



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

La cubierta vegetal y la fertilidad funcional del suelo en el olivar.

Alumno: Eva María Álvarez Torres.

Octubre, 2020.



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Facultad de Ciencias Experimentales



Trabajo Fin de Grado

La cubierta vegetal y la fertilidad funcional del suelo en el olivar.

Alumno: Eva María Álvarez Torres

Octubre, 2020.

AGRADECIMIENTOS

Doy las gracias a todas las personas que directa o indirectamente han colaborado y contribuido a la realización de este trabajo.

En primer lugar, este trabajo ha sido posible gracias a la ayuda de mi tutor, a quien le agradezco su labor educativa, así como su paciencia, sus consejos y su tiempo. En segundo lugar, quiero agradecer a mi familia su apoyo, ayuda y fuerza en este camino que es la vida. También al resto de personas, técnicos de laboratorio y compañeros, que me han ayudado y aconsejado cuando lo he necesitado.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE

1. RESUMEN.	2
2. INTRODUCCIÓN.	3
2.1. Modelo de agricultura preponderante en la actualidad.	3
2.2. Políticas agrícolas de la Unión Europea.	5
2.3. Servicios ecosistémicos en la agricultura.	8
2.4. Olivar: principal vertebrador de la vida socio-económica, cultural y ambiental de Andalucía.	9
2.5. Prácticas de manejo en el olivar.	10
2.6. Cubierta vegetal y servicios ecosistémicos.	12
2.7. Indicadores de la calidad del suelo.	14
3. OBJETIVOS.	16
4. MATERIALES Y MÉTODOS.	17
4.1. Diseño experimental.	17
4.1.1. Fuentes de variación.	17
4.1.2. Nivel de replicación y número de unidades experimentales.	18
4.1.3. Variables dependientes.	18
4.2. Análisis estadístico.	22
5. RESULTADOS.	22
5.1. Contenido de Carbono orgánico.	22
5.2. Contenido de Nitrógeno total.	23
5.3. Nitrógeno potencialmente mineralizable.	25
5.4. Actividad fosfatasa.	27
5.5. Actividad β -glucosidasa.	28
5.6. Actividad aril-sulfatasa.	30
5.7. Análisis combinado.	32
5.8. Relaciones entre variables.	34
6. DISCUSIÓN.	35
7. CONCLUSIONES.	38
8. BIBLIOGRAFÍA.	39

1. RESUMEN

Andalucía is the main olive oil producer worldwide. In the olive oil sector and olive orchards support the socio-cultural and economic life of many villages in Andalucía, where is the predominant landscape. The perennial and woody nature of the olive tree farming can provide a series of ecosystem services. However, there are a series of environmental impact related to the cultivation of olive groves attributed to the agricultural practices. The common agricultural policy encourages a change in the uses of soil, including practices more sustainable as the presence of vegetal cover in soil. The presence of vegetal cover improves the contents of organic matter of soil and, likely, the recycling of nutrients, because increases the amount of soil microorganisms, which participate in many of the processes related to the soil quality. In this study it was evaluated the soil contents of organic carbon and organic nitrogen, soil N mineralisation potential and enzymatic activities related to the phosphorus, carbon and sulphur recycling in order to assess for the effects of the presence of vegetal cover in the quality, health and biological fertility of soil. The results demonstrate that all individual variables, except for the phosphatase activity, and the geometric median, as an indicator that combines all, were significantly higher in soils of olive groves with cover crops. This study clearly shows that spontaneous temporary crops in olive orchard are beneficial for the soil functionality.

Palabras clave: olivar, cubierta vegetal, actividad enzimática, carbono, fertilidad, materia orgánica.

ABSTRACT

Andalucía is the principal producer of olive oil of the world, and the olive grove support the sociocultural and economic live of many villages in Andalucía, where is the predominant landscape. The ligneous nature and its stable distribution make the olive tree farming can provide a series of ecosystem services. There are a series of environmental impact related to this grow attributed to the agricultural practices. The common agricultural policy encourages a change in the uses of soil, including practices more

sustainable as the presence of vegetal cover in soil. The presence of vegetal cover improves the contents of organic matter of soil and, possibly, the recycling of nutrients, because increases the amount of soil microorganisms, which participate in the soil quality. In this paper were evaluated the organic carbon and organic nitrogen contents, mineralisation potential of nitrogen and enzymatic activities related to the phosphorus, carbon and sulphur recycling in order to calculate the effects of the presence of vegetal cover in the quality, health and biological fertility of soil. The results demonstrate that all individual variables, except for the phosphatase activity, and an indicator that combines all: the geometric median, were significantly largest in olive tree soil with vegetal cover. This makes us demonstrate our hypothesis that the vegetal cover is beneficial for the soil functionality.

Key words: olive orchard, cover crops, enzyme activity, carbon, fertility, organic matter.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Modelo de agricultura preponderante en la actualidad

Aparte de impactos bien conocidos desde hace tiempo en las escalas regional y local (contaminación difusa, eutrofización de ecosistemas acuáticos, pérdida de suelo...), existe un reconocimiento cada vez más generalizado de que las actividades agrícolas son, en la actualidad y de modo creciente, responsables en porcentajes significativos de algunos de los más conspicuos componentes del cambio ambiental incluso a la escala global (flujo de gases de efecto invernadero, alteración del ciclo global del N, crisis de biodiversidad) (Vitousek y Matson, 1993; Vitousek *et al.*, 1997). Sorprendentemente, sin embargo, y al menos en el marco de los países desarrollados, la agricultura sigue siendo aún una de las actividades productivas sometida a menor grado de restricciones ambientales (tanto en grado de desarrollo normativo y legislativo), cuando se compara con otras actividades como la industria o el transporte, (Vitousek *et al.*, 1997). El hecho de que la magnitud de los impactos ambientales atribuibles a la agricultura haya seguido en las últimas décadas un crecimiento

exponencial, asociado a la intensificación de ésta, ha terminado por abrir una brecha entre grados de responsabilidad y de “mitigación de daños”, que va a tener que corregirse en el futuro inmediato. Este tipo de apreciaciones está en la base de las nuevas orientaciones en las políticas agrarias de fomento, en las que empieza a reconocerse, ya de forma implícita tanto desde el nivel europeo al autonómico, la urgencia de supeditar el tipo de prácticas permitidas, y la recepción de subsidios económicos, a criterios ambientales complementarios a los exclusivamente socio-económicos al uso. Ante la elevada probabilidad de que dicho escenario se materialice, la puesta a punto temprana de herramientas de diagnóstico a través de las cuales poder implementar el seguimiento de criterios ambientales más estrictos en el cultivo del olivar representa una estrategia de anticipación oportuna.

En una parte de los municipios de Andalucía, especialmente de las provincias de Jaén, Córdoba y Granada, el cultivo preponderante es el olivo, *Olea europea L*, que se cultiva principalmente como un monocultivo y que se extiende en un millón y medio de hectáreas del territorio (Sánchez y Garrido, 2017).

Normalmente, en los cultivos agrícolas intensivos se utilizan prácticas agrícolas que conllevan a una serie de impactos negativos en el medio ambiente, afectando a los ecosistemas (Fonseca *et al.*, 2014). El olivar intensivo es un claro ejemplo de un tipo de manejo que deriva en una baja diversidad debido, entre otras muchas razones, a la reducción de la complejidad ambiental. Otros impactos ambientales que acarrea la intensificación del olivar son la pérdida de suelo (Rodríguez *et al.*, 2019) y pérdida del hábitat y disminución de la biodiversidad (Rey *et al.*, 2019). Como se ha mencionado más arriba un cambio en el manejo puede contribuir a mejorar esta situación (Santelmann *et al.*, 2006; Donald *et al.*, 2006), sin que ello suponga una merma en la rentabilidad económica.

Ahondando en los impactos negativos, el olivar es uno de los cultivos que genera mayor pérdida de suelo. Pastor *et al.* (1997) estimaron pérdidas de suelo de más de 80 toneladas de suelo por hectárea en

algunas zonas de olivar de Andalucía. Esta pérdida de suelo afecta también a la fertilidad del suelo junto otros problemas que arrastra como contaminación de aguas por escorrentía superficial.

El abonado en exceso puede, también, estar detrás de algunos impactos ambientales. Es relativamente frecuente que el agricultor utilice fórmulas preestablecidas cuando se cree conveniente año tras año, en lugar de tener en cuenta el estado nutricional de los olivos a partir de análisis foliares y/o análisis de suelo. También es relativamente frecuente, recurrir a la fertilización o abonado para solventar otros problemas que no son causados por una deficiencia nutricional (Pastor, *et al.*, 1998). Este uso abusivo de insumos externos deteriora y perjudica a la fertilidad natural del suelo, contribuye a la contaminación del aire y del agua, incluso puede reducir la productividad del suelo a largo perjudicando a largo plazo (Fernández- Escobar, 2008).

Otro problema derivado del cultivo intensivo, es la emisión de gases de efecto invernadero. Éstos son provocados, en buena parte de las ocasiones, por el uso inadecuado de insumos y del manejo del suelo. Una adecuada fertilización del suelo, así como técnicas de manejo del suelo que eviten pérdidas de carbono orgánico (MITECO, s.f.), contribuirían reducir las emisiones. Esto, a su vez, contribuiría a solucionar también aquellos otros problemas mencionados anteriormente relacionados como la pérdida de fertilidad y suelo.

2.2. Políticas agrícolas de la Unión Europea

Las políticas agrarias, principalmente la PAC (Política Agrícola Común) dictada por la Unión Europea y que es responsable de la mejora en la producción en las últimas décadas (Sánchez y Garrido, 2017), han tenido una incidencia notoria en el cultivo del olivar. Desde su puesta en marcha, estas políticas agrarias de la Unión Europea han tenido diferentes reformas para adaptarse mejor a la demanda de necesidades en cada momento, bien sean necesidades para el cultivo o en beneficio del agricultor.

La política agrícola común (PAC), fue fundada en 1962 por la Unión Europea, en adelante U.E., para asociar a Europa con sus agricultores, es decir asociar la agricultura y la sociedad. La PAC es igual para todos los países de la Unión y se financia con los presupuestos de la U.E. (Comisión Europea, s.f.). Pero hasta 1986, año en que España entra en la U.E., no se aplican las medidas de la PAC que afectan al cultivo del olivar. (García-Brenes, 2012).

La Política Agrícola Común ha tenido diferentes reformas a lo largo de los años desde su creación. Hasta ahora ha sufrido cinco reformas en los años 1992, 2000, 2003, 2009 y la última 2013. La reforma de 1992 condujo a un cambio, introduciendo una ayuda de pagos a los agricultores, animándolos a tomar medidas a favor del medio ambiente. Más tarde en el año 2000, se estableció la llamada “Agenda 2000”, que trajo consigo la implantación de medidas que acompañarían a la PAC y apostarían por el desarrollo rural. En 2003, las ayudas económicas se convirtieron en un pago único por explotación que los agricultores recibían con la condición de abordar el cumplimiento de criterios de medio ambiente, seguridad alimentaria y salud pública. Por último se produjo una reforma en 2013 para promover una agricultura sostenible e innovación, apoyar el empleo en las zonas rurales y proporcionar ayudas conforme a un uso adecuado de la tierra (Comisión Europea, s.f.; Parlamento Europeo, s.f.).

Tras una consulta en 2017 sobre el futuro de la PAC y la comunicación sobre el futuro de la agricultura y la alimentación, en Junio de 2018 se lanzaron una serie de propuestas para el futuro de la PAC a partir de 2020. Estas son: i) garantizar un trato justo con los agricultores así como una economía estable, ii) implantar propuestas en cuestiones ambientales y de acción climáticas, y iii) mantener a la agricultura en buen lugar para la sociedad europea. Para llegar a alcanzar estos objetivos generales se han propuesto nueve objetivos más específicos (Figura 1). Estos objetivos enmarcan, asegurar un salario justo para los agricultores, aumentar la competitividad, poner en valor la cadena alimentaria, acción contra el cambio climático, cuidar del medio ambiente, conservación de parajes

naturales y biodiversidad, apoyar el relevo de generaciones, preservar áreas rurales y apoyar la calidad alimentaria y la salud (Comisión Europea, s.f.).

Por otra parte, también existe una política de desarrollo rural, que acompaña a la anterior como el “segundo pilar de la PAC”, dentro de la reforma “Agenda 2000”, ayudando a la mejora del medio rural. Así, los objetivos de desarrollo rural son: fomentar la competitividad agrícola; asegurar una gestión sostenible de los recursos naturales y la acción climática; lograr un desarrollo rural equilibrado de la economía y las comunidades rurales, incluyendo la creación de empleo y su mantenimiento (Parlamento Europeo, 2020).



Figura 1. Objetivos clave de la futura Política Agrícola Común. Comisión Europea. Recuperado de Key Policy objectives of the future CAP. https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/future-cap/key-policy-objectives-future-cap_en#nineobjectives.

El olivar es ahora el cultivo agrícola más extendido de Andalucía gracias a la PAC y además gracias a la UE y España, Andalucía es líder mundial en la producción de aceite de oliva (García-Brenes, 2012).

2.3. Servicios ecosistémicos en la agricultura

El ser humano, como parte del ecosistema, tiene una relación estrecha con la naturaleza. La naturaleza aporta a la sociedad una serie de beneficios que hace posible la vida humana, son los llamados servicios ecosistémicos. Dicho de otro modo, son procesos esenciales que realizan los ecosistemas y sus especies con el fin de regular y mantener dicho sistema. Actividades como la agricultura, la ganadería, la gestión forestal o la pesca se benefician de los servicios ecosistémicos y a su vez los aportan. Los servicios ecosistémicos pueden ser de regulación, de hábitat, de producción, de información y de sustrato. Varios de estos están estrechamente relacionados con la agricultura.

