

EN UN CLIMA SEMIÁRIDO, LA CUBIERTA VEGETAL ES EFECTIVA PARA INCREMENTAR EL C ORGÁNICO DEL SUELO

Capacidad de secuestro de carbono en el suelo de un viñedo con cubierta vegetal permanente en La Rioja

Actualmente existe muy poca información sobre el impacto de la agricultura de conservación y el uso de cubiertas vegetales en el contenido de materia orgánica y las tasas de secuestro de carbono en cultivos perennes con condiciones semiáridas. El objetivo de este estudio

fue evaluar la capacidad de secuestro de carbono de dos tipos diferentes de cubiertas vegetales permanentes en un viñedo con unas condiciones climáticas y un suelo representativos de la Denominación de Origen Calificada Rioja.

Peregrina F., Larrieta, C., Ibáñez, S.
y García-Escudero, E.

Instituto de Ciencias de la Vid y el Vino (Gobierno de La Rioja-Universidad de La Rioja- CSIC). Servicio de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agroalimentario. Logroño.

Tradicionalmente en los viñedos españoles con clima mediterráneo se emplea el laboreo como sistema para impedir el establecimiento de las malas hierbas y evitar de esta manera la competencia con la viña por el agua y los nutrientes del suelo.

El laboreo entierra los residuos vegetales, provoca la ruptura de los macroagregados, incrementa la aireación y estimula la descomposición microbiana de la materia orgánica del suelo (Reeves, 1997), lo que acelera la descomposición y la pérdida de carbono del suelo y su emisión a la atmósfera en forma de CO₂.

Dada la capacidad de resiliencia de la naturaleza, de las técnicas de agricultura de conservación puede esperarse que restauren las funciones del ecosistema del suelo una vez degradado. Así, varios sistemas de laboreo de conservación, como el mínimo laboreo o el no laboreo, han sido desarrollados durante los últimos treinta años (Arshad, 1999). La reducción de la alteración del suelo con el no laboreo produce una modificación de las condiciones de la superficie del suelo, reduciendo la actividad microbiana y por tanto la descomposición de la materia orgánica.



Incrementar el contenido de carbono orgánico del suelo con técnicas de agricultura de conservación tiene un gran interés porque el secuestro de carbono en el suelo puede atenuar los efectos negativos del incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera. Comparado con las técnicas agrícolas tradicionales, la agricultura de conservación puede jugar un papel clave en el descenso de las emisiones de CO₂ y en incrementar el secuestro de carbono en el suelo (Lal, 2004a,b).

Entre las técnicas de agricultura de conservación, el no laboreo ha sido ampliamente estudiado en cultivos anuales y bajo condiciones climáticas semiáridas. Múltiples tra-

bajos han encontrado que el no laboreo puede incrementar el contenido en materia orgánica del suelo en cultivos cerealistas en España (Álvaro-Fuentes *et al.*, 2008; Hernández *et al.*, 2009). Sin embargo, existe muy poca información sobre el impacto de la agricultura de conservación y el uso de cubiertas vegetales en el contenido de materia orgánica y en las tasas de secuestro de carbono en cultivos perennes con condiciones semiáridas.

La DO Ca Rioja cuenta aproximadamente con unas 60.000 hectáreas de viñedos. Los suelos de esta región tienen en general bajos contenidos de materia orgánica (< 1%) debi-

do al laboreo tradicional que se realiza (Peregrina *et al.*, 2010). El uso de cubiertas vegetales, además de por su capacidad de secuestro de carbono, presenta interés ya que puede reducir el riesgo de erosión y mejorar la calidad del suelo. Pero además, en el caso de la viticultura, su uso tiene otros aspectos interesantes, como es su capacidad para controlar el excesivo crecimiento vegetativo de las cepas, circunstancia desfavorable para la producción de vinos de alta calidad, y para el ahorro de costes de combustible y equipamiento de labranza debido a la reducción de las operaciones a realizar con las cubiertas vegetales (Lal, 2004a). A pesar de todo ello, muy poca investigación ha sido realizada sobre el efecto de las cubiertas vegetales en viñedos semiáridos de España.

El objetivo de este estudio pasa por evaluar la capacidad de secuestro de carbono de dos tipos diferentes de cubiertas vegetales permanentes en un viñedo con unas condiciones climáticas y de suelo representativos de la DO Ca Rioja.

