

ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL MANEJO DEL SUELO EN EL SECUESTRO DE CARBONO *en el olivar andaluz*

El olivar andaluz se enfrenta a importantes desafíos ambientales y climáticos debido a un manejo inadecuado del suelo, lo que históricamente ha provocado unas tasas de erosión y degradación por encima de las tolerables, y ha aumentado las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Por ello, la nueva Política Agraria Común propone la adopción de una serie de prácticas de manejo sostenible del suelo para mitigar los impactos negativos de la agricultura. En este artículo se evalúa el potencial para secuestrar carbono en el suelo de 10 prácticas de manejo del suelo declaradas por los agricultores.

ALMAGRO-BONMATÍ, M., COLOMBO, S., CASTRO RODRÍGUEZ, J., UREÑA, L.P., TRIANO CORNEJO, A.
IFAPA, Centro Camino de Purchil



La conservación del suelo es fundamental, ya que constituye el mayor reservorio de carbono orgánico terrestre, almacenando más de 1.500 gigatoneladas de carbono, lo que equivale al doble de la cantidad de carbono almacenada en el conjunto de la biomasa vegetal terrestre y la atmósfera. Las prácticas de manejo sostenible del suelo pretenden prevenir y mitigar la degradación del mismo, garantizando su uso y disfrute para las generaciones actuales y futuras, a la vez que aumentan el secuestro de carbono en el suelo (COS), potenciando el papel de la agricultura en la lucha contra el cambio climático.

Según diferentes modelos climáticos se prevé un aumento en la superficie de las zonas secas y un mayor riesgo de erosión y desertificación debido al cambio climático, considerándose a las regiones mediterráneas, como es el caso de Andalucía, especialmente vulnerables. Por lo tanto, el manejo sostenible de los suelos agrícolas se vuelve aún más relevante para combatir los efectos negativos del cambio climático y promover la resiliencia de los agroecosistemas frente al mismo. Es por esta razón que la Política Agraria Común (PAC), en su última reforma, incentiva la adopción de prácticas de manejo sostenible del suelo en cultivos leñosos, como es el caso del olivar, tales como la implementación de cubiertas vegetales espontáneas o sembradas (P6) y el esparcimiento de restos de poda entre las calles del cultivo principal (P7), con el objetivo de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, promover el secuestro de carbono orgánico y reducir las tasas de erosión del suelo.

En este estudio hemos considerado el olivar andaluz, dado que es el principal cultivo leñoso en la región, para evaluar los efectos de diferentes prácticas de manejo del suelo en el secuestro de carbono y así determinar la importancia de dichas prácticas en la lucha contra el cambio climático. A diferencia de estudios previos que han cuantificado el efecto de diferentes

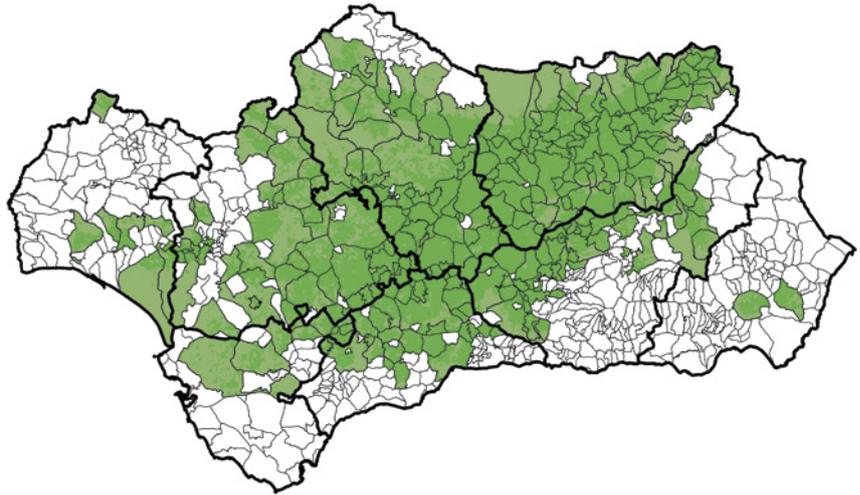


FIGURA 1
Distribución espacial y selección de los municipios andaluces incluidos en el estudio (en verde).