La agricultura es un gran pilar de la economía y la sociedad, así que entender cómo afecta la agricultura a los servicios ecosistémicos, que a su vez afectan a la producción agrícola, es importante a la vez que interesante (Dale y Polasky, 2007). La agricultura y los servicios ecosistémicos están interrelacionados mediante servicios como regulación del clima, calidad del suelo entendida sobre todo como fijación del suelo para evitar la erosión, regulación de nutrientes, producción de alimentos, además de sustrato, es decir, la agricultura provee de un sustrato para la actividad humana. Incluso podemos decir que la agricultura también supone un servicio de información, porque cumple una función recreativa o educativa a través del ecoturismo y la educación ambiental. El principal y más básico servicio que ofrece la agricultura es la producción de alimentos. Para la sociedad esto es primordial, pero un incremento de la producción, debida a una mayor explotación agrícola, puede afectar al ecosistema y también a los servicios ecosistémicos perjudicándolos, principalmente a los servicios de regulación como la regulación del clima, reciclado de nutrientes o calidad del agua, incluso a la propia producción de los cultivos (Palm *et al.*, 2014). Además, las prácticas de manejo del suelo influyen en los servicios ecosistémicos que respectan a la agricultura. Así mismo, un cambio en estos sistemas, como reducción del uso de pesticidas e insumos, limitar el labrado de la tierra o conservar la cubierta vegetal, beneficiará a la agricultura y sus servicios

ecosistémicos (Poder, 2010). Con lo cual es importante mantener una buena gestión de los cultivos para obtener y beneficiarnos al máximo de los servicios ecosistémicos que nos brindan, y que estos ayuden a su vez a los cultivos.

2.4. Olivar: principal vertebrador de la vida socio-económica, cultural y ambiental de Andalucía

En España, la superficie agraria útil (SAU) abarca más de 23 millones de hectáreas suponiendo casi la mitad del territorio. De estas casi 17 millones de hectáreas corresponden a superficie de cultivo. Además, el cultivo leñoso con más superficie cultivada es el olivo (Ministerio para la transición ecológica el reto demográfico, MITECO, s.f.). Así, la superficie agrícola dedicada a este cultivo es mayor de 2.605.252 de hectáreas, lo que representa un 14% de la superficie agraria útil (MAPA, 2019). Estas hectáreas producen el 44% de aceite de oliva y el 24% de aceitunas de mesa a nivel mundial. Estos datos hacen que España sea el país productor más importante de aceite de oliva y de aceituna de mesa (Gobierno España, 2017). En la campaña 2018-2019 se produjeron 604.104 toneladas de aceituna de aderezo y 1.790.309 toneladas de aceite de oliva virgen (Anuarios de estadísticas agrarias y de alimentación, 2019). En cuanto a número de explotaciones de cultivo de olivar de secano, en España hay registradas 331.954 explotaciones de las cuales 144.055 están en Andalucía. (Anuarios de estadísticas de la estructura de las explotaciones agrarias, 2019).

Centrándonos en Andalucía, la superficie de cultivo es de 1.652.489 hectáreas. Respecto a sus provincias, Jaén es la que mayor superficie de cultivo tiene dedicada al olivar, 592.848 hectáreas, seguida de Córdoba en segundo lugar con 374.081 hectáreas y Sevilla en tercer lugar con 231.868 hectáreas (ESYRCE, 2019). Por tanto, el olivar es el paisaje principal de Andalucía (Guzmán y Zoido, 2013). A lo largo de la historia, el olivar ha sido de gran importancia en la vida socio-económica de Andalucía. A principios de los años sesenta, el olivar representaba un 12% de la producción agraria de Andalucía y actualmente a crecido hasta

llegar a cerca de un 30% (García Brenes, 2006). Lo que lo convierte en la base económica de gran parte de los municipios de la comunidad autónoma.

Según la Ley del Olivar de Andalucía, publicada en el BOE (Ley 5/2011), el cultivo del olivar es la actividad principal para una gran parte de pueblos de la comunidad autónoma, ya que 300 pueblos andaluces viven de ello, dando trabajo a más de 250 mil familias de olivareros y concediendo más de 22 millones de jornales al año. Además, Andalucía cuenta con más de 800 almazaras repartidas por todo el territorio (BOE-A-2011-17494, p.4), de las cuales estuvieron activas alrededor de 851 en la campaña 2019-2020 (Junta de Andalucía, 2019).

También sabemos que aunque la función fundamental del olivar es la producción de aceite y aceituna, este es también patrimonio paisajístico e incluso parte de la cultura de Andalucía (Guzmán y Zoido, 2013). Todo esto da lugar a reconocer fácilmente la importancia que tiene este tipo de cultivo para España y más concretamente para esta Comunidad Autónoma de Andalucía.

2.5. Prácticas de manejo en el olivar

La diversidad de manejo del suelo en el cultivo del olivar es relativamente diversa. Las principales prácticas son el laboreo, el no laboreo, que normalmente presenta un suelo desnudo, el semilaboreo, el mínimo laboreo y cultivo con cubierta ya sea esta inerte o cubierta vegetal viva.

Según la Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivo (ESYRCE, 2019), en España la técnica de manejo del suelo en el olivar más utilizada fue el laboreo mínimo (1.093.279 ha) seguida de la cubierta vegetal espontánea (761.649 ha). Sin embargo, en Andalucía la cubierta vegetal espontánea (607.764 ha) tiene más importancia en cuanto a técnica de mantenimiento del suelo que el mínimo laboreo (596.721 ha). En Andalucía, seguidamente la práctica más habitual es el no laboreo (230.669 ha), después el laboreo tradicional (98.846 ha), la cubierta inerte

(56.638 ha), el suelo sin mantenimiento (56.015 ha) y finalmente en último lugar la siembra de cubierta vegetal (5.638 ha). En términos de porcentajes, la presencia y mantenimiento de cubierta vegetal espontánea es la práctica más utilizada representando el 36,7 % frente a la práctica de sembrar cubierta vegetal, la menos utilizada, con un 0,34%.

Un problema derivado de un manejo inadecuado del suelo es la erosión. La erosión del suelo producida por el agua es un problema crucial en el olivar español (Pastor *et al.*, 2001). Algunas prácticas agrícolas influyen en la velocidad de la erosión del suelo, como es el caso del laboreo, porque genera grandes pérdidas de suelo debido a la separación de las partículas del mismo y a la destrucción de la cubierta vegetal natural. Sin embargo, otras prácticas de manejo del suelo como son el mínimo laboreo, el no laboreo o el cultivo con cubierta vegetal pueden ayudar a disminuir el proceso de erosión (Pastor *et al.*, 2001).

La siembra de cubierta vegetal tiene como principal función evitar la erosión hídrica y eólica del suelo, algo que ocurre cuando se labra el suelo o se ha eliminado la vegetación, normalmente malas hierbas (Rodríguez, 2003). La siembra de cubierta vegetal reduce considerablemente la pérdida de suelo y agua por escorrentía. Dicho de otro modo, la presencia de sedimentos en las aguas de escorrentía de suelos con cubierta vegetal es menor que en las de suelos con laboreo (Rodríguez *et al.*, 2004).

Estas prácticas influyen enormemente en los contenidos de materia orgánica y carbono orgánico en el suelo. El suelo puede ser tanto emisor como secuestrador de CO₂ (Hutchinson *et al.*, 2007). Por tanto, diferentes cambios en los tipos de manejo del suelo pueden fomentar un aumento del contenido de carbono orgánico del suelo y el secuestro del mismo (Nieto *et al.*, 2010; West y Post, 2002).

Por otro lado, una manera de mejorar las propiedades del suelo, aumentar la capacidad de secuestro de carbono y reducir la emisión de CO₂, es la utilización de restos orgánicos del olivar, como restos de poda o de limpiar el olivar (Nieto *et al.*, 2010). Al aplicar restos de poda como

cubierta para el suelo, se observa un aumento de carbono orgánico del suelo y una mejora de la fertilidad del suelo (Repullo *et al.*, 2012)

Por tanto, podemos apreciar la influencia que tiene la forma de manejo del suelo del olivar en el medio que rodea al cultivo. Sabiendo esto, lo ideal es mejorar las técnicas para así minimizar o evitar los impactos que generan en el medio ambiente.

2.6. Cubierta vegetal y servicios ecosistémicos

La cubierta vegetal es un sistema de cultivo del suelo alternativo al resto de sistemas convencionales, que consiste en cubrir el suelo del cultivo, en nuestro caso del olivar, para controlar el cultivo y los impactos ambientales relacionados con el suelo. Para la cubierta vegetal viva existen varias alternativas. Están las cubiertas espontáneas y las sembradas, ambas son útiles aunque las primeras suelen ser menos efectivas por la posibilidad de que se establezca competencia con el olivo (Pastor, 2008). Como cubierta vegetal se puede emplear las propias malas hierbas que crecen en los suelos del cultivo de olivar o bien la siembra de otros cultivos como cereales o leguminosas. El empleo de malas hierbas de forma natural es algo complejo por lo que se tiende a manipular la vegetación hacia otras especies convenientes mediante el uso de herbicidas hasta lograr la cobertura deseada, como por ejemplo el uso de malas hierbas gramíneas espontáneas. Sin embargo, otras coberturas son más sencillas de manejar, pudiendo ser la siembra de cereales como la cebada o la avena, o de leguminosas como la veza (Pastor *et al.*, 1997). Para mantener la cubierta vegetal, de un tipo u otro, es necesario segarla y puede hacerse mecánicamente o químicamente mediante herbicidas.

Los cultivos con cubierta vegetal fomentan una agricultura sostenible, ya que aporta múltiples beneficios para el suelo del cultivo, como la prevención de la erosión, el reciclado de nutrientes, la mejora de la productividad, y aumentar la actividad de la materia orgánica del suelo, que está relacionada con la calidad del suelo, que son servicios ecosistémicos (Figura 2). También, la presencia de cubierta, aumenta los

niveles de carbono orgánico del suelo y el contenido hídrico del mismo, mejorando la infiltración de agua y reduciendo la evaporación (Ding *et al.*, 2006; Blanco-Canqui *et al.*, 2011; Haruna *et al.*, 2017). Además tiene un mayor control sobre las malas hierbas. La presencia de cubierta vegetal ayuda a la conservación y creación de hábitat, puesto que dan cobijo a especies de aves, incluso alimento al favorecer la conservación de artrópodos del suelo (Pastor *et al.*, 1997), también aumenta la cantidad de microorganismos del suelo (Hernández y Pastor, 2011), los cuales participan en el reciclado de nutrientes del suelo. Por tanto observamos que la cobertura vegetal del suelo favorece a los servicios ecosistémicos relacionados con el olivar (Figura 2). Es debido a todo esto que se está fomentando su uso en el olivar y cada vez son más los agricultores que utilizan esta práctica.

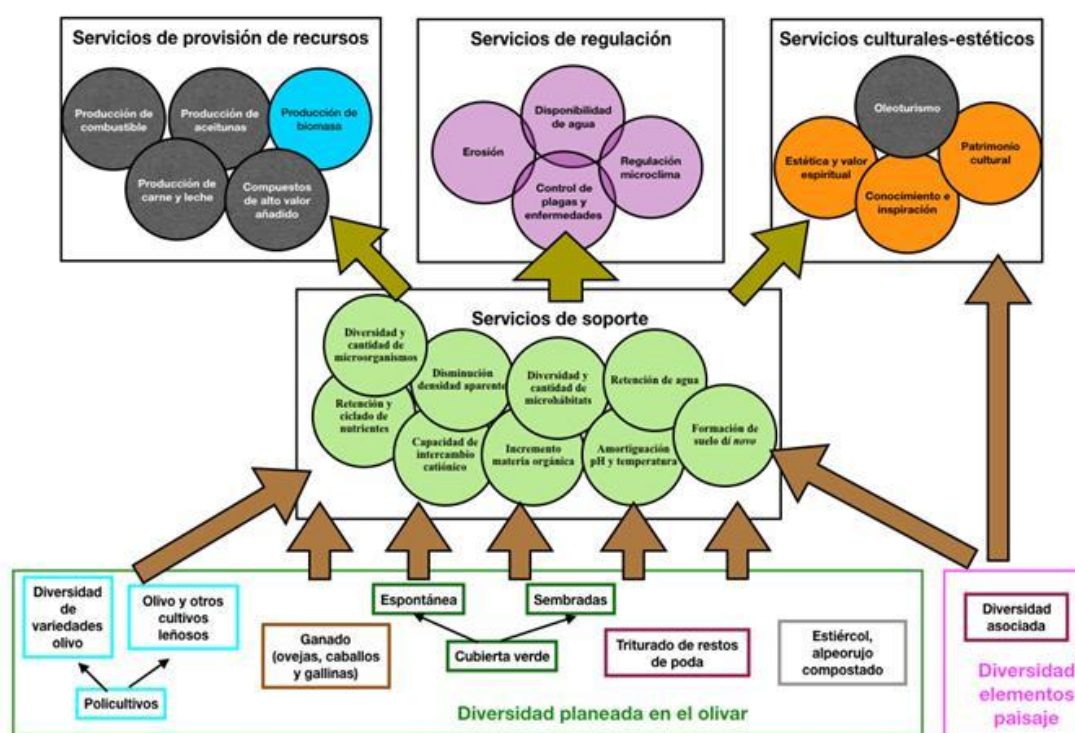


Figura 2. Servicios ecosistémicos asociados con el cultivo del olivar.

