



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Centro de Estudios de Postgrado

CUBIERTAS VEGETALES DE ESPECIES NATIVAS EN EL OLIVAR.

Alumno: Antonio Ortiz Pozo.

Tutores:

D. Juan Antonio Torres Cordero.
Dpto. Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Jaén.

D. Rafael Alcalá Herrera
Grupo de Entomología, Departamento Agronomía, Universidad de Córdoba.

Fecha: Junio 2022



Juan Antonio Torres Cordero, Profesor Titular de Universidad del Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología de la Universidad de Jaén / Rafael Alcalá Herrera, Contratado Titulado Superior (Doctor), Grupo de Entomología, Departamento Agronomía, Universidad de Córdoba.

Como **Tutores** de D. Antonio Ortiz Pozo, en el Máster Universitario en Olivar y Aceite de Oliva, durante el curso 2021-2022.

INFORMAN: Que el presente trabajo fin de máster, "*Cubiertas vegetales de especies nativas en el olivar*" ha sido realizado por D. Antonio Ortiz Pozo, para la obtención del Título de Máster Universitario en Olivar y Aceite de Oliva por la Universidad de Jaén.

Jaén, a 17 de Junio de 2022

Fdo.: Alumno/a Fdo.: Juan Antonio Torres Cordero
Rafael Alcalá Herrera

ÍNDICE.

RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN.....	10
1. Problemática del olivar tradicional.....	10
2. Cubiertas vegetales	18
OBJETIVOS	20
MATERIALES Y MÉTODOS	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
1. Cubiertas vegetales desde una perspectiva edafológica y botánica.....	21
1. 1. Cubiertas vegetales frente a la erosión y las pérdidas de agua	21
1. 2. Cubiertas vegetales y propiedades físico-químicas	35
1. 3. Cubiertas vegetales frente al cambio climático.....	41
1. 3. 1. Carbono	41
1. 3. 2. Nitrógeno	51
1. 3. 3. Metano.....	52
1. 3. 4. Albedo	52
1. 3. 5. Visión general de las cubiertas vegetales frente al cambio global.....	53
2. Cubiertas vegetales desde una perspectiva entomológica	55
2. 1. Cubiertas vegetales y biodiversidad	55
2. 2. Cubiertas vegetales frente a plagas	59
3. Cubiertas vegetales desde una perspectiva económica.....	61
ASPECTOS EN LOS QUE SEGUIR TRABAJANDO DE CARA AL FUTURO	62
CONCLUSIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	66

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1.: Porcentaje de erosión del olivar en el periodo 1992-2004.	12
Tabla 2.: Pérdidas de nutrientes desde 1904-1997 medidas en Kg/Ha.	15
Tabla 3.: Erosión y huella erosiva en las distintas zonas con y sin cubierta vegetal.	23
Tabla 4.: Germinación de algunas especies de las familias <i>Fabaceae</i> , <i>Asteraceae</i> , <i>Poaceae</i> , <i>Brassicaceae</i> , <i>Geraniaceae</i> , <i>Primulaceae</i> y <i>Papaveraceae</i>	25
Tabla 5.: Emergencia (emergence), cobertura (coverage), tamaño (height) y biomasa (dry weight) de especies de la familia <i>Brassicaceae</i> en la campaña 2000-2001.	29
Tabla 6.: Emergencia (emergence), cobertura (coverage), tamaño (height) y biomasa (dry weight) de especies de la familia <i>Brassicaceae</i> en la campaña 2001-2002.	30
Tabla 7.: Porcentaje de nitrógeno a diferentes profundidades y con tratamientos con cubierta vegetal bajo la copa (R-copa) y en las calles (R-interl.) y con suelo desnudo bajo la copa (D-copa) y en las calles (D-interl.).	38
Tabla 8.: Porcentaje de arcilla, cantidad de carbono orgánico del suelo (SOC) (en Mg C/ha), cantidad de materia orgánica inerte (IOM) (en Mg C/ha), cantidad de entrada de carbono modelada y tiempo de rotación en el caso del olivar tradicional.	42
Tabla 9.: Temperatura media, precipitación anual, tipo de suelo, textura, altitud y porcentaje de desnivel.	43

Tabla 10.: Entrada de carbono al suelo en las zonas de Castillo, Matallana y La Torre en las zonas diferentes en función de la profundidad (a. 0-5 cm, b. hasta 15 cm y c. hasta 30 cm).....	45
Tabla 11.: Aporte de biomasa y respiración heterótrofa del suelo, almacenamiento y fijación de carbono orgánico al suelo al principio (t=0) y transcurrido un año con cubierta vegetal (t=1) para las regiones de Castillo, Matallana y La Torre.....	46
Tabla 12.: Mitigación del cambio global aplicando cubiertas vegetales de leguminosas y no leguminosas y valores estimados para el forzamiento climático medido en unidades de dióxido de carbono equivalentes (CO ₂ e). Los valores positivos denotan la mitigación neta del forzamiento climático. En el caso de los valores negativos, denotan las fuentes de este.	53
Tabla 13: análisis del porcentaje de frutos caídos por <i>Prays oleae</i>	61

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.: Relación escorrentía (eje x)-pérdidas de nitrato en solución (eje y) ($r = 0,78$; $p=0,000$).	13
Figura 2.: Pérdida de suelo en las 6 parcelas con cubierta y sin cubierta vegetal....	22
Figura 3.: Impacto de las precipitaciones en suelos con cubierta vegetal y con laboreo tradicional.	26
Figura 4.: Pérdida de suelo en una zona con cubiertas (C) y en una zona con laboreo tradicional (LT) en 2007.....	27
Figura 5.: Porcentaje de emergencia en función del manejo del suelo (labrado (tillage) y (no labrado(no tillage)) para las especies <i>Eruca vesicaria</i> y <i>Sinapis alba</i>	32
Figura 6.: Porcentaje de emergencia en <i>Eruca vesicaria</i> y <i>Sinapis alba</i> en función de la profundidad en la que se plantaron las semillas.	33
Figura 7.: Porcentaje de materia orgánica en el suelo con restos de poda (R-interlínea) o suelodesnudo (D-interlínea) a distintas profundidades.	35
Figura 8.: Cantidad de potasio con los tratamientos con cubierta vegetal (R-interlínea) y con el suelodesnudo (D-inrterlínea) en función de la profundidad.	36
Figura 9.: Cantidad de fósforo con los tratamientos con cubierta vegetal (R-interlínea) y con suelodesnudo (D-interlínea) en función de la profundidad.	37
Figura 10.: Densidad aparente en función de la profundidad en los cultivos con cubierta vegetal y con suelo desnudo.	39

Figura 11.: Resistencia a la penetración de los suelos con cubierta y desnudo.	40
Figura 12.: Evolución del carbono orgánico en el suelo (medido en Mg C/ha) desde 1700 hasta el final del siglo XX (2000) en función del tipo de tratamiento del olivar, es decir, con el paso de presencia de cubiertas nativas a ausencia de estas. ...	44
Figura 13.: Tendencia del contenido de carbono orgánico en el suelo en el periodo que abarca los 100 primeros años con olivares con cobertura vegetal.	47
Figura 14.: Polinizadores que visitan las diferentes parcelas (a y b parcelas con diversidad de especies y c el control) en 2011.	56
Figura 15.: Polinizadores que visitan las diferentes parcelas (a y b parcelas con diversidad de especies y c el control) en 2012.	56
Figura 16.: Polinizadores que visitan las diferentes parcelas (a y b parcelas con diversidad de especies y c el control) en 2013.	57
Figura 17.: Número de huevos de <i>Prays oleae</i> /100 frutos en las zonas de cubierta vegetal y olivar tradicional (sin cubierta).	59
Figura 18: porcentaje de depredación de los crisópidos en los cultivos con cubierta vegetal y olivar tradicional.	60