La conservación del suelo es fundamental ya que se constituye como el mayor reservorio de carbono orgánico terrestre

prácticas de manejo del suelo sobre el secuestro de carbono en un conjunto reducido de parcelas experimentales, este estudio combina herramientas de modelización y sistemas de información geográfica para llevar a cabo un análisis a nivel regional del efecto de 10 prácticas de manejo del suelo adoptadas en Andalucía sobre el secuestro de carbono. Para ello se han considerado todas las parcelas de Andalucía dedicadas al cultivo del olivar pertenecientes a aquellos municipios con una superficie superior a las

1.000 hectáreas, con el fin de reducir la carga de trabajo sin afectar a la representatividad de los resultados. En concreto, se han analizado 1.487.501 parcelas de olivar, que representan el 89% de la superficie total del olivar andaluz. En la **Figura 1** se muestran los municipios incluidos en el estudio. Cada parcela se relaciona con la práctica de manejo del suelo declarada por su titular en la solicitud única de la PAC del año 2021 y se le asignan los aportes de carbono (C) correspondientes según estudios previos y mediciones realizadas en campo por los autores del presente estudio. En la tabla 1 se describen las prácticas de manejo y los aportes de C considerados. Estos aportes de C proceden de los restos de poda, de las cubiertas vegetales y del propio olivo. Los aportes de C de las cubiertas vegetales se han estimado realizando campañas de muestreo en una muestra de parcelas de olivar representativas de las diferentes prácticas de manejo del suelo. Los aportes de C correspondientes al propio olivo, en forma de raíces y exudados, y los restos de poda se han estimado en base a lo observado en trabajos anteriores (0.74 y 0.76 toneladas de C por hectárea y año, respectivamente; Farina *et al.*, 2017; García-Ortiz *et al.* (2008); Velázquez-Martí *et al.* (2011).

TABLA 1
Diferentes prácticas de manejo del suelo evaluadas en este trabajo.

Etiqueta	Descripción	APORTES DE C (Ton ha ⁻¹ a ⁻¹)			
		Cubierta vegetal	Restos de poda	Olivo	Reducción Erosión (%)
LAB	Laboreo frecuente	-	-	0.74	52
LAB+RP	Laboreo frecuente + restos de poda triturados	-	0.76	0.74	72
NOLAB	No laboreo + herbicidas de preemergencia	-	-	0.74	-
NOLA-B+RP	No laboreo + herbicidas de preemergencia + Restos de poda triturados	-	0.76	0.74	72
CV-Inc	Las cubiertas vegetales se controlan con un cultivador a principios de primavera	1.25	-	0.74	85
CV-Inc+RP	Las cubiertas vegetales se eliminan con un cultivador a principios de primavera + restos de poda triturados	1.25	0.76	0.74	96
CV-Desbr	Las cubiertas vegetales se eliminan con una desbrozadora a principios de primavera	1.50	-	0.74	86
CV-Desbr+RP	Las cubiertas vegetales se eliminan con una desbrozadora a principios de primavera + restos de poda triturados	1.50	0.76	0.74	96
CV-Herb	Cubiertas vegetales controladas con herbicidas de post-emergencia	1.47	-	0.74	86
CV-Herb+RP	Cubiertas vegetales controladas con herbicidas de post-emergencia + restos de poda triturados	1.47	0.76	0.74	96

A la suma de estos aportes de C se le restan las pérdidas de C asociadas a la erosión del suelo. Para ello, en cada parcela analizada se extraen las tasas medias de erosión según el mapa de riesgo de erosión de Andalucía para el periodo 1992-2020, y se le aplican los coeficientes de reducción de erosión estimados para cada práctica de manejo según una revisión bibliográfica (última columna de la **Tabla 1**).

Modelización del carbono orgánico del suelo

Para estimar el carbono orgánico almacenado en el suelo como resultado de las diferentes prácticas de manejo del suelo en el olivar se ha utilizado el modelo de dinámica de carbono RothC (Coleman y Jenkinson, 2014). Concretamente se ha empleado la versión del modelo RothC10_N, que fue modificada por Farina *et al.*, (2013) de manera que permite que el balance hídrico del suelo sea más representativo de las condiciones de sequía en verano típicas de climas Mediterráneos. Para la aplicación del modelo se han considerado variables climáticas como la temperatura del aire y la precipitación mensual, la evapotranspiración, el contenido de arcilla y los respectivos aportes de C procedentes de los restos de poda, del propio olivo y de las cubiertas vegetales. También se han considerado las pérdidas de C por erosión del suelo (**Figura 2**).

Se han realizado simulaciones de las tasas anuales de secuestro de carbono en el suelo (COS) durante un periodo de 100 años con el fin de estudiar la dinámica del COS a largo plazo bajo diferentes prácticas de manejo del suelo.

