboreo y de la fertilización sobre el rendimiento del cultivo, la biomasa de la flora arvense y el balance económico y energético durante los tres primeros años de una rotación de (*Triticum spelta* L., en 2011–2012), garbanzos (*Cicer arietinum* L., en 2012–2013) y trigo (*Triticum aestivum* L. var. Montcada en 2013-2014) ecológicos en la región mediterránea.

Metodología

En otoño de 2011, se estableció un experimento en el Espacio Rural de Interés Natural de Gallecs, situado en el municipio de Mollet del Vallès (Cataluña). Es un área peri-urbana de interés público con una extensión de 753 ha localizada a 15 km al norte de Barcelona. La temperatura media anual es de 14,9 °C y la precipitación de 647 mm. El experimento incluye dos factores: tipo de laboreo (convencional vs. mínimo) y fertilización (con fertilización vs. sin fertilización), que definen 4 combinaciones de tratamientos con cuatro réplicas (bloques) cada uno, sumando un total de 16 parcelas de 12 x 13 m en un diseño en strip split plot. En este trabajo se presentan los resultados del análisis de los tres primeros años de la rotación que comprende los cultivos de espelta, garbanzos y trigo. El laboreo convencional se realizó con un arado de vertedera (inversión del suelo a 20 cm de profundidad) y una grada rotativa para la preparación de la siembra. Para el laboreo mínimo se utilizó un cincel (sin inversión del suelo, a 20 cm de profundidad) y la grada rotativa para la preparación de la siembra. El tratamiento de fertilización consistió en la aplicación de estiércol antes de la siembra de los cultivos cada año. La cantidad de estiércol varió en función del cultivo; en los cereales se aplicaron 135 kg N_{total} ha⁻¹ en la espelta y 138 kg N_{total} ha⁻¹ en el trigo, y en el cultivo de garbanzos se aplicó 40 kg N_{total} ha⁻¹. Las dosis de siembra fueron las siguientes: espelta 195 kg ha⁻¹, garbanzos 30 kg ha⁻¹ y trigo 220 kg ha⁻¹. Los cereales se sembraron en

líneas separadas 12 cm y los garbanzos en líneas separadas 75 cm. Durante el cultivo de espelta no se realizó control de la flora arvense debido a las adversas condiciones meteorológicas. El control de la flora arvense en el cultivo de garbanzo se realizó con un cultivador adaptado para pasar entre líneas y en el cultivo del trigo con una grada de púas flexible. Los cereales y los garbanzos fueron cosechados con una micro-cosechadora (Elite, Wintersteiger, Inc.) en los 9 m × 8 m interiores de cada parcela. La paja de todos los cultivos fue incorporada al campo con una grada de discos. Un mes antes de la cosecha, se evaluó la biomasa de la flora arvense mediante el establecimiento de cuatro cuadros de 1 m x 1 m al azar en cada parcela y se cortó la biomasa aérea total dentro de cada cuadro. El material se secó en una estufa durante 48 horas a 60°C para obtener el peso seco. El rendimiento del cultivo se obtuvo a partir del peso total de grano de la cosecha de cada parcela.

El cálculo del balance económico y energético de cada uno de los cultivos y tipos de gestión se ha basado en la propuesta metodológica de Guzmán et al. (2008) y Alonso y Guzmán (2010). Para el balance económico, se recogieron datos sobre todos los insumos de trabajo utilizados en todas las operaciones para cada tratamiento. Para el ingreso bruto se tuvo en cuenta solamente el rendimiento del grano del cultivo. Los balances económicos se estimaron en € ha⁻¹ año⁻¹. El cálculo del balance de energía se basa en la diferencia entre todos los inputs necesarios para la producción del cultivo (maquinaria, materia prima, etc.) y el rendimiento del cultivo (contenido energético del grano), los datos básicos utilizados para calcular el contenido de energía de todos los inputs y el output se obtuvieron de Alonso y Guzmán (2010). La materia orgánica no se suele incluir en los análisis de energía de los sistemas agrícolas, ya que también se considera que es una salida residual de otros sistemas de producción y su contenido energético es muy alto. El valor energético de los rendimientos (contenido energético del grano de cereales y de leguminosas) se obtuvieron de Guzmán et al. (2008). Todos los valores energéticos fueron expresados en MJ ha⁻¹.

