

# Impacto de la diversificación de cultivos sobre la calidad de suelo bajo condiciones de secano semiárido mediterráneo

---

Irene Martín Brull<sup>\*</sup>, María Alonso Ayuso<sup>1</sup>, Victoria Lafuente<sup>1</sup>, Ana Bielsa<sup>1</sup>, Fernando Gómez<sup>1</sup>, Carlos Cantero-Martínez<sup>2</sup>, Jorge Álvaro-Fuentes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Suelo y Agua. Estación Experimental de Aula Dei (EEAD), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Av. Montañana 1005, 50059 Zaragoza

<sup>2</sup>Departamento de Producción Vegetal y Ciencia Forestal, Unidad asociada a EEAD-CSIC, Centro Agrotecnio, Universidad de Lleida (UdL), Av. Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida, España

Los suelos de las regiones semiáridas mediterráneas se caracterizan por tener un bajo contenido de materia orgánica, una baja retención de agua y nutrientes, y por tanto, una baja fertilidad (Lal, 2004). Además, el clima en estas regiones se caracteriza por sus escasas e irregulares precipitaciones y altas temperaturas durante el período estival. Por tanto, las condiciones edafoclimáticas en estas regiones conducen de forma general a unos bajos rendimientos de cultivos y a un aumento de la susceptibilidad de los suelos a sufrir procesos erosivos.



## **Necesidad de diversificación de los cultivos**

En condiciones de secano semiárido, el sistema de producción tradicional es el conocido "año y vez", que consiste en un cultivo de cereal de invierno en rotación con un barbecho largo desnudo, en general asociado a un laboreo intensivo. El laboreo intensivo produce una alteración del suelo que afecta a su estructura física y a sus características químicas y biológicas, lo cual tiene un impacto en la fertilidad del suelo. En España, el cultivo de cereales ocupa la mayor parte de la superficie territorial con, aproximadamente, unos 6 millones de hectáreas, siendo las tres especies principales la cebada (43%), el trigo blando (28,8%) y el trigo duro (6,4%) (MAPA, 2019) y donde el 85% de las explotaciones son estos cultivos están en condiciones de secano. Además, y a pesar de la regulación de la Política Agraria Comunitaria (PAC), estos sistemas, presentan un bajo nivel de diversificación.

Los sistemas de manejo de suelo de conservación son prácticas agrícolas que presentan un interés de cara a mejorar la calidad del suelo ya que llevan a un aumento de la materia orgánica (Laudicina et al., 2014). En concreto, la introducción de leguminosas en rotaciones con cereales de invierno en siembra directa resulta una alternativa interesante frente al sistema tradicional de año y vez con laboreo intensivo. La inclusión de leguminosas en estos sistemas de cultivo conlleva un posible pero muy interesante (cuidado que en algunos casos, especialmente en condiciones áridas y semiáridas los aportes de N no son tan importantes en cantidad e incluso se podría dar el caso de cantidades muy pequeñas). Aporte de nitrógeno al suelo, con el consiguiente ahorro en fertilizante nitrogenado para el siguiente cultivo. Otro de los beneficios de las rotaciones cereal-leguminosa es el aumento de la diversidad de los cultivos, lo cual permite un control más eficaz de las malas hierbas. Además, los sistemas de laboreo de conservación incluidos la siembra directa permiten un uso más eficiente de los recursos naturales como son el suelo y el agua.

## **¿Qué se entiende por calidad de suelo y cómo se puede evaluar en los sistemas agrícolas?**

La calidad del suelo es la capacidad del suelo para funcionar adecuadamente en un ecosistema natural o alterado para uso antrópico, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y favorecer la salud humana y el hábitat (Karlen et al., 1997). Las propiedades físicas, químicas y biológicas son indicadoras de la calidad del suelo. La estructura del suelo se puede definir como la agrupación de las partículas minerales (arena, limo y arcilla) con la materia orgánica (restos vegetales o animales en descomposición). Estas agrupaciones se conocen como agregados y se pueden clasificar según su tamaño: microagregados (<0,25 mm de diámetro) y los macroagregados (>0,25 mm de diámetro). El aumento del contenido y de la calidad de la materia orgánica pueden tener efectos beneficiosos sobre la calidad del suelo, ya que este contenido se encuentra relacionado con la estructura, la infiltración y la disponibilidad de agua para la producción de cultivos (Doran & Parkin, 1994). Sin embargo, los cambios en el contenido de materia orgánica del suelo son detectables a largo plazo. Por tanto, resulta fundamental buscar indicadores de calidad de suelo que permitan detectar cambios a más corto plazo.