RESUMEN

Las técnicas llevadas a cabo con el laboreo tradicional están siendo responsables de numerosos daños en el olivar como la erosión, la cual deriva en pérdidas de nutrientes y biodiversidad, lo que se relaciona de manera directa con la fertilidad del suelo. Esa pérdida de biodiversidad hace que los cultivos sean más susceptibles a ser atacados por plagas como la polilla del olivo *Prays oleae*. No obstante, el problema va más allá, y es que el uso del suelo está contribuyendo al cambio climático, debido a la cantidad de gases de efecto invernadero que emite. Además, los suelos desnudos, presentan más evapotranspiración, por lo que son más susceptibles a las condiciones de sequedad impuestas por el cambio global. Así pues, ante esta problemática, se plantea emplear las cubiertas vegetales como solución y evaluar qué respuesta se lleva a cabo en los olivares cuando las cubiertas son introducidas. Para ello, se ha buscado información en artículos de páginas como “Google académico”, además de en la bibliografía de dichos artículos. Se observó que las cubiertas vegetales retienen el agua, por lo que evitan la erosión hídrica, dan humedad al suelo y lo mantienen unido. Ese soporte al suelo viene establecido por las raíces, donde se producen simbiosis y, por tanto, se incrementan los nutrientes y fertilidad del suelo. Otros resultados positivos se dieron en la lucha contra el cambio climático pues, hubo una retención de carbono y de nitrógeno, lo que provocó que se disminuyeran los aportes externos de este y, por tanto, el riesgo de lixiviación o volatilización. También se obtuvieron resultados positivos en cuanto al albedo, ya que reflejaron más energía y, por tanto, disminuyeron la temperatura del suelo. Esa cubierta vegetal propició la llegada de polinizadores, por lo que se incrementó la biodiversidad. Entre los insectos que albergaron, se incluía *Chrysoperla carnea*, depredador de *Prays oleae*, de manera que, las cubiertas han demostrado ser muy importantes en el control de plagas.

Palabras clave: erosión, cambio climático, biodiversidad, *Prays oleae*.

ABSTRACT

The techniques carried out with traditional tillage are responsible for numerous damages to the olive grove, such as soil erosion, which leads to loss of nutrients and biodiversity, which are directly related to soil fertility. This loss of biodiversity makes crops more susceptible to be attacked by pests such as the olive moth *Prays oleae*. However, the problem is wider, and it is that land use what is contributing to climate change, due to the amount of produced greenhouse gases. In addition, since they are bare soils, they present more evapotranspiration, and they become more susceptible to the dry conditions provoked by global change. Thus, with this problem, it is proposed to use vegetable coverages as a solution, and evaluate the response that olive groves carry out when these plants are introduced. For this reason, research has been done by using articles on web-pages such as "Google academic", as well as in the bibliography's articles. It was observed that plant covers retain water, preventing water erosion, providing moisture to the soil and keeping it together. This support for the soil is established by the roots, where symbiosis occurs and, therefore, the nutrients and fertility of the soil are increased. Other positive results occurred in the fight against climate change, since there was a retention of carbon and nitrogen, which caused its external contributions to be reduced and, hence, the risk of leaching or volatilization. Positive results were also obtained in terms of albedo, because of the fact that ground covers reflected more energy and, therefore, lowered the temperature of the soil. This plant cover led to the arrival of pollinators, which increased biodiversity. Among the insects they housed, *Chrysoperla carnea*, a predator of *Prays oleae*, was included, so the covers have shown to be very important in pest control.

Keywords: soil erosion, climate change, biodiversity, *Prays oleae*.

INTRODUCCIÓN

1. Problemática del olivar tradicional

El olivar es el cultivo predominante en la cuenca del Mar Mediterráneo, con aproximadamente $9,5 \times 10^6$ de hectáreas. Dentro de toda la cuenca, destaca Andalucía (España), donde se ubica el 15% del total de la cuenca Mediterránea (Guzmán *et al.*, 2000). El cultivo tradicional ha sido históricamente el más extendido. Ello se debe a que en este tipo de cultivo el agricultor es el responsable de su cultivo, su manejo depende única y exclusivamente de él y no requiere unos altos conocimientos técnicos en el sector (Allas *et al.*, 2012). Es decir, en este tipo de cultivo no se sigue ningún protocolo de ninguna delegación (García-Brenes, 2012; Lima-Cueto *et al.*, 2018). El olivar tradicional suele estar en zonas con suelos que presentan una gran pendiente, encontrándose casi la mitad de los suelos andaluces (42,8%) con un porcentaje de desnivel superior al 15% (Conserjería de Agricultura y Pesca, 2008).

A mediados del siglo XX, se comenzaron a hacer una serie de innovaciones en la olivicultura con el objetivo de tener una mayor producción, de manera que se empieza a utilizar herbicidas y mecanización, aplicando energías fósiles no renovables, todo ello para evitar que se produzca competencia de la vegetación con el olivar. Sin embargo, ese afán por acabar con el resto de la flora que rodea al olivar, produce una elevada pérdida de biodiversidad que repercute en la correcta funcionalidad del ecosistema y, en consecuencia, en el bienestar del cultivo (Borrelliet *al.*, 2020).

De manera que, se buscaba potenciar la productividad del olivar pensando solo desde un punto de vista económico, pero sin darse cuenta que cada vez se está reduciendo más la producción y, por tanto, se está perdiendo ese beneficio económico que se buscaba (Boardman *et al.*, 2003). Además, cuando se dan esas pérdidas, se tiende a cambiar de suelo, haciendo las mismas actividades, por lo que cada vez habrá más suelos improductivos. Esto es, se está produciendo una pérdida de suelo debido a la eliminación de sus cubiertas con las prácticas llevadas a cabo. Se buscaban suelos sin malas hierbas que compitieran con los olivos, aunque eso provocaba que los suelos estuvieran sin protección alguna (Guzmán *et al.*, 2000).

La práctica de técnicas que persiguen una superproducción mediante métodos erróneos lleva a un perjuicio para el agricultor en numerosas ocasiones (Boardman *et al.*, 2003). Ahí reside el problema, en que los agricultores no son conscientes del

alcance que puede tener una mala gestión de sus cultivos. Algunas de esas técnicas son el excesivo laboreo o el uso desmesurado de herbicidas lo que, sumado a ese desnivel de los suelos, hace que estos sufran muchos problemas que repercutirán en una negativa producción (Allas *et al.*, 2012).

El principal problema que se da con la utilización de estas técnicas tradicionales es la erosión, un fenómeno grave que afecta de manera directa a la biodiversidad del ecosistema, los nutrientes y la productividad, lo cual repercutirá en los beneficios que se puedan obtener de los cultivos (Gómez-Calero *et al.*, 2020). Se estima que en zonas labradas tradicionalmente y con un desnivel cercano al 30%, la pérdida de suelo por erosión se aproxima a los 3 Mg de Ha de suelo/año (Del Moral Lendínez, 2020).