Resultados

Según las declaraciones de los titulares de las explotaciones sobre el manejo del suelo, un 73% de la superficie de olivar de Andalucía adopta cubiertas vegetales. Esto se explica por la aplicación de la norma de condicionalidad que obliga a los olivares a mantener una cubierta vegetal de 1 metro de anchura en las calles del olivar con pendiente superiores al

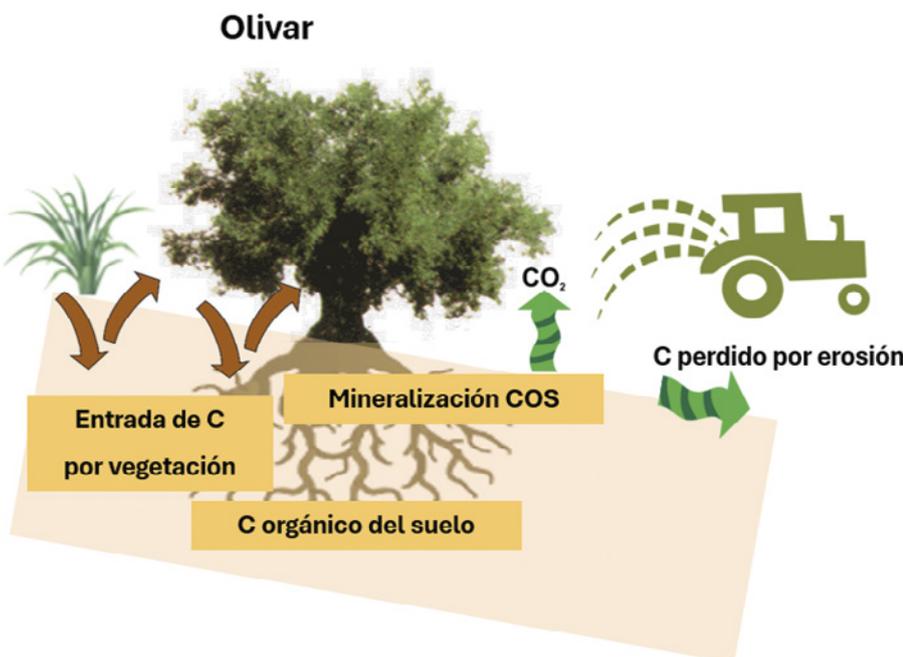


FIGURA 2
Representación gráfica de las principales entradas y salidas de C que ocurren en cultivos leñosos, como es el caso del olivar, y que determinan los balances netos de carbono orgánico en el suelo.

15%, junto con la adopción de programas agroambientales y climáticos que también utilizan cubiertas vegetales. Sin embargo, tan sólo el 57% de la superficie total del olivar que adopta cubiertas vegetales podría cumplir con los requisitos que establece la PAC si las cubiertas vegetales manejadas mediante desbrozadora a principios de primavera cubrieran el 40% de la superficie situada fuera del dosel de los olivos. En el resto de los casos, tanto si se adopta el laboreo frecuente o se aplican herbicidas para controlar la cubierta vegetal, no se cumplen los requisitos establecidos por la PAC. En el olivar andaluz el laboreo frecuente (o tradicional) (Tabla 2) para mantener el suelo desnudo sin cubiertas vegetales durante todo el año (clase 1 y 2) o el laboreo reducido para incorporarlas al suelo (clases 5 y 6) están presentes en el 18% y 15% de la superficie total, respectivamente. El

La adopción de cubiertas vegetales junto al cese de la labranza y de los herbicidas, permitiría un aumento significativo de los *stocks* de COS en relación con el escenario actual

uso de herbicidas en sistemas de no laboreo se sigue adoptando en el 9% del olivar. Por otro lado, la principal práctica de manejo del suelo que se adopta es el desbrozado de cubiertas vegetales, representando un 45,6% de la superficie total del olivar andaluz. En la Figura 3 se muestran los resultados de la simulación del carbono orgánico del suelo según la práctica de manejo utilizada. Según las simulaciones, el no laboreo es la práctica con menor potencial

de acumulación de COS, seguido del laboreo frecuente. Esto se debe a la ausencia de cubierta vegetal, ya sea sembrada o espontánea, que limita los aportes de C al suelo a la vez que provoca mayores pérdidas de C por erosión al estar el suelo desprotegido (desnudo). En ausencia de cubierta vegetal, los reservorios de COS se reducen significativamente a corto, medio y largo plazo en ambos sistemas de laboreo. Por otro lado, la adición de restos de poda sobre el suelo mejora

SERVICIOS DE
TRANSFORMACIÓN
INTEGRAL

AGRICULTURA
MODERNA,
RENTABLE Y
SOSTENIBLE.

