

Cambios en el suelo por la utilización de ganado ovino en olivar ecológico

Changes in the soil due to the use of sheep in cover crop management in organic olive groves
Alterações no solo devido à utilização de gado ovino em olivais ecológicos

Received: 31.07.2019 | Revised: 06.02.2019 | Accepted: 13.02.2020

AUTORES

Cebadero Cayetano M.^{1,*}
mikel@ugr.es

Torres Cordero J.A.²

Siles Colmenero G.²

Fernández-Ondoño E.¹

* Corresponding Author

¹Dpto. Edafología y Química Agrícola, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Avenida de la Fuente Nueva, s/n. 18071, Granada, España.

²Dpto. Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología, Facultad de Ciencias Experimentales, Edificio B-3, Universidad de Jaén. Las Lagunillas, s/n. 23071, Jaén, España.

RESUMEN

En este trabajo se estudian los efectos en constituyentes y propiedades del suelo con manejo de la cubierta vegetal con ganado ovino, comparándolo con otros manejos y usos del suelo. Para ello se seleccionaron dos explotaciones, una de olivar ecológico, rodeada de parches de vegetación natural, y otra explotación de manejo convencional, ambas localizadas en Pegalajar (Jaén, España). El área de estudio se dividió en 7 parcelas con cuatro manejos y tres usos: dos parcelas no cultivadas, una un espartal (ESP) y la otra un encinar (ENC); una parcela con manejo convencional, con suelo desnudo por la aplicación de herbicidas (BL); una parcela con manejo mediante desbroce mecánico (CON); y tres parcelas con cubierta vegetal, dos de ellas solo con ganado ovino, en una parcela durante 2 años (G) y en otra durante seis años (GA), y una parcela con un manejo combinado de ganado y desbroce mecánico (Mix). Los constituyentes y propiedades estudiadas fueron: textura, densidad aparente, humedad, pH, bases y capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno total (N), carbono orgánico oxidable (CO), carbono orgánico soluble (COS), fósforo asimilable (P) y actividades enzimáticas β -glucosidasa y deshidrogenasa. El contenido en carbono orgánico fue el constituyente que más afectó al resto de parámetros. Como era de esperar los suelos bajo encinar, seguidos de los de espartal, presentaron las concentraciones más altas tanto de carbono orgánico total como de carbono orgánico soluble y nitrógeno. Sin embargo, la concentración de carbono total en suelos con el manejo de ganado igualó a la del espartal. Las secuencias de mayor a menor concentración fueron ENC > GA, ESP, G > BL para carbono total y ENC, ESP > CON, G, GA, MIX > BL, para el carbono soluble y el nitrógeno. En general, la densidad aparente y el pH fueron más bajos en los usos y manejos con mayor contenido en CO. Por el contrario, los parámetros de humedad, bases y capacidad de intercambio catiónico fueron más altos cuando el CO era también más alto, aunque no siempre con diferencias significativas. La actividad β -glucosidasa fue menor en el encinar, probablemente por tratarse de materia orgánica más lignificada. Por último, la actividad deshidrogenasa fue significativamente mayor en encinar y espartal, que tienen aportes continuos de materia orgánica, lo que favorece una actividad microbiana continua, al contrario que el resto de tratamientos que son más específicos.

DOI: 10.3232/SJSS.2020.V10.N1.02

ABSTRACT

This work studied the effects of cover crop management by livestock on soil properties, comparing it with other managements and uses of soil. For this, two olive-orchards were selected, one an ecological olive-orchard, surrounded by patches of natural vegetation and another under conventional management, both located in Pegalajar (Jaén, Spain). The study area was divided into 7 plots with four management types and three uses: two of the plots were not cultivated, one was lucerne (ESP) and the other one holm oak (ENC); one plot was under conventional management, with bare soil due to the application of herbicides (BL); one plot was managed by mechanical clearing (CON); three plots had a cover crop that was managed in the following ways: two plots with only sheep, for 2 years (G) and six years (GA) and the third plot with a combined management of livestock and mechanical clearing (Mix). The constituents and properties studied were: texture, bulk density, humidity, pH, exchangeable bases and cation exchange capacity (CIC), nitrogen (N), oxidizable organic carbon (CO), soluble organic carbon (COS), assimilable phosphorus (P), enzymatic activities β -glucosidase and dehydrogenase. The organic carbon content was the constituent that most affected the other parameters. As expected, the soils under holm oak, followed by lucerne, showed the highest concentrations of total organic carbon and soluble organic carbon and nitrogen. However, the concentration of total carbon in soils with livestock management was equal to that of the lucerne. The sequences from highest to lowest concentration were ENC > GA, ESP, G > BL for total carbon, and ENC, ESP > CON, G, GA, MIX > BL for soluble carbon and nitrogen. In general bulk density and pH were lower in the uses and managements with higher CO content. On the contrary, the parameters of humidity, bases and cation exchange capacity were higher when the CO was also higher, although not always with significant differences. The β -Glucosidase activity was lower in holm oak, probably because the organic matter has a lower cellulose content. Finally, the dehydrogenase activity was significantly higher in holm oak and lucerne, which have continuous contributions of organic matter that favour a continual microbial activity, contrary to the rest of treatments that are more time-specific.

RESUMO

Neste trabalho, estudam-se os efeitos nos constituintes e propriedades do solo devidos à gestão do coberto vegetal com gado ovino e comparando-a com outros usos e gestão do solo. Para isso, foram selecionadas duas explorações, uma de olival ecológico, rodeada por manchas de vegetação natural e outra de gestão convencional, ambas localizadas em Pegalajar (Jaén, Espanha). A área de estudo foi dividida em sete parcelas com quatro tipos de gestão e três usos: duas das parcelas não são cultivadas, uma é de luzerna (alfafa) (ESP) e a outra é um azinhal (ENC); uma das parcelas tem gestão convencional, com solo nu devido à aplicação de herbicidas (BL); outra das parcelas é gerida através de limpeza mecânica (CON); três parcelas têm cobertura vegetal que são geridas da seguinte maneira: duas parcelas apenas com ovelhas durante dois anos (G) e seis anos (GA) e uma parcela com uma gestão combinada de gado e limpeza mecânica (Mix). Os constituintes e propriedades do solo estudadas foram: textura, densidade aparente, humidade, pH, cátions e capacidade de troca catiónica (CIC), nitrogénio total (N), carbono orgânico oxidável (CO), carbono orgânico solúvel (COS), fósforo extraível (P) e atividades enzimáticas β -glucosidase e desidrogenase. O conteúdo de carbono orgânico foi o constituinte que mais afetou os demais parâmetros. Como esperado, os solos sob azinheira, seguidos pelos de luzerna, apresentaram as maiores concentrações de carbono orgânico total e carbono orgânico solúvel, e nitrogénio. Porém, a concentração de carbono total nos solos com gestão de gado ovino foi igual à da luzerna. As sequências de maior a menor concentração foram: ENC > GA, ESP, G > BL para carbono total e ENC, ESP > CON, G, GA, MIX > BL para carbono solúvel e nitrogénio. Em geral, a densidade aparente e o pH foram menores nos usos e gestão com maior teor de CO. Pelo contrário, os parâmetros de humidade, cátions e capacidade de troca catiónica foram maiores quando o CO também foi maior, embora nem sempre com diferenças significativas. A atividade da β -glucosidase foi menor em azinhal, provavelmente por ter matéria orgânica com menor teor de celulose. Finalmente, a atividade da desidrogenase foi significativamente maior em azinhal e luzerna, que têm contribuições contínuas de matéria orgânica que favorecem uma atividade microbiana contínua, contrariamente aos restantes tratamentos que são mais específicos relativamente ao tempo.