La erosión se da con prácticas como la eliminación de las cubiertas mediante la aplicación de laboreo. En primer lugar, el laboreo produce una serie de cambios en los agregados, lo cual provoca que se expongan más a fenómenos lluviosos, haciendo que los suelos sean más susceptibles a la erosión. En segundo lugar, se produce una disminución de materia orgánica que conlleva que los perfiles del suelo no se encuentren bien desarrollados, además se requiere un mayor tiempo para poder formar el suelo. Se ha calculado que en torno a un 33% de los terrenos cultivados a nivel mundial se han ido perdiendo por fenómenos de erosión causados por la mala gestión de esas tierras cultivadas (García-Ruiz *et al.*, 2013).

Esto es muy preocupante debido a que es mucha la superficie de olivar que presenta una gran erosión (hasta un 23% de los cultivos de Andalucía) (Tabla 1). La erosión y la pérdida de agua por escorrentía es muy fuerte en zonas como barrancos, canales dejados por el agua y zonas donde las raíces no son muy profundas o se quedan al descubierto, ya que son regiones desprovistas de estructuras que soporten el terreno. La erosión hídrica es ocasionada también por el uso de herbicidas como el glifosato (en cantidades excesivas) o el oxadiazón, herbicidas que mantienen el suelo completamente desnudo. El uso de herbicidas hace que no existan estructuras que retengan los nutrientes ni aminoren la pérdida de agua por escorrentía (Boardman *et al.*, 2003). En el caso de nutrientes como el carbono se calcula que, hasta casi un 80% de pérdidas del carbono acumulado en los primeros 5 cm de suelo, lo que equivale a una cantidad aproximada de hasta 0,2 Mg de C/Ha*año (García-Ruiz & Lana-Renault, 2011). Es decir, cuando no existen cubiertas vegetales, disminuye la infiltración y se

dificulta el normal desarrollo de las raíces por la formación de suelo de labor, que es una capa muy dura e impermeable que se forma a causa de actividades de laboreo como (Ribes-Dasi, 1996), de manera que, el agua queda estancada y, se potencia la escorrentía (Allas *et al.*, 2012).

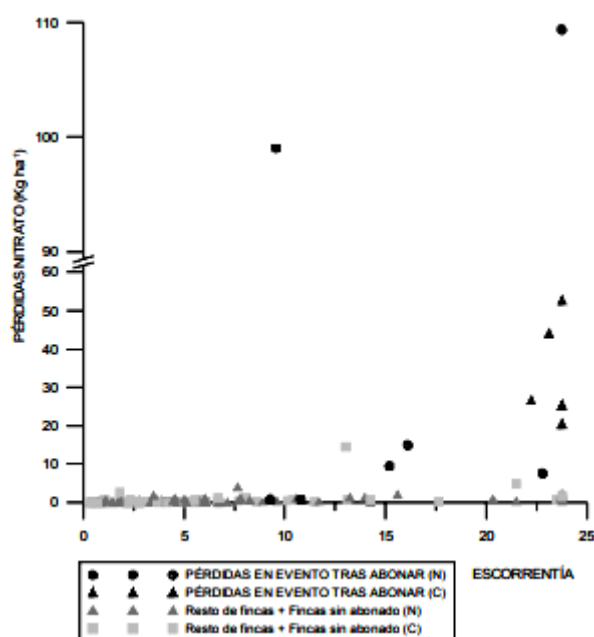
Tabla 1.: Porcentaje de erosión del olivar en el periodo 1992-2004.

	Andalucía	Jaén
Baja 0-12 ($\text{THA}^{-1} * \text{AÑO}^{-1}$)	47,3	38,2
Moderada 12-50 ($\text{THA}^{-1} * \text{AÑO}^{-1}$)	29,7	31,6
Alta 50-100 ($\text{THA}^{-1} * \text{AÑO}^{-1}$)	11,8	14,6
Muy Alta > 100 ($\text{THA}^{-1} * \text{AÑO}^{-1}$)	11,2	15,6
Total	100	100

Fuente: Elaboración propia a partir de Conserjería de Agricultura y Pesca (2008).

Dichas pérdidas de nutrientes pueden desembocar, junto con el uso de plaguicidas en la contaminación agraria provocada por ese arrastre de los nutrientes y demás compuestos mediante la escorrentía y la formación de cárcavas. De forma que, cuanto mayor es la pérdida de agua por escorrentía, más se extiende la contaminación fruto de esos productos empleados y, mayor es también la pérdida de nutrientes como por ejemplo los nitratos (Figura 1). Que estos se infiltren a los acuíferos, supone un serio problema para el medio ambiente e incluso para los humanos que consuman esa agua o alimenten a su ganado o sus cultivos de esa fuente (Winter *et al.*, 2018).

Figura 1.: Relación escorrentía (eje x)-pérdidas de nitrato en solución (eje y) ($r = 0,78$; $p=0,000$).



Fuente: Rodríguez-Lizana *et al.*, (2005).

Sin embargo, no solo provocan contaminación con el uso de fertilizantes como los del nitrógeno, sino que las prácticas agrícolas también son responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, el hecho de dejar únicamente el propio olivar con sus cubiertas vegetales, hace que el ecosistema se comporte más como fuente de carbono que como sumidero (Camargo *et al.*, 2013), ya que el carbono supone casi la mitad del peso de los desechos de la cosecha. Es decir, cuanto mayor sea la biomasa de las cubiertas vegetales mayor carbono se podrá aportar al suelo. Además, el carbono también actúa interviniendo también en el forzamiento climático, es decir, se altera la energía que se absorbe y la que se reemite (Bright *et al.*, 2015). Por otro lado, en los suelos desnudos se produce un incremento de la temperatura, que hace que el impacto de la dinámica climática sea cada vez mayor (Seidl *et al.*, 2019). A esto hay que añadir que un incremento de las temperaturas favorece la mineralización y la lixiviación de nutrientes fruto de las lluvias (Kaye & Quemada, 2017).

Otro de los problemas de esta erosión hídrica es la disminución de la fertilidad. Cuanto mayor sea la velocidad de escorrentía más grande será el arrastre y mayores serán los surcos, por lo que la erosión será de mayor intensidad, llegando incluso a

producirse cárcavas (Martínez., 2003). En este caso, el laboreo elimina cubierta vegetal, hay una menor cantidad de materia orgánica, y se pierde fertilidad (Lima-Cueto *et al.*, 2018). Se calcula que en una década es posible llegar a perder un 30% de la materia orgánica del suelo. Cuando esto ocurre, es necesario aplicar cantidades ingentes de fertilizantes para poder llegar a tener en el suelo una fertilidad similar a la que había antes de perder la materia orgánica (Parras-Alcántara *et al.*, 2016).

La erosión no solo produce efectos en las regiones en las que se da, sino que también ocasiona daños en zonas limítrofes. Uno de esos daños son las inundaciones que pueden desembocar en pueblos cercanos a las tierras o embalses, lo que supone un serio problema que va más allá de los beneficios o pérdidas a nivel económico, pues puede haber pérdidas que afecten directamente a la población (Borrelli *et al.*, 2020). Por tanto, la erosión es el problema más grave derivado de la práctica tradicional llevada a cabo desde mediados del siglo XX hasta la actualidad ya que origina una pérdida de nutrientes del suelo y, en mayor medida de materia orgánica (Tabla 2). Estas pérdidas derivan en una disminución de biomasa tanto desde un punto de vista productivo como desde un punto de vista de la cadena alimentaria, pues se suprime el primer eslabón (García-Brenes, 2012).