BALAM.ES



el COS a corto plazo. Sin embargo, a largo plazo, no mejora los stocks de COS, aunque si los mantiene. Por el contrario, todas las prácticas de manejo sostenible del suelo aumentan los reservorios de COS, dado que se incrementan los aportes de C procedentes de la vegetación. Concretamente, las simulaciones demuestran que los cultivos leñosos con cubiertas vegetales son clave para mantener y aumentar los stocks de COS, ya que reducen las pérdidas de C por erosión y aumentan los aportes de C procedentes de la vegetación.

Entre las diferentes prácticas que utilizan cubiertas vegetales, la práctica que utiliza cubiertas vegetales desbrozadas en combinación con los restos de poda es la que presenta los resultados más prometedores, incrementando el stock de COS en un 72% en 100 años. Los cambios observados en los stocks de COS a lo largo del tiempo revelan que el proceso de secuestro de COS no es lineal, siendo mucho más rápido a corto que a largo plazo, cuando los suelos alcanzan el nivel de saturación y no pueden capturar más carbono. Los resultados de este estudio de-

TABLA 2
Clasificación de prácticas de manejo del suelo adoptadas en el olivar andaluz y su superficie en porcentaje y número de hectáreas.

CLASES	PRÁCTICAS DE MANEJO DEL SUELO	%	
		SQ	HA.
1	Laboreo frecuente (LAB)	15,8	235.482
2	Laboreo frecuente + restos de poda (LAB+RP)	1,8	27.043
3	No laboreo con suelo desnudo (NOLAB)	3,2	47.465
4	No laboreo con suelo desnudo + restos de poda (NOLAB+RP)	6,2	92.932
5	Cubiertas vegetales incorporadas (CV-Inc)	14,3	212.047
6	Cubiertas vegetales incorporadas + restos de poda (CV-Inc+RP)	0,6	9.244
7	Cubiertas vegetales desbrozadas (CV-Desbr)	45,6	678.098
8	Cubiertas vegetales desbrozadas + restos de poda (CV-Desbr+RP)	11,2	166.977
9	Cubiertas vegetales con herbicidas (CV-Herb)	0,9	13.070
10	Cubiertas vegetales con herbicidas + restos de poda (CV-Herb+RP)	0,4	5.342

muestran la importancia de adoptar prácticas de manejo sostenible del suelo para aumentar los stocks de COS, tanto en los sistemas de laboreo como en los sistemas de no laboreo. Como consecuencia, surge la necesidad de implementar políticas para evitar el uso de estas prácticas insostenibles. Por un lado, el laboreo tradicional, que consiste en dar varios pases de labor al

año para mantener el suelo desnudo, libera de nuevo a la atmósfera el COS que se ha ido acumulando durante décadas, y por otro lado, la falta de una cubierta vegetal que proteja el suelo frente la erosión explica que prácticas como el laboreo, el laboreo con restos de poda y el no laboreo con herbicidas y restos de poda presenten las mayores tasas de erosión.



Los resultados también señalan que la práctica del esparcimiento de restos de poda por sí sola no contribuye a aumentar significativamente los stocks de COS a largo plazo, pero sí a preservarlos. Sin embargo, la adopción de cubierta vegetal en combinación con los restos de poda aumenta significativamente los stocks de COS, lo que pone de relieve el efecto sinérgico de combinar ambas prácticas de manejo sostenible del suelo.

Implicaciones para la política y la investigación futura

El concepto de condicionalidad de la reforma de la PAC de 2003 ha tenido un importante impacto en la adopción de las prácticas de manejo sostenible del suelo en Andalucía, al aumentar la superficie de olivar que utiliza cubiertas vegetales del 22% al 40% entre 2006 y 2020. Esto ocurrió principalmente en la parte oriental de la región andaluza, donde la mayor pendiente de las parcelas de olivar obligó a los agricultores a adoptar estas prácticas. Sin embargo, la adopción generalizada de prácticas como el laboreo frecuente y el no laboreo han limitado el potencial de secuestro de COS a nivel regional.