PALABRAS CLAVES

Cubierta vegetal, efecto de la ganadería sobre el suelo, carbono orgánico, actividad β -glucosidasa y deshidrogenasa.

KEYWORDS

Cover crop, effect of livestock on the soil, organic carbon, β -Glucosidase and dehydrogenase activity.

PALAVRAS-CHAVE

Cobertura vegetal, efeito do gado no solo, carbono orgânico, atividade da β -glucosidase e desidrogenase.

1. Introducción

Los suelos agrícolas, junto con la ganadería, constituyen uno de los principales emisores de CO₂ a la atmósfera (Cole et al. 1997; García et al. 2008), por lo que es importante invertir esfuerzos para mitigar estas emisiones. Las emisiones de CO₂ de los suelos se encuentran relacionadas en su mayor parte con el tipo de manejo y con el grado de erosión (Six et al. 2002). De forma natural el carbono puede ser estabilizado de tres formas (Six et al. 2002): físicamente, mediante la formación de micro agregados; fisicoquímicamente, al asociarse con compuestos minerales; y desde el punto de vista bioquímico, al asociarse con compuestos orgánicos. Esta estabilización convierte a los suelos en una enorme despensa de CO₂ (Six et al. 2002). Alrededor de 1.500.000 millones de toneladas de carbono se encuentran almacenados solamente en la materia orgánica de los suelos mundiales, esto es, más de dos veces el carbono del CO₂ atmosférico (Robert 2002). Entre las prácticas agrícolas que han generado la ruptura de este ciclo asociado a la captación de carbono por parte de los suelos se puede mencionar el efecto de la labranza que, al provocar la ruptura de los agregados, acelera el ciclo natural de agregación y favorece la mineralización del carbono al dejarlo expuesto a la acción microbiana, incrementando así la emisión de CO₂. También el uso de especies con bajo aporte de residuos y rápida descomposición o la quema de los restos de poda conduce a la pérdida de carbono orgánico y a la consecuente emisión neta de CO₂. (Novelli et al. 2011)

En la XXI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático celebrada en París nació la propuesta “4 por 1000, suelos por el clima y la salud alimentaria” (CGIAR 2018), que proponía incrementar el contenido en carbono en los suelos agrícolas. Se estimó que un aumento del 0,4% en el contenido de materia orgánica de los suelos a nivel mundial permitiría compensar las emisiones generadas por el sector agrario, ya que la mayoría de los suelos en el planeta son de uso agrícola (Minasny et al. 2017).

Las cubiertas vegetales (vivas o inertes) constituyen un manejo cada vez más

generalizado en diferentes agroecosistemas. Las principales funciones o beneficios del mantenimiento de esta cubierta vegetal son amplias y diversas: la reducción de pérdidas de suelo (Espejo Pérez et al. 2005), el aumento de la capacidad de infiltración de agua en situaciones de lluvias intensas (Pastor Muñoz Cobo 2006), el aumento en el contenido de materia orgánica y productividad (Nieto et al. 2012), y la reducción de arrastre de herbicidas y fertilizantes nitrogenados y fosfóricos (Rodríguez Lizana et al. 2004). Es importante también tener en cuenta el posible efecto para el control de plagas que pueden ejercer las cubiertas vegetales al servir como hábitat de insectos depredadores de otros insectos nocivos (Vargas Osuna y Aldebis 2007). Además, su uso constituye una revalorización de los cultivos al poder integrar otro medio de explotación en el mismo lugar, como pueden ser la plantación de cubiertas vegetales comestibles o la introducción de ganadería. Esto es un factor importante en zonas de montañas donde las producciones son menores y en las que este tipo de manejo podría aportar un ingreso extra.

La compatibilización del olivar con la ganadería ha sido una práctica que se ha dado a lo largo de la historia. Sin embargo, en las últimas décadas esta práctica ha caído en desuso debido a la aparición de herbicidas que controlan las cubiertas vegetales, abonos químicos y a la aparición de la ganadería estabulada. Esto ha generado una producción rápida y abundante de recursos, pero ha contribuido a la degradación de los suelos y al incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero. En el caso de cultivos arbóreos como el olivar está extendida la idea de que el ganado (incluido el ovino, que es el más recomendable) causa daños al arbolado. Sin embargo, algunos autores (Torres et al. 2013) han recomendado retomar el uso de ganado para controlar la cubierta vegetal, ya que este manejo puede aportar diferentes beneficios que aún no han sido suficientemente evaluados.

El incremento de carbono orgánico del suelo afecta a múltiples constituyentes y propiedades. Sin embargo, los cambios asociados a los manejos no son siempre tan evidentes. Se ha sugerido el estudio de diversos parámetros para detectar los indicadores de la calidad del

suelo, entre los que cabe destacar cambios en carbono orgánico total y procedente de diferentes fracciones, por ejemplo la fracción soluble (Ghani et al. 2003), o cambios en la actividad enzimática (Albiach et al. 2006), esta última encaminada a conocer los procesos bioquímicos que se dan en el suelo.

En este trabajo se estudian los cambios en propiedades físico-químicas y biológicas de los suelos en agro-ecosistemas de olivares ecológicos con cubierta vegetal controlada mediante ganadería, comparándolos con suelos con manejos convencionales y con suelos con vegetación natural.

2. Materiales y Métodos

2.1. Área de estudio

La zona de estudio se localiza en la provincia de Jaén (S España), término municipal de Pegalajar (37°45'18.2"N, 3°37'25.3"W). Los suelos se desarrollan sobre calizas duras o derrubios de calizas en pendientes del 8% al 15%, y se clasifican como Cambisoles Calcáricos y Calcisoles Cámbicos (IUSS Working Group WRB 2015) Presenta un clima típicamente mediterráneo con dominio de lluvias otoñales y primaverales y un verano muy seco. Desde el punto de vista bioclimático el área de estudio se incluye en el piso bioclimático mesomediterráneo seco. La vegetación potencial se corresponde con el dominio de encinares béticos en su facie típica. En la actualidad el paisaje vegetal lo conforman retazos de encinares y mosaicos seriales de romerales y espartales que circundan al cultivo de olivar (Valle et al. 2004).