Para cada cultivo se evaluó el efecto del tipo de laboreo y de la fertilización y su interacción sobre la biomasa de la flora arvense, el rendimiento del cultivo y los balances económico y energético, mediante un modelo lineal mixto en el que se incluyó el bloque como efecto aleatorio, y el laboreo y la fertilización como efectos fijos con dos niveles cada uno y se fijaron los contrastes ortogonales que comparan el laboreo convencional con el laboreo mínimo y la fertilización con la no fertilización. La normalidad de los datos se verificó mediante el test de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de las varianzas mediante el test de Levene. Los datos fueron transformados para cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de los residuos cuando fue necesario. Los análisis se llevaron a cabo mediante el programa estadístico R versión 2.10.1 (R Development Core Team, 2009) y los paquetes lme4 y el languageR.

Resultados y discusión

La fertilización fue el principal factor que afectó el rendimiento de los cereales (espelta: $Est=163,06$; $P=0,03$ y trigo: $Est=457,80$; $P=0,02$; Figura 1a y 1c), mientras que el tipo de laboreo no tuvo ningún efecto significativo sobre estos. No se encontraron interacciones significativas entre la fertilización y el tipo de laboreo en relación al rendimiento de los cultivos. La biomasa aérea total de la flora arvense fue significativamente menor en las parcelas fertilizadas y con laboreo convencional (Figura 1d y 1f), en el cultivo de la espelta ($Est=-3,29$; $P=7,21e^{-5}$) y del trigo ($Est=0,09$; $P=0,02$). El rendimiento del cultivo de garbanzos y la biomasa de la flora arvense no se vieron afectados por el tipo de laboreo ni por la fertilización. La mayor biomasa de la flora arvense en las parcelas fertilizadas en el cultivo de garbanzos (Figura 1e) respecto de los cultivos de cereales se explica por la menor

densidad de siembra del cultivo de garbanzos y la baja eficacia del control de la flora arvense durante el cultivo.

El análisis del balance económico muestra que el tipo de laboreo y la fertilización no afectan los beneficios netos de los cultivos. Sin embargo, los beneficios netos de la espelta son mayores en comparación al cultivo de garbanzos y trigo (espelta: 1692,16 €. ha⁻¹ ± 109,72; garbanzos: 527,53 €. ha⁻¹ ± 187,66 y trigo: 470,65 €. ha⁻¹ ± 59,14), a causa del elevado precio del grano de espelta (1€ kg⁻¹). El análisis de los balances energéticos no refleja diferencias significativas en relación con el tipo de laboreo. El balance energético del cultivo de trigo fue mayor en las parcelas fertilizadas que en las no fertilizadas (*Est*= 4433,43; *P*= 0,004; +F: 34822,99 MJ.ha⁻¹ ± 2466,52; -F: 25956,04 MJ.ha⁻¹ ± 2292,61), causa del mayor rendimiento del trigo en las parcelas fertilizadas (3476,4 kg.ha⁻¹) en contraste con las no fertilizadas (2560,8 kg.ha⁻¹). En el cultivo de garbanzo y espelta no se encontraron diferencias significativas en relación a la fertilización.

