

Efectos a largo plazo del manejo del suelo sobre la producción, malas hierbas y propiedades del suelo en un agroecosistema de secano

Long-term effects of tillage systems on production, weeds and soil properties in semiarid rainfed conditions

Inés Santín-Montanyá*, Francisco Javier Sánchez, Miguel Ángel Porcel, María del Mar Delgado, José Antonio Rodríguez & José Luis Gabriel

Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA-CSIC), Madrid, España
(*E-mail: isantin@inia.csic.es)
<https://doi.org/10.19084/rca.35124>

Recibido/received: 2024.01.15
Aceptado/accepted: 2024.02.28

RESUMEN

Los experimentos a largo plazo (LTE) desempeñan un papel crucial en nuestra comprensión de los efectos de las prácticas agrícolas y los avances tecnológicos empleados en los agroecosistemas. Estos experimentos nos permiten captar los cambios que se producen en el suelo a lo largo de períodos prolongados y proporcionan resultados sólidos y fiables sobre la experimentación agrícola, lo que los convierte en fuentes de conocimiento inestimables y en herramientas esenciales para informar sobre el efecto de los distintos manejos en un agroecosistema. En nuestro estudio, realizamos un seguimiento en un LTE de la finca experimental “La Canaleja” del INIA-CSIC en Madrid, España (40° 32'N y 3°20'O; 600 m). Este sitio experimental, caracterizado por un clima continental semiárido, presenta un suelo franco-arenoso Calcic Haploxeralf con un bajo contenido inicial de carbono orgánico. En el ensayo, iniciado en 1994, se han empleado hasta la actualidad tres sistemas de laboreo del suelo: no- laboreo (NL), laboreo mínimo (ML) y laboreo convencional (LC). El objetivo de nuestro estudio consiste en evaluar la producción, la densidad de malas hierbas, la densidad aparente y humedad del suelo en tres campañas, 2010-2011, 2015-2016 y 2020-2021, a lo largo de diez años, en tres sistemas de laboreo distintos. Los resultados obtenidos confirmaron la influencia del año sobre los parámetros estudiados. En resumen, los LTE son herramientas capaces de proporcionar una valiosa información sobre los efectos a largo plazo de las prácticas agrícolas e informar sobre prácticas sostenibles y facilitar la toma de decisiones.

Palabras clave: biomasa, cereal, rotación, sistemas de laboreo.

ABSTRACT

Long-term experiments (LTEs) play a crucial role in our understanding of the long-term effects of agricultural practices and technological developments employed in agroecosystems. These experiments enable us to capture the gradual changes that occur in soil over extended periods. LTEs provide the most robust and reliable results in agricultural experimentation, making them invaluable sources of knowledge and essential tools for informing best practices. In our study, we conducted monitoring in a LTE at the INIA-CSIC experimental farm “La Canaleja” in Madrid, Spain (40° 32'N and 3°20'W; 600 m). This experimental site, characterized by a semiarid continental climate, allowed us to investigate the effects of different tillage systems on soil properties. The soil at the site was a sandy-loam Calcic Haploxeralf with a low initial organic carbon content. Starting in 1994, we implemented three tillage systems: direct drilling (no-tillage, NT), chisel ploughing (minimum tillage, MT) with a depth of 15 cm, and mouldboard ploughing (conventional tillage, CT) with a depth of 20 cm. Our study involved measuring bulk density, soil moisture, yield and weed density at three campaigns, 2010-2011, 2015-2016 and 2020-2021, during ten years, in three tillage systems. The findings confirm the influence of the year on all parameters studied. In summary, LTEs provide invaluable insights into the long-term effects of agricultural practices.

Keywords: biomass, cereal, rotation, soil tillage.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas de cultivo de secano mediterráneos, el principal factor que limita la producción de cultivos es el agua, consecuencia de una pluvio-metría cada vez más escasa e irregular (Navarra & Tubiana, 2013). Además, las prácticas agronómicas juegan también un papel crucial en la preparación del suelo, con el fin de obtener las condiciones edafoclimáticas óptimas para el crecimiento de las plantas.