Un ejemplo serían los indicadores de la actividad biológica del suelo que pueden proporcionar información a corto plazo sobre el impacto de los sistemas de cultivo en

los cambios en el contenido de materia orgánica del suelo (Acosta-Martínez et al., 2011). Alguno de estos indicadores valoran las comunidades microbianas que desempeñan un papel fundamental en la descomposición de los residuos vegetales, y que puede contribuir a una mayor acumulación de la materia orgánica en el suelo (Kandeler & Bohm, 1996), aumentando su fertilidad. Valorar la cantidad del carbono asociado a la biomasa microbiana del suelo es también un indicador de la presencia de microorganismos del suelo, los cuales están implicados en la formación de la materia orgánica. Asimismo, la cuantificación de actividades enzimáticas permite evaluar la actividad de estos microorganismos. Así, por ejemplo, la enzima  $\beta$ -glucosidasa está implicada en la degradación de los restos vegetales en compuestos orgánicos más simples, por tanto, su actividad en suelo brinda información sobre el proceso de descomposición de los residuos. Por tanto, estos parámetros son buenos indicadores de la actividad biológica, y son útiles para conocer el impacto que tienen diferentes sistemas de cultivo sobre la calidad del suelo.

### **Un estudio sobre diversificación y calidad del suelo**

Con el fin de evaluar el impacto de la diversificación de cultivos bajo siembra directa sobre la calidad del suelo en condiciones de secano semiárido, se realizó un experimento que comenzó en 2018 en la finca experimental de la Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC) ubicado en el término municipal de Peñaflo, Zaragoza. En el ensayo, se evaluaron diferentes sistemas de cultivo alternativos al sistema de cultivo tradicional de año y vez.



*Fotografía 1. Parcela de cultivo de guisante junto a parcelas con cultivo de cebada en un ensayo experimental en Zaragoza.*

El clima de la zona es Mediterráneo semiárido con una precipitación media anual de 345 mm y una temperatura media del aire de 14°C. El suelo tiene una textura franco limosa, un pH de 8 y un contenido de carbonatos (CaCO<sub>3</sub>) de 39,6%. El campo experimental provenía de un sistema de producción de “año y vez” basado en cereales de invierno.

Se establecieron los siguientes sistemas:

- Un monocultivo continuo de cebada (MC) en siembra directa.
- Una rotación cebada-trigo (C-T), en siembra directa.
- Una rotación cebada-guisante (C-G), en siembra directa.

Además, se dejó como control el sistema tradicional de año y vez, consistente en un cultivo de cebada seguido de un año de barbecho labrado (C-BL). En dos momentos del año (invierno y primavera), durante las campañas 2019-2020 y 2020-2021, se tomaron muestras de suelo (0-10 cm) en cada parcela experimental (Tabla 1). Para cada muestra de suelo se realizaron las siguientes determinaciones: la actividad de la enzima  $\beta$ -glucosidasa y el carbono de la biomasa microbiana del suelo como indicadores de la actividad biológica, y el contenido de macroagregados del suelo como indicador de la estabilidad estructural.



Fotografía 2. Parcelas con cultivos de cebada y trigo en el ensayo experimental.