Materiales y métodos

Diseño experimental

El ensayo fue establecido en 2004 en la finca experimental La Grajera, propiedad del Gobierno de La Rioja (latitud, 42°26'34" 18"N; longitud 2°30' 53 07" W). La parcela tiene una pendiente del 10,2% con una orientación oeste-este. El suelo se clasificó como *Typic Haploxerepts* según la clasificación *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2006). El clima se considera como semiárido según el índice de aridez de la Unesco (Unesco, 1979), con lluvias en invierno y condiciones de sequía en verano. Para el periodo estudiado (2005–2008), la precipitación anual fue de 477 mm, la temperatura anual de 12,9°C y la evapotranspiración anual (FAO-Penman) de 1.123 mm. Detalles adicionales del suelo se muestran en el **cuadro I**.

El viñedo seleccionado fue plantado en 1996 con la variedad Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) injertada sobre patrón 110-R. Las cepas se disponen según una densidad de plantación de 2.998 cepas por hectárea, con una separación entre cepas en la línea de 1,15 metros y de 2,9 metros entre líneas, que se orientan este-oeste. Las cepas se podan en vaso.

CUADRO I.

Propiedades generales del horizonte Ap del suelo.

Clasificación (Soil Survey Staff, 2006)	Profundidad horizonte Ap cm	pH (H ₂ O, 1:5)	Conductividad eléctrica 1:5 (dS m ⁻¹)	% Materia orgánica	% Carbonatos	Color Munsell seco	Color Munsell húmedo	% Arena	% Limo	% Arcilla
<i>Typic Haploxerepts</i>	20	8,62	0,17	0,93	14,9	7,5YR 5/6	7,5YR 3/4	33,7	43,3	23,0

Durante los años previos al ensayo (1996-2004), el manejo del suelo fue con laboreo convencional y aplicación de herbicida en la línea.

El diseño experimental ha sido en bloques al azar con tres tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. Cada repetición se dispuso en tres líneas de 60 cepas cada una (69 m de longitud x 5,80 m de ancho).

Los tratamientos experimentales fueron:

- ▶ Laboreo (L): laboreo convencional a ambos lados de la línea de plantación.
- ▶ Cubierta espontánea (CE): a partir de 2004, se mantiene a ambos lados de la línea de plantación, una cubierta vegetal conformada por especies de vegetación espontánea tales como: *Bromus mollis* L., *Hordeum murinum* L., *Diploaxis erucoides* (L.) DC., *Sonchus Sonchus asper* (L.) Hill, *Sonchus oleraceus* L., *Veronica latifolia* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronquist. y *Papaver hybridum* L.
- ▶ Cubierta vegetal sembrada (F): implantada en octubre de 2004 con *Festuca longifolia* Thuill. Aurora Gold.

No se aplicaron fertilizantes durante la duración del ensayo. El laboreo convencional consistió en pases de cultivador a una profundidad de 15 cm aproximadamente, cada cuatro a seis semanas durante el ciclo vegetativo de la vid según las necesidades de control de las malas hierbas.

En todos los tratamientos, una banda de 0,8 metros de anchura debajo de las cepas fue tratada con herbicidas. El resto de las prácticas agronómicas (tratamientos fitosanitarios, despuntes, etc.) fueron similares en todos los tratamientos y fueron realizadas con maquinaria, salvo la vendimia que fue manual. El manejo de las cubiertas consistió en la siega de las mismas dos veces al año, una en la primera semana de febrero y la segunda en la última semana de mayo o primera semana de junio, dejándose el residuo vegetal en el suelo.

Muestreo y análisis de suelo

Las muestras de suelos se tomaron en junio de 2008. Las profundidades de muestreo fueron 0-5, 5-15 y 15-25 cm. Para la toma de muestras a una profundidad de 0-5 cm, se usaron en cada parcela, seis anillos de acero inoxidable (altura 51 mm, diámetro de 50 mm, volumen de 100 cm³). Los anillos se emplearon para tomar la muestra inalterada y poder así determinar la densidad aparente en seco por el método del anillo (Grossman y Reisch, 2002). Para las profundidades de 5-15 cm y 15-25 cm, las muestras se conforman a partir de seis submuestras, tomadas con una barrena tipo Edelman.

En el laboratorio se pesaron los anillos de 0-5 cm para la determinación de la densidad y se extrajeron cuidadosamente las muestras inalteradas dividiéndose en dos profundidades, de 0-2,5 y 2,5-5 cm. Unos 5 g de cada porción fueron secados a 105°C para determinar el porcentaje de contenido de agua.