En este sentido, el laboreo de conservación y la rotación de cultivos mantienen la fertilidad del suelo, permiten la mejora de la estructura del suelo y reducen los procesos de erosión (Kertész & Madarász, 2014). Además, en los sistemas semiáridos, la rotación se emplea para conservar la humedad del suelo y controlar las malas hierbas (Lampurlanés *et al.*, 2016).

La influencia del laboreo y la rotación de cultivos sobre la producción de cultivos extensivos de secano, la densidad de malas hierbas, la densidad aparente y humedad del suelo han sido estudiadas previamente, a corto y largo plazo (Gandía *et al.*, 2021). Sin embargo, en nuestros agroecosistemas semiáridos, donde las condiciones climáticas son cada vez más erráticas, no está aún claro que interacción de prácticas puede ser la más adecuada para optimizar el rendimiento de los cultivos, preservando la estructura y el contenido de agua del suelo.

El objetivo de este trabajo es examinar el impacto que tienen diferentes sistemas de laboreo en un cultivo de trigo en rotación, sobre el rendimiento del cultivo, la abundancia de malas hierbas, la densidad aparente y la humedad del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la finca experimental del INIA "La Canaleja", a 42 km al noreste de Madrid (40° 32'N, 3° 20'O; altitud 600 m.s.n.m.). La zona está dedicada al cultivo cerealista de secano, típico del centro de España, con un clima mediterráneo continental. Las precipitaciones se distribuyen irregularmente a lo largo del año y de un año a otro. La precipitación media anual, calculada a

partir de datos de la estación experimental de la finca en el periodo 1957-2021, es de 372,3 mm. La Figura 1 muestra la desviación de la precipitación media mensual en los años objeto del estudio.

Durante tres campañas (2010-2011, 2015-2016 y 2020-2021) se llevó a cabo un estudio en un experimento de campo a largo plazo que comenzó en 1994. El suelo es de tipo franco arenoso, *Calcic Haploxeralf* (Soil Survey Staff, 2010). El experimento (0,3 ha) consistió en un diseño de cuatro bloques completamente al azar con 3 sistemas de laboreo asignados al azar. Se examinaron los efectos de los sistemas de laboreo: laboreo convencional (LC), mínimo laboreo (ML) y no laboreo (NL) en 12 parcelas de trigo sometidas a una rotación de cuatro años compuesta por barbecho, trigo de invierno (*Triticum aestivum* L.), veza (*Vicia sativa* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.). Las dimensiones de cada parcela eran de 10 × 25 m. Las parcelas se sembraron en noviembre con 190 kg ha⁻¹ de trigo y se fertilizaron con 200 kg ha⁻¹ (8-24-8, N-P-K) y NH₄NO₃ (200 kg ha⁻¹) en el momento de la siembra y antes del ahijamiento en todos los tratamientos.

En este trabajo se comparan los valores de rendimiento de un cultivo de trigo de invierno dentro de una rotación, la densidad de malas hierbas, la densidad aparente y la humedad del suelo en tres campañas distintas, 2010-2011, 2015-2016 y 2020-2021, dentro de un periodo de diez años.

Las parcelas de trigo se cosecharon en junio y el rendimiento de grano se estandarizó con un contenido de humedad del 12,5%. El muestreo de malas hierbas se realizó en el momento de floración del trigo. La densidad de malas hierbas se calculó a partir de cuatro muestras de cuadrantes de 0,25 m² por parcela. Los cuadrantes se colocaron al azar dentro de un área central de 5 × 10 m, para evitar efectos de borde. La densidad total de malas hierbas se refirió a la unidad de área (1m²).

Las muestras de suelo para determinar la densidad aparente y la humedad gravimétrica en cada campaña se recogieron en otoño (entre finales de octubre y la primera semana de noviembre de 2010, 2015 y 2020), después de la preparación del lecho de siembra. Se tomaron 3 muestras de suelo por parcela, a una profundidad de 0 a 7,5 cm y se calculó la densidad aparente del suelo mediante el método

de cilindro intacto (Blake and Hartge, 1986), y el contenido de humedad del suelo se determinó gravimétricamente. El estudio se centró en los 7,5 cm superiores del suelo, ya que es más probable que los cambios en las propiedades del suelo debidos al manejo se produzcan a estas profundidades.