2.7. Indicadores de la calidad del suelo

Para una adecuada implementación de políticas agrícolas más respetuosas con el medio ambiente en general, y con el suelo en particular, se precisa de indicadores de salud o calidad del suelo que diagnostiquen adecuadamente el grado de mejora a distintas escalas temporales, derivado de prácticas de manejo específicas, como por ejemplo el empleo de cubierta vegetal. Sin embargo, la búsqueda de indicadores de calidad del suelo ha sido uno de los principales tópicos en la ciencia del suelo durante las dos últimas décadas. Para establecer herramientas de diagnóstico de la salud del suelo se precisa de una definición que integre las numerosas funciones que realiza el suelo (Doran y Safley, 1997). Mientras que las definiciones de los estándares de calidad del aire o el agua son relativamente precisas y están basadas en los niveles máximos admisibles de concentraciones de algunos contaminantes, no existe tal definición para el caso del suelo. La salud del suelo es el resultado neto de un conjunto de procesos altamente dependientes del componente biológico. Históricamente el término de calidad del suelo describe el estado del suelo en relación a la capacidad productiva agrícola (Singer y Ewing, 2000). Posteriormente, esta descripción se amplió para incluir el estado del suelo en términos, no sólo de fertilidad, sino de equilibrio del conjunto de procesos físico-químicos y biológicos (Doran y Parkin, 1994). En el último decenio se introdujo el término de salud del suelo que en algunos programas nacionales de monitorización del suelo se utiliza como sinónimo de calidad del suelo. La definición más aceptada de salud del suelo es la presentada por Doran y Safley (1997) que incluye atributos como biodiversidad, estructura trófica y funcionamiento del suelo y que introduce implícitamente la dinámica temporal natural del suelo, y que se podría resumir como la capacidad continuada de un suelo para sostener el crecimiento de la vegetación y mantener sus funciones. De esta definición se entiende la dificultad en encontrar indicadores adecuados de calidad o salud del suelo (en este trabajo emplearemos éstos términos como sinónimos).

Los indicadores de calidad del suelo propuestos van desde variables simples edáficas, como los contenidos en distintos cationes de cambio, o biológicas, como el contenido en materia orgánica o carbono total (Brookes, 1995; Lovell *et al.*, 1995), hasta indicadores combinados, como capacidad de intercambio catiónico, o diversidad de fosfolípidos de membrana de los microorganismos del suelo (Hinojosa *et al.*, en prensa).

De entre todos los indicadores de calidad del suelo propuesto, destacan aquellos relacionados directa o indirectamente con la estructura o función de los microorganismos (Nielsen y Winding, 2002) porque dan una medida integrada de la calidad del suelo, aspecto que no puede ser obtenido a través del análisis tradicional de variables físico-químicas. Los microorganismos del suelo, a pesar de que ocupan un volumen casi insignificante, tienen un claro papel en el reciclado de los distintos elementos en el suelo que afectan incluso a los ciclos biogeoquímicos a escala global (Pankhurst *et al.*, 1997). Además, a través de su actividad vital afectan a las propiedades físico-químicas del suelo tales como estabilización de agregados, capacidad de campo, tasa de infiltración de agua, meteorización química del suelo, etc. (Elliott *et al.*, 1996), y responden rápidamente a perturbaciones gracias a su rápida adaptación a las condiciones ambientales. De entre los indicadores microbiológicos destacan las actividades enzimáticas relacionadas con los ciclos de N, P, C y S, porque: i) son mediadores de primer orden del catabolismo biológico de compuestos orgánicos y minerales del suelo que expresan la velocidad de reacción de los procesos de reciclado de nutrientes; ii) verifican cambios antes que otras variables microbiológicas (como contenido en materia orgánica o estructura de la comunidad microbiana), y por tanto son indicadores tempranos de cambio en la calidad del suelo; y iii) son relativamente fáciles y baratos de medir, lo que facilita su protocolización.

Sin embargo, en prácticamente todos los estudios, la aplicabilidad de actividades enzimáticas como indicadores de calidad del suelo se ha ensayado en un número muy reducido de parcelas a contrastar, con poca diversidad en las propiedades edafológicas y sin introducir la dinámica

temporal como posible fuente de variación, lo que limita su utilización como herramientas de control y monitorización en las políticas agrícolas.

Una de las principales diferencias entre un olivar sin cubierta y con cubierta vegetal es que en el último se considera al suelo como un ente vivo, y dirigidos especialmente hacia el incremento de los niveles de materia orgánica y la revitalización del papel de microorganismos y micro- y meso-fauna del suelo en la agricultura (ECAAF, 1999). La adición de materia orgánica en los olivares con cubierta tiene, probablemente, consecuencias positivas tanto en la funcionalidad microbiológica del suelo como en indicadores de mesofauna como riqueza específica y diversidad. Los nutrientes de la materia orgánica de la cubierta vegetal pasan a ser disponible por los microorganismos a través de un amplio abanico de actividades microbiológicas relacionadas con el reciclado de N, P, C y S, desde la materia orgánica aportada. Sin embargo, en el olivar sin cubierta vegetal el aporte de nutrientes se materializa a través de la adición directa al suelo, generalmente en forma soluble, de fertilizantes químicos. Ello conlleva una disminución en la velocidad de los procesos de reciclado y, por tanto, una merma en la diversidad y calidad funcional del suelo. Por tanto, una de las hipótesis del presente TFG es que en los modelos de cultivos sostenibles del olivar con cubierta vegetal se verificará un aumento de la calidad funcional de los suelos y una mayor diversidad de actividades microbiológicas, que pueden ser cuantificados mediante los indicadores adecuados.

El desarrollo temprano de herramientas de diagnóstico de la calidad del suelo en sistemas agrícolas del olivar contrastados (con cubierta versus sin cubierta) permitiría: i) proporcionar una base científica para insistir en la bondad de esta práctica agrícola, y ii) contribuir a la reorientación de la política agraria común.

3. OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo es demostrar que los suelos de olivar con presencia de cubierta vegetal presentan mayor funcionalidad biológica.

Otros objetivos son:

- Comparar los contenidos de carbono y nitrógeno orgánicos según la técnica de manejo del suelo empleada, es decir, presencia o ausencia de cubierta vegetal.
- Observar como la presencia de cubierta vegetal favorece la actividad biológica del suelo y el reciclado de nutrientes como el fósforo, carbono o azufre, mediante el estudio de diferentes actividades enzimáticas de microorganismos presentes en el suelo.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Diseño experimental

4.1.1. Fuentes de variación

Las fuentes de variación a tener en cuenta son:

a) Presencia de cubierta vegetal. Esta fuente de variación presentó 2 niveles: i) olivares con cubierta vegetal espontánea temporal (PC a partir de ahora), y ii) olivares sin cubierta vegetal (PS a partir de ahora). En éstos se utilizaron herbicidas de pre y post-emergencia combinado, en algunas de las parcelas con un arado superficial, para tener el suelo desnudo. Las parcelas sin cubierta vegetal se seleccionaron junto (< 50 metros lineales) a las parcelas con cubierta vegetal. De esta forma, la pendiente, orientación, clima y el tipo de suelo no se consideraron como fuente de variación. Además de estos dos niveles de esta fuente de variación, se seleccionaron retazos de bosque mediterráneo semi-natural para poder comparar los valores obtenidos con este tipo de uso del territorio.

b) Localidades. Esta fuente de variación presentó 11 niveles. Se seleccionaron distintas zonas del municipio de Estepa y en cada una de ellas se seleccionó un olivar con cubierta vegetal y otro olivar comparable pero sin cubierta vegetal.

La foto 1 muestra ejemplos del aspecto de parcelas de olivar con cubierta vegetal y aquellos comparables sin cubierta.

Una vez tomadas las muestras de suelos, éstas se secaron al aire y se tamizaron por una malla de 2 mm.



Foto 1. Ejemplos de parcelas de olivar con cubierta vegetal (fotos a la izquierda) y sin cubierta vegetal (fotos a la derecha) comparables.

4.1.2. Nivel de replicación y número de unidades experimentales

Se tomaron cuatro réplicas, en realidad pseudorréplica, para cada combinación de niveles de las dos fuentes de variación. El número de unidades experimentales fue: 2 niveles fuente de variación presencia de cubierta vegetal x 11 niveles fuente de variación localidades x 4 réplicas = 88 + 2 bosques semi-naturales x 4 réplicas = 96 muestras.

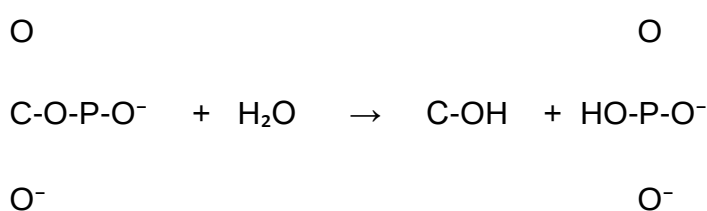
4.1.3. Variables dependientes

En muestras de suelo previamente secadas al aire y tamizadas por una malla de < 2 mm, se midieron los contenidos en carbono y nitrógeno orgánicos, el contenido en nitrógeno potencialmente mineralizable y actividades enzimáticas relacionadas con el reciclado

de fósforo (actividad fosfatasa), carbono (β - glucosidasa) y azufre (actividad aril-sulfatasa).

a) Actividad fosfatasa

Las enzimas fosfatasas son un tipo de enzimas que desempeñan un papel importante en la mineralización del fósforo orgánico. Son las encargadas de catalizar la rotura del enlace éster que une el fosfato a moléculas orgánicas. La ecuación general de la reacción que catalizan estas enzimas es:



C representa el esqueleto carbonado de la molécula.

Se empleó el método de Tabatabai & Bremner (1969) para evaluar la actividad fosfatasa de las muestras de suelo.

Para cada muestra, se pusieron 5 g de suelo en tubos de ensayo, paso realizado previamente, y se le añadió 0,2 ml de tolueno, 4ml de MUB a pH 6,5 y 1ml de la solución del sustrato (pNPP 0.05M). Una vez hecho esto se colocaron los tubos en el baño maría a 37°C a incubar durante 1h.

Transcurrida este tiempo, se sacaron los tubos e inmediatamente se añadieron 1 ml Cl_2Ca 0,5 M y 4 ml de NaOH 0,5 M a todos los tubos. Se agitaron los tubos y se filtraron por gravedad con un filtro plegado sobre un embudo. Tras recoger los filtrados, se midió la absorbancia de estos a 410 nm.

Finalmente se repite la misma operación pero añadiendo el sustrato de la enzima (pNPP) al final de la reacción, es decir, después de incubar y previamente a añadir el cloruro de calcio y el hidróxido de sodio. E igualmente se midieron las absorbancias de las muestras a la misma longitud de onda.

b) Actividad β -glucosidasa

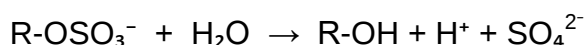
Las enzimas glucosidasas tienen actividades relacionadas con la velocidad para reciclar el carbono orgánico disponible en el suelo. La β -glucosidasa es la actividad más abundante en el suelo. Además, los productos generados en su hidrólisis son una fuente de energía para los microorganismos del suelo.

En cada tubo de ensayo se añadieron 5 g de suelo a los cuales se les adicionó 4 ml de tampón MUB a pH 6,5 y 1 ml de sustrato (pNPG). Tras esto se colocaron los tubos en el baño maría a 37°C durante una hora. Acabado el tiempo de incubación, se añadieron 1 ml de Cl_2Ca 0,5M y 4ml de THAM 0,1 M. Se agitaron los tubos, se filtraron por gravedad y después de recoger los filtrados se midió la absorbancia a 410nm.

Del mismo modo que en la actividad anterior se repitió el experimento pero añadiendo el sustrato (pNPG) después del tiempo de incubación, antes de añadir el cloruro cálcico y el tampón THAM. Después también se midió la absorbancia de las muestras a la misma longitud de onda. Finalmente se transforman los datos de absorbancia en concentración de producto mediante la recta de calibrado, patrón.

c) Actividad aril-sulfatasa

La aril-sulfatasa es una enzima que cataliza la hidrólisis de un anión arilsulfato por fisión del enlace O-S, según la siguiente reacción:



En los tubos de ensayo se añadieron 5 g de las muestras de suelo y se adicionó 4 ml de tampón acetato 0,5 M y 1 ml del sustrato (p-NPS). A continuación, se agitaron para mezclar el contenido y se incubaron al baño maría a 37°C durante una hora. Transcurrida la hora se añadió 1 ml de Cl_2Ca 0.5 M y 4 ml de NaOH 0,5M. Después se agitaron los tubos y se filtró la suspensión del suelo mediante filtros de papel. Finalmente se midió la absorbancia a 420 nm.

De nuevo, como en las actividades previamente descritas, se repite el experimento pero con la adición del sustrato (p-NPS) después de la incubación y añadir el Cl_2Ca y el NaOH , justo antes de filtrar.

d) Contenidos en carbono y nitrógeno orgánicos

Alícuotas de suelo (entre 200 – 500 mg) se sometieron a dos tipos de digestión ácidas; una de ellas para la determinación del carbono orgánico y la otra para la determinación del nitrógeno orgánico.