El resto de las muestras se secó al aire, se retiraron los restos visibles de residuos de plantas y después el suelo se tamizó a 2 mm, determinándose el porcentaje de suelo < 2 mm en cada muestra. El contenido en carbono orgánico fue determinado mediante la oxidación en húmedo con dicromato, según el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982).

Las concentraciones de carbono orgánico en el suelo fueron convertidas a unidades de masa por unidad de área para los 0-5 cm superficiales calculándose el producto del contenido de carbono orgánico por la densidad aparente en seco, el espesor y el porcentaje de elementos gruesos.

Análisis estadístico

Para el tratamiento estadístico de los resultados, se utilizó el programa Statgraphics



Fotos 1, 2 y 3. Vista del perfil de los 5 primeros cm de un suelo labrado (izda), con cubierta vegetal espontánea (centro) y con cubierta vegetal sembrada con *Festuca longifolia* (drcha).

Plus for Windows 4.0. Se compararon las medidas empleando el análisis Anova de comparación de medias, empleando la mínima diferencia significativa (LSD).

Resultados y discusión

En los dos tipos de cubiertas vegetales se han encontrado mayores contenidos de carbono orgánico que en el laboreo tradicional a 0-2,5 cm (**figura 1**). Asimismo, a la profundidad de 2,5 -5 cm las dos cubiertas tendieron a incrementar el carbono orgánico respecto del testigo de laboreo, siendo significativo el incremento para la cubierta de *Festuca*. Los incrementos de carbono orgánico a la profundidad de 2,5-5 cm fueron menores que en la superficie del suelo (0-2,5

cm). Por último, a las profundidades de 5-15 cm y 15-25 cm no existieron diferencias significativas entre los dos tipos de cubiertas y el laboreo convencional.

Incrementos similares en viñedos con clima mediterráneo fueron encontrados por Smith *et al.* (2008) y Steenwerth y Belina (2008) en California y por Celette *et al.* 2009 en el sur de Francia. En España no hay datos de cubiertas en viñedo, pero en olivares de Jaén, Castro *et al.* (2008) encontraron incrementos de carbono orgánico con el uso de cubiertas vegetales.

En las cubiertas permanentes, los residuos vegetales de las siegas se dejan sobre la superficie del suelo. La acumulación de residuos de plantas podría afectar a la temperatura y al contenido de agua del sue-

lo, y por tanto modificar la dinámica de mineralización de la materia orgánica en las cubiertas respecto del laboreo convencional. Sin embargo, en viñedos mediterráneos con cubiertas vegetales, Steenwerth y Belina (2008) comprobaron que la temperatura del suelo no varió respecto del laboreo mientras que el contenido de agua del suelo solo se incrementó en primavera. Franzluebbers (2005) mostró que el secuestro de carbono orgánico fue relativamente poco afectado por la cantidad de residuo vegetal aportado, y que el principal factor de acumulación de carbono orgánico sería el contacto mínimo entre los residuos vegetales y el suelo. Por tanto, en las condiciones de nuestro ensayo el factor de acumulación de carbono orgánico en el suelo podría ser el reducido contacto de los residuos de las plantas con el suelo, lo que reduciría las interacciones con los microorganismos heterótrofos del suelo, de forma que este proceso permitiría la acumulación de carbono orgánico en la cama más superficial del suelo (Reicosky *et al.*, 1995).

El contenido en carbono orgánico promedio para los 0-5 cm fue convertido de g kg^{-1} a Mg ha^{-1} , haciendo uso de la densidad aparente, el espesor y el porcentaje de elementos gruesos (**cuadro II**). En estos 5 cm superficiales, los dos tipos de cubierta vegetal

CUADRO II.

Contenido de carbono de 0-5 cm de profundidad y tasa de secuestro de carbono en los distintos tratamientos.

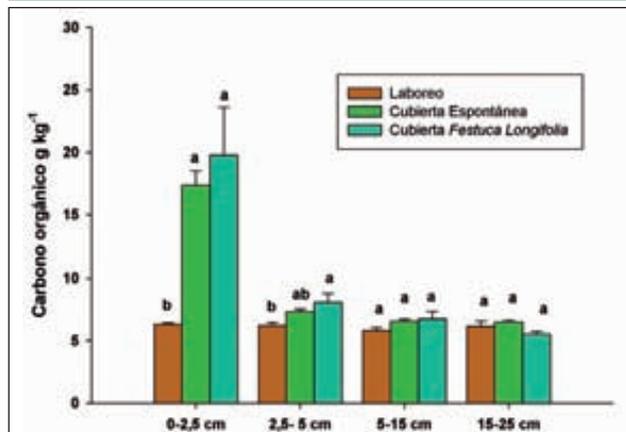
Manejo de suelo	Carbono orgánico† 0-5 cm	Densidad aparente 0-5 cm	Contenido en C por unidad de área 0-5 cm	Tasa de secuestro de C respecto del laboreo 0-5 cm
Laboreo	g kg^{-1}	g cm^{-3}	Mg ha^{-1}	$\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$
	0,63a*	1,35a	4,12a	
Cubierta espontánea	1,23b	1,58b	9,49b	$1,34 \pm 0,31 \ddagger$
Cubierta <i>Festuca longifolia</i>	1,39b	1,50b	10,20b	$1,52 \pm 0,70$