El análisis de varianza del rendimiento en grano de trigo, densidad de malas hierbas, y los parámetros medidos en suelo (densidad aparente y humedad del suelo) se realizó utilizando el procedimiento Proc Mixed GLM con el año como efecto aleatorio y el manejo (sistema de laboreo) como efecto fijo. Con el fin de homogeneizar varianzas, todos los parámetros sufrieron una transformación (*Log/Asin*) previa al ANOVA. Las diferencias entre tratamientos se detectaron mediante el test de comparación de medias de Tukey (HSD), con un nivel de significación del 5%. Todos los test informáticos se realizaron con el paquete informático STATGRAPHICS® (Statgraphics Plus for Windows).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el ensayo de largo plazo, la pluviometría acontecida cada año fue el mayor factor limitante en los parámetros medidos sobre el cultivo y las malas hierbas. El primer año de estudio, 2010-2011, la precipitación media observada fue superior a la media anual histórica, y los años 2015-2016 y 2020-2021,

se registraron precipitaciones muy inferiores (Figura 1).

Los resultados mostraron que el rendimiento de trigo y la densidad de malas hierbas se vieron afectados significativamente por el año y no por el sistema de laboreo. La Figura 2 muestra que en 2010-2011 el rendimiento de trigo y la densidad de malas hierbas fueron muy superiores al del 2015-2016 y 2020-2021, en todos los sistemas de laboreo objeto de estudio. Las lluvias de mayo en la campaña 2010-2011, muy superiores a la media histórica, aseguraron un notable rendimiento de trigo en los tres sistemas en comparación con los años 2015-2016 y 2020-2021, excepcionalmente secos. El primer año de estudio, con mayor pluviometría, el LC controló mejor la densidad de malas hierbas que el resto de sistemas de laboreo y, los años extremadamente secos (2015-2016 y 2020-2021) no se observaron diferencias de rendimiento o densidad de malas hierbas entre los sistemas de laboreo. Acorde a nuestros resultados, numerosos trabajos han evaluado la variabilidad que las condiciones climáticas otorgan a los sistemas de cultivo (López-Bellido *et al.*, 2014).

La monitorización de las propiedades del suelo en el largo plazo nos permite conocer su evolución y el impacto del manejo en el tiempo. Respecto a los parámetros del suelo (Figura 3), observamos que tanto la densidad aparente como la humedad del

