

# Resultados de veinticinco años de **no laboreo continuo** en el secano de la campiña andaluza

A lo largo de los veinticinco años que ha durado el Experimento Malagón, se ha comparado el sistema de no laboreo con el laboreo convencional en cuatro rotaciones bianuales de cultivo (trigo-girasol, trigo-habas, trigo-garbanzos y trigo-barbecho) y monocultivo de trigo. En ambos sistemas de laboreo se determinaron los siguientes parámetros: rendimiento, materia orgánica y N mineral del suelo en el perfil 0-90 cm, desarrollo y biomasa radicular de los cultivos, emisiones de CO<sub>2</sub>, secuestro de C del suelo, temperatura y humedad del suelo y formación de grietas.



**E**l suelo del experimento Malagón es el típico Vertisol popularmente conocido como bujeo, que tiene como principales características: su naturaleza fuertemente arcillosa (un promedio del 73% de arcilla en el perfil de 0-90 cm), pH ligeramente básico, bajo contenido de materia or-

gánica, alta capacidad de intercambio catiónico y fuerte tendencia a la formación de grandes grietas durante el período seco en los primeros horizontes del suelo.

El sistema de no laboreo fue comparado durante veinticinco años con el laboreo convencional en cuatro rotaciones bianuales de cultivo (trigo-girasol, trigo-habas, trigo-garbanzos y trigo-

barbecho) y monocultivo de trigo, utilizándose un diseño experimental en parcelas subdivididas con cuatro repeticiones. Las parcelas de no laboreo fueron sembradas con una sembradora específica de no laboreo, controlándose las malas hierbas con glifosato+MCPA antes de la siembra. El laboreo convencional fue realizado con arado de

vertedera, escarificador y grada antes del cultivo del trigo, y labores de escarificador y grada antes de la siembra de los demás cultivos.

Como es característico del clima mediterráneo, se registraron altas variaciones interanuales de la cantidad de lluvia en los veinticinco años del experimento, con valores extre-

mos comprendidos entre 190 y 1.009 mm/año (**figura 1**).

## Rendimiento de los cultivos

En conjunto, los resultados de veinticinco años del experimento, basado en conocer la influencia del sistema de no laboreo en determinados parámetros agronómicos, han



demonstrado que el no laboreo es una alternativa viable al laboreo convencional, tanto económica como ambiental, en todos los cultivos. Los efectos sobre la erosión de las fuertes lluvias frecuentes de otoño-invierno son más patentes en el laboreo convencional que en el no laboreo; cuando es mínima la cobertura del cultivo y debido a las pen-

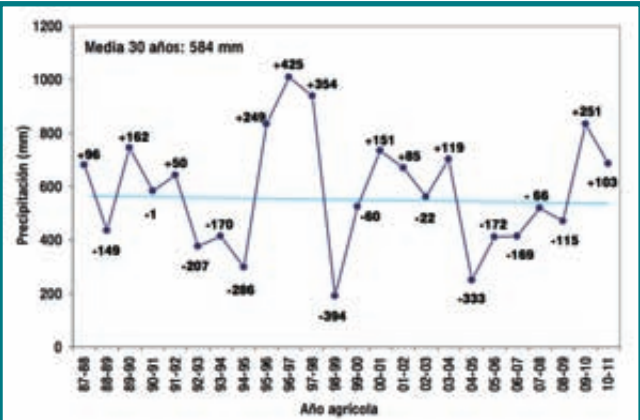
dientes irregulares típicas de los Vertisoles de la campiña andaluza.

Además de las fuertes oscilaciones de los rendimientos interanuales debidos a la variabilidad en la cantidad y distribución de la lluvia, la **figura 2** muestra cómo el cultivo del trigo ha tenido mejor respuesta al no laboreo, frente al laboreo convencional, que se ha incrementado en el transcurso de los años del experimento, como muestran las rectas de tendencia de dicha figura. En el conjunto de los veintitrés años efectivos de estudio, el no laboreo registró un rendimiento medio significativamente mayor que el laboreo convencional con 3.046 y 2.903 kg/ha, respectivamente (**figura 2**).