Tabla 2.: Pérdidas de nutrientes desde 1904-1997 medidas en Kg/Ha.

Localidad/Cubierta suelo	Ca	Mg	Na	K	Materia orgánica	Fósforo asimilable
Alcalá de Henares (Madrid)						
Desnudo	79,9	4,3	5,5	7,4	503	0,99
Cebada	1,0	0,1	0,1	0,2	9,8	0,03
Espontánea	0,1	0,0	0,0	0,0	5,7	0,01
Pastizal	0,4	0,1	0,1	0,1	75	0,01
Aranjuez (Madrid)						
Desnudo	127,8	7,2	9,8	13,6	1768	3,73
Cebada	6,3	0,3	0,2	0,5	220	0,35
Espontánea	5,1	0,3	0,5	0,8	106	0,16
Pastizal	35,9	1,9	2,3	4,4	507	0,40
Marchamalo (Guadalajara)						
Desnudo	518	27,4	32,6	45,3	1545	5,20
Cebada	0,7	0,1	0,1	0,2	8,1	0,04
Espontánea	0,6	0,0	0,1	0,1	5,0	0,01
Pastizal	0,5	0,0	0,1	0,1	4,4	0,01
Albadalejito (Cuenca)						
Desnudo	18,5	1,6	1,6	3,3	348	0,51
Cebada	0,3	0,1	0,04	0,1	3,3	0,02
Espontánea	0,2	0,0	0,02	0,01	5,5	0,01
Pastizal	0,2	0,0	0,03	0,07	4,6	0,01

Fuente: Elaboración propia a partir de Allas *et al.*, (2012).

La erosión es un hándicap tan grave que está desencadenando el abandono de cultivos y, cuando eso ocurre se favorece aún más la erosión debido a que las zonas abandonadas son zonas muy degradadas desde el punto de vista erosivo (Del Moral-Lendínez, 2020). Este avance de la erosión se ve favorecido por la dificultad de las plantas para poder asentarse en estas zonas, siendo este el motivo por el que cuesta tanto reconducir un suelo muy degradado (García-Ruiz y Lana-Renault, 2011).

Otro inconveniente de los cultivos tradicionales es la fuerte evaporación. Los suelos desnudos presentan una notoria pérdida de agua por evaporación lo cual se traduce en una humedad bastante baja, que se hace aún más reseñable en regiones áridas o semiáridas. En suelos desnudos, la pérdida de agua por evaporación puede oscilar entre un 30-60% del agua de lluvia reciba por el suelo en un año, llegando a existir casos en los que el porcentaje era hasta del 75% (Cooper *et al.*, 1987). Lo más preocupante es que la tendencia del clima está siendo un incremento de las

temperaturas y disminución de las precipitaciones (Zamora *et al.*, 2015), por lo que se espera que esa evaporación sea cada vez mayor y, por tanto, se incrementa el riesgo de desertificación (Mellouli *et al.*, 2000).

Teniendo en cuenta que los olivares no están en lugares con una abundante precipitación y que cada vez hay una mayor sequedad, la cantidad de agua presente en el suelo es vital en el rendimiento de los cultivos y en cómo se van a poder desarrollar (Burke *et al.*, 1998). El agua interviene en la energía fijada por la fotosíntesis, la materia orgánica y en el ciclo de los nutrientes. De manera que, el contenido de agua en el suelo no solo se relaciona con la escorrentía como se ha visto anteriormente, sino que también lo hace con la evaporación y transpiración (Wythers *et al.*, 1999).

No obstante, la evaporación también se relaciona con el tipo de suelo. Un suelo con una textura fina retiene más agua por lo que, aunque se sequen más lentamente, también van a sufrir una mayor evaporación. Por el contrario, los suelos de textura gruesa, se secan más rápidamente y sufren menos evaporación. Además, la evaporación es mayor al principio de las condiciones de sequedad ya que es cuando más agua hay en el suelo, por lo que es imprescindible poder controlarla a tiempo ya que si se toman medidas demasiado tarde puede perderse demasiada cantidad de agua llevando al ecosistema a padecer estrés hídrico (Borrelli *et al.*, 2020). Cuando existe una pérdida importante de agua y se está sufriendo estrés hídrico, las raíces superficiales se secan y se comienzan a producir daños en las hojas, tallos, así como disminución del desarrollo y la calidad del fruto (Martínez *et al.*, 2000).

Por otro lado, el laboreo tradicional está acabando con la biodiversidad a nivel faunístico, muy útil para llevar a cabo procesos de regulación del ecosistema como es la mitigación de las plagas o la polinización (Cazalla-Millán, 2022). De manera que, si se alteran estos equilibrios, se ocasionan grandes pérdidas que influyen de manera directa en la sostenibilidad del cultivo. Otra técnica que puede llegar provocar la aparición de plagas es el riego, pues si se tiene una zona en la que no se dan las condiciones para que se instalen organismos que puedan ser causantes de plagas, si se incorpora el riego, pueden llegar a darse condiciones menos adversas y que, por tanto, se puedan incorporar organismos causantes de plagas que, en condiciones normales no tendrían por qué haberse desarrollado en dicha zona (Winter *et al.*, 2018).

Por tanto, unas pérdidas que hay que añadirle al olivar y que son muy a tener en cuenta, son las pérdidas ocasionadas por el ataque de plagas o enfermedades. Si bien, hay que tener en cuenta que no todos los organismos causantes de plagas pueden llegar a producirlas en todos los tipos de cultivos. El concepto de plaga es otorgado por el ser humano, ya que para que se considere que un tipo de organismo provoque una plaga, tiene que llegar a proliferar un número de individuos suficientemente alto como para que cause daños económicos significativos. En el caso del olivar, se estima que hasta casi un tercio de la producción final puede perderse cuando el olivar es atacado por alguna plaga (López-Ávila, 2002).

Las plagas pueden verse potenciadas por el uso en exceso de productos fitosanitarios ya que pueden acabar con los enemigos naturales de estas, además de provocar que se desarrollen respuestas de resistencia en las plagas, consiguiendo el efecto contrario al que se busca en un principio. Además, al aplicar estos productos, los enemigos naturales tendrán problemas para sobrevivir, puesto que sin cubiertas o con muy poca, apenas tendrán lugar en el que poder refugiarse y reproducirse, por lo que este es otro motivo por el cual no se deben de aplicar productos fitosanitarios de manera intensiva.

Una de las plagas más conocida, por los posibles daños económicos en el sector del olivar, es la polilla del olivo *Prays oleae*. Esta plaga ataca exclusivamente al olivo, de manera que se extiende principalmente por la cuenca mediterránea. Dentro de esta región, predomina en zonas con gran humedad como son las zonas más septentrionales (Guerrero, 2000). La reducción de los insectos entomófagos, es decir, especies de insectos que se alimentan de otros en el cultivo tradicional, por la aplicación de los fitosanitarios está provocando un perjuicio en el control natural de plagas (Cazalla-Millán, 2022).