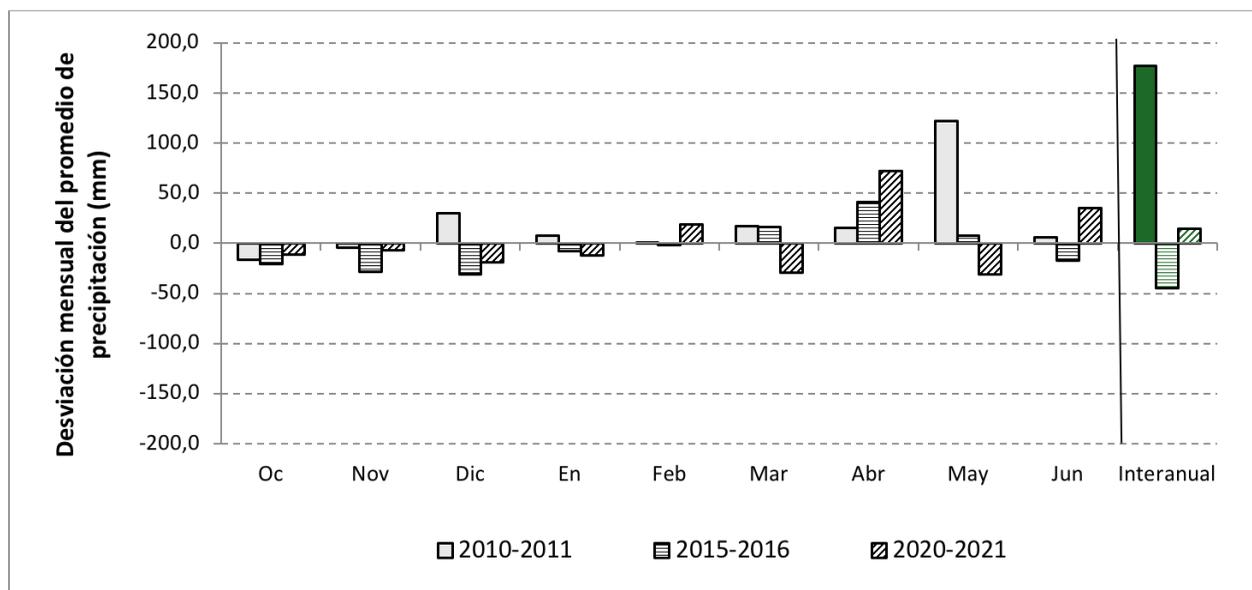


Figura 1 - Desviaciones promedio mensuales de la precipitación mensual en las campañas objeto de estudio.

suelo se redujeron significativamente en el 2015-2016, en aquellas parcelas que habían sido labradas (LC y ML), probablemente debido a la escasa humedad del suelo que presentaban dichas parcelas en el momento de la toma de muestras (octubre 2015).

A lo largo del periodo de estudio, se estudió también la predominancia de especies de malas hierbas en cada sistema de laboreo. Las especies más abundantes fueron las siguientes: *Cardaria draba*, *Descurainia sophia*, *Hypocoum procumbens*, *Fumaria officinalis*, *Lamium amplexicaule*, *Lolium rigidum*, *Papaver rhoeas* y *Veronica hederifolia*. En la Figura 4 se muestra la variación de la densidad relativa de cada especie en cada año y sistema de laboreo. Los resultados confirmaron que el sistema de laboreo influye en la especialización de las malas hierbas en unas determinadas condiciones de cultivo. Acorde a nuestros resultados, otros trabajos han descrito la influencia del laboreo en la distinta composición de la flora y valorado la dependencia a largo plazo del sistema de cultivo empleado (González-Andújar *et al.*, 2019).

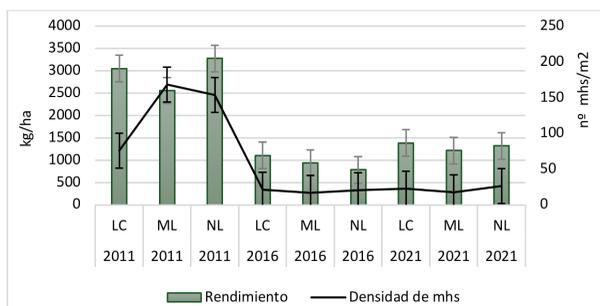


Figura 2 - Rendimiento de grano de trigo y densidad de malas hierbas presente en cada sistema de laboreo los tres años objeto de estudio.

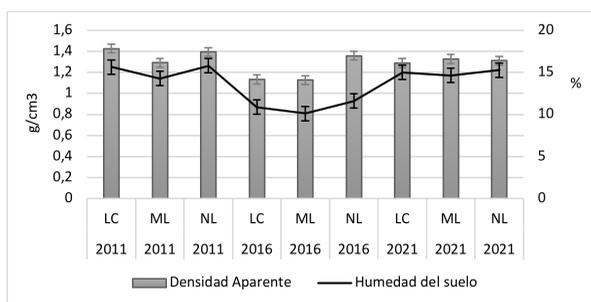


Figura 3 - Densidad aparente y humedad del suelo presente en las parcelas de cada sistema de laboreo los tres años objeto de estudio.

El rendimiento de los cultivos de cereales en rotación es óptimo en condiciones semiáridas si las precipitaciones se producen en el momento y la cantidad adecuados, pero esta situación es cada vez menos frecuente debido a una pluviometría cada vez más escasa y errática, lo que provoca una notable variabilidad en los rendimientos. Además, el espectro de especies de malas hierbas varía con el sistema de laboreo empleado, y estas diferencias condicionan los métodos empleados para su control. En este contexto, los experimentos a largo plazo son herramientas esenciales para conocer las prácticas sostenibles y facilitar la toma de decisiones.