El carbono orgánico se determinó a través de una digestión ácida con dicromato potásico, siguiendo la metodología de Anderson and Ingram (1993). El nitrógeno orgánico se determinó a través de una digestión con una mezcla de perclórico-nítrico y posterior determinación de la concentración de amonio por colorimetría.

e) Nitrógeno potencialmente mineralizable

La cantidad de N potencialmente mineralizable (NPM) se estimó a partir del incremento en la concentración de amonio en muestras de suelo incubadas a 37°C y en oscuridad. Para ello, 3,5 gr de muestras de suelo previamente tamizadas y secadas al aire se incubaron durante una semana en un tubo falcon con 15 ml de agua destilada a 37°C . Por otra parte, a otro tubo falcon con 3,5 gr de suelo se le añadieron 15 ml de agua destilada y se congeló inmediatamente. Transcurrido una semana las muestras congeladas se descongelaron. Se añadieron a todas muestras; tanto a las descongeladas como a las incubadas, 15 ml de KCl 2 M y se agitaron durante una hora en una tabla agitadora a 150 rpm. Transcurrido ese tiempo, se centrifugaron durante 5 minutos a 3500 rpm, y sobre una alícuota del sobrenadante se determinó la concentración de amonio. A partir de ésta, se calculó la cantidad de N potencialmente mineralizable siguiendo el siguiente algoritmo:

Cantidad de N potencialmente mineralizable ($\mu\text{g N g}^{-1}$) =
concentración de amonio en muestras incubadas ($\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1}$) -
concentración de amonio en muestras congeladas ($\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1}$) / 3,5
(gramos de suelo).

4.2. Análisis estadístico

El grado de significación de las diferencias en los valores de las actividades enzimáticas y en los otros indicadores y en la media geométrica entre tipos de parcelas (olivar con cubierta y sin cubierta) en un mismo sitio y en el conjunto de los sitios (olivar con cubierta, sin cubierta y bosque) se testó con un ANOVA de una vía utilizándose un nivel de significación ($\alpha = 0,05$). Para evaluar la correlación entre las variables analizadas, se realizó un análisis de correlación de Pearson.

5. RESULTADOS

5.1. Contenido de Carbono orgánico

La figura 3 muestra los valores (%) de carbono orgánico en el suelo en las parcelas con cubierta vegetal y sin cubierta vegetal en los diferentes sitios muestreados. Los valores promedio en las parcelas de olivar oscilaron entre 0,69% (Cantereros) y 2,59% (El Chaparral). En los bosques los valores promediaron 1,90%.

En 4 de los sitios (La Isabelita, Los Almendros, El Chaparral y Cañada Honda) con olivar los niveles de carbono orgánico del suelo de las parcelas con cubierta vegetal fueron significativamente mayores que aquellos de las parcelas sin cubierta vegetal (Figura 3). En el resto de los sitios (7 sitios), los valores no fueron significativamente distintos entre manejos, aunque en algunos de ellos los valores tendieron a ser superiores. Aunque los valores fueron altos en el suelo de los bosques, esto fueron intermedios teniendo en cuenta el conjunto de los sitios (Figura 3).

Al comparar el conjunto de muestras de suelo con cubierta vegetal con aquel sin cubierta vegetal, los niveles de carbono orgánico en el suelo con cubierta fueron significativamente superiores que sin cubierta vegetal (Figura 4)

En promedio, el valor con cubierta vegetal fue un 33% superior que sin cubierta. Los valores en los bosques fueron significativamente superiores

que aquellos obtenidos en los suelos con cubierta y sin cubierta vegetal (Figura 4).

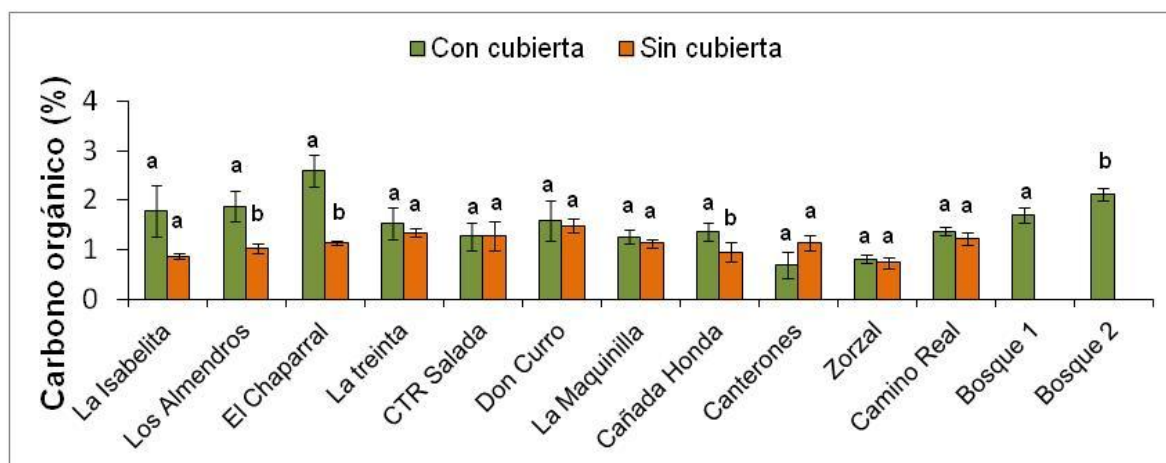


Figura 3. Porcentaje de carbono orgánico en parcelas con cubierta vegetal y en parcelas comparables sin cubierta vegetal en cada uno de los sitios. Los valores son el promedio de 4 réplicas y se muestran la desviación típica. Diferentes letras denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía; $P < 0.05$) debidas a la presencia, o no, de cubierta vegetal.

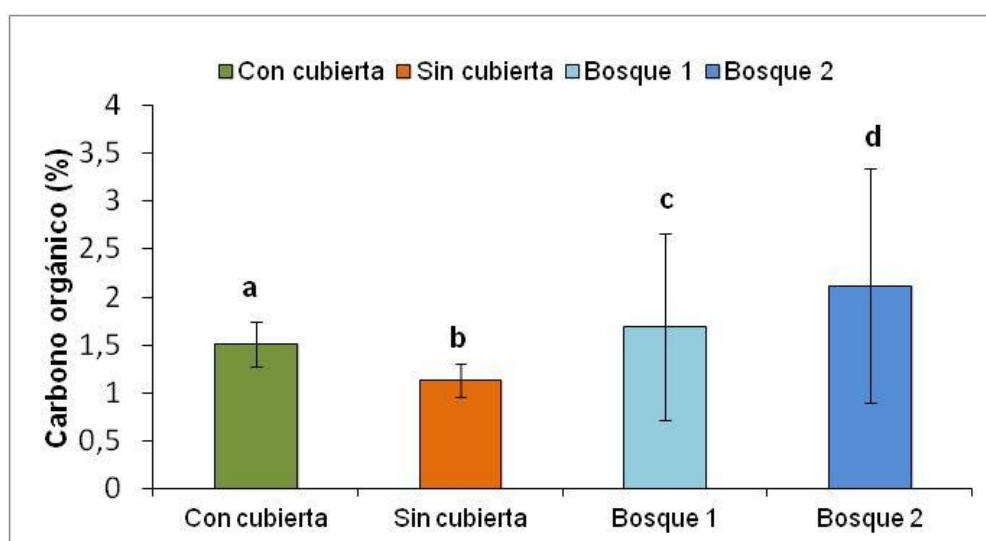


Figura 4. Porcentaje de carbono orgánico en el suelo de los olivares con cubierta, sin cubierta y en los bosques. Los valores para los olivares son el promedio de 11 sitios. Las barras denotan la desviación típica. Letras diferentes denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía; $P < 0.05$).

5.2. Contenido de Nitrógeno total

La figura 5 muestra el valor de nitrógeno total en el suelo (%) en las parcelas con cubierta y sin cubierta de los diferentes sitios de muestreo. Los valores promedio en las parcelas con cubierta oscilaron entre 0,196

(El Chaparral) y 0,054 (Canterones) y entre 0,138 (Don Curro) y 0,05 (Zorzal) en las parcelas sin cubierta. En los bosques el valor promedio es 0,15%.

En 3 sitios del total (Los Almendros, El Chaparral y Cañada Honda) el nivel de nitrógeno total en el suelo fue significativamente mayor en las parcelas con cubierta vegetal con respecto a las parcelas sin cubierta vegetal (Figura 5). Sin embargo, en uno de los sitios muestreados (Canterones) el nivel de nitrógeno total en el suelo de la parcela sin cubierta vegetal fue significativamente mayor que en el suelo de la parcela con cubierta. En el resto de los sitios (7 lugares) los valores no fueron significativamente diferentes respecto a los suelos de parcelas con cubierta vegetal y sin cubierta, aunque de manera general los valores tienden a ser superiores en los suelos de las parcelas con cubierta vegetal. En el suelo de los bosques los valores fueron altos, pero dentro del rango del conjunto de todos los lugares (Figura 5).

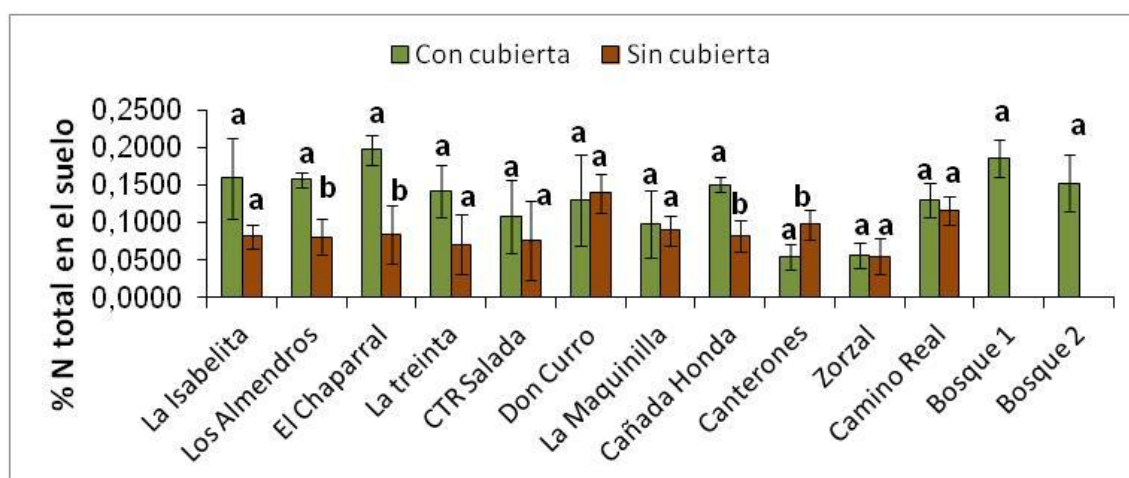


Figura 5. Porcentaje de nitrógeno total en el suelo de parcelas con cubierta vegetal y de parcelas comparables sin cubierta vegetal en cada uno de los sitios. Los valores son el promedio de 4 réplicas y se muestra mediante barras la desviación típica. Diferentes letras denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía; $P < 0.05$) debidas a la presencia, o no, de cubierta vegetal.

Si comparamos los tipos de manejos del suelo, los niveles de nitrógeno total fueron significativamente superiores en suelos con cubierta vegetal respecto a los suelos que carecen de la misma. En promedio, el valor con cubierta vegetal fue un 40% superior al valor de suelo sin cubierta vegetal.

Los valores de bosques fueron significativamente superiores a los valores de los suelos tanto con cómo sin cubierta vegetal (Figura 6).

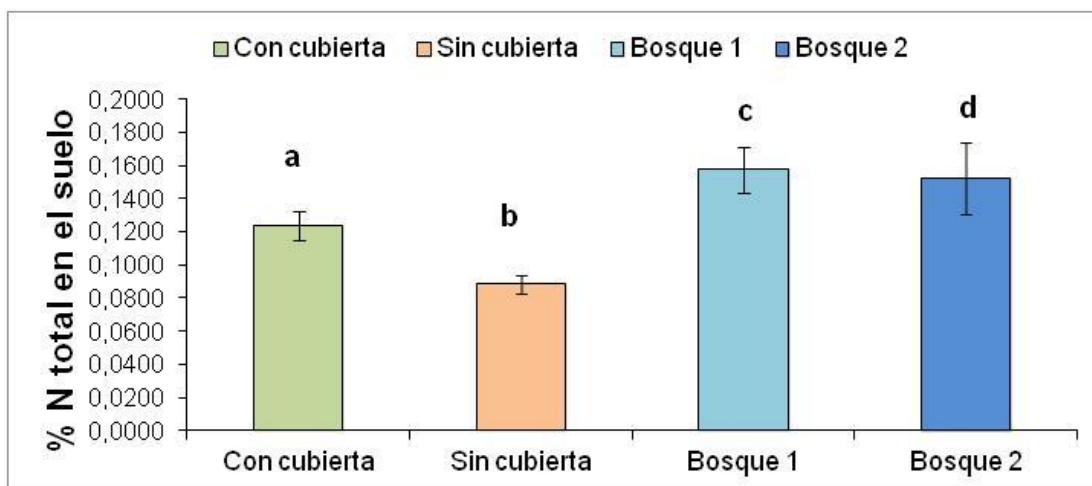


Figura 6. Porcentaje de Nitrógeno total en el suelo de olivares con cubierta, sin cubierta y en bosques. Los valores son el promedio de 11 sitios. Las barras indican la desviación típica. Letras diferentes denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía; $P < 0.05$).