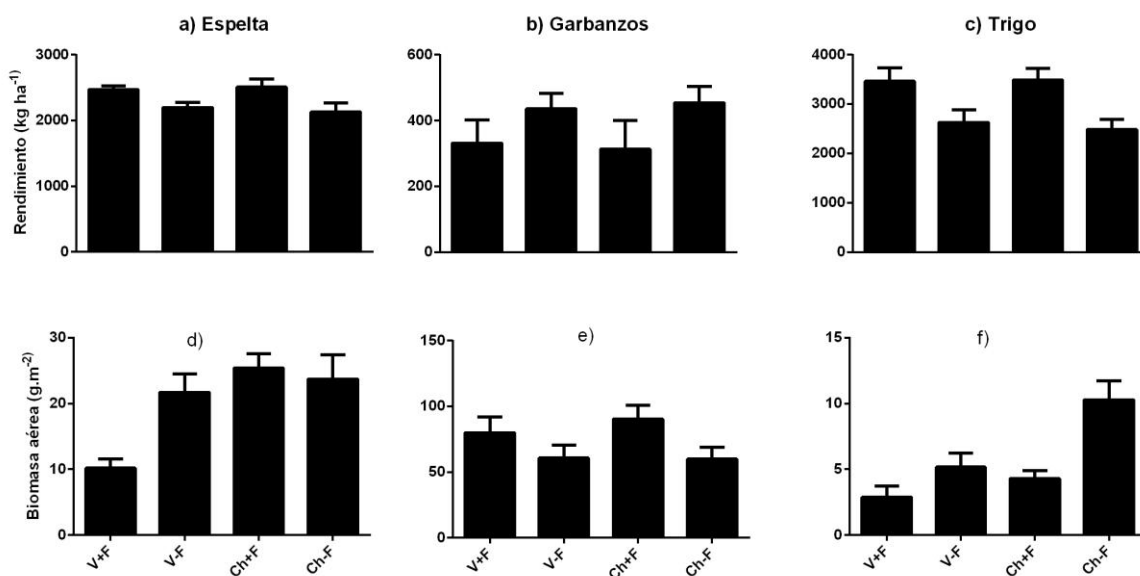


FIGURA 1. Rendimiento del cultivo de espelta a), garbanzos b) y trigo c), y biomasa aérea total de la flora arvense en el cultivo de la espelta d), garbanzos e) y trigo f), en las parcelas con arado de vertedera (V) y cincel (Ch) y con fertilización (+F) y sin fertilización (-F). Medias ± error estándar.

Conclusiones

El seguimiento de los tres primeros años de la rotación muestra que el tipo de laboreo no afectó significativamente la producción de los cultivos de cereales y garbanzos. Sin embargo, la fertilización aumentó el rendimiento de los cereales y contribuyó al control de la abundancia de la flora arvense. La mayor disponibilidad de nitrógeno en las parcelas fertilizadas se pone de manifiesto por el mayor contenido relativo de nitrógeno de la planta cultivada (datos no mostrados). Este patrón sugiere que la incorporación de estiércol al suelo favorece el crecimiento del cultivo y la capacidad competitiva frente a las especies arvenses. El rendimiento del cultivo de garbanzos no se vio afectado por los distintos tratamientos; sin embargo, el estudio ha constatado que la mejora del control de la flora arvense es indispensable para asegurar la viabilidad del cultivo de garbanzos debido a la



elevada sensibilidad a la competencia por parte de la flora arvense. La ausencia del efecto del laboreo sobre el rendimiento de los cultivos contrasta con otros estudios llevados a cabo en climas templados, donde el laboreo mínimo disminuye el rendimiento debido, entre otras causas, a la ralentización de la mineralización del nitrógeno (Gademaier et al., 2012). Este diferente patrón puede explicarse por las características de la región mediterránea, donde las altas temperaturas podrían facilitar la mineralización de la materia orgánica, sin la necesidad de la inversión de la capa superficial del suelo. No se observaron efectos significativos en los balances económicos y energéticos en relación al tipo de laboreo. Sin embargo, el balance energético es significativamente más negativo en las parcelas fertilizadas en el cultivo de trigo debido a los altos rendimientos del trigo en estas parcelas. Estudios más detallados y en los que se tengan en cuenta la diferenciación de los tipos de energía renovable y no renovable son interesantes para evaluar detalladamente el balance energético de estos sistemas ecológicos.