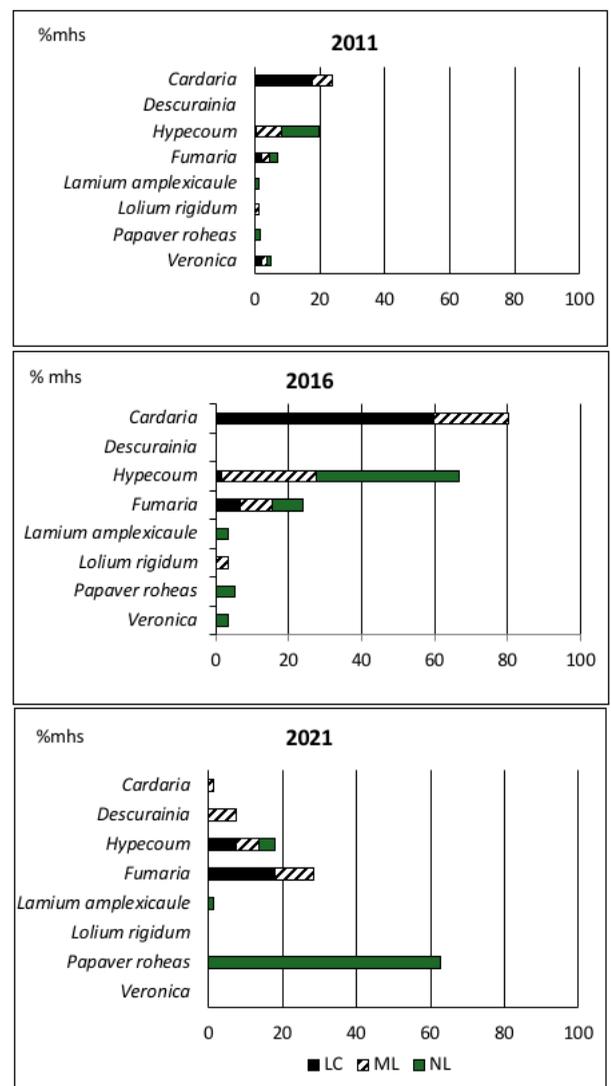


Figura 4 - Localización de las parcelas. El número se corresponde con la descripción anterior. En la parcela 3 faltaba cubrir la estructura con un plástico.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio está financiado por el programa EJP-Soil, proyecto Soil CompaC (UE H2020) 2ª call, grant agreement N° 862695.

Gracias a Mar Albarrán por la gestión de los análisis de suelo y a David San Martín por su ayuda en los muestreos del campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blake, G.R. & Hartge, K.H. (1986) - Bulk density. *In: Klute, A. (Ed.) - Methods of Soil Analysis, Part 1—Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Edition, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy—Soil Science Society of America, Madison, p. 363-382.
- Gandía, M.L.; Del Monte, J.P.; Tenorio, J.L. & Santín-Montanyá, M.I. (2021) - The influence of rainfall and tillage on wheat yield parameters and weed population in monoculture versus rotation systems. *Scientific Reports*, vol. 11, art. 22138. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00934-y>
- González-Andujar, J.L.; Aguilera, M.J.; Davis, A.S. & Navarrete, L. (2019) -Disentangling weed diversity and weather impacts on long-term crop productivity in a wheat-legume rotation. *Field Crops Research*, vol. 232, p. 24-29. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.12.005>
- Kertész, À. & Madarász, B. (2014). Conservation agriculture in Europe. *International Soil and Water Conservation Research*, vol. 2, n. 1, p. 91–96. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30016-2](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30016-2)
- Lampurlanés, J.; Plaza-Bonilla, D.; Álvaro-Fuentes, J. & Cantero-Martínez, C. (2016) - Long-term analysis of soil water conservation and crop yield under different tillage systems in Mediterranean rainfed conditions. *Field Crops Research*, vol. 198, p. 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.010>
- López-Bellido, L.; Muñoz-Romero, V.; Fernández-García, P. & López-Bellido, R.J. (2014) - Ammonium accumulation in soil: The long-term effects of tillage, rotation and N rate in a Mediterranean vertisol. *Soil Use Management*, vol. 30, n. 4, p. 471–479. <https://doi.org/10.1111/sum.12147>
- Navarra, A. & Tubiana, L. (2013) - *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean, Advances in Global Change Research*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5772-1>
- Soil Survey Staff (2010) - *Keys to Soil Taxonomy*. 11th Edition, USDA-NRCS, Washington DC. p. 410