También el cultivo de girasol se adapta bien al sistema de no laboreo, y su rendimiento no difiere del laboreo convencional, con las ventajas de la reducción de costes, el potencial incremento de almacenamiento de agua en el suelo y la reducción de pérdidas por erosión (**figura 2**). Las rectas de tendencia son positivas en ambos sistemas de laboreo, aunque los rendimientos medios en el conjunto de los diecinueve años efectivos del experimento no difirieron significativamente, con 1.471 y 1.528 kg/ha en no laboreo y laboreo convencional, respectivamente (**figura 2**).

El sistema de laboreo también afectó significativamente al rendimiento de las habas en el conjunto del experimento, al igual que el trigo, con un rendimiento medio de 1.704 y 1.549 kg/ha en el no laboreo y el laboreo convencional, respectivamente (**figura 2**). En la **figura 2** se aprecia una fuerte interacción entre años y sistema de laboreo, donde la lluvia registrada tuvo un papel relevante. La evolución estabilizada o incluso regresiva de las rectas de tendencia del rendimiento de las habas a lo largo del conjunto del experimento, pone de manifiesto el singular comportamiento de las leguminosas

**FIGURA 1. Lluvia anual registrada en el Experimento Malagón (Córdoba) en el periodo 1987-2011.**



Las cifras en cada punto indican las desviación positiva o negativa de la cantidad de lluvia respecto a la media anual de 30 años. La línea recta azul representa la tendencia de la precipitación en el período de estudio, que fue ligeramente negativa.

**El sistema de no laboreo continuo es una opción viable tanto técnica como económicamente, y supone una notable mejora respecto al laboreo convencional tanto desde el punto de vista ambiental como de reducción de costes de cultivo y energía, especialmente referidos al ahorro de laboreo**

cuando son sembradas con excesiva frecuencia en un mismo suelo en un ciclo de rotación corto, aunque en mucha menor medida de la que siempre se ha afirmado por los trabajos de la agronomía clásica.

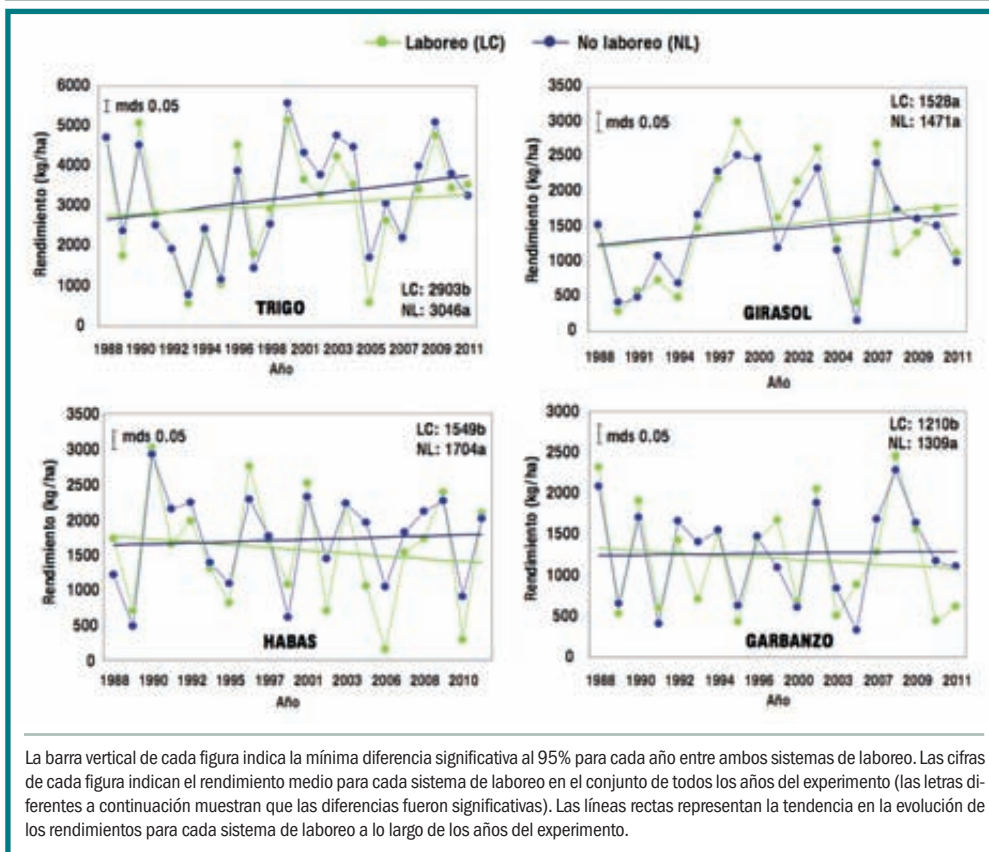
Por último, el sistema de laboreo también tuvo una influencia significativa en el rendimiento del garbanzo, también favorable al no laboreo (1.309 kg/ha) frente al laboreo convencional (1.210 kg/ha) en el conjunto de los diecinueve años efectivos del experimento (**figura 2**). Al igual que las habas, la interacción año x sistema de laboreo fue altamente significativa, donde la lluvia fue el factor decisivo en los rendimientos y en el comportamiento del sistema (**figura 2**).