†media ponderada ‡ Desviación estándar. * Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos con el test de la menor diferencia significativa (LSD) al 95 %.



FIGURA 1.

Contenido en carbono orgánico a las diferentes profundidades muestreadas. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% con test LSD.



Las barras representan el estándar error.

incrementaron el contenido de carbono orgánico en volumen respecto del laboreo convencional. Las tasas de secuestro de carbono (incremento de carbono orgánico respecto del laboreo convencional dividido por los años transcurridos con la cubierta vegetal permanente) fueron de $1,34 \pm 0,31$ y $1,52 \pm 0,70$ Mg ha⁻¹ año⁻¹ para la cubierta espontánea y para la cubierta de Festuca respectivamente. Estas tasas de secuestro de carbono resultaron superiores a las encontradas en sistemas cerealistas en condiciones climáticas semiáridas de España, con valores de $0,50 \pm 0,16$ Mg ha⁻¹ año⁻¹ después de cinco años (Hernández et

EN LA LUCHA CONTRA
EL MILDIU, EL OÍDIO,
Y LA BOTRITIS,
CONFÍA EN IQV

Tenor[®]
Cupertine[®] super
Caldo Bordelés Vallés[®]



Tel. 935 796 677
iqv@iqvagro.com
www.iqvagro.com



En los 5 cm superficiales de suelo los dos tipos de cubierta vegetal incrementaron el contenido de carbono orgánico en volumen respecto del laboreo convencional. Las tasas de secuestro de carbono fueron de $1,34 \pm 0,31$ y $1,52 \pm 0,70$ Mg ha⁻¹ año⁻¹ para la cubierta espontánea y la cubierta de Festuca respectivamente

al., 2009). Asimismo, fueron superiores a la tasa de secuestro de carbono de $0,42 \pm 0,46$ Mg ha⁻¹ año⁻¹ estimada por Franzluebbers (2005) a partir de datos publicados comparando laboreo convencional con no laboreo en el sureste de Estados Unidos. Comparando con otros cultivos que pueden utilizar las cubiertas vegetales, Sainju *et al.* (2003) encontraron una tasa de secuestro de carbono del orden de $0,5$ Mg ha⁻¹ después de cinco años con cubiertas vegetales de invierno en cultivos hortícolas. Nuestros resultados son similares a la tasa de $1,40$ Mg ha⁻¹ año⁻¹ obtenidos tras cinco años del establecimiento de una pradera permanente por Franzluebbers *et al.* (2001). Franzluebbers (2005), a partir de doce comparaciones, encontró que la media de la tasa de secuestro de carbono con establecimiento de una pradera fue 2,6 veces mayor que con un sistema de producción con no laboreo.

Las mayores tasas de secuestro de carbono en las cubiertas vegetales permanentes en viñedos, comparadas con el no laboreo en agrosistemas cerealistas bajo condiciones semiáridas en España, podrían ser debidas a varios factores que incluyen la menor frecuencia de la alteración del suelo en el caso de las cubiertas y también a las menores exportaciones de C en las cubiertas vegetales respecto del cereal, ya que todos los residuos de las cubiertas se dejan en el suelo, mientras que gran parte de la biomasa del cereal es retirada del suelo al cosechar.

Conclusiones

El uso de cubiertas vegetales permanentes es una estrategia efectiva a corto plazo (cinco años) para incrementar el carbono orgánico del suelo en un viñedo con clima semiárido.

La tasa de secuestro de carbono con las

cubiertas vegetales en el viñedo fue superior a la de los agrosistemas de cultivo de cereal con técnicas de no laboreo, y similares a las tasas de secuestro con el establecimiento de praderas permanentes.

Dado que España es el país con mayor superficie de viñedo del mundo (1,13 millo-

nes de ha, de las cuales la gran mayoría son manejadas con laboreo tradicional), el empleo de las cubiertas vegetales permanentes podría suponer una contribución significativa a la reducción de las emisiones de CO₂.