Se ha trabajado en dos explotaciones de olivar tradicional, con marco de plantación amplio y de la variedad picual. Una de ellas en cultivo convencional, en la que se utilizan herbicidas para el control de la cubierta vegetal espontánea manteniéndose el suelo desnudo durante todo el año, y el abonado se realiza mediante fertilización química. La otra explotación está con manejo ecológico desde hace 13 años, el

crecimiento de la cubierta vegetal es espontánea y está controlado por ganado ovino en los últimos años. Debido a las características de este tipo de cultivo, en esta explotación el abonado se realiza mediante la incorporación de estiércol, materia vegetal procedente de las cubiertas vegetales, restos de poda triturados o alperujo compostado (producto secundario derivado del proceso de obtención del aceite). Suele haber un tratamiento foliar con potasa a finales del mes de julio. Para el tratamiento de plagas se utilizan trampas selectivas. La carga ganadera está formada por 130 cabezas de las razas de oveja Ojinegra y Segureña. Esta explotación con manejo ecológico se dividió en 4 parcelas sobre las que se realizaron diferentes manejos de la cubierta vegetal. Además, adicionalmente se muestrearon suelos bajo encinar y espartal de lugares próximos.

Los diferentes usos y manejos del suelo y de la cubierta vegetal se describen a continuación:

- Ganadería (G): Control de la cubierta vegetal únicamente por ganadería desde hace 2 años. Lleva 15 años con cubierta vegetal.
- Ganadería Antigua (GA): Mismo manejo que la parcela G pero con control de la cubierta vegetal con ganado desde hace 6 años. Lleva 15 años con cubierta vegetal.
- Mixto (Mix): En esta parcela se integran dos tipos de control de la cubierta vegetal, por un lado el desbrozado mecánico y, por otro lado, se introduce el ganado de forma discontinua en función de la biomasa existente. La parcela lleva 15 años con cubierta vegetal y 2 con ganado.
- Control (CON): Parcela con control de la cubierta vegetal exclusivamente mediante desbroce mecánico. Lleva 15 años con cubierta vegetal.
- Espartal (ESP) y Encinar (ENC): suelos situados en dos zonas adyacentes al cultivo con fisionomía de espartal y encinar y pastoreadas esporádicamente por ganado ovino. Estos suelos constituyen etapas maduras (ENC) y seriales (ESP) de la dinámica del suelo en el ecosistema forestal potencial del territorio.

- Blanco (BL): Cultivo convencional. Sin cubierta vegetal, se elimina mediante herbicidas de pre y post-emergencia, manteniéndose el suelo desnudo todo el año.

2.2. Toma de muestras

El muestreo en campo de las muestras de suelo se llevó a cabo en diciembre de 2016. Se muestrearon 3 puntos al azar en cada una de las 7 parcelas consideradas. Así, el total de muestras analizadas en este estudio fue de 21. Las muestras se recogieron de los primeros 30 cm del suelo mediante un sacamuestras metálico con un volumen conocido (201 cm³) y cada una de ellas estaba formada por tres submuestras que fueron homogeneizadas en una bolsa. Por tanto, el volumen total de muestra por punto fue de 603 cm³.

2.3. Análisis de laboratorio

Las muestras de suelo se tamizaron separando las gravas de la fracción tierra fina (< 2 mm), en donde se realizaron todos los análisis. En laboratorio se midieron las siguientes variables: textura por método de la pipeta de Robinson (SCS-USDA 1972), densidad aparente (Throop et al. 2012), humedad por el método de la membrana Richards (Richards 1945), pH mediante un pH-metro (suelo:agua 1:2,5), contenido en carbono orgánico (CO) oxidable (Tyurin 1951), carbono orgánico soluble (COS) mediante el método propuesto por Ghani et al. (2003), nitrógeno total (N) mediante un analizador elemental LECO Truspec, Bases (Na, K, Ca y Mg) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) mediante el protocolo descrito en SCS-USDA (1972), fósforo asimilable (P) por el método de Olsen (Olsen 1954), actividad β -glucosidasa (Saá et al. 1993) y actividad deshidrogenasa (García et al. 1997).

2.4. Análisis estadísticos

Para el análisis de los datos se ha utilizado el programa informático R 3.5.3 con el paquete Rcomander (Fox y Bouchet-Valat 2019). Se comprobó la normalidad de las varianzas mediante el test de Shapiro-Wilk y

su homogeneidad mediante el test de Levene. En aquellos datos que no se cumplieron la normalidad y homogeneidad de las varianzas se transformaron los datos a formato logarítmico. Para la comparación de medias con datos normales se recurrió al test de ANOVA con un nivel de significación $p < 0,05$ (Test de Tukey). En aquellos casos en los que no se cumplieron las asunciones de normalidad y homogeneidad de las varianzas tras la transformación logarítmica se recurrió al análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis por grupos. Para la observación de las interacciones del conjunto de los datos se recurrió al análisis de componentes principales (ACP) con variables estandarizadas.

3. Resultados y Discusión

A pesar de la proximidad de las muestras, la heterogeneidad edáfica hace que aparezcan diferencias significativas entre algunas de las fracciones granulométricas y los distintos suelos analizados (Tabla 1). El contenido en arcilla fue más alto en las parcelas cultivadas que están en posiciones llanas.

La densidad aparente (Tabla 1), como era de esperar, presentó diferencias significativas entre el encinar y el resto de parcelas, pues el alto contenido en materia orgánica está relacionado con la disminución de la densidad aparente (Reeves 1997). También se observaron diferencias significativas entre la densidad aparente de la parcela bajo cultivo convencional y aquellas que integran la ganadería para el control de la cubierta vegetal, exceptuando la parcela GA, que presentó un valor menor pero sin diferencias significativas. Castellano y Valone (2007) demostraron que tras acotar una pequeña parcela dentro de una zona de ganadería intensiva la densidad aparente de los suelos aumentó. También Belsky y Blumenthal (1997) relacionaron el pastoreo en bosques con el incremento de la densidad aparente y la degradación de los mismo. Sin embargo, en este estudio las zonas con ganadería y cubierta vegetal presentaron menor densidad aparente que en el cultivo convencional. Esto puede ser

debido al incremento en materia orgánica y a un adecuado manejo ganadero, ya que en los trabajos anteriores la carga ganadera era muy grande. De hecho, si consideramos todas las

parcelas estudiadas la densidad aparente es menor en aquellas en las que el contenido en carbono orgánico es mayor.