En definitiva, puede afirmarse que el sistema de no laboreo continuo, es una opción viable tanto técnica como económica, y supone una notable mejora respecto al laboreo convencional tanto desde el punto de vista ambiental (notable reducción de los efectos de la erosión provocada principalmente por la lluvia) como de reducción de costes de cultivo y energía, especialmente referidos al ahorro de laboreo.

## Materia orgánica y secuestro de carbono del suelo

Al inicio del experimento Malagón en 1986, el contenido de materia orgánica del

**FIGURA 2. Influencia del sistema de laboreo en el rendimiento de trigo, girasol, habas y garbanzos en los veinticinco años del Experimento Malagón.**



suelo tenía un valor medio de 0,96% en los primeros 30 cm, 0,53% en el horizonte 30-60 cm y 0,29% en el estrato 60-90 cm. En el año 2008 dichos valores fueron de 1,19; 0,92 y 0,73% para los mismos horizontes, respectivamente, para el conjunto del experimento promediando ambos sistemas de laboreo. Es evidente que el incremento de la materia orgánica tras los años del experimento ha sido muy débil en comparación con los datos aportados por otros estudios, a pesar de no haberse nunca retirado la paja ni quemado el rastrojo y los residuos de ningún cultivo. En concreto, en el horizonte superficial (0-30 cm) el incremento del contenido de materia orgánica ha sido el 24%, apenas un 1% anual. Sin embargo, en los horizontes de 30-60 y 60-90 cm

el incremento fue mucho mayor, el 74 y 152% respectivamente, atribuible a la progresiva acumulación de la paja y los residuos en dichos horizontes más profundos a través de las típicas grietas del Vertisol.

La materia orgánica es un factor clave de la productividad y la calidad de los suelos en las condiciones mediterráneas, siendo su nivel normalmente bajo y a veces crítico para mantener la fertilidad y la conservación del suelo. Por todo ello, el mantenimiento de la paja y los residuos de los cultivos en el suelo, sin ser retirados ni quemados, es una medida de capital importancia para garantizar en el futuro la sostenibilidad de la agricultura de secano mediterránea. Todo ello porque los bajos rendimientos, debidos al frecuente déficit de agua y las altas temperaturas, generan baja producción de resi-

duos y fuerte mineralización; lo cual justifica el bajo contenido de materia orgánica y la débil capacidad del sistema para incrementarla a lo largo del tiempo, aun llevando a cabo prácticas de laboreo de conservación y sin retirar los residuos del suelo.

Las diferencias en el contenido de materia orgánica entre ambos sistemas de laboreo, aunque ligeramente más altas en el no laboreo que en el laboreo convencional, no han sido significativas en los primeros 30 cm de suelo (1,21 y 1,15%, respectivamente). Por el contrario, en los horizontes de 30-60 cm y 60-90 cm, el contenido de materia orgánica fue significativamente más alto en el no laboreo y con un incremento notablemente mayor respecto a los datos iniciales, como ya se ha indicado.