5.3. Nitrógeno potencialmente mineralizable

También se midieron los valores de nitrógeno potencialmente mineralizable en el suelo de parcelas con cubierta vegetal y sin cubierta vegetal en diferentes zonas de muestreo. Los valores promedio de dichas parcelas oscilaron entre $38,31 \mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1}$ (El chaparral) y $4,65 \mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1}$ (Canterones). El valor promedio de los bosques fue $25,97 \mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1}$ (Figura 7).

En 3 de las zonas de muestreo (Los almendros, el Chaparral y Cañada Honda) los niveles de nitrógeno potencialmente mineralizable de suelo de las parcelas con cubierta vegetal fueron significativamente mayores con respecto a las parcelas que carecen de cubierta. En el resto (8 zonas de muestreo) los valores no fueron significativamente diferentes entre presencia y ausencia de cubierta vegetal, aunque los valores en la mayoría fueron mayores en las parcelas con cubierta. En cuanto a los valores de bosques, se encuentran entre los rangos de conjunto de zonas (Figura 7).

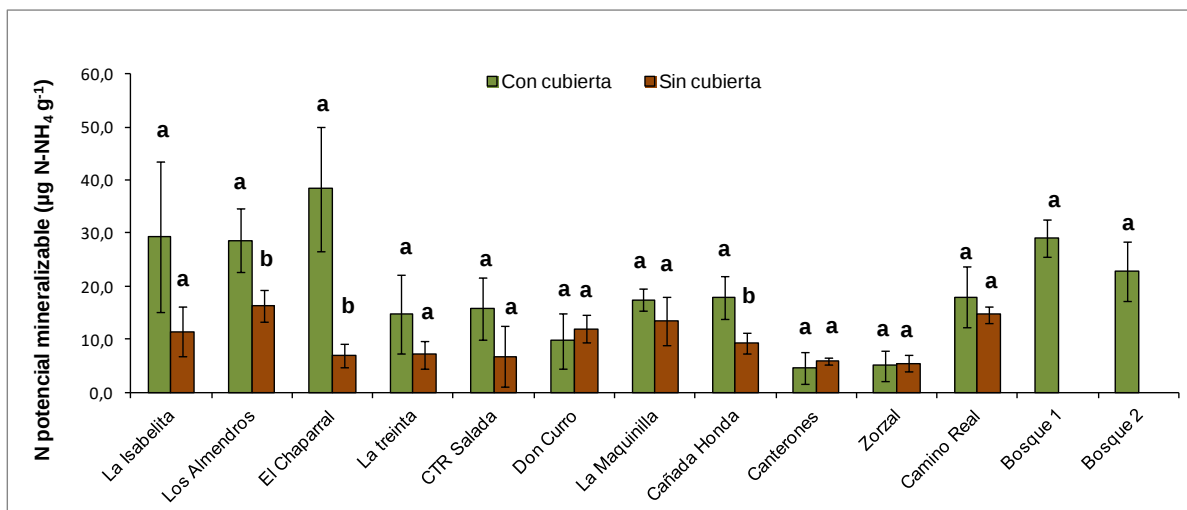


Figura 7. Valores de nitrógeno potencialmente mineralizable en el suelo de parcelas con cubierta vegetal y de parcelas sin cubierta vegetal en los diferentes sitios que se muestran. Los valores son el promedio de 4 réplicas y la desviación típica se muestra mediante barras. Diferentes letras denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía; $P < 0.05$).

Si comparamos la totalidad de muestras de suelo con cubierta vegetal con respecto a las de sin cubierta vegetal, los niveles de nitrógeno potencialmente mineralizable fueron significativamente mayores en el suelo con cubierta que en el suelo sin cubierta vegetal (Figura 8).

El valor promedio con cubierta vegetal fue un 77% superior que aquel sin cubierta vegetal. Comparando los valores de los suelos con y sin cubierta vegetal y los valores de los bosques, estos últimos fueron significativamente superiores a los otros manejos del suelo. (Figura 8)

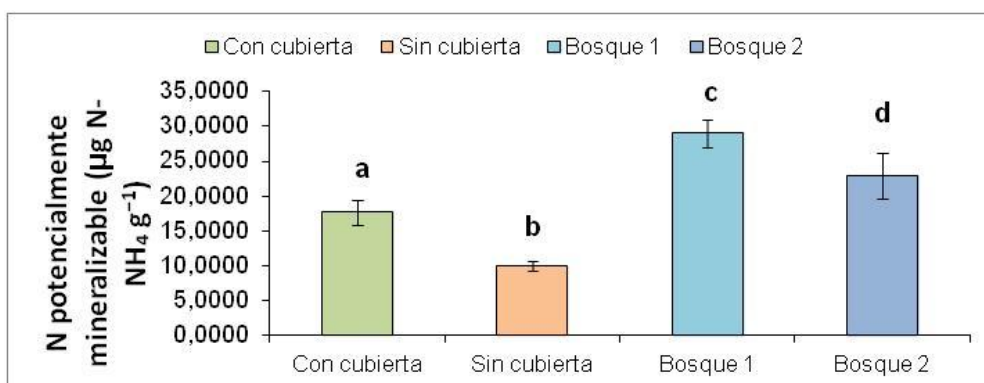


Figura 8. Valores de nitrógeno potencialmente mineralizable en los suelos de olivares con cubierta, sin cubierta y en bosques. Los valores son el promedio de 11 zonas diferentes. Las barras muestran la desviación típica. Letras diferentes denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía; $P < 0.05$).

5.4. Actividad fosfatasa

Se midieron una serie de actividades enzimáticas relacionadas con el reciclaje de fósforo (fosfatasa), carbono (β -glucosidasa) y azufre (arisulfatasa). En esta sección se muestra la actividad fosfatasa de suelos de parcelas con y sin cubierta vegetal. Los valores promedio de dichas parcelas oscilaron entre 55,22 $\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ (La Treinta) y 1,57 $\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ (Zorzal). El promedio en los valores de bosque fue 35,37 $\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ (Figura 9).

Los niveles de actividad fosfatasa fueron significativamente mayores en suelos sin cubierta vegetal que en suelos con cubierta vegetal de 5 de las zonas de muestreo (El Chaparral, Don Curro, La Maquinilla, Cañada Honda y Zorzal). Pero en uno de los sitios (La Isabelita) el suelo de la parcela con cubierta vegetal fue significativamente mayor que en el suelo sin cubierta vegetal. En el resto de zonas de muestreo (Los almendros, Ctra. Salada, Canterones y Camino Real) los valores no fueron significativamente diferentes entre manejos, aunque en la mayoría de ellos la actividad fosfatasa fue mayor en suelos sin cubierta. Los bosques no presentaron diferencias significativas entre ambos, teniendo valores intermedios (Figura 9).

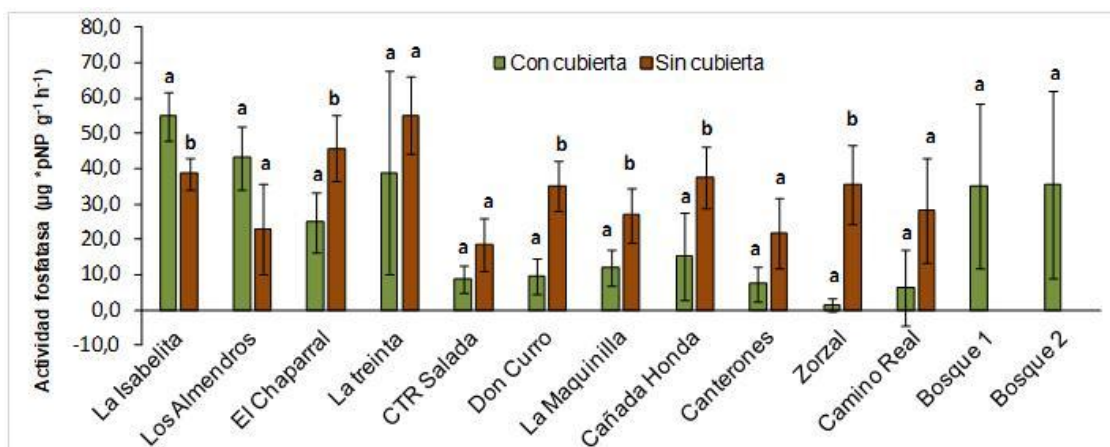


Figura 9. Valores de Actividad enzimática fosfatasa en parcelas con cubierta vegetal y en parcelas comparables sin cubierta vegetal en cada uno de las zonas de muestreo. Los valores son el promedio de 4 réplicas y se muestra la desviación típica mediante barras. Distintas letras denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía; $P < 0.05$).

Comparando el conjunto de las muestras de suelo con cubierta vegetal con las de suelo sin cubierta vegetal, los niveles de actividad fosfatasa fueron significativamente menores en el suelo con cubierta que sin cubierta (Figura 10).

En promedio, el valor de actividad en suelos con cubierta vegetal fue un 40% inferior a la actividad de los suelos sin cubierta vegetal. En cuanto a los valores de actividad de los suelos de bosque, estos fueron significativamente mayores a los valores tanto de suelos sin cubierta vegetal como de suelos con cubierta vegetal (Figura 10).

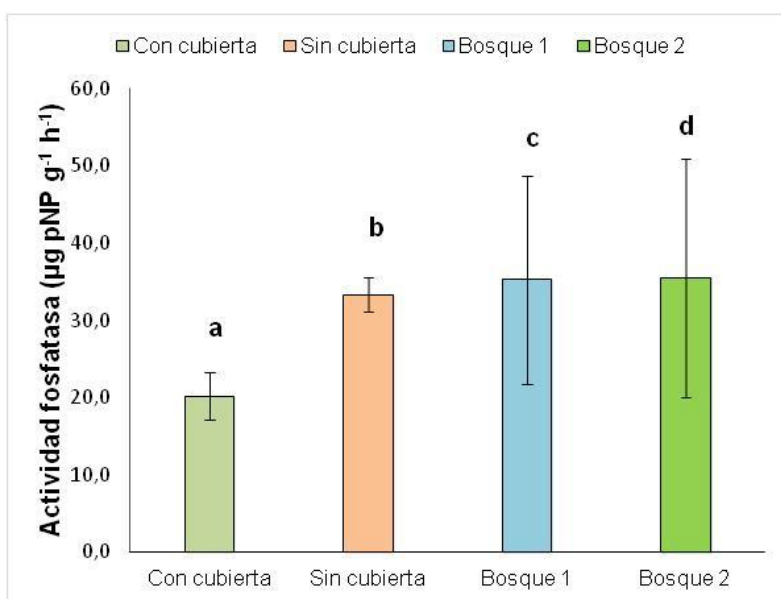


Figura 10. Valores de actividad enzimática fosfatasa en el suelo de olivares con cubierta, sin cubierta y en bosques. Los valores para los olivares son el promedio de 11 zonas diferentes. Las barras denotan la desviación típica. Letras diferentes denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía; $P < 0.05$).

5.5. Actividad β -glucosidasa

La siguiente actividad enzimática que se midió fue la actividad β -glucosidasa. Se muestran los valores de dicha actividad en parcelas de olivar con cubierta vegetal y sin cubierta de las diferentes zonas de muestreo. Los valores promedio en estas parcelas oscilaron entre 359,81 $\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ (La Isabelita) y 19,09 $\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ (Canterones). En los bosques el valor promedio fue 99,66 $\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ (Figura 11).

En 2 de las zonas de muestreo (Los Almendros y Cañada Honda) los niveles de actividad β -glucosidasa en el suelo de las parcelas con cubierta vegetal fueron significativamente mayores respecto a las parcelas sin cubierta vegetal. En el resto de zonas los valores no fueron significativamente diferentes entre suelos con cubierta y sin cubierta vegetal, aunque en algunos de ellos (La Isabelita, El Chaparral, La Treinta, Ctra. Salada y Camino Real) los valores de suelos con cubierta vegetal tendieron a ser superiores. Los valores de los suelos de bosque fueron intermedios comparándolos con el conjunto de las zonas (Figura 11).

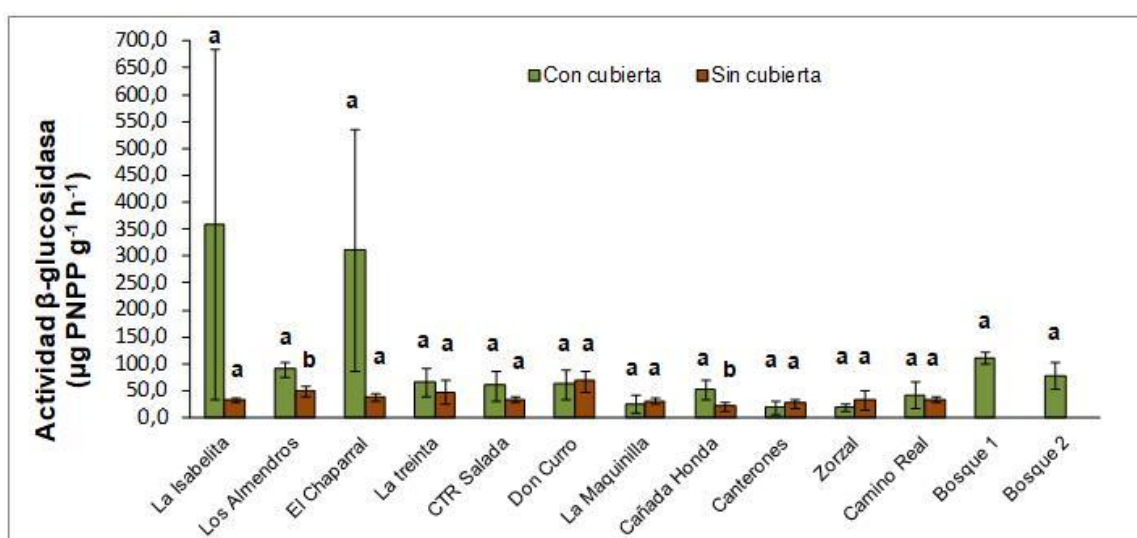


Figura 11. Valores de Actividad enzimática β -glucosidasa en parcelas con cubierta vegetal y en parcelas sin cubierta vegetal en cada una de las zonas de muestreo. Los valores son el promedio de 4 réplicas y se muestra la desviación típica mediante barras. Distintas letras denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía; $P < 0.05$).