La adopción generalizada de cubiertas vegetales junto al cese de la labranza y del uso de herbicidas para promover la presencia de cubierta vegetal durante todo el año, cumpliendo así con los requisitos de los eco-esquemas, permitiría un aumento significativo de los stocks de COS en relación con la perpetuación del escenario actual. Concretamente, si asumiéramos que todo el olivar andaluz adoptara cubiertas vegetales, las cantidades estimadas de CO₂ atmosférico secuestrado en forma de COS en un solo año compensarían el 11,3% de las emisiones anuales de CO₂ de la agricultura andaluza, revelando el alto potencial de los eco-esquemas para mitigar el cambio climático a través del secuestro de C en el suelo. Por otro lado, la tendencia a reducir la tasa de secuestro de COS en el tiempo, sugiere que la eficiencia de un eco-esquema se reducirá tras los primeros años des-

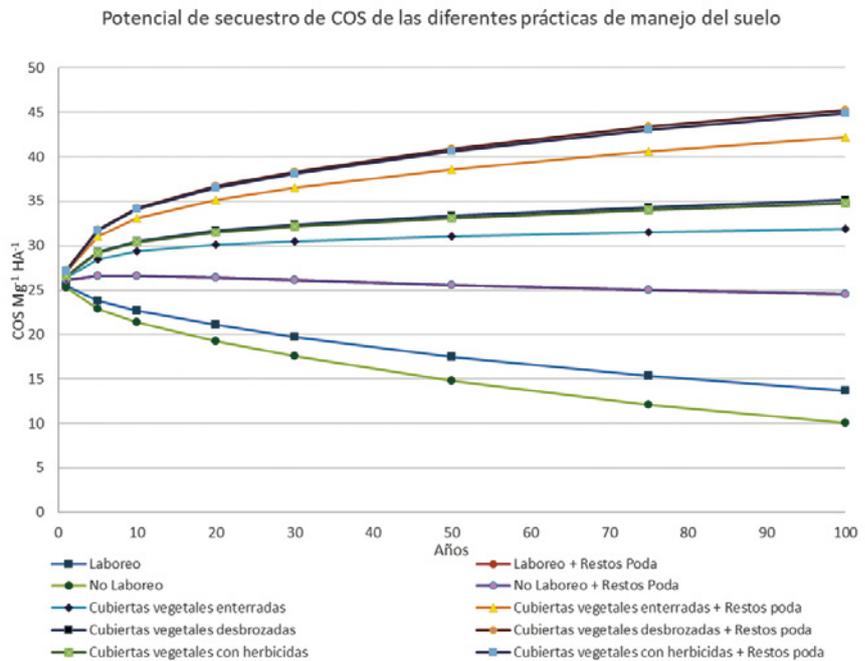


FIGURA 3 Stock de COS hasta 100 después de la adopción de las prácticas de manejo del suelo.

de su implementación, señalando la necesidad de diseñar instrumentos políticos que permitan el mantenimiento del carbono almacenado en los suelos agrícolas.

Tras observar el potencial de acumulación de COS para cada práctica de manejo sostenible del suelo, la adopción del eco-esquema P6 "cultivos con cubierta vegetal espontánea o sembrada" debería incentivarse más en los primeros años, mientras que el eco-esquema P7 "esparcimiento de restos de poda entre las calles de los olivares" debería promoverse en los años siguientes, cuando un nivel "satisfactorio" de COS se habría alcanzado. Un buen equilibrio entre las dos prácticas de manejo contribuiría a alcanzar y mantener los niveles deseados de COS en los sistemas de cultivos leñosos. Asimismo, teniendo en cuenta el efecto sinérgico observado sobre el secuestro de COS cuando se combinan ambas prácticas, cubiertas vegetales y esparcimiento de restos de poda, se debería incrementar la ayuda para potenciar la adopción conjunta de estas prácticas.

Bibliografía

- Coleman, K., Jenkinson, D., 2014. RothC-A Model for the Turnover of Carbon in Soil Model description and users guide. Rothamsted Research, Harpenden, UK.
- Farina, R., Marchetti, A., Franca-viglia, R., Napoli, R., Bene, C.D., 2017. Modeling regional soil C stocks and CO₂ emissions under Mediterranean cropping systems and soil types. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 238, 128–141. doi:10.1016/j.agee.2016.08.015
- García-Ortiz, A., Humanes, J., Pastor, M., Morales, J., Fernández, A., 2008. Poda. In: Barranco, D., Fernandez-Escobar, R., Rallo, L. (Eds.), *El Cultivo Del Olivo*, 6 ed. Ediciones Mundiprensa y Junta de Andalucía, Madrid, Spain, pp. 240–295.
- Velázquez-Martí, B., Fernández-González, E., Lopez-Cortés, I., Salazar-Hernández, D.M., 2011. Quantification of the residual biomass obtained from pruning of trees in Mediterranean olive groves. *Biomass Bioenergy* 35, 3208–3217.