El experimento Malagón en un periodo de veinte años ha secuestrado 18,25 t/ha de carbono, con una tasa media anual de 0,9 t/ha. Este hecho pone de relieve que los sistemas de cultivo de secano de la campiña andaluza contribuyen significativamente al secuestro de C, por lo cual deben ser valorados positivamente en el contexto de preocupación ambiental existente sobre los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Según los dos sistemas de laboreo estudiados, el secuestro de C fue significativamente diferente. El no laboreo secuestró 20,8 t/ha de C frente a 15,7 t/ha del laboreo convencional. Esto se tradujo

### CUADRO I.

**Contenido de carbono orgánico del suelo (0-90 cm) secuestrado en 20 años del Experimento Malagón y tasa media de secuestro anual.**

Sistema laboreo	Rotación	Secuestro C	
		1986-2006 (t/ha)	Tasa media (t/ha/año)
No laboreo	Trigo-habas	25,4	1,3
	Trigo-girasol	22,1	1,1
	Trigo-garbanzo	19,2	1,0
	Trigo-barbecho	16,2	0,8
	<b>Media</b>	<b>20,8</b>	<b>1,0</b>
Laboreo	Trigo-girasol	19,3	1,0
	Trigo-garbanzo	16,7	0,8
	Trigo-barbecho	16,4	0,8
	Trigo-habas	10,3	0,5
	<b>Media</b>	<b>15,7</b>	<b>0,8</b>

en una tasa media anual de secuestro de C de 1,0 y 0,8 t/ha en el no laboreo y laboreo convencional, respectivamente (**cuadro I**).

Unas de las peculiaridades más notables de los suelos del experimento Malagón, en relación con el secuestro de C, ha sido que éste fue mayor en los horizontes de suelo más profundos (> 30 cm) respecto a la capa superficial. Por debajo del horizonte de los primeros 60 cm de suelo fue secuestrada casi la mitad del C total (46%). Mientras que en la capa superficial (30 cm), solo fue secuestrado el 15% del C. Esto contrasta con otros tipos de suelo, donde lo normal es que la mayor cantidad de C se acumule en las capas superficiales, lo cual, sin duda, confiere una ventaja a los Vertisoles. Como ya se ha dicho, la acumulación de C en profundidad es debida a la formación de grietas de grandes dimensiones que se generan en los calurosos veranos mediterráneos, y que dan lugar a que los residuos de los

cultivos sean “tragados” por el suelo a capas más profundas, lo que implica la reducción de su mineralización y por tanto una mayor estabilización del C orgánico.

La rotación de cultivo que más C secuestró en veinte años fue trigo-habas en no laboreo (25,4 t/ha), seguida de trigo-girasol también bajo el sistema de no laboreo (22,1 t/ha) (**cuadro I**). En síntesis, los resultados obtenidos ponen de relieve que: (i) el trigo es el cultivo clave en el secuestro del C; (ii) la gran capacidad de las habas para secuestrar C en rotación con el trigo, pero sólo bajo no laboreo; y (iii) el gran potencial del girasol, a pesar de la incertidumbre de este cultivo por la variable disponibilidad de agua.

En definitiva, el estudio del experimento Malagón también indica que la agricultura, a diferencia de otros sectores como la industria o el transporte, es capaz, bajo un manejo apropiado, no solo de reducir a cero las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, sino de capturar éste y almacenarlo como carbono en el suelo.

## **Un balance preliminar del CO<sub>2</sub> en los cultivos de trigo, girasol, garbanzos y habas sembrados en la campiña andaluza, indica que éstos pueden capturar anualmente 4,8 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> de la atmósfera, lo cual representa el 16% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en Andalucía**

Un balance preliminar del CO<sub>2</sub> en los cultivos de trigo, girasol, garbanzos y habas sembrados en la campiña andaluza, indica que éstos pueden capturar anualmente 4,8 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> de la atmósfera, lo cual representa el 16% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en Andalucía.

### **Otros factores del suelo**

Entre ellos hay que resaltar el desarrollo del sistema radicular de los cultivos, la infestación de jopo en los cultivos de girasol

y habas, la humedad y temperatura del suelo y la formación de grietas en el mismo. En el conjunto del experimento, el no laboreo registró valores de densidad radicular significativamente mayores que el laboreo convencional, en los cultivos de trigo y habas. En los años húmedos la densidad radicular media del trigo fue 10,8 y 7,5 km/m<sup>3</sup> en el no laboreo y laboreo convencional, siendo en los años secos 1,7 y 1 km/m<sup>3</sup>, respectivamente. Todo ello en el perfil de suelo 0-90 cm estudiado.