La estabilidad de un ecosistema requiere que todas las especies estén en equilibrio unas con otras, por lo que si se altera un eslabón como son los enemigos naturales, el ecosistema pasa a estar más expuesto a problemas. De manera que, las actividades llevadas a cabo por los agricultores son determinantes para un equilibrio en el ecosistema (Varela *et al.*, 2002).

2. Cubiertas vegetales

Viendo todos los problemas que se dan derivados del manejo tradicional del olivar, una idea está apareciendo en los últimos años. Dicha idea es el empleo de cubiertas vegetales en el olivar para poder hacer frente a estos problemas que ponen en peligro el ecosistema y la sostenibilidad económica de los cultivos. Esta técnica se considera de laboreo de conservación debido a que es una técnica que busca un laboreo mínimo o incluso inexistente (López-Garrido, 2012).

En el ámbito ecológico, se estima que alrededor de unos 157 millones de hectáreas en Europa sufren procesos de erosión, perdiéndose en torno a unas 17 toneladas por hectárea y año que suponen unos 250 mil millones de euros (Guerrero-Baides, 2016). Trasladado a un cultivo, supone unas pérdidas que pueden llegar a la cuarta parte de la cuantía total de la parcela (Borrelli *et al.*, 2020).

Sin embargo y, tal y como se ha visto anteriormente, también hay muchas pérdidas económicas y ecológicas derivadas de los ataques de plagas (Paredes *et al.*, 2019). En cultivos con diversidad vegetal se mantienen todas las especies con una cierta estabilidad. Por ejemplo, *Chrysoperla carnea* es una especie que controla a *Prays oleae*, ya que se encarga de devorar los huevos de esta especie, de forma que, es un depredador entomófago. *Chrysoperla carnea* es una especie que se asocia a la cubierta vegetal, por lo que las cubiertas vegetales pueden tener un impacto más allá de la lucha contra los problemas edafológicos (Varela *et al.*, 2002).

No obstante, para cultivar especies naturales que ayuden a mantener la biodiversidad, es necesario conocer la relación insecto-planta. Si se conocen bien las especies con las que se cuenta es posible controlar la dinámica de esas especies para evitar que predomine una especie sobre otras y lograr un equilibrio de todas ellas. Por ejemplo, un conjunto de leguminosas puede aportar las flores y el néctar para suponer un estímulo de atracción muy relevante para especies del género *Bombus* de trompa larga, mientras que cuando las especies de plantas eran nativas, los insectos tenían la trompa más corta y la polinización tenía más continuidad. Sin embargo, hay que tener en cuenta no solo factores como la polinización, sino aspectos como el clima de la zona, el crecimiento que experimentan ese tipo de cubiertas, la atracción a los depredadores, la floración, el tipo y estructura de flor, entre otra serie de criterios

(Carvell *et al.*, 2007).

Otro caso es el de un olivar de Grecia en el que los olivares que presentaban un sotobosque (vegetación de un bosque que crece debajo del dosel vegetal) eran lugares que presentaban una mayor biodiversidad de toda clase de seres vivos, por lo que se garantizaba una mayor recuperación de los hábitats en caso de sufrir daños. Es decir, había un mayor control natural de plagas y una mayor fertilidad del suelo, por lo que se obtenían aceitunas de mayor calidad que en sitios donde no había vegetación. De manera que, puede ser una gran idea el utilizar cubiertas vegetales de distintas especies en el olivar puesto que es posible establecer un ecosistema que esté en equilibrio, así como beneficios para el agricultor en lo que al panorama económico se refiere (Winter *et al.*, 2018).

Viendo estos datos, la necesidad de buscar alternativas al desarrollo de los cultivos es innegociable, por ello se propone que las cubiertas vegetales sean una posible solución a la cantidad de inconvenientes que se generan con el manejo tradicional. En los últimos años se está incrementando la idea de desarrollar técnicas que modifiquen lo menos posible la estructura del suelo. Es decir, protegerlo tanto como sea posible de todos los problemas que se les viene ocasionando a lo largo de las últimas épocas (Borrelli *et al.*, 2020).

No obstante, aunque es evidente que viendo los resultados obtenidos a lo largo de estas décadas el método empleado no es el correcto, son numerosos los agricultores que son reacios a utilizar nuevas vertientes para el cultivo del olivar como son el uso de cubiertas vegetales. Esto es un camino por el que se pretende abrir paso el cultivo de cubiertas, es decir, hacer ver que con este modelo de cultivo se obtienen los mismos o más volúmenes de producción (Alves *et al.*, 2021), pero con una inversión menor de tiempo, de carburantes y menor deterioro de las máquinas (Guerrero-Baides, 2016).

Paralelamente, no solo las cubiertas vegetales se pueden utilizar desde un punto de vista del cultivo, sino que también es posible y, de hecho muy interesante, poder usarlas para combatir el cambio climático. Teniendo en cuenta la evolución tan rápida que este está teniendo, es muy necesario estudiar cómo afectan las cubiertas vegetales a las emisiones de los gases de efecto invernadero. De manera que, con este tipo de prácticas se busca reducir la agresividad con el medio ambiente que

se tenía con el laboreo tradicional y poder respetar los ecosistemas al mismo tiempo que hacerlos sostenibles y no sostenidos como es el caso de muchos de los olivares (Kaye & Quemada, 2017).

OBJETIVOS

El presente trabajo se centra en mostrar las aportaciones que realizan las distintas cubiertas (en función de las familias empleadas) en el suelo del olivar. Son bien conocidos los problemas que viene arrastrando el olivar tradicional, el objetivo general es erradicarlos o paliarlos mediante el empleo de las cubiertas y potenciar el rendimiento de los cultivos dentro de los límites ecológicos. De manera que, este trabajo busca aportar una revisión sobre el conocimiento actual desde un punto de vista botánico, entomológico y edafológico para convertir el olivar tradicional en un entorno sostenible.

Se mostrará los efectos de las cubiertas vegetales ante la erosión, los problemas de humedad, cómo afecta a los nutrientes tales como el carbono o el nitrógeno, su influencia o no en algunas plagas como la polilla del olivo (*Prays oleae*). Además de, distinguir entre los distintos tipos y manejo de cubiertas vegetales.