Tabla 1. Propiedades físico-químicas de los suelos en las distintas parcelas de estudio

| | Densidad Aparente (g/cm ³) | Limo (%) | Limo Grueso (%) | Arcillas (%) | Arenas (%) | H33 kPa (%) | H1500 kPa (%) | CRAD (mm) | pH | H ₂ O útil (%) |
|------------|--|------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|
| BL | d 1,07 (0,04) | cde 39,77 (2,32) | a 11,27 (1,36) | ab 33,22 (3,39) | b 15,75 (2,66) | b 31,94 (0,59) | e 15,31 (0,88) | c 17,72 (0,37) | d 8,35 (0,07) | ab 16,63 (1,03) |
| ESP | c 0,98 (0,02) | de 42,48 (5,65) | b 17,95 (1,29) | ab 31,23 (6,29) | a 8,34 (1,06) | a 39,68 (3,58) | a 20,08 (1,37) | b 57,61 (7,76) | a 7,90 (0,03) | ac 19,60 (2,32) |
| ENC | a 0,39 (0,04) | e 43,81 (3,49) | a 11,19 (2,09) | a 22,47 (1,16) | cd 22,53 (1,93) | d 69,84 (4,49) | d 58,83 (6,00) | acd 21,52 (11,98) | ab 7,93 (0,06) | bc 11,00 (6,04) |
| G | b 0,91 (0,05) | abc 32,77 (2,07) | a 9,50 (0,45) | b 36,26 (2,89) | bd 21,46 (0,66) | abc 34,40 (1,93) | b 17,30 (0,89) | a 31,12 (1,28) | bc 8,11 (0,08) | ab 17,10 (1,36) |
| GA | bcd 0,92 (0,11) | a 26,30 (1,43) | a 7,30 (3,00) | b 43,38 (8,03) | cd 23,12 (3,75) | a 39,03 (2,77) | a 20,51 (1,98) | a 34,01 (5,88) | ac 8,03 (0,07) | a 18,51 (1,24) |
| Mix | b 0,81 (0,07) | ab 29,11 (3,11) | a 8,20 (1,09) | b 38,09 (2,48) | d 24,60 (1,58) | ce 34,32 (0,44) | ab 18,30 (0,86) | d 26,16 (3,31) | c 8,15 (0,08) | b 16,02 (0,68) |
| CON | cd 1,07 (0,20) | bd 35,08 (0,40) | a 6,42 (2,53) | b 40,90 (1,78) | bc 17,60 (1,12) | ae 35,60 (2,26) | ab 18,87 (1,13) | a 35,79 (8,86) | cd 8,21 (0,07) | ab 16,73 (2,03) |

Valores medios y desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre datos de la misma variable ($p < 0,05$) según el test de Tukey o Kruskal-Wallis. H33: Humedad a 33 Kpa; H1500: Humedad a 1500 Kpa; CRAD: Capacidad de retención de agua.

En las variables referentes a las características hídricas (**Tabla 1**), humedad medida a 33 kPa, a 1500 kPa y capacidad de retención de agua, estas presentaron diferencias significativas entre ESP, ENC y las demás parcelas. Las parcelas con manejo de cubierta vegetal presentaron valores mayores independientemente del tipo de control de la cubierta vegetal, indicando que las parcelas bajo cubierta vegetal, con un manejo adecuado, pueden albergar mayor cantidad de agua en los suelos, lo cual coincide con lo observado por Hernández et al. (2005) y Ramos et al. (2010). Otros autores (Lordan et al. 2015) también observaron estos incrementos y los relacionaron con el contenido en materia orgánica de los suelos.

El pH muestras valores básicos como corresponde al material original del que están formados los suelos (**Tabla 1**). Todas las parcelas, excepto CON, presentaron diferencias significativas con BL, con valores de pH mayores, siendo ENC y ESP las que menores valores de pH registraron. Como han señalado otros autores (Julca-Otiniano et al. 2006; Martínez et al. 2008) el pH disminuye cuando aumenta el contenido en carbono orgánico, lo cual coincide con nuestros datos.

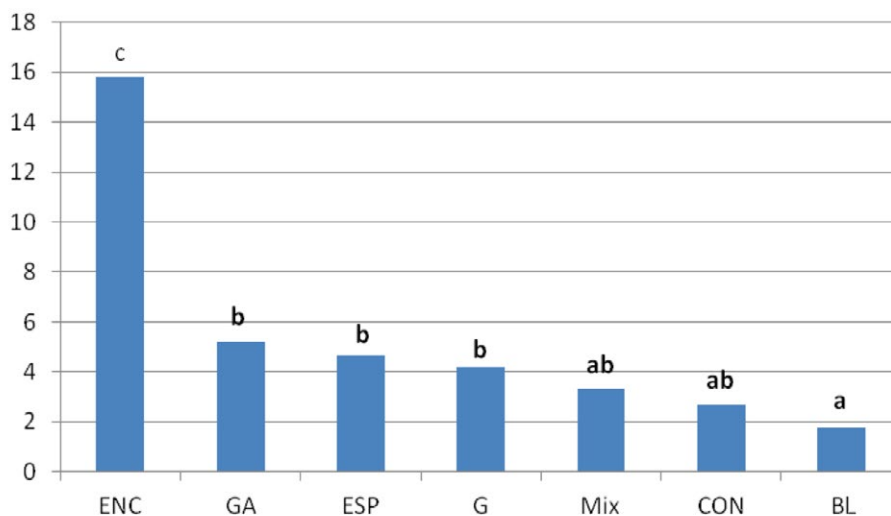


Figura 1. Valores medios de carbono orgánico (CO), expresados en porcentaje, de los suelos en las distintas parcelas de estudio. Datos con letras distintas presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) según el test de Tukey.

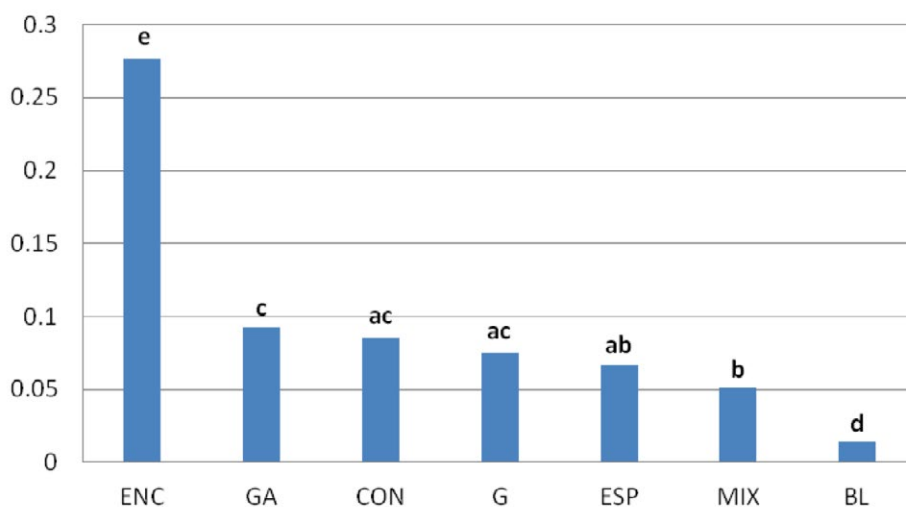


Figura 2. Valores medios de carbono orgánico soluble (COS), expresados en porcentaje, de los suelos en las distintas parcelas de estudio. Datos con letras distintas presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) según el test de Tukey.