**El cultivo del trigo ha tenido la mejor respuesta al no laboreo, frente al laboreo convencional, que se ha incrementado en el transcurso de los veintitrés años efectivos de estudio.**



El cultivo de girasol se adapta bien al sistema de no laboreo, y su rendimiento no difiere del laboreo convencional, con las ventajas de la reducción de costes, el potencial incremento de almacenamiento de agua en el suelo y la reducción de pérdidas por erosión.

Hubo una estrecha relación directa entre los valores de la densidad radicular de todo el perfil de suelo y el rendimiento de trigo, en el conjunto de los años de estudio. Dicha relación mostró cómo la respuesta del rendimiento al incremento de la densidad radicular es lineal y significativa, con niveles más altos para el rendimiento de grano bajo no laboreo frente al laboreo convencional.

La biomasa radicular del trigo registró un valor medio para el conjunto del experimento y del perfil del suelo estudiado (0-90 cm) de 2.549 kg/ha. También el no laboreo tuvo mayor cantidad de biomasa radicular que el laboreo convencional en la mayoría de los años.

La cantidad de lluvia tuvo una fuerte influencia en la densidad y la biomasa radicular del trigo hasta los 30-40 cm de profundidad de suelo, siendo los valores de ambos parámetros notablemente superiores en los años más lluviosos. En los primeros 30 cm de suelo se localizó el 25% de la densidad radicular total en los años húmedos y el 90% en los años secos.

En el cultivo de habas, los valores de longitud y biomasa radicular fueron 1,8 y 1,6 veces más altos en el no laboreo frente al laboreo convencional, respectivamente; siendo los valores medios de densidad radicular 1,4 km/m<sup>3</sup> y de biomasa radicular 1.899 kg/ha. En el cultivo del garbanzo la densidad radicular en el laboreo convencional fue prácticamente el doble que en el no laboreo, con un valor medio de 0,9 km/m<sup>3</sup>. Sin embargo, la biomasa radicular con un promedio de 324 kg/ha no difirió entre sistemas de laboreo.

El número de jopos/m<sup>2</sup> fue significativamente afectado por el sistema de laboreo en los cultivos de girasol y habas. Los valores más reducidos de jopo se obtuvieron en el no laboreo tanto en habas como en girasol. La presencia en el no laboreo de una cubierta vegetal permanente y la ausencia de labores en el suelo, provocan que las semillas de jopo permanezcan en la superficie, evitando el contacto con los exudados de las raíces, que son necesarios para la germinación de las semillas. También la acumulación de mayor cantidad de materia orgánica en

los primeros centímetros del suelo en el no laboreo contribuye a la degradación de las semillas de jopo no germinadas. En definitiva, el no laboreo ayuda a controlar las poblaciones de jopo en los cultivos de habas y girasol, especialmente cuando aquéllas escapan a la acción de los herbicidas o en el caso de la existencia de razas para las que los híbridos no presentan resistencia. Esta es una característica positiva más a tener en cuenta en la larga relación de ventajas que se conocen del sistema de no laboreo.

En general, el no laboreo no ha mostrado más capacidad de almacenar agua que el laboreo convencional en los suelos del experimento, aunque existe en el primero una tendencia a suministrar más agua en los años más secos. No obstante, está demostrado que la protección del suelo por el no laboreo frente a la erosión es superior y este hecho acaba influyendo a largo plazo, manifestándose sobre el almacenamiento de agua y el rendimiento de los cultivos.

El laboreo convencional registró siempre mayor temperatura que el no laboreo en los prime-

ros 30 cm del suelo a lo largo de todas las estaciones del año. Tales diferencias entre ambos sistemas de laboreo variaron según la estación, siendo mayores en el período estival y menores en la primavera, variando entre 0,5 y 2 °C.

La medición de la superficie y volumen de las grietas utilizando fotografía digital y un programa informático de tratamiento de imágenes, mostró que el laboreo convencional tuvo valores superiores que el no laboreo. La resistencia del suelo a la penetración, medida con penetrógrafo, mostró la existencia en el no laboreo de una capa compactada o consolidada en los primeros 10 cm del perfil, debido a la no utilización de aperos que remueven esta zona. A partir de dicha profundidad, los valores más elevados de resistencia a la penetración se produjeron en el laboreo convencional entre los 30 y 40 cm de profundidad; lo cual refleja la existencia de una capa compactada o suela de labor en el perfil, provocada por el tránsito de maquinaria aparejado a este sistema de manejo. ●