Al comparar todas las muestras de suelo con cubierta y las muestras de suelo sin cubierta, los niveles de actividad β -glucosidasa en los suelos con cubierta vegetal fueron significativamente mayores que en los suelos sin cubierta vegetal (Figura 13). Sin embargo, si comparamos los suelos sin cubierta, con cubierta y los suelos de bosque en conjunto, no encontramos diferencias significativas entre los diferentes manejos del suelo (Figura 12).

En promedio, el valor de la actividad β -glucosidasa fue un 150% superior en los suelos con cubierta comparado con los suelos sin cubierta. Los valores promedio de los suelos de bosque fueron superiores a los

suelos con cubierta y sin cubierta, aunque no presentaron diferencias significativas (Figura 12).

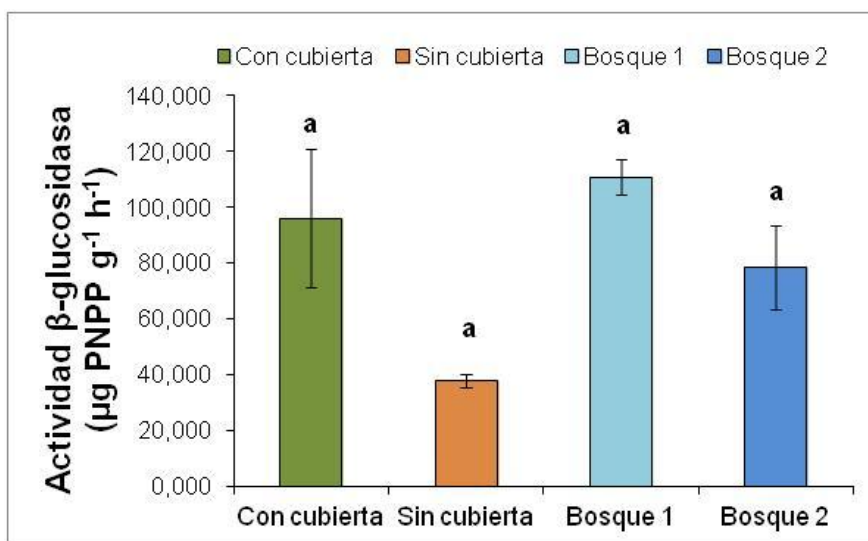


Figura 12. Valores de actividad enzimática β-glucosidasa en el suelo de olivares con cubierta, sin cubierta y en bosques. Los valores para los olivares son el promedio de 11 zonas diferentes. Las barras denotan la desviación típica. Letras diferentes denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía; $P < 0.05$).

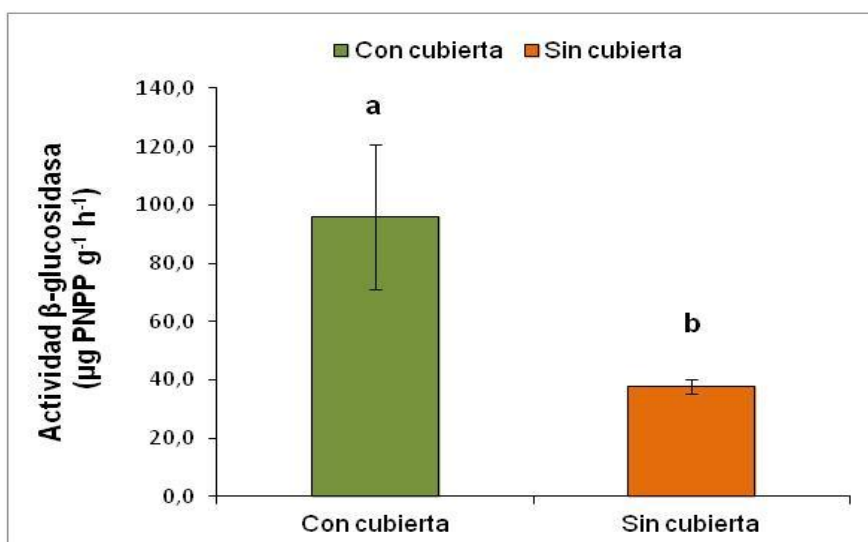


Figura 13. Valores de actividad enzimática β-glucosidasa en el suelo de olivares con cubierta vegetal y sin cubierta vegetal. Los valores para los olivares son el promedio de 11 zonas diferentes. Las barras denotan la desviación típica. Letras diferentes denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía; $P < 0.05$).

5.6. Actividad aril-sulfatasa

La última actividad enzimática que se midió fue la actividad aril-sulfatasa. Los valores promedio de esta actividad enzimática en los suelos de olivar oscilaron entre 33,40 μg pNP g⁻¹ h⁻¹ (El Chaparral) y 1,31

$\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Camino Real). El valor promedio en los bosques fue 28,69 $\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Figura 14).

Los niveles de actividad aril-sulfatasa del suelo con cubierta vegetal fueron significativamente mayores respecto al suelo sin cubierta vegetal solo en una de las zonas de muestreo (El chaparral). En otra de las zonas (Camino Real) el suelo sin cubierta vegetal tuvo niveles significativamente mayores que el suelo con cubierta. En el resto de sitios (9 zonas), los valores no fueron significativamente diferentes entre manejos, aunque algunos de ellos los valores de suelo con cubierta tendieron a ser superiores (La Isabelita, Ctra. Salada, La Maquinilla y Cañada Honda). Los valores de los suelos de bosque fueron más altos que el resto y presentan entre ellos diferencias significativas (Figura 14).

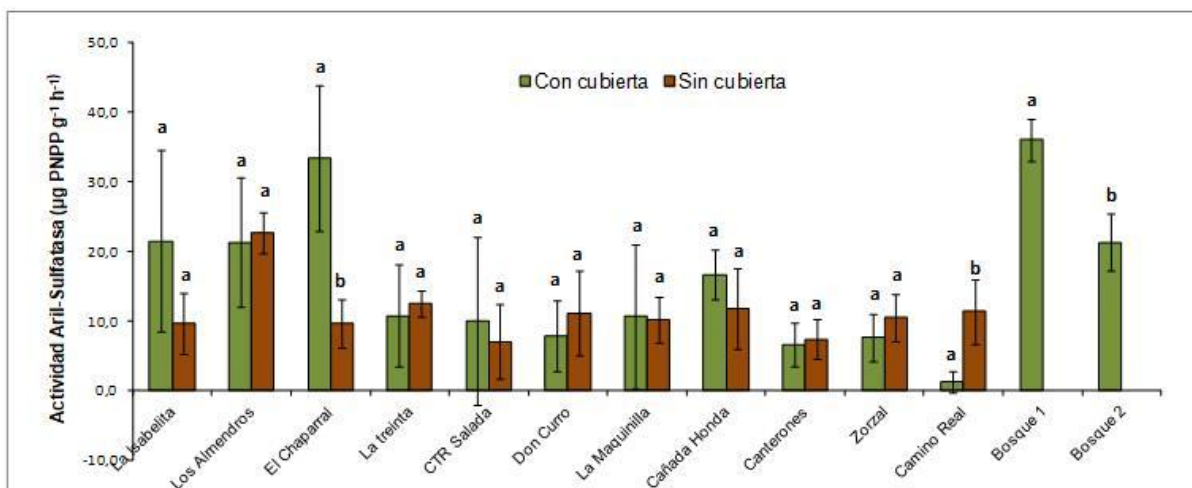


Figura 14. Valores de Actividad enzimática aril-sulfatasa en parcelas con cubierta vegetal y en parcelas sin cubierta vegetal en cada una de las zonas de muestreo. Los valores son el promedio de 4 réplicas y se muestra la desviación típica mediante barras. Distintas letras denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía; $P < 0.05$).

Comparando el conjunto de muestras de suelo con cubierta vegetal y el suelo sin cubierta vegetal, los niveles de actividad aril-sulfatasa en el suelo con cubierta vegetal fueron significativamente superiores que sin cubierta vegetal (Figura 15).

En promedio, el valor de actividad en suelos con cubierta vegetal fue un 19% superior que en suelos sin cubierta vegetal. Los valores en suelos

de bosque fueron significativamente superiores que los valores obtenidos en los suelos con cubierta vegetal y sin cubierta vegetal (Figura 15).

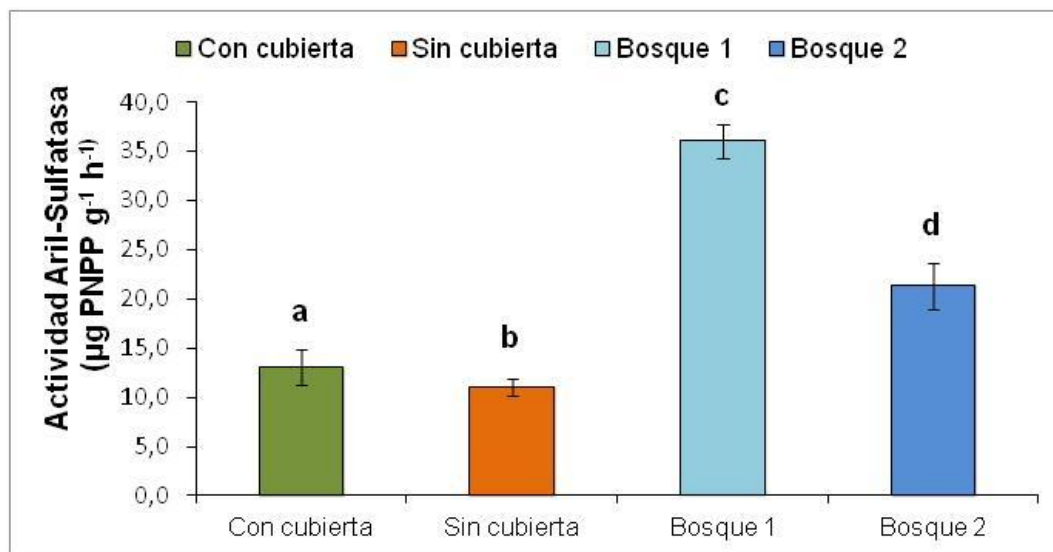


Figura 15. Valores de actividad enzimática aril-sulfatasa en el suelo de olivares con cubierta, sin cubierta y en bosques. Los valores para los olivares son el promedio de 11 zonas diferentes. Las barras indican la desviación típica. Letras diferentes denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía; $P < 0.05$).

5.7. Análisis combinado

La figura 16 muestra la media geométrica realizada a partir del análisis de los datos de carbono orgánico, nitrógeno total, nitrógeno potencialmente mineralizable y actividades enzimáticas fosfatasa, β -glucosidasa y aril-sulfatasa. Se muestran los valores en suelos con cubierta vegetal, suelos sin cubierta y suelos de bosque en cada uno de las zonas muestreadas. Los valores promedio oscilaron entre 9,16 (Los Almendros) y 1,48 (Zorzal). En los bosques el promedio fue 8,26.

En 2 de las zonas de muestreo (La Isabelita y Los Almendros) los valores de media geométrica de los suelos con cubierta vegetal fueron significativamente superiores que los de los suelos sin cubierta. Sin embargo, en otras 2 zonas fue al contrario, siendo significativamente mayores los valores de los suelos sin cubierta respecto a los de con cubierta (Zorzal y Camino Real). En el resto de zonas los valores no fueron significativamente diferentes entre suelos con cubierta y sin cubierta. En algunas de éstas, los valores de los suelos con cubierta

fueron superiores a los de sin cubierta (El Chaparral, La Treinta, Ctra. Salada y Cañada Honda), pero también en algunos sitios fue al contrario (Don Curro, La Maquinilla y Canterones). En los suelos de bosques, los valores fueron altos, siendo el valor de una de las parcelas de este tipo de suelo superior a los suelos con cubierta (Bosque 1) y la otra tiene valor intermedio teniendo en cuenta la totalidad de zonas (Figura 16).