Como puede observarse en las **Figuras 1 y 2**, ENC es la parcela con mayores concentraciones de CO y COS, seguida del resto de las parcelas y con diferencias significativas con BL. Entre las parcelas con cubierta vegetal (Mix, CON, G y GA) no se registraron diferencias significativas en el contenido de CO. Sí se observaron diferencias significativas entre la concentración de COS en la parcela Mix con las parcelas

con manejo ganadero (GA y G). Esto parece indicar que, aunque en la concentración de CO sigue siendo prioritaria la influencia de la cubierta vegetal (15 años de manejo), el COS puede verse afectado más rápidamente por los cambios de manejo (Ghani et al. 2003), como se observa en los datos de las parcelas con ganado (GA y G). Esto también ha sido observado por otros autores (Haynes y Francis 1993; Ghani

et al. 2003). Sin embargo, la parcela CON no presenta diferencias significativas con GA y G pero sí con el tratamiento que alterna los dos tipos de manejo (MIX). Esto puede indicar que la alternancia de los dos tipos de control de la cubierta vegetal (Mix) no son tan buenas opciones como los diferentes manejos por separado (Figura 2).

Las concentraciones de N (Tabla 2) en las diferentes parcelas siguieron una distribución similar a la del CO, presentando diferencias significativas las parcelas con cubierta vegetal frente al cultivo convencional (BL). Este aumento de N puede estar relacionado con la presencia

de la cubierta vegetal, tal como señalado otros autores (Nieto et al. 2012). El CIC fue mayor en las parcelas ENC y ESP, con diferencias significativas con las demás parcelas (Tabla 2). No se aprecian diferencias significativas entre las parcelas restantes; sin embargo, existe una tendencia a presentar mayores valores de CIC en las parcelas con control de la cubierta vegetal mediante ganadería. Las concentraciones de Na, Ca y Mg fueron significativamente mayores en ENC que en el resto de las parcelas. El K no presentó diferencias significativas, probablemente relacionado con la fertilización aportada.

Tabla 2. Propiedades químicas de los suelos en las distintas parcelas de estudio

| | CIC cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹ | Mg cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹ | Ca cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹ | Na cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹ | K cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹ | N % | P mg Kg ⁻¹ |
|------------|---|--|--|--|---|----------------------|--------------------------|
| BL | c 21,44 (9,29) | c 0,94 (0,19) | ab 18,51 (8,81) | bc 0,04 (0,01) | a 1,96 (0,29) | a 0,15 (0,04) | a 62,53 (10,35) |
| ESP | b 43,02 (3,20) | b 1,83 (0,15) | c 38,98 (3,83) | abc 0,06 (0,05) | a 2,15 (0,88) | b 0,42 (0,07) | a 49,46 (35,63) |
| ENC | a 69,91 (1,47) | a 4,51 (0,20) | d 63,02 (2,16) | a 0,12 (0,02) | a 2,26 (1,31) | c 1,09 (0,12) | a 99,55 (37,77) |
| G | c 23,31 (1,42) | c 1,36 (0,13) | ab 18,72 (0,94) | b 0,07 (0,01) | a 0,79 (3,16) | bd 0,35 (0,08) | a 82,36 (27,60) |
| GA | c 29,78 (4,41) | c 1,50 (0,12) | b 24,65 (4,82) | c 0,03 (0,01) | a 3,60 (0,31) | b 0,40 (0,05) | a 67,42 (27,39) |
| Mix | c 22,47 (3,18) | c 1,18 (0,20) | ab 18,57 (2,78) | b 0,07 (0,01) | a 2,64 (0,43) | bd 0,29 (0,05) | a 68,63 (28,93) |
| CON | c 19,44 (4,58) | bc 1,36 (0,35) | a 15,17 (3,85) | c 0,03 (0,00) | a 2,88 (0,75) | d 0,24 (0,03) | a 63,06 (20,35) |

Valores medios con su desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre datos de la misma variable ($p < 0,05$). CIC: Capacidad de intercambio catiónico; Cationes intercambiables: Mg, Magnesio; Ca, Calcio; Na, Sodio; K, Potasio; CO: Carbono orgánico; C: Carbono total; N: Nitrógeno; P: Fósforo.

Los niveles de actividad deshidrogenasa observados en este estudio fueron inferiores a los de Miralles (2007), que determinaron actividades enzimáticas en encinar de hasta 0,49 $\mu\text{moles INTF g}^{-1} \text{h}^{-1}$, pero son similares a los descritos por el mismo autor en zonas de cultivos y matorral degradado, 0,37 y 0,34 μmoles

INTF $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectivamente. Sin embargo, otros estudios (Leirós et al. 2000) en suelos forestales de alcornoque observaron valores que oscilaron entre 0,096 y 0,340 $\mu\text{moles INTF g}^{-1} \text{h}^{-1}$, similares a los de este estudio. En nuestro trabajo la actividad deshidrogenasa resultó significativamente mayor en ENC que en

el resto de las parcelas (Figura 3). Esto coincide con lo observado por Miralles (2007), donde los niveles de actividad deshidrogenasa más bajos se registraron en zonas de cultivos y matorral degradado. La presencia de esta enzima está relacionada con una amplia actividad metabólica de los microorganismos, implicada en procesos oxidativos (García et al. 1997), lo que puede constituir un buen indicador de la actividad microbiológica de los suelos (Skujins 1976). Esto indica que la parcela ENC posee mayor actividad microbiológica en sus suelos como consecuencia de la capa de materia orgánica formada a partir de la acumulación de restos vegetales (Görres et al. 1998). El resto de fincas no mostraron diferencias significativas con el tipo de manejo exceptuando CON, que se diferenció de ESP presentando menor actividad deshidrogenasa.