Sistema de cultivo	Campaña 2019-2020	Campaña 2020-2021
C-BL	Cultivo de cebada	Barbecho labrado
C-G	Cultivo de cebada	Cultivo de guisante
C-T	Cultivo de cebada	Cultivo de trigo
MC	Cultivo de cebada	Cultivo de cebada

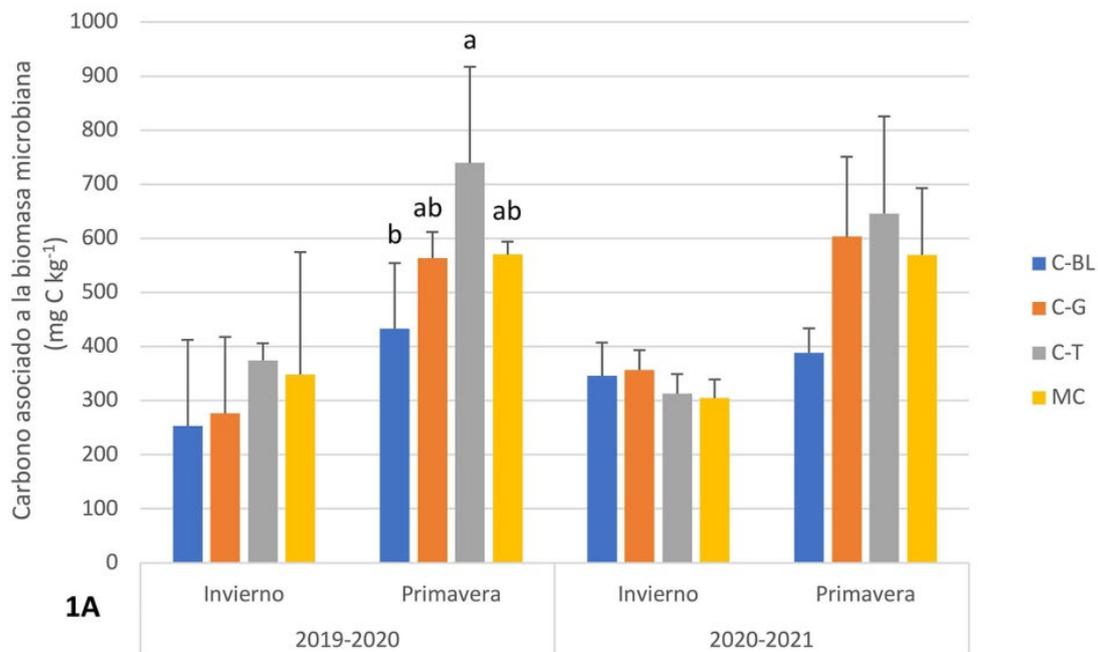
*Tabla 1. Sistema de cultivo a los que corresponden las muestras de suelo estudiadas durante las dos campañas.*

Los resultados muestran en general que los sistemas diversificados promueven la actividad biológica y favorecen una mayor estabilidad de la estructura, es decir, mejoran la calidad del suelo, así, repercutiendo de manera positiva en el sistema agrícola. Concretamente y transcurrido un año desde el establecimiento del ensayo experimental, se observó el impacto de los diferentes sistemas de cultivo sobre la calidad del suelo. El sistema tradicional de año y vez (C-BL) presentó los menores valores indicadores de actividad biológica (Figura 1), principalmente en primavera. Otros autores han reportado resultados similares a los del presente estudio. En tres ensayos experimentales en condiciones de secano semiárido, localizados en el SO y NE de España, Madejón et al., (2009) evaluaron la biomasa microbiana y la actividad de dos enzimas del suelo (deshidrogenasa y proteasa), en los que encontraron una mayor actividad biológica en la capa más superficial del suelo (0-5 cm) asociada a prácticas de laboreo mínimo y no laboreo respecto a los sistemas de laboreo intensivo. Con siembra directa los restos vegetales quedan sobre el suelo y se descomponen más lentamente, mejorando la disponibilidad de los nutrientes para el siguiente cultivo. Además, los residuos vegetales a modo de acolchado, favorecen la acumulación del agua y protegen al suelo frente a procesos erosivos durante el período de post-cosecha. Todo esto explica que la mayor actividad biológica encontrada en sistemas basados en agricultura de conservación esté asociada a una mayor calidad y fertilidad del suelo respecto de sistemas de tradicionales con laboreo intensivo.