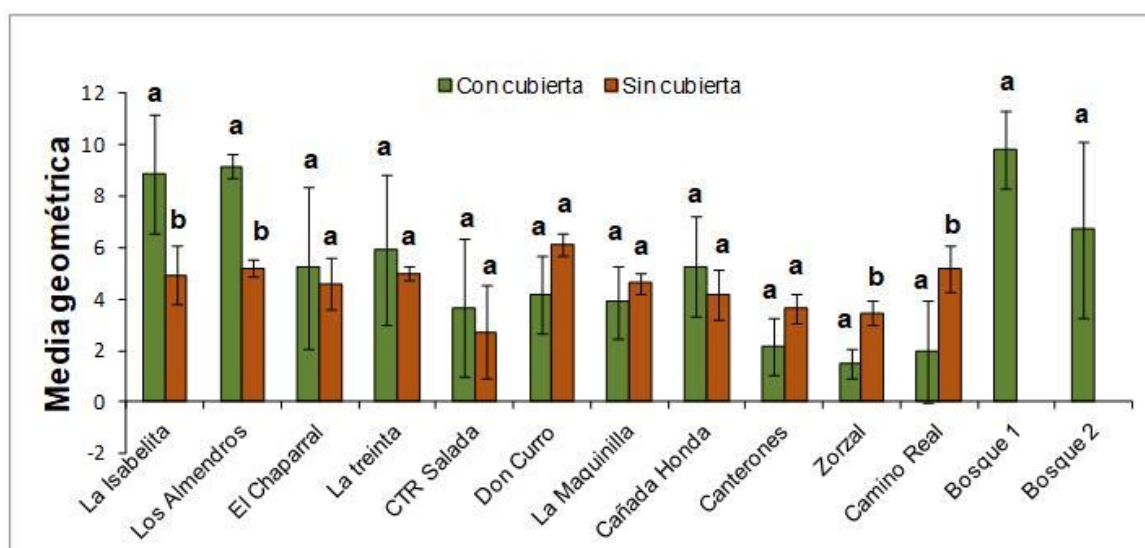


Figura 16. Media geométrica de todas las variables de estudio (carbono orgánico, nitrógeno total, nitrógeno potencialmente mineralizable y actividades enzimáticas) de parcelas con cubierta vegetal y de parcelas comparables sin cubierta vegetal en cada uno de los sitios. Los valores son el promedio de 4 réplicas y se muestra la desviación típica mediante barras. Diferentes letras denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía; $P < 0.05$).

Si comparamos todas las muestras de suelo con cubierta vegetal con las de sin cubierta vegetal, el valor de la media geométrica de los suelos con cubierta vegetal fue significativamente superior que el valor de los suelos sin cubierta vegetal (Figura 17).

El valor promedio de suelos con cubierta vegetal fue un 4% superior que el de los suelos sin cubierta. Los valores de los suelos de bosque fueron significativamente mayores que los valores de los suelos con cubierta vegetal y sin cubierta vegetal (Figura 17).

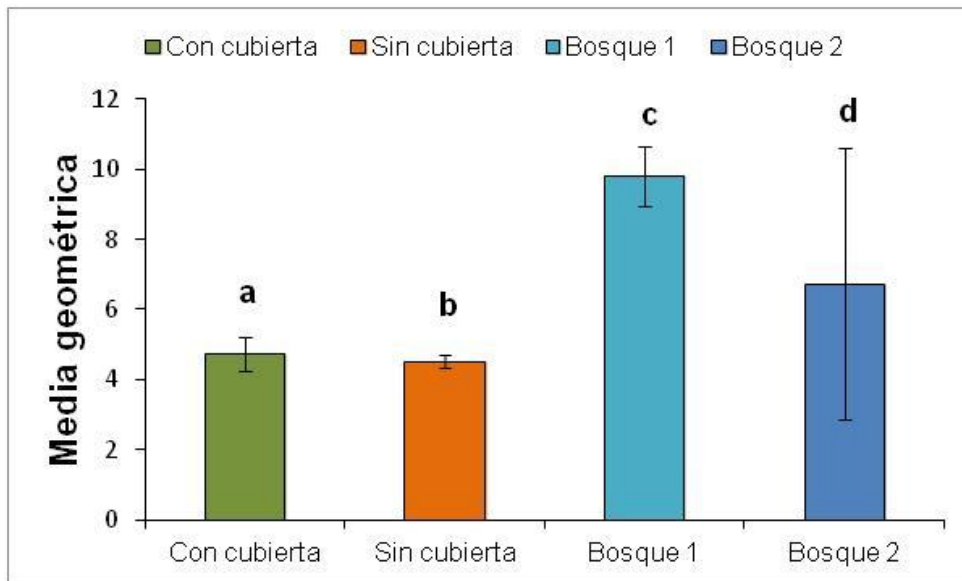


Figura 17. Media geométrica de todas las variables de estudio (carbono orgánico, nitrógeno total, nitrógeno potencialmente mineralizable y actividades enzimáticas) del suelo de los olivares con cubierta, sin cubierta y en los bosques. Los valores independientemente del manejo del suelo son el promedio de 11 sitios. Las barras denotan la desviación típica. Letras diferentes denotan diferencias significativas (ANOVA de una vía; $P < 0.05$).

5.8. Relaciones entre variables

	Carbono Org.	Nitrógeno Org.	N. mineralizab.	Fosfatasa	β -glucosidasa	Arilsulfatasa	Media geométrica
Carbono Org.	1						
Nitrógeno Org.	0,75	1					
Nitrógeno mineral	0,79	0,71	1				
Fosfatasa	0,24	0,18	0,27	1			
β -glucosidasa	0,42	0,37	0,49	0,18	1		
Arilsulfatasa	0,49	0,47	0,66	0,30	0,46	1	
Media geométrica	0,49	0,58	0,62	0,62	0,49	0,68	1

Tabla 1. Valores del coeficiente de correlación entre variables medidas en el estudio. El valor crítico del coeficiente de correlación fue menor que 0,147 y, por tanto, los valores de correlación fueron todos significativos.

La tabla 1 muestra los valores de correlación de Pearson entre las variables medidas. El coeficiente de correlación entre las variables fue positivo y significativo ($P < 0,05$). El contenido de carbono presentó correlación positiva y significativa con las actividades enzimáticas, sobre todo con la aril-sulfatasa (0,48), y con la media geométrica (0,49). Es decir, cuanto mayor es el contenido de carbono orgánico, hubo una tendencia clara de mayores valores en las actividades fosfatasa, β -glucosidasa y aril-sulfatasa. Además, el carbono orgánico presentó

correlación muy significativa con el nitrógeno orgánico (0,75) y la mineralización del nitrógeno (0,79), de forma significativa los niveles de nitrógeno aumentan al aumentar el de carbono orgánico. Ambos, carbono y nitrógeno orgánico, son indicadores del contenido de materia orgánica.

Por otra parte, los resultados muestran que tanto la cantidad nitrógeno orgánico como su potencial de mineralización están correlacionados positiva y significativamente con las actividades β -glucosidasa y aril-sulfatasa. Estas actividades a su vez están correlacionadas (0,46), significativamente a mayor actividad β -glucosidasa, mayor actividad aril-sulfatasa y viceversa.

6. DISCUSIÓN

En los agroecosistemas como el olivar existen una serie de variables a tener en cuenta como el tipo de suelo, la pendiente, la orientación, a las que hay que sumar las diferentes prácticas de manejo, como la presencia o ausencia de cubierta vegetal. Los cambios en las propiedades microbiológicas se miden en relación a un nivel de referencia, en este caso un grupo de prácticas de manejo, pero en suelos con propiedades edafológicas similares, para disminuir las variaciones que puedan provocar estas. Generalmente los cambios positivos después de aplicar diferentes manejos indican una tendencia hacia una mejora en la calidad del suelo (Harris, 2003). Sin embargo las conclusiones de estudios en los que la principal fuente de variación es el tipo de manejo suele limitarse a unas propiedades edafológicas concretas. En este trabajo se estudiaron las diferencias de indicadores de calidad del suelo de suelos de parcelas seleccionadas con y sin cubierta vegetal, pero el conjunto de estas presentaban diferentes propiedades edafológicas.

Según los resultados obtenidos, los contenidos de carbono y nitrógeno orgánicos, el nitrógeno potencialmente mineralizable, la actividad β -glucosidasa y la actividad aril-sulfatasa fueron significativamente superiores en el conjunto de parcelas con cubierta vegetal respecto a aquellas sin cubierta. Este resultado concuerda con otros autores que compararon suelos

sometidos a diferentes prácticas de manejo según el grado de perturbación del suelo (Dick, 1997; Schloter *et al.*, 2003) o suelos con distintos grados de contaminación debido a diferentes contaminantes (Brookes, 1995; Harris, 2003; Hinojosa *et al.*, 2004).

Los resultados de que las parcelas con cubierta vegetal muestran mayor contenido de carbono y nitrógeno orgánicos con respecto a las que no presentan cubierta coinciden con los que obtuvieron García-Ruiz *et al.* (2008), que demostraron que en suelos de parcelas de olivar con cubierta vegetal, los contenidos de materia orgánica, carbono y nitrógeno orgánicos fueron significativamente mayores que en parcelas comparables sin cubierta vegetal.

En cuanto al potencial de mineralización, los valores altos indican que la provisión de nitrógeno disponible en el suelo es mayor en las parcelas que presentan cubierta vegetal que en aquellas sin cubierta vegetal.

Referente a las actividades enzimáticas, los resultados de la β -glucosidasa confirman los resultados previos de estudios de Salam *et al.* (1998) y de Bandick y Dick (1999), que muestran como se reduce la actividad enzimática en suelos con intensidad media de laboreo y fertilización química, en relación a suelos comparables pero sin cultivar. Por otra parte, la actividad de las enzimas fosfatasas fue significativamente inferior en las parcelas con cubierta vegetal. Este resultado es diferente al de otros autores que demostraron que suelos con intensidad media de arado y adición de fertilizantes hacía disminuir significativamente esta actividad enzimática (Gianfreda y Bollag, 1996; Salam *et al.*, 1998). No encontramos explicación a este hecho, ya que los suelos con cubierta vegetal deberían mostrar un mayor contenido en fósforo orgánico porque mostraron mayores niveles de carbono y nitrógeno orgánicos, y, por tanto, mayor actividad fosfatasa.

Es difícil afirmar que una sola medida o variable podría reflejar el cambio en la calidad del suelo tras la aplicación de diferentes prácticas de manejo. Por ello, para verificar nuestra hipótesis calculamos también la media geométrica, medida que integra todos los valores de las diferentes

actividades enzimáticas y demás indicadores ensayados. Los resultados nos muestran que la media geométrica fue significativamente superior en las parcelas con cubierta vegetal, sugiriendo un aumento general en los contenidos de carbono y nitrógeno orgánicos y de las actividades enzimáticas relacionadas con el reciclado de nitrógeno, fósforo, carbono y azufre. Por tanto, podemos decir que como consecuencia de la presencia de cubierta vegetal, aumenta la calidad y salud del suelo.

Además, es interesante observar que el promedio de la media geométrica en los bosques fue superior, casi el doble, comparado con las parcelas de suelo de olivar con cubierta y sin cubierta. Esto indica que a pesar de que la presencia de la cubierta vegetal aumentó significativamente la calidad del suelo, todavía hay margen de mejora.

Una de las consecuencias de la presencia de la cubierta vegetal, es el aumento en los niveles de materia orgánica del suelo y por tanto de carbono y nitrógeno orgánicos, ya que los niveles de éstos, como muestran los resultados, son significativamente superiores en las parcelas con cubierta vegetal. La liberación de nutrientes desde los sustratos orgánicos es mediada a través de una variedad de actividades enzimáticas presentes libres y/o adsorbidas a las partículas de arcilla (Tabatabai 1994), y, por ello, las actividades enzimáticas se activan en presencia de sustrato, es decir, la materia orgánica. Por otra parte, las actividades enzimáticas se inhiben directamente y los microorganismos reducen la tasa de producción de enzimas en presencia de exceso de productos (fosfato, nitrato, etc.) (González-Prieto y Carballas 1995).

En este sentido, para el total de las 11 parcelas, se encontró una correlación positiva y significativa ($P < 0.05$) entre las actividades enzimáticas y la media geométrica, y el contenido en carbono orgánico del suelo. La relación entre las actividades enzimáticas y la materia orgánica, y por tanto el carbono y nitrógeno orgánico, es normal ya que éstos son el sustrato de las actividades. Esta relación se puede confirmar con estudios como los de Marinari *et al.* (2000) y Ros *et al.* (2002), que describen un incremento a corto-medio plazo en las actividades enzimáticas relacionadas

con el reciclado de carbono, nitrógeno, fósforo y azufre, tras la adición de materia orgánica. Por tanto existe una relación significativa entre varias actividades enzimáticas y el contenido de materia orgánica (Gupta y Germida, 1988).

Además del aumento en las actividades enzimáticas y en la media geométrica, que muestran la calidad del suelo, en las parcelas con cubierta vegetal con respecto a las de sin cubierta, los efectos de la zona de muestreo y la interacción del tipo de explotación y la localidad también fueron significativos. Eso quiere decir que hubo más diferencias entre sitios que entre los tipos de manejos de un mismo sitio. Dentro de la zona de muestreo, localidad, se incluyen propiedades edafológicas diferentes, cambios microclimáticos y tiempo desde que se implementaron las cubiertas vegetales.

El factor localidad explicó la elevada variabilidad de los valores de las actividades enzimáticas y de la media geométrica. Las propiedades edafológicas, tales como capacidad de intercambio catiónico, cationes de cambio, pH, textura del suelo, etc., definen la productividad del suelo y además también afectan a las capacidades máximas de actividades microbiológicas del suelo. De este modo, un suelo con cubierta vegetal pero con propiedades subóptimas puede mostrar valores más bajos en los indicadores microbiológicos que otros suelos que se someten a prácticas de manejo inadecuadas, como suelo desnudo, solo por tener propiedades óptimas.