En el caso de la β -glucosidasa, Miralles (2007) observó valores de 2,69 μ moles p-nitrofenol para encinar y 1,61 y 1,85 μ moles p-nitrofenol para matorral degradado y cultivo, respectivamente. Estos datos son menores a los observados en este estudio, donde se registraron valores de hasta 5,06 y 6,31 μ moles p-nitrofenol para ENC y ESP (matorral) y un valor medio de $6,74 \pm 0,55$ μ moles p-nitrofenol para el cultivo del olivar bajo

los diferentes tratamientos (Figura 3). Trasar Cepeda et al. (2000) observaron en suelos de alcornoques actividades enzimáticas que oscilaban entre 0,67 y 4,58 μ moles p-nitrofenol. En nuestro estudio la actividad β -glucosidasa presentó valores mayores bastante más homogéneos. Los más bajos se registraron en ENC, con diferencias significativas con las parcelas CON y G. Según diversos autores, la actividad β -glucosidasa está relacionada con la degradación de la celulosa (Gutiérrez Rojas et al. 2015). Mendes y Reis Junior (2004) observaron mayor actividad β -glucosidasa en suelos de cultivos que en suelos forestales, que puede ser debido a la presencia de restos orgánicos más lignificados y con menores cantidades de celulosa en suelos forestales (Paiva et al. 2011), lo cual coincide con la naturaleza de la materia orgánica del encinar. La presencia de una actividad deshidrogenasa alta y una actividad β -glucosidasa baja en ENC (Figura 3) indica que existe una actividad microbiológica elevada condicionada por un sustrato pobre en celulosa en este medio, al contrario del resto de fincas y exceptuando BL. Además, también se ha relacionado el desarrollo de una rizosfera no lignificada (cubierta vegetal) con un aumento de esta actividad microbiana (Melo 1988), que es lo que ocurre en el resto de parcelas, excepto BL

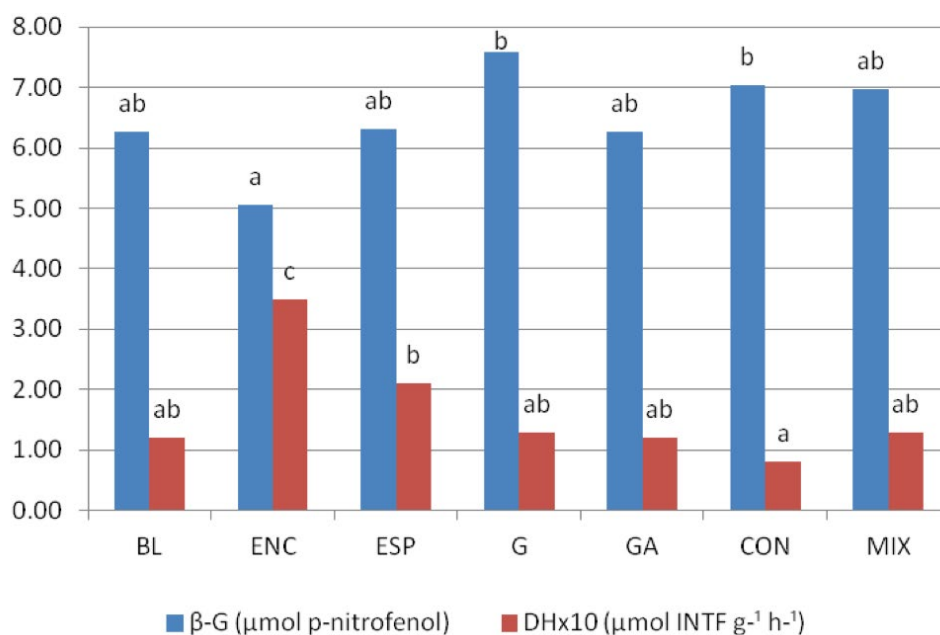


Figura 3. Concentraciones de β -glucosidasa y deshidrogenasa de los suelos en las distintas parcelas de estudio. Letras distintas indican diferencias significativas entre datos de la misma variable ($p < 0,05$) según el test de Tukey. B-G: β -Glucosidasa; DH: Deshidrogenasa.

y ENC, debido a la ausencia de cubierta vegetal (BL) o a sus particulares características (ENC). Los altos niveles de la actividad β -glucosidasa en la parcela BL pueden estar asociados al uso de herbicidas, tal como han señalado otros autores (Floch et al. 2011).

El análisis de componentes principales (Figura 4a) diferenció las parcelas con cubierta vegetal controlada con y sin ganado (G, GA, Mix y CON), del encinar (ENC), el cultivo convencional (BL) y el espartal (ESP). Los ejes PC1 y PC2 explican el 76,23% de la varianza. Las variables que presentaron una correlación superior al 80% para el PC1 fueron humedad

a 33 y 1500 kPa, CIC, CO, COS, Ca, Mg, Na, N y actividad deshidrogenasa, correlacionadas positivamente, y la capacidad de retención de agua y la densidad aparente con correlación negativa. En el componente principal 2 (PC2), las variables con correlaciones positivas y negativas, respectivamente, fueron la fracción arena y la fracción limo grueso. La mayor parte de variables correlacionadas con el PC1 se sitúan hacia los puntos de muestreo del encinar (ENC), señalando las características climax de los suelos de la zona. Entre este conjunto de variables destacan dos grupos, por un lado, Na, Mg, Humedad, N, COS y COT, estos dos últimos principales indicadores de