A ello hay que sumar también la capacidad de observar el efecto de una cubierta vegetal con biodiversidad. Esto es, ver si con una cubierta vegetal compuesta de varias especies se logra un mejor manejo del olivar a la par que hacer de este un lugar óptimo para el desarrollo de fauna y flora de distintas especies. En definitiva, llevar a cabo un laboreo sostenible y en comunión con el ecosistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

La búsqueda de información se ha llevado a cabo mediante la consulta de las bases de datos “Google scholar”, “Scopus” y “PubMed”. Una vez situado en estas páginas se procedió a realizar las búsquedas utilizando términos clave como “bare soil”, “bare soil and erosion”, “absence of ground cover” o “*Prays oleae* and ground cover”. Se han consultado documentos bibliográficos principalmente en inglés y castellano empleando términos como “cambio climático y cubiertas vegetales”, “biodiversidad y cubiertas vegetales” o “laboreo tradicional”. Además, se han consultado referencias bibliográficas obtenidas a partir de la lectura de los manuscritos obtenidos en las bases de datos con las palabras clave mencionadas y búsquedas específicas de autores clave como “Blanco-Sepúlveda”, “Saavedra”, “Karamouna” o “Parras-Alcántara” relacionados con la temática de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

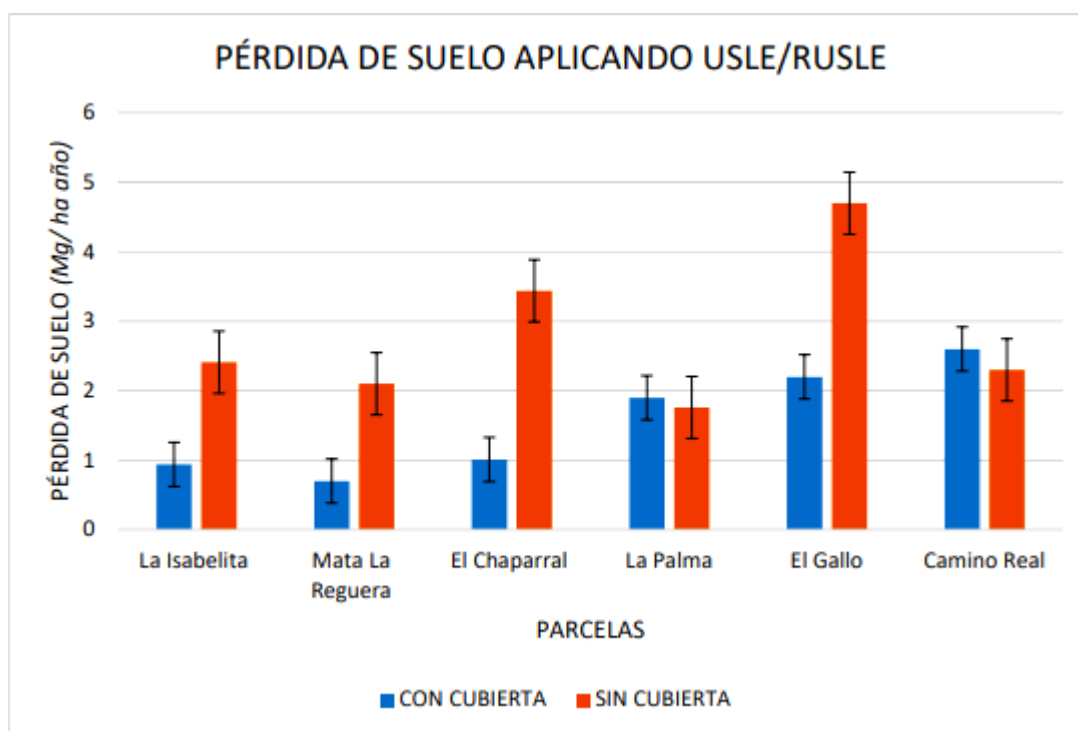
1. Cubiertas vegetales desde una perspectiva edafológica y botánica

1. 1. Cubiertas vegetales frente a la erosión y las pérdidas de agua

Las cubiertas vegetales mantienen el agua de lluvia evitando que se pierda por escorrentía. También ayudan a mantener el suelo gracias a sus raíces. De manera que, las cubiertas vegetales aportan humedad a la vez que brindan al suelo protección mecánica. (Borrelli *et al.*, 2020).

En un estudio de Del Moral-Lendínez, 2020, se observó que las cubiertas reducían la pérdida de suelo por erosión de manera significativa frente al suelo desnudo (Figura 2). Además, se ha determinado que las cubiertas vegetales son capaces de reducir la posibilidad de que un suelo padezca erosión hasta en un 75% (Del Moral-Lendínez, 2020).

Figura 2.: Pérdida de suelo en las 6 parcelas con cubierta y sin cubierta vegetal.



Fuente: Del Moral-Lendínez, (2020).

Los resultados mostrados en la figura anterior se corroboran con los obtenidos midiendo la huella erosiva. La huella erosiva se conoce como la cantidad de suelo que se pierde como consecuencia de realizar ciertas actividades y aplicar ciertas formas de laboreo para obtener las mayores rentas posibles. Dicha huella fue significativamente menor en las parcelas con cubiertas vegetales cubriendo la mayor parte del suelo (en torno a un 70% de media) y, aunque hubo casos en los que las cubiertas vegetales mostraron una mayor huella erosiva, es posible que pueda deberse a fenómenos externos al suelo como por ejemplo una baja producción de aceitunas. Como la huella erosiva se expresa en Kg de suelo perdido por Kg de aceituna, si un año hay muy poca producción, ese cociente será mayor. Es por ello, que la ecología como la economía van muy ligadas, de ahí la importancia de estudiarlas en conjunto y no ver los aspectos ecológicos y económicos por separado (Tabla 3).

Tabla 3.: Erosión y huella erosiva en las distintas zonas con y sin cubierta vegetal.

	Erosión (<i>Mg/ ha año</i>)	Huella erosiva (<i>kg suelo perdidos/ kg aceituna</i>)	Huella erosiva (<i>kg suelo perdidos/ kg aceite</i>)
La Isabelita CV	0.94	0.22	0.99
La Isabelita SV	2.41	0.93	4.185
Mata La Reguera CV	0.7	0.16	0.72
Mata la Reguera SV	2.1	0.75	3.375
El Chaparral CV	1.01	0.32	1.44
El Chaparral SV	3.44	1.3	5.85
La Palma CV	1.9	0.61	2.745
La Palma SV	1.76	0.55	2.475
El Gallo CV	2.2	0.96	4.32
El Gallo SV	4.7	3.13	14.085
Camino Real CV	2.6	0.57	2.565
Camino Real SV	2.3	0.74	3.33
	VALORES MEDIOS CV	0.473	2.13
	VALORES MEDIOS SV	1.23	5.55

Fuente: Del Moral-Lendínez, (2020).

A pesar de todo, hay ocasiones en las que es muy complicado utilizar cubiertas vegetales para los suelos erosionados porque están muy degradados. Es decir, son suelos muy compactos que se encuentran en pendientes elevadas o en lugares a los que apenas les llega las semillas de dispersión, por lo que se establecen condiciones muy difíciles para poder incorporar cubiertas vegetales que mitiguen las consecuencias de la erosión. Por ello, es necesario instalar cubiertas vegetales sembradas, siendo muy importante conocer qué plantas utilizar cuando se llega a estos puntos de pérdidas de suelo.

En un estudio de Peinado *et al.*, 2009, se observó que las especies que con mayor frecuencia se recurren para ello son de la familia *Poaceae*, dado que son plantas anuales y no presentan un gran crecimiento, por lo que no compite con el olivar. Entre las especies de esta familia destaca *Bromus hordeaceus* porque su semilla tiene una viabilidad del 99%. A continuación, le sigue la familia *Asteraceae*, cuya especies con mayores tasas de germinación final son *Leodonton longirrostris* con un 69% y *Calendula arvensis* con 59%. La familia que menos germinación fue la *Fabaceae* con una viabilidad del 7,3%, aunque hubo especies como *Medicago littoralis* que presentaron un porcentaje de germinación significativamente alto (18%) y al revés, especies que apenas germinaron como es el caso de *Erodium cicutarium* (1%) o *Scorpiurus muricatur*, que no llegaron a germinar (0%) (Tabla 4).