Agradecimientos

Esta investigación se ha llevado a cabo en el marco del proyecto TILMAN-ORG (www.tilman-org.net) y FERTILCROP (www.fertilcrop.net) financiados por los organismos que forman parte del CORE Organic II y CORE Organic II Plus respectivamente, socios del 7PM ERA-Net (www.coreorganic2.org), con el apoyo del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España mediante la ayuda del programa de Formación de Profesorado Universitario (FPU/AP2012-5374) a la primera autora. Asimismo, fue financiado por la Generalitat de Catalunya mediante los proyectos Agroecosystems (2009SGR1058), 2011 AGEC 00011 y 2012 AGEC 00027.

Referencias bibliográficas

- Alonso AM, Guzmán GJ (2010) Comparison of the efficiency and use of energy in Organic and Conventional Farming in Spanish Agricultural Systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 34, 312-338, 2010.
- Armengot L, Berner A, Blanco-Moreno JM, Mäder P, Sans X (2014) Long-term feasibility of reduced tillage in organic farming. *Agronomy for Sustainable Development*. doi: 10.1007/s13593-014-0249-y.
- Audsley E, Alber S, Clift S, Cowell P, Crettaz G, Gaillard J, Hausheer O, Jolliett R, Kleijn R, Mortensen B, Pearce D, Roger E, Teulon H, Weidema B, van Zeijts H (1997) Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture. Final Report of the Concerted Action AIR3-CT94-2028. Silsoe Research Institute, Silsoe, UK.
- Berner A, Hildermann I, Fließbach A, Pfiffner L, Niggli U, Mäder P (2008) Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. *Soil and Tillage Research* 101, 89–96.
- Fließbach A, Oberholzer HR, Gunst L, Mäder P (2007) Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118, 273–284.
- Gadermaier F, Bernier A, Fließbach A, Friedel JK, Mäder P (2012) Impact of reduced tillage on soil organic carbon and nutrient budgets under organic farming. *Renewable Agriculture and Food Systems* 27, 68-80.
- Gruber S, Claupein W (2009) Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. *Soil and Tillage Research* 105, 104–111.
- Guzman GI, García-Martínez AR, Alonso-Mielgo AM, Perea-Muñoz JM (2008) Producción Ecológica: Influencia en el Desarrollo Rural. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-0895-2.
- Henneron L, Bernard L, Hedde M, Pelosi C, Villenave C, Chenu C, Bertrand M, Girardin C, Blanchart E (2014) Fourteen years of evidence for positive effects of conservation agriculture and organic farming on soil life. *Agronomy for Sustainable Development*. doi:10.1007/s13593-014-0215-8.
- Holland J (2004) The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 103, 1–25.



- Krauss M, Berner A, Burger D, Wiemken A, Niggli U, Mäder P (2010) Reduced tillage in temperate organic farming: implications for crop management and forage production. *Soil Use and Management* 26, 12–20.
- Mäder P, Fliessbach A, Dubois D, Gunster L, Fried P Niggli U (2002) Soil fertility and biodiversity in Organic Farming. *Science* 296, 1694-1697.
- Moussa-Machraoui SB, Errouissi F, Ben-Hammouda M, Nouira S (2010) Comparative effects of conventional and no tillage management on some soil properties under Mediterranean semi-arid conditions in northwestern Tunisia. *Soil and Tillage Research* 106, 247–253.
- Ozpinar S (2006) Effects of tillage systems on weed population and economics for winter wheat production under the Mediterranean dryland conditions. *Soil & Tillage Research* 87, 1-8.
- Peigné J, Ball BC, Roger-Estrade J, David C (2007) Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use and Management* 23, 129–144.
- Sans FX, Berner A, Armengot L, Mäder P (2011) Tillage effects on weed communities in an organic winter wheat-sunflower-spelt cropping sequence. *Weed Research* 51, 413–421.
- R version 2.10.1. R Development Core Team (2009) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.