En este trabajo, los sistemas de cultivo en siembra directa presentaron un mayor contenido de macroagregados estables al agua (Figura 2). Estos resultados coinciden con los de otros trabajos realizados en el área mediterránea. En un estudio realizado en el Valle del Ebro (Álvaro-Fuentes et al., 2009), se encontró que los sistemas de cultivo continuo, es decir, aquellos en lo que se suprime el barbecho, junto con prácticas de laboreo mínimo o no laboreo, presentaron una mayor estabilidad de los macroagregados. El laboreo intensivo rompe los agregados que forman la estructura del suelo, lo que explica que la agricultura de conservación presente una mayor estabilidad de los macroagregados al agua. En este trabajo, el contenido de macroagregados estables al agua fue mayor en los sistemas de MC y de C-T que en la rotación que incluía una leguminosa, C-G. Esto se pudo deber a que las condiciones del estudio no permitieron un buen desarrollo del cultivo de guisante, por lo que se obtuvo una menor cantidad de residuo sobre la superficie limitando sus posibles beneficios sobre la calidad del suelo. Las leguminosas suponen un gran aporte de nitrógeno para el suelo, y su introducción en rotaciones de cultivo puede ser interesante para mejorar tanto la calidad del suelo como la sostenibilidad del sistema de cultivo. En otro estudio de la región mediterránea, Sánchez-Navarro et al., (2019) evaluaron parámetros estructurales y biológicos indicadores de la calidad del suelo, y concluyeron que la inclusión de leguminosas en rotación con cultivos hortícolas, aunque no supuso una mejora significativa de la estructura y la actividad biológica, conllevó a una reducción del 20% de la dosis de fertilizante nitrogenado y además mantuvo un contenido alto de nutrientes en suelo que repercutió positivamente en el rendimiento y calidad del cultivo hortícola. En otro ensayo en condiciones de secano semiárido, Melero et al., (2007) establecieron una rotación de cultivos durante 4 años (girasol-trigo duro-lenteja-trigo duro), en la que encontraron en la última fase de la rotación la mayor actividad de diversas enzimas del suelo, entre ellas la  $\beta$ -glucosidasa. Este resultado lo atribuyeron a

la inclusión de la lenteja en la rotación; además, asociaron la mayor actividad biológica con el incremento de biomasa microbiana y materia orgánica encontrados en el suelo al final del experimento.

En nuestro trabajo, los parámetros indicadores de la calidad del suelo fueron variables entre campañas y a lo largo del año. En general, se encontraron mayores valores en todas las variables medidas en primavera respecto al invierno (Figuras 1 y 2). La subida de las temperaturas, junto con las frecuentes lluvias de la primavera, hace que se den condiciones favorables en este período para un aumento del desarrollo de los cultivos y de la actividad biológica del suelo. Además, en condiciones de secano semiárido, el desarrollo de los cultivos y por tanto la actividad biológica asociada, se puede ver fuertemente afectado por la gran variabilidad de la precipitación a lo largo de la campaña y entre distintas campañas. Por tanto, los mayores valores encontrados en las cuatro variables de suelo estudiadas en la primavera de 2019-2020 (Figuras 1 y 2), se explicarían por la mayor precipitación de la primera campaña (307 mm), aproximadamente un 24% superior que la registrada durante la segunda campaña (232 mm).