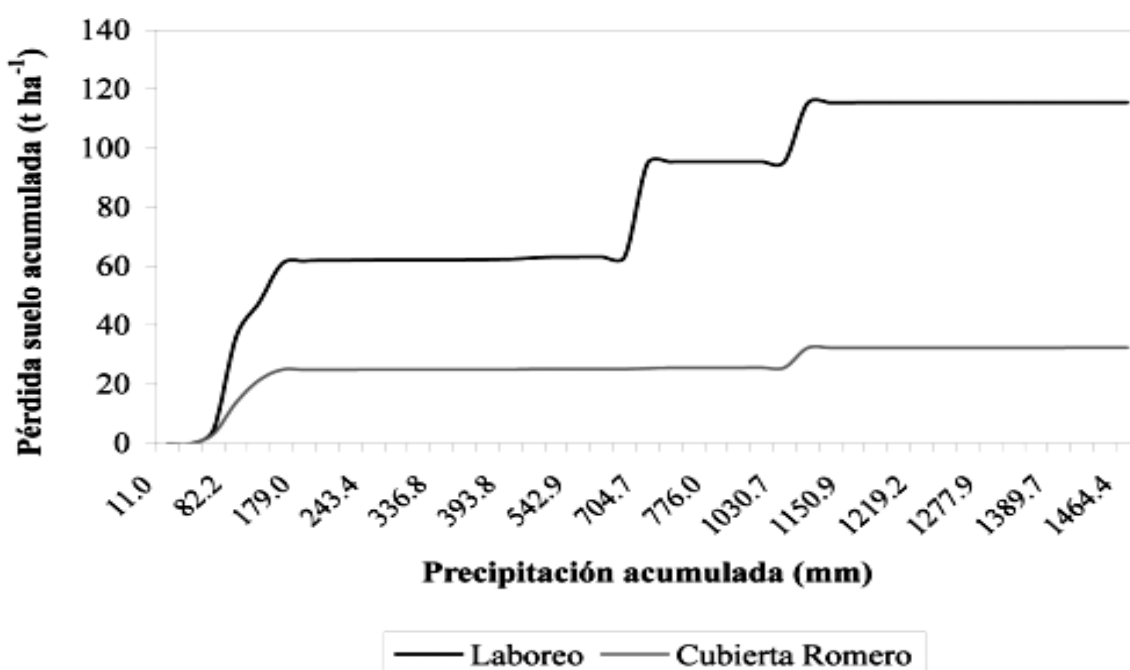
Tabla 4.: Germinación de algunas especies de las familias *Fabaceae*, *Asteraceae*, *Poaceae*, *Brassicaceae*, *Geraniaceae*, *Primulaceae* y *Papaveraceae*.

Familia	Especie	Germinación por réplica	Germinación por especie (%)	Germinación por familia (%)
<i>Fabaceae</i>	<i>Medicago rigidula</i>	1,5 ± 0,58	6	7,3
	<i>Medicago polymorpha</i>	1,25 ± 0,5	5	
	<i>Medicago littoralis</i>	4,5 ± 0,58	18	
	<i>Medicago minima</i>	1,25 ± 0,96	5	
	<i>Medicago doliata</i>	3,25 ± 0,5	13	
	<i>Medicago truncatula</i>	2,25 ± 2,06	9	
	<i>Medicago orbicularis</i>	3,25 ± 2,99	13	
	<i>Melilotus indicus</i>	0,25 ± 0,5	1	
	<i>Scorpiurus muricatus</i>	0 ± 0	0	
	<i>Astragalus hamosus</i>	0,75 ± 0,96	3	
<i>Asteraceae</i>	<i>Calendula arvensis</i>	14,75 ± 2,06	59	48,5
	<i>Anacyclus clavatus</i>	6,25 ± 5,68	25	
	<i>Leontodon longirostris</i>	17,25 ± 2,87	69	
	<i>Hedypnois cretica</i>	10,25 ± 3,69	41	
<i>Poaceae</i>	<i>Bromus hordeaceus</i>	24,75 ± 0,5	99	96,33
	<i>Bromus diandrus</i>	24,25 ± 0,96	97	
	<i>Bromus madritensis</i>	23,25 ± 1,26	93	
<i>Brassicaceae</i>	<i>Diplotaxis virgata</i>	5 ± 0,81	20	16,67
	<i>Diplotaxis erucoides</i>	1,75 ± 0,96	7	
	<i>Hirschfeldia incana</i>	5,75 ± 0,96	23	
<i>Geraniaceae</i>	<i>Erodium cicutarium</i>	0,25 ± 0,5	1	1
<i>Primulaceae</i>	<i>Anagallis arvensis</i>	9,75 ± 1,71	39	39
<i>Papaveraceae</i>	<i>Papaver rhoeas</i>	12,5 ± 1	50	50

Fuente: elaboración propia a partir de Peinado *et al.*, (2017).

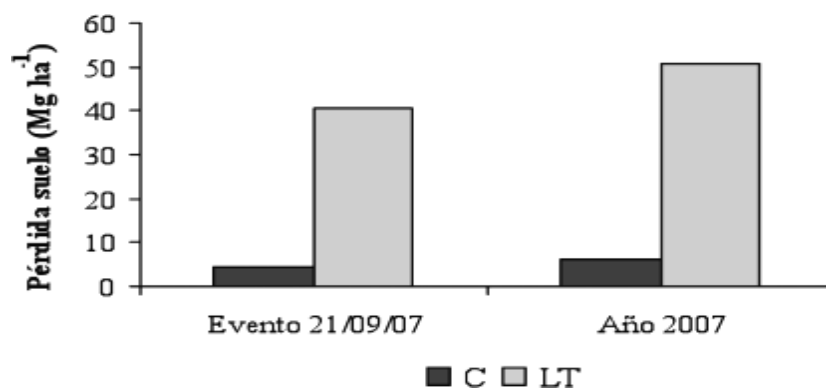
Sin embargo, en ocasiones puede existir competencia entre las cubiertas y el cultivo, como es el caso de las épocas en las que escasea el agua. En estas situaciones, se opta por realizar la siega química (mediante la aplicación de herbicidas) o mecánica, dejando los restos de poda o introduciendo ganado. Con este método no existe competencia, pero se sigue teniendo una mejoría frente a la erosión hídrica. Borrelli *et al.* (2020) observaron cómo las cubiertas influyen de manera muy positiva en la retención del suelo cuando este recibe el impacto de las gotas de lluvia. Estos resultados han sido muy similares cuando se han aplicado cubiertas como crucíferas, gramíneas o leguminosas (Saavedra & Pastor, 2002). Pero no solo protegen del impacto de la lluvia, sino que también evitan la aparición de las costras que se manifiestan en suelos mediterráneos y que actúan en favor de la erosión al incrementar los daños de las lluvias torrenciales (Kaye & Quemada, 2017).

Figura 3.: Impacto de las precipitaciones en suelos con cubierta vegetal y con laboreo tradicional.



Fuente: Borrelli *et al.*, (2020).

Figura 4.: Pérdida de suelo en una zona con cubiertas (C) y en una zona con laboreo tradicional (LT) en 2007.



Fuente: Borrelli *et al.*, (2020).