7. CONCLUSIONES

En vista a los resultados de este trabajo podemos afirmar que cambios en los manejos del suelo favorecen la fertilidad y calidad del suelo del olivar. La presencia de cubierta vegetal en el suelo beneficia el contenido de materia orgánica del suelo y el reciclado de nutrientes del mismo, como nitrógeno, carbono, fósforo y azufre. Sabemos que ambos parámetros están relacionados, ya que en el reciclado de nutrientes intervienen microorganismos cuyas actividades enzimáticas necesitan de la materia orgánica para funcionar.

También el carbono orgánico, que es parte de la materia orgánica, aumenta en presencia de cubierta vegetal. El nitrógeno orgánico y su mineralización también aumentan en suelos con cubierta vegetal. Aún así, en los resultados observamos que las variables medidas para la calidad del suelo mejoran más en suelos de bosque, por tanto, aunque la cubierta vegetal, como se conoce actualmente, es beneficiosa para el suelo del olivar todavía existe un margen de mejora. Por lo que se anima a los agricultores a sustituir prácticas de manejo más frecuentes, las cuales son menos adecuadas, por otros manejos del suelo más productivos como es el caso de la presencia de cubierta vegetal en el suelo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Bandick, A.K., and Dick, R.P. (1999). Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 1471-1479.
- Blanco-Canqui, H., Mikha, M. M., Presley, D. R. and Claassen, M. M. (2011). Addition of Cover Crops Enhances No-Till Potential for Improving Soil Physical Properties. *Soil Science Society of America Journal*, 75 (4), 1471-1482.
- Boletín Oficial del Estado. Ley 5/2011, de 6 de octubre, del olivar de Andalucía. Comunidad Autónoma de Andalucía. «BOE» núm. 268, de 7 de noviembre de 2011. Referencia: BOE-A-2011-17494.
- Brookes, P.C. (1995). The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soils* 19: 269-275.
- Dale, V. H. y Polasky, S. (2007). Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecological Economics*, 64 (2), 286-296.
- Dick, R.P. (1997). Enzyme activities as integrative indicators of soil health. In: Parkhurst, C.E. (Ed.). *Bioindicators of soil health* CAB, pp. 121-156. New York (USA): CAB International.
- Ding, G., Liu, X., Herbert, S., Novak, J., Amarasiriwardena, D., Xing, B. (2006). Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma*, 130 (3-4), 229-239.

- Donald, P., Sanderson, F., Burfield, I., Van Bommel, F. (2006). Further evidence of continent-wide impacts of agricultural intensification on European farmland birds, 1990–2000. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 116 (3-4), 189-196.
- Doran, J.W., and Parkin, T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., and Stewart, B.A. (Eds.). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, pp. 3-21. Madison: Soil Science Society of America.
- Doran, J.W., and Safley, M. (1997). Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., and Gupta, V.V.S.R. (Eds.). *Biological indicators of soil health*, pp. 1-28. CAB International.
- ECAF (European Conservation Agricultural Federation). (1999). *Agricultura de conservación: aspectos medioambientales, económicos y administrativos de la UE*.
- Elliot, L.F., Lynch, J.M., and Papendick, R.I. (1996). The microbial component of soil quality. En: *Soil biochemistry*. Stotzky, G. and Bollag, J.-M. (eds.). Marcel Dekker Inc., New York, pp.1-21.
- European commission. (s. f.). *Future of the common agricultural policy*. European Union. https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/future-cap_en
- European commission. (s. f.). *Key policy objectives of the future CAP*. European Union. https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/future-cap/key-policy-objectives-future-cap_en#nineobjectives
- European commission. (s. f.). *Rural development*. European Union. https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/rural-development_en#ruraldevelopmentprogrammes

- European commission. (s. f.). *The common agricultural policy at a glance*. European Union. <https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/cap-glance>
- European Parliament. (Febrero 2020). *The common agricultural policy – instruments and reforms*. Fact sheets on the European Union. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/107/the-common-agricultural-policy-instruments-and-reforms>
- European Parliament. (Febrero 2020). *Second pillar of the CAP: rural development policy*. Fact sheets on the European Union. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/110/second-pillar-of-the-cap-rural-development-policy>
- Fernández-Escobar, R. (2008). Fertilización. En *El cultivo del olivo* (6^a ed., pp. 299-336). Madrid: Ediciones Mundi-Presa y Junta de Andalucía.
- Fonseca, J. A., Jarma, A. de J. y Cleves, J. A. (2014). Ecoagriculture and agroecology as technology strategy wich increases the ecosystem services. A review. *Temas Agrarios*, 19 (2), 260-275.
- García Brenes, M. David. (2006). El olivar en Andalucía y el sistema de protección de la Unión Europea. *Problemas del desarrollo*, 37(145), 153-176.
- García-Brenes, M. D. (2012). Incidencia de la política agraria de la Unión Europea en la sostenibilidad del cultivo del olivar en Andalucía, España. *Cuadernos de desarrollo rural*, 9 (68), 87-103.
- García-Ruiz R., Ochoa V., Hinojosa M. B., Carreira J. A. (2008). Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 40 (9), 2137-2145.
- Gianfreda, L., and Bollag, J.M. (1996). Influence of natural and anthropogenic factors on enzyme activity in soil. In: Stotzky, G., and Bollag, J.M. (Eds.). *Soil Biochemistry*, Vol. 9, pp. 123-193. New York: Marcel Dekker.

- González-Prieto, S.J., and Carballas, T. (1995). N-biochemical diversity as a factor of soil diversity. *Soil Biology and Biochemistry*, 27, 205-210.
- Guzmán Álvarez, J. R. y Zoido Naranjo, F. (2013): "El olivar andaluz en su dimensión paisajística. Espacio vivido y paisaje sentido". En VV. AA.: *Andalucía. El olivar*. Sevilla, Grupo de Estudios Avanzados sobre Territorio y Medio Ambiente, pp. 63-81.
- Harris, J.A. (2003). Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration. *European Journal of Soil Science* 54: 801-808.
- Haruna, S. I., Anderson, S. H., Nkongolo, N. V., & Zaibon, S. (2018). Soil hydraulic properties: Influence of tillage and cover crops. *Pedosphere*, 28(3), 430-442.
- Hernández, A. J. y Pastor Piñeiro, J. (2011). Contribución de las cubiertas permanentes de especies de leguminosas a los servicios ecosistémicos en un olivar castellano-manchego. En *Pastos, paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del Siglo XXI*. (1ª ed., pp. 619-624). Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- Hinojosa, M. B., García-Ruiz, R., Viñegla, B. and Carreira, J. A. (2004). Microbiological rates and enzyme activities as indicators of functionality in soils affected by the Aznalcóllar toxic spill. *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 1637-1644.
- Hinojosa, M.B., Carreira, J.A., García-Ruiz, R. and Richard, D. En prensa. Microbial profiling of metal polluted soil from PLFA and EL-FA extracts. *Journal of environmental quality*.
- Hutchinson, J. J., Campbell, C. A., Desjardins, R. L. (2007). Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142 (2-4), 288-302.
- Junta de Andalucía. (2019). *El primer aforo 2019-2020 prevé una producción de 983.600 toneladas de aceite de oliva en Andalucía*. Junta de Andalucía. Recuperado de

<http://www.juntadeandalucia.es/presidencia/portavoz/tierraymar/147078/Oliva/aceite/aforo/Andalucia/Jaen/produccion/almazara/Brexit/aranceles>

Lovell, R.D., Jarvis, S.C. and Bardgett, R.D. (1995). Soil microbial biomass and activity in long-term grassland. Effects of management changes. *Soil Biology & Biochemistry* 27: 969-975.

Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. (2019). Anuarios de estadísticas agrarias y de alimentación.

Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. (2019). Anuarios de estadísticas agrarias y de alimentación. Superficies y producciones de cultivos. Olivar: Productos obtenidos de la aceituna, campaña 2018/2019. Recuperado de <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>

Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. (2019). Anuarios de estadísticas de la estructura de las explotaciones agrarias. : Distribución autonómica de las explotaciones agrarias según sistema de cultivo de tierras labradas y tipo de cultivos: Secano, 2016.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2019). *Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE). Encuesta de Marco de Áreas de España*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Gobierno de España.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2019). *Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE). Encuesta de Marco de Áreas de España*. Distribución general de grupos de cultivos y cubiertas de suelo. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Gobierno de España. <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s. f.). *Aceite de oliva*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Gobierno de España. Recuperado de

<https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/aceite-oliva-y-aceituna-mesa/aceite.aspx>

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (s. f.). *Mitigación: políticas y medidas, sector agrícola y ganadero*. Gobierno de España. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/agricola.aspx>

Nielsen, M.N., and Winding, A. (2002). Microorganisms as indicators of soil health. NERIT Technical report, nº 388.

Nieto, O. M., Castro, J., Fernández, E., & Smith, P. (2010). Simulation of soil organic carbon stocks in a Mediterranean olive grove under different soil-management systems using the RothC model. *Soil Use & Management*, 26(2), 118-125.

Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., Grace, P. (2014) Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187, 87-105.

Pankhurst, C.E., Doube, B.M., and Gupta, V.V.S.R. (1997). Biological indicators of soil health: Synthesis. En: Biological indicators of soil health. Pankhurst, C.E., Doube, B.M., and Gupta, V.V.S.R. (eds.). CAB International, pp. 419-435.

Pastor Muñoz-Cobo, M., Castro, J., Humanes, M. D. y Saavedra, M. (1997). *La erosión y el olivar, cultivo con cubierta vegetal*. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía

Pastor Muñoz-Cobo, M.; Humanes Guillén, J.; Vega Macías, V. y Castro Rodríguez, J. (1998). Diseño y manejo de plantaciones de olivar. Junta de Andalucía, Dirección General de Investigación y Formación Agraria, Servicio de Publicaciones y Divulgación. pp. 163-177

Pastor, M. (2008). Sistemas de manejo del suelo. En *El cultivo del olivo* (6ª ed., pp. 241-295). Madrid: Ediciones Mundi-Presa y Junta de Andalucía.

- Pastor, M., Castro, J., Humanes, M. D., y Muñoz, J. (2001). Sistemas de manejo del suelo en el olivar de Andalucía. *Edafología. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo*, 8, pp. 75-98.
- Poder A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical transactions of the royal society, biological sciences*, 635, 2959-2971.
- Presidencia del gobierno. (2017). *La Moncloa. Agricultura [España / Ediciones de «España Hoy» / Agricultura]*. Gobierno de España. Recuperado de <https://www.lamoncloa.gob.es/espana/historico/eh15/agricultura/Paginas/index.aspx#producciones>
- Repullo, M. A., Carbonell, R., Hidalgo, J., Rodríguez-Lizana, A., Ordóñez, R. (2012). Using olive pruning residues to cover soil and improve fertility. *Soil and Tillage Research*, 124, 36-46.
- Rey, P. J., Manzaneda, A. J., Valera, F., Alcántara, J. M., Tarifa, R., Isla, J., Molina-Pardo, J. L., Calvo, G., Salido, T., Gutiérrez, J. E. y Ruiz, C. (2019). Landscape-moderated biodiversity effects of ground herb cover in olive groves: Implications for regional biodiversity conservation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 277, 61-73.
- Rodríguez Lizana, A. (2003). Cubiertas vegetales en el olivar. *Agricultura. Revista Agropecuaria*, 853, 504-510
- Rodríguez Lizana, A., Ordóñez Fernández, R. M., González Fernández, P. y Espejo Pérez, A. J. (2004). Efectos del manejo del suelo en la escorrentía y erosión en el olivar. *Vida Rural*, 2004 (194), pp. 34-38.
- Rodríguez Sousa, A. A., Barandica, J. M. y Rescia, A. (2019). Ecological and Economic Sustainability in Olive Groves with Different Irrigation Management and Levels of Erosion: A Case Study. *Sustainability*, 11 (17), 4681.
- Salam, A.K., Katayama, A., and Kimura, M. (1998). Activities of some soil enzymes in different land use systems after deforestation in hilly areas of

West Lampung, South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 44, 93-103.

Sánchez Martínez, J. D., & Garrido Almonacid, A. (2017). Sobre la diversidad del olivar andaluz: del territorio al paisaje (El caso de la provincia de Jaén). *Estudios Geográficos*, 78 (283), 523.

Santelmann, M., Freemark, K., Sifneos, J., White, D. (2006). Assessing effects of alternative agricultural practices on wildlife habitat in Iowa, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 113 (1-4), 243-253.

Schlöter, M., Bach, H.-J., Metz, S., Sehy, U., and Munch J.C. (2003). Influence of precision farming on the microbial community structure and functions in nitrogen turnover. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 98, 295-304.

Singer, M.J., and Ewing, S. (2000). Soil quality. In: Summer, M.E. (Ed.). *Handbook of Soil Science*, pp. G271-G298. CRC Press, Boca Raton.

Tabatabai, M.A. (1994). Soil Enzymes. In: *Methods of Soil Analysis. Part 2, Microbiological and Biochemical Properties*. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. (Eds.), pp. 903-968. Book Series nº 5. Madison: Soil Science Society of America.

Vitousek P. M., Mooney H. A., Lubchenco, J., and Melillo, J. (1997). Human domination of Earth's Ecosystems. *Science*, 277: 494-499.

Vitousek, P. M., and Matson, P. A. (1993). Agriculture, the global nitrogen cycle, and trace gas flux. In: Oremland, R.S. (Ed.). *The Biogeochemistry of Global Change: Radiative Trace Gases*, pp. 193-208. New York: Chapman & Hall.

West, T. O., & Post, W. M. (2002). Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 66 (6), 1930-1946.