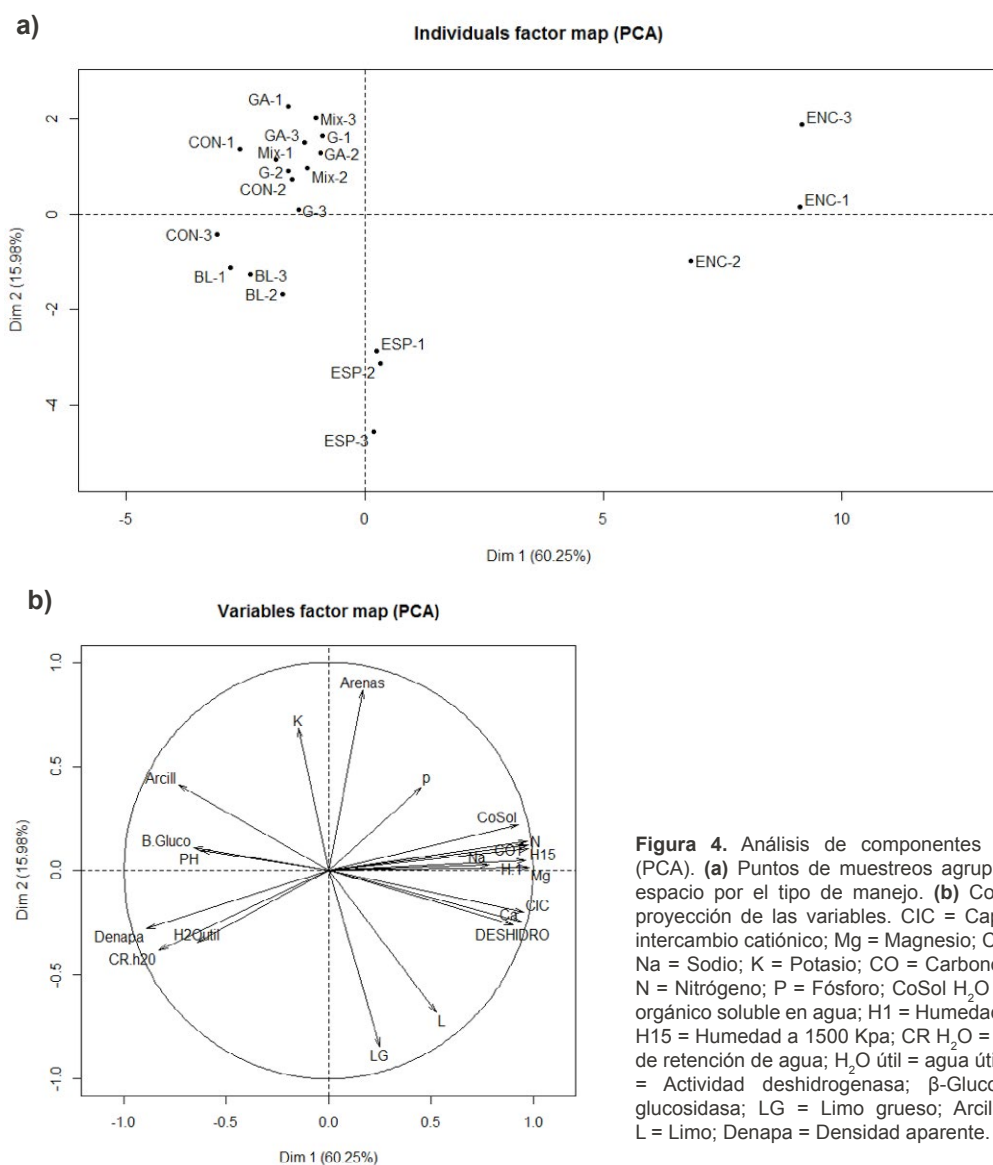


Figura 4. Análisis de componentes principales (PCA). **(a)** Puntos de muestreo agrupados en el espacio por el tipo de manejo. **(b)** Correlación y proyección de las variables. CIC = Capacidad de intercambio catiónico; Mg = Magnesio; Ca = Calcio; Na = Sodio; K = Potasio; CO = Carbono orgánico; N = Nitrógeno; P = Fósforo; CoSol H₂O = Carbono orgánico soluble en agua; H1 = Humedad a 33 Kpa; H15 = Humedad a 1500 Kpa; CR H₂O = Capacidad de retención de agua; H₂O útil = agua útil; Deshidro = Actividad deshidrogenasa; β -Glucosidasa = Actividad glucosidasa; LG = Limo grueso; Arcill = Arcilla; L = Limo; Denapa = Densidad aparente.

calidad de suelos (Banegas et al. 2019; Ghani et al. 2003). Por otro lado, encontramos el CIC, asociado a la actividad deshidrogenasa, y el Ca. La parcela BL se asocia a los valores negativos de ambos componentes principales. Las variables correlacionadas con esta parcela fueron la densidad aparente y la capacidad de retención de agua, con correlaciones negativas. Finalmente, las parcelas con tratamientos biológicos no presentaron diferencias entre ellas, situándose en valores negativos para el PC1 y positivos para el PC2.

4. Conclusiones

Las parcelas de encinar y espartal se diferenciaron significativamente del resto de parcelas en la mayoría de las propiedades del suelo estudiadas. Las parcelas con ganado mejoraron muchas propiedades del suelo (humedad, COS, N, pH) respecto al manejo convencional.

El manejo con ganado a corto plazo (G) y combinándolo con desbroce ocasional (Mix) disminuye la densidad aparente del suelo en relación a otros manejos. Sin embargo, otros indicadores de la calidad del suelo como el carbono orgánico soluble no fueron tan positivos en el manejo mixto de la cubierta con ganado y desbroce.

Los manejos de la cubierta vegetal solo con ganado (G y GA) mejoraron propiedades del suelo como el carbono orgánico soluble y, a más largo plazo, la disponibilidad de agua útil. Serían necesarios estudios a más largo plazo para confirmar estos resultados y observar la evolución del resto de propiedades relacionadas con la calidad del suelo.

REFERENCES

- Albiach MR, Bonmatí M, Canet R, García C, García A, Gil F, González S, Hernández MT, Jiménez de Ridder P, Leirós MC, Lobo MC, Rad C, Sastre I, Trasar C, Leirós MC. 2006. Sobre las enzimas del suelo y sus técnicas de medida. *Edafología* 13(3):117-125.
- Banegas N, Maza M, Viruel E, Nasca J, Canteros F, Corbella R, Dos Santos D. 2019. Long-term impact of grazing and tillage on soil quality in the semi-arid Chaco (Argentina). *Spanish Journal of Soil Science* 9(1):24-41.
- Belsky AJ, Blumenthal DM. 1997. Effects of livestock grazing on stand dynamics and soils in upland forests of the Interior West. *Conserv Biol.* 11(2):315-327.
- Castellano MJ, Valone TJ. 2007. Livestock, soil compaction and water infiltration rate: evaluating a potential desertification recovery mechanism. *J Arid Environ.* 71(1):97-108.
- CGIAR. 2018. System Organization. 4 pour 1000 [Internet]. Montpellier. Available from: <http://4p1000.org/>.
- Cole CV, Duxbury J, Freney J, Heinemeyer O, Minami K, Mosier A, Paustian K, Rosenberg N, Sampson N, Sauerbeck D, Zhao Q. 1997. Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture. *Nutr Cycl Agroecosys.* 49:221-228.
- Espejo Pérez AJ, Rodríguez Lizana A, Giráldez JV, Ordóñez R. 2005. Influencia de la cubierta vegetal en la pérdida de suelo en olivar ecológico. En: Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación; 2005 Nov 9-11; Córdoba, España; p. 345-350.
- Floch C, Chevremont AC, Joanico K, Capowicz Y, Criquet S. 2011. Indicators of pesticide contamination: Soil enzyme compared to functional diversity of bacterial communities via Biolog® Ecoplates. *Eur J Soil Biol.* 47(4):256-263.
- Fox J, Bouchet Valat M. 2019. Rcmdr: R Commander. R package version 2.5-3.
- García C, Hernández T, Costa F. 1997. Potential use of dehydrogenase activity as an index of microbial activity in degraded soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 28(1-2):123-134.
- García A, Laurín M, Llosá MJ, González V, Sanz MJ, Porcuna JL. 2008. Contribución de la agricultura ecológica a la mitigación del cambio climático en comparación con la agricultura convencional. *Agroecología* 1:75-88.
- Ghani A, Dexter M, Perrott KW. 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biol Biochem.* 35(9):1231-1243.
- Görres JH, Dichiaro MJ, Lyons JB, Amador JA. 1998. Spatial and temporal patterns of soil biological activity in a forest and an old field. *Soil Biol Biochem.* 30:219-230.