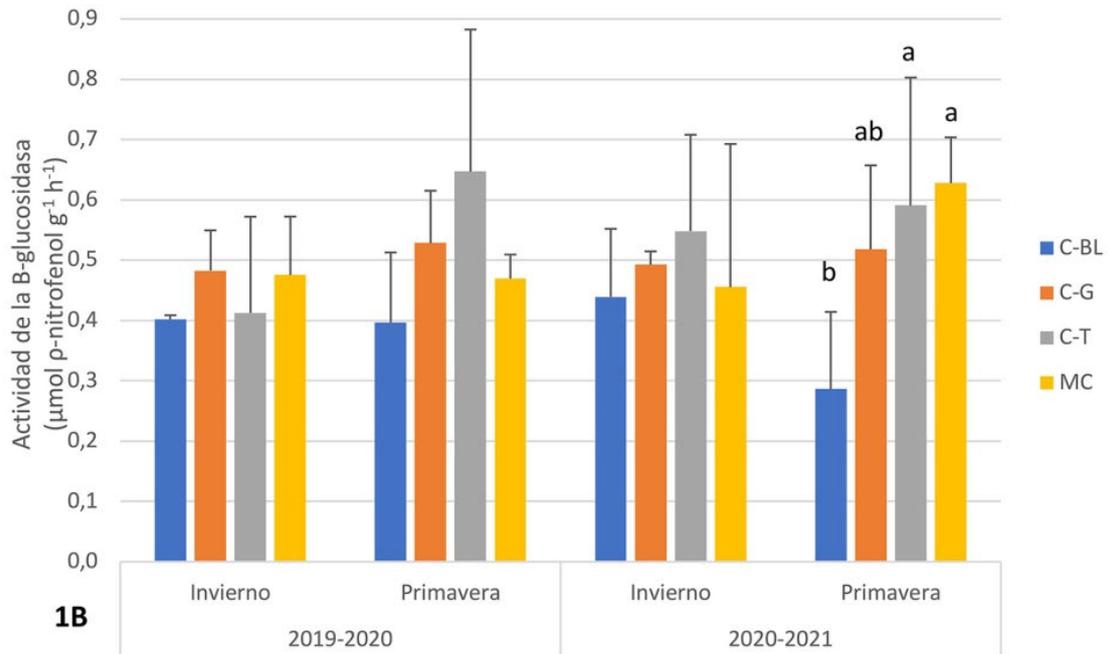


Figura 1. Parámetros indicadores de la calidad del suelo relacionados con sus propiedades biológicas: A) Carbono asociado a la biomasa microbiana del suelo; B) Actividad de la enzima B-glucosidasa en el suelo; determinados en los diferentes sistemas de cultivo en los dos muestreos realizados en las campañas 2019-2020 y 2020-2021. Los sistemas de cultivos son: las rotaciones cebada-barbecho labrado (C-BL), cebada-guisante (C-G), cebada-trigo (C-T) y el monocultivo continuo de cebada (MC). Para cada fecha de muestreo, las letras indican diferencias significativas entre sistemas de cultivo.