Por tanto es necesario seguir investigando sobre la implantación de cubiertas vegetales en el viñedo para adecuar su manejo a las distintas condiciones edafoclimáticas españolas. ●

Agradecimientos

Este trabajo FEDER se ha realizado gracias a un contrato Doctoral concedido al autor principal por el INIA y cofinanciado con Fondos FEDER, y al proyecto de investigación PR-07-08 del Gobierno de La Rioja.

Bibliografía ▼

- ▶ Álvaro-Fuentes, J., M.V. López, C. Cantero-Martínez C., y J.L. Arrúe. 2008a. Tillage effects on soil organic carbon fractions in Mediterranean dryland Agroecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72: 541-547.
- ▶ Arshad, M.A. 1999. Tillage and soil quality. Tillage practices for sustainable agriculture and environmental quality in different agroecosystems (Editorial). *Soil Tillage Res.* 53: 1-2.
- ▶ Castro, J., E. Fernández-Ondoño, C. Rodríguez, A.M. Lallena, M. Sierra, y J. Aguilar. 2008. Effects of different olive-grove management systems on the organic carbon and nitrogen content of the soil in Jaén (Spain). *Soil Tillage Res.* 98: 56-67.
- ▶ Celette, F., A. Findeling, y C. Gary. 2009. Competition for nitrogen in an unfertilized intercropping system: The case of an association of grapevine and grass cover in a Mediterranean climate. *Europ. J. Agronomy* 30: 41-51
- ▶ Franzluebbers, A.J. 2005. Soil organic carbon sequestration and agricultural greenhouse gas emissions in the southeastern USA. *Soil Tillage Res.* 83:120-147.
- ▶ Franzluebbers, A.J., J.A. Stuedemann, y S.R. Wilkinson. 2001. Bermudagrass management in the Southern Piedmont USA: I. Soil and surface residue carbon and sulphur. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 834-841.
- ▶ Grossman, R.B., y T.G. Reinsch. 2002. Bulk density and linear extensibility. P.208-228. In J.H. Dale and G.C. Topp (Eds.) *Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods.* SSSA. Book Ser. 5 SSSA, Madison, WI.
- ▶ Hernández, J.L., V. Sanchez-Girón, y L. Navarrete. 2009. Soil carbon sequestration and stratification in a cereal/leguminous crop rotation with three tillage systems in semiarid conditions. *Agric. Ecosyst. Environ.* 133: 114-122.
- ▶ Lal, R. 2004a. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma.* 123:1-22.
- ▶ Lal, R. 2004b. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science.* 304: 1623-1627.
- ▶ Lal, R. 2004c. Carbon emissions from farm operations. *Environ. Int.* 30: 981-990.
- ▶ Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1982 Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 539-594. In A.L. Page *et al.* (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Mongr.* 9 2nd ed ASA and SSSA, Madison, WI.
- ▶ Peregrina, F., D. López, O. Zaballa, M. T. Villar, G. González, y E. García-Escudero. 2010. Calidad de los suelos de viñedo en la Denominación de Origen Rioja: Índice de riesgo de encostramiento (FAO-PNUMA), contenido de carbono orgánico y relación con los niveles de fertilidad. *Rev. de Ciências Agrárias* 33, 338-345.
- ▶ Reeves, D.W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous systems. *Soil Tillage Res.* 43:131-167.
- ▶ Reicosky, D.C., W.D. Kemper, G.W. Langdale, C.W. Douglas Jr., y P.E. Rasmussen. 1995. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *J. Soil Water Conserv.* 50: 253-261.
- ▶ Sainju U.M., W.F. Whitehead, y B.P. Singh. 2003. Cover crops and nitrogen fertilization effects on soil aggregation and carbon and nitrogen pools. *Can. J. Soil Sci.* 83:155-165.
- ▶ Smith, R., L. Bettiga, M. Cahn, K. Baumgartner, L. E. Jackson, y T. Bensen. 2008. Vineyard floor management affects soil, plant nutrition, and grape yield and quality *Calif. Agric.* 62: 184-190.
- ▶ Steenwerth, K., y K.M. Belina. 2008. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. *Appl. Soil Ecol.* 40: 359-369.
- ▶ UNESCO. 1979. Map of the world distribution of arid regions. Map at scale 1:25,000,000 with explanatory notes. UNESCO, Paris, 54 pp, ISBN 92-3-101484-6.