- Gutiérrez Rojas I, Moreno Sarmiento N, Montoya D. 2015. Mecanismos y regulación de la hidrólisis enzimática de celulosa en hongos filamentosos: casos clásicos y nuevos modelos. *Rev Iberoam Micol.* 32(1):1-12.
- Haynes RJ, Francis GS. 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *J Soil Sci.* 44:665-675.
- Hernández AJ, Lacasta C, Pastor J. 2005. Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed olive orchard. *Agr Water Manage.* 77(1-3):232-248.
- IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO.
- Julca-Otiniano A, Meneses-Florián L, Blas-Sevillano R, Bello-Amez S. 2006. La materia orgánica: importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)* 24(1):49-61.
- Leirós MC, Trasar Cepeda C, Seoane S, Gil Sotres F. 2000. Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic oakwood) in area of the European temperate-humid zone (Galicia, NW Spain): general parameters. *Soil Biol Biochem.* 32:733-745.
- Lordan, J, Pascual M, Villar JM, Fonseca F, Papió J, Montilla V, Rufat J. 2015. Use of organic mulch to enhance water-use efficiency and peach production under limiting soil conditions in a three year old orchard. *Span J Agric Res.* 13(4):0904.
- Martínez HE, Fuentes EJP, Acevedo HE. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *J Soil Sci Plant Nutr.* 8(1):68-96.
- Melo WJ. 1988. Enzimas no solo. In: MONIZ AC et al, editors. *A responsabilidade social da Ciência do solo.* Campinas: SBCS. p. 365- 378.
- Mendes IC, Reis Junior FB, editors. 2004. Uso de parâmetros microbiológicos como indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas [Internet]. Planaltina, DF: Embrapa. [Cited 2019 Jun 29]. Available from: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/569604/1/doc112.pdf>.
- Minasny B, Malone BP, McBratney AB, Angers DA, Arrouays D, Chambers A, Chaplot V, Chen ZS, Cheng K., Das BS, Field DJ, Gimona A, Hedley CB, Hong SY, Mandal B, Marchant BP, Martin M, McConkey BG, Mulder VL, O'Rourke S, Richer de Forges AC, Odeh I, Padarian J, Paustian K., Pan G, Poggio L, Savin I, Stolbovoy V, Stockmann U, Sulaeman Y, Tsui C, Vågen TG, Wesemael B, Winowiecki L. 2017. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma* 292:59-86.
- Miralles I. 2007. Calidad de suelos en ambientes calizos mediterráneos: Parque Natural Sierra María-Los Vélez. Granada: Editorial de la Universidad de Granada.
- Nieto OM, Fernández-Ondoño E, Castro J. 2012. Sustainable agricultural practices for Mediterranean olive grove. Effect of soil management on soil properties. *Spanish Journal of Soil Science* 2(1):70-77.
- Novelli LE, Caviglia OP, Melchiori RJM. 2011. Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. *Geoderma* 167:254-260.
- Olsen SR. 1954. Estimation of available phosphorus on soils by extraction with sodium bicarbonate. *Cic.* n° 939. United States Department of Agriculture.
- Paiva AO, Rezende AV, Pereira RS. 2011. Estoque de carbono em cerrado *Sensu Stricto* do Distrito Federal. *Revista Árvore* 35:527- 538.
- Pastor Muñoz Cobo M. 2006. Efecto de las cubiertas vegetales en el contenido de agua del suelo. *Vida Rural* 28:28-35.
- Ramos ME, Benítez E, García PA, Robles AB. 2010. Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: Effects on soil quality. *Appl Soil Ecol.* 44(1):6-14.
- Reeves DW. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till Res.* 43(1-2):131-167.
- Richards LA. 1945. Pressure-membrana apparatus and use. *Agri Engin.* 28.:451-454.
- Robert M. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. *Informes sobre recursos mundiales de suelos.* Vol. 96. FAO. 61 p.
- Rodríguez Lizana A, Ordóñez Fernández R, González Sánchez EJ. 2004. Agricultura de conservación en cultivos leñosos (olivar). Cubiertas vegetales. Cualidades y tipos principales. En: Gil-Ribes JL, Blanco-Roldán GL, Rodríguez-Lizana A, editores. *Técnicas de Agricultura de Conservación.* Madrid: MundiPrensa. p. 113-124.
- Saá A, Trasar Cepeda MC, Gil-Sotres F, Carballas T. 1993. Changes in soil phosphorus and phosphatase activity immediately following forest fires. *Soil Biol Biochem.* 25:1223-1230.
- SCS-USDA. 1972. National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology. Washington, DC: SCS-USDA.
- Six J, Conant RT, Paul EA, Paustian K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant Soil* 241:155-176.
- Skujins J. 1976. Enzymes in soil. In: Mc Laren AD, Peterson GH, editors. *Soil Biochemistry.* New York, USA: Marcel Dekker. Inc. p. 371-414.
- Throop HL, Archer SR, Monger HC, Waltman S. 2012. When bulk density methods matter: Implications for estimating soil organic carbon pools in rocky soils. *J Arid Environ.* 77:66-71.
- Torres JA, García-Fuentes A, Ruiz L, Siles G, Tendero FV, Ondoño EF. 2013. Ganado ovino como herramienta para el control de la cubierta vegetal en el olivar ecológico: diversificación de la riqueza. *Ganadería: Revista Técnica Ganadera* 88:60-63.
- Trasar Cepeda C, Leiros MC, Gil-Sotres F. 2000. Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic oakwood) in an area of the European temperate-humid zone (Galicia, NW Spain): specific parameters. *Soil Biol Biochem.* 32:747-755.

- Tyurin IV. 1951. Analytical procedure for a comparative study of soil humus. Trudy Pochr. Inst. Dokuchaev. 33:5-21.
- Valle F, Navarro FB, Jiménez MN, Algarra JA, Arrojo E, Asensi A, Cabello J, Cano E, Cañadas E, Cueto M, Dana E, De Simón E, Díez B, García A, Giménez E, Gómez F, Linares JE, Lorite J, Melendo M, Montoya MC, Mota JF, Peñas J, Salazar C, Torres JA. 2004. Modelos de Restauración Forestal I y II. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente.
- Vargas Osuna E, Aldebis HK. 2007. Control de plagas en olivar: cambios inducidos por la cobertura vegetal. Cubiertas vegetales en olivar. Sevilla: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. 115 p.