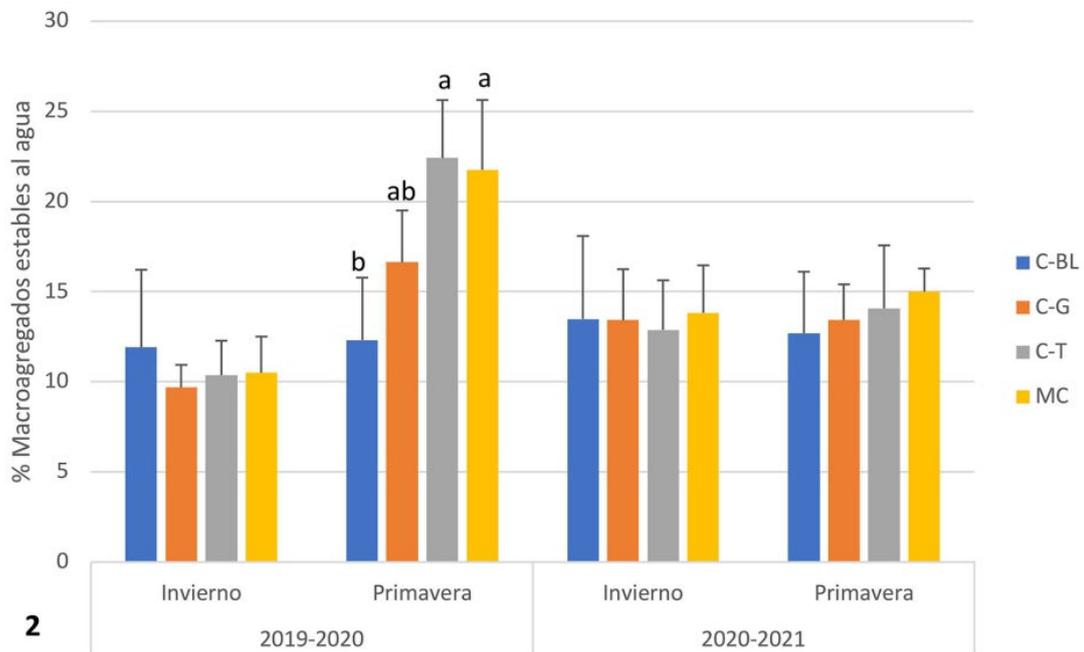


Figura 2. Parámetro estructural indicador de la calidad del suelo: porcentaje de macroagregados estables al agua determinado en los diferentes sistemas de cultivo en los dos muestreos realizados en las campañas 2019-2020 y 2020-2021. Los sistemas de cultivos son: las rotaciones cebada-barbecho labrado (C-BL), cebada-guisante (C-G), cebada-trigo (C-T) y el monocultivo continuo de cebada (MC). Para cada fecha de muestreo, las letras indican diferencias significativas entre sistemas de cultivo.

## Interés de los resultados obtenidos

Los indicadores de la actividad biológica y de la estructura del suelo son fundamentales para conocer el impacto del sistema de cultivo y prácticas agrícolas sobre la calidad del suelo en condiciones de secano semiárido. En nuestro caso, la diversificación de cultivos junto con la siembra directa han demostrado ser prácticas agrícolas alternativas positivas respecto al sistema tradicional de año y vez con laboreo intensivo y que, a su vez, pueden favorecer la calidad del suelo. Esto último tendrá un efecto positivo en el rendimiento y en la producción de los cultivos de estos agrosistemas de secano semiárido Mediterráneo.



Fotografía 3. Parcelas con cultivos de cebada en el ensayo experimental.

### **Bibliografía**

Acosta-Martínez, V., Lascano, R., Calderón, F., Booker, J. D., Zobeck, T. M., & Upchurch, D. R. (2011). Dryland cropping systems influence the microbial biomass and enzyme activities in a semiarid sandy soil. *Biology and Fertility of Soils*, 47(6), 655–667.

Álvaro-Fuentes, J., Cantero-Martínez, C., López, M. V., Paustian, K., Deneff, K., Stewart, C. E., & Arrúe, J. L. (2009). Soil aggregation and soil organic carbon stabilization: Effects of management in semiarid mediterranean agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 73(5), 1519–1529.

Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and Assesing Soil Quality. In J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, B. A. Stewart, & T. B. Parkin (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. (pp. 3–21). Soil Science Society of America and America Society of Agronomy.

Kandeler, E., & Bohm, K. E. (1996). Temporal dynamics of microbial biomass, xylanasa activity, N-mineralization and potential nitrification in defferent systems. *Applied Soil Ecology*, 4(4), 181–191.

Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. (1997). Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4–10.

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1–2), 1–22.

Laudicina, V. A., Novara, A., Gristina, L., & Badalucco, L. (2014). Soil carbon dynamics as affected by long-term contrasting cropping systems and tillages under semiarid Mediterranean climate. *Applied Soil Ecology*, 73, 140–147.

Madejón, E., Murillo, J. M., Moreno, F., López, M. V., Arrue, J. L., Alvaro-Fuentes, J., & Cantero, C. (2009). Effect of long-term conservation tillage on soil biochemical properties in Mediterranean Spanish areas. *Soil and Tillage Research*, 105(1), 55–62.

MAPA. (2019). Cultivos herbáceos e industriales. Cereales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/cereales/>

Melero, S., Madejón, E., Ruiz, J. C., & Herencia, J. F. (2007). Chemical and biochemical properties of a clay soil under dryland agriculture system as affected by organic fertilization. *European Journal of Agronomy*, 26(3), 327–334.

Sánchez-Navarro, V., Zornoza, R., Faz, Á., & Fernández, J. A. (2019). Does the use of cowpea in rotation with a vegetable crop improve soil quality and crop yield and quality? A field study in SE Spain. *European Journal of Agronomy*, 107, 10–17.