Además, teniendo en cuenta la gran cantidad de pendiente (hasta un 26,8% de la superficie total de olivar presenta una pendiente superior al 20%) que presenta el cultivo del olivar en Andalucía, un cultivo con una buena cobertura vegetales se antoja más imprescindible debido a que en terrenos con desnivel la erosión es mayor, al igual que la escorrentía del agua (Sánchez-Fernández *et al.*, 2020). Es por este motivo, por lo que estos territorios están más expuestos a la pérdida de suelo, de ahí que sea más importante si cabe tener un suelo con una buena cubierta vegetal para luchar contra estas condiciones (Alcántara *et al.*, 2009).

No obstante, no solo las cubiertas actúan evitando la erosión, sino que también brindan humedad al suelo. Se ha visto que la presencia de cubiertas vegetales hace que se retenga agua en el suelo reduciendo la evapotranspiración, por lo que este presenta mayor humedad (Parras-Alcántara *et al.*, 2016). Rose *et al.*, 2001, estimaron que en zonas áridas de Andalucía con un buen cuidado de las cubiertas vegetales y con cantidades cercanas al 0,1 Kg de rastrojo/m² se pueden llegar a obtener 27 L de agua/m² más de lo que se ingresa de agua. Por tanto, estos mayores abastecimientos de agua otorgan además de una mayor producción, una mayor calidad al fruto.

Aun así, hay que tener en cuenta que en los años en los que haya escasez de agua, las cubiertas vegetales se deben de matar con siega mecánica o bien mediante el tratamiento con herbicidas de baja intensidad para que no se reduzcan demasiado las reservas de agua de las capas superficiales del suelo.

Con esta actividad se garantiza que los cultivos venideros se asienten correctamente y no influya en la cantidad ni calidad del olivar (Ramos *et al.*, 2010). Cabe destacar que algunos de los tipos de siega que se aplican pueden ser compatibles con el pastoreo (López-Garrido, 2012). Cuando se lleva a cabo la siega mecánica se requiere de dejar en la superficie del suelo al menos un 30% de los residuos de las cubiertas para obtener un incremento del almacenamiento de agua en el suelo y una reducción en la transpiración, además de dejar buenas condiciones para las siguientes coberturas vivas. En el caso de que las condiciones no sean de sequía se pueden dejar las cubiertas hasta que lleguen a un estado de vigorosidad, ya que habría agua suficiente (Alonso-Ayuso *et al.*, 2014).

Además, en condiciones de sequía, cuando se realiza siega mecánica y se dejan los residuos en el suelo de una manera uniformizada, se favorecen procesos de descomposición que sirven para enriquecer el suelo con materia orgánica. A esto se suma que las cubiertas muertas facilitan también la conservación de agua y dificulta que aparezcan malas hierbas, porque al encontrarse el suelo cubierto, la luz no incide sobre él directamente, dificultando la proliferación de estas plantas (López-Garrido, 2012).

Para los cultivos que están en zonas de sequedad, una buena opción es utilizar especies de la familia *Brassicaceae* debido a que sus raíces pueden perforar el suelo compacto y llegar a zonas más hondas. No obstante, ante condiciones de sequía el maíz es mejor debido a que penetra a zonas más profundas. Sin embargo, dada la incertidumbre en cuanto a los fenómenos de precipitación, lo que se está haciendo es plantar coberturas de diferentes géneros para generar biodiversidad y, de esta manera poder garantizar resultados más o menos estables sin depender tanto de las condiciones climáticas. Por ejemplo, una buena combinación sería una leguminosa (como la soja (*Glycine max*)), ya que debido a su simbiosis con bacterias fijaría nitrógeno y evitaría su ausencia, y una planta del género *Brassicaceae* que permitiría explotar regiones profundas en busca de agua, a la par que permitiría tener un suelo lo suficientemente compacto como para evitar que tuviera pérdidas por erosión (Kaye & Quemada, 2017).

Sin embargo, no todas las especies de *Brassicaceae* responden igual. En un estudio de Alcántara *et al.*, (2009), en la campaña 2000-2001, la mostaza (mustard en la tabla

4) (*Sinapis alba*) mostró un 70% de cobertura y establecimiento, mientras que especies como el rábano (radish en la tabla 4) (*Raphanus sativus*) o el repollo violeta (violet cabbage en la tabla 3) (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) manifestaron un 40 y un 35% de desarrollo respectivamente. El resto de especies presentó una cobertura inferior al 20% (Tabla 5).

Tabla 5.: Emergencia (emergence), cobertura (coverage), tamaño (height) y biomasa (dry weight) de especies de la familia Brassicaceae en la campaña 2000-2001.

Species	Emergence		Coverage		Height (cm)	Dry weight (g·m ⁻²)
	Number of soils with seedling emerged/established	Mean (%)	Number of soils with coverage > 30%	Mean (%)		
Mustard	10	33,4 ± 6,8	10	73,9 ± 5,7	127,3 ± 11,4	624,3 ± 107,3
Rocket	10	3,4 ± 0,9	10	52,1 ± 6,5	87,7 ± 7,0	334,6 ± 84,7
Violet cabbage	100	14,1 ± 2,2	8	34,6 ± 5,2	72,3 ± 8,3	223,0 ± 71,2
Radish	10	17,1 ± 5,1	8	39,1 ± 6,0	114,8 ± 12,2	359,1 ± 100,5
Stubble turnip	10	10,2 ± 3,0	4	19,7 ± 4,3	110,5 ± 12,2	235,4 ± 122,7
Rapesed	9	11,6 ± 4,5	5	22,5 ± 5,1	111,3 ± 7,7	263,5 ± 86,8
Broccoli	7	9,7 ± 5,0	0	3,2 ± 1,2	21,9 ± 2,5	17 ± 8,1
Cabbage	9	4,1 ± 1,0	0	0	0	0
Cauliflower	6	11,4 ± 9,1	0	0	0	0
Turnip	0	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia a partir de Alcántara *et al.*, (2009).

Sinapis alba y *Raphanus sativus* alcanzaron una altura superior a 1 metro, siendo las especies más altas y, en el caso de *Sinapis alba* se reflejó los valores más altos de biomasa, 624,3 g/m², dato que es el doble que el resto de especies de brasicáceas estudiadas. Por otro lado, la mayor relación C/N fue para la colza (*Brassica napus*), 34 (Tabla 4). Esta relación C/N se utiliza para calcular la degradación, es decir, la velocidad y la estabilidad de los desechos de las cubiertas vegetales ante la degradación. La relación C/N actúa como indicador de la calidad de la materia orgánica del suelo. Una relación baja, indicaría que el contenido en nitrógeno es alto y el de materia con lignina bajo, algo ideal para el humus. Por el contrario, cuando se da el caso opuesto, el humus no es tan elaborado, como consecuencia de producirse un efecto un efecto acidificante.

En la campaña siguiente los datos fueron distintos pues, todas las especies a excepción de la rúcula (rocket en la tabla 4) (*Eruca vesicaria*) tuvieron un establecimiento menor, siendo *Raphanus sativus* el que menor cobertura presentó con un 4% aproximadamente. Ese menor desarrollo de las plantas, se tradujo también en un menor crecimiento siendo el valor más alto de unos 40 cm, volviendo a ser alcanzados por *Sinapis alba* (Tabla 6).

Tabla 6.: Emergencia (emergence), cobertura (coverage), tamaño (height) y biomasa (dry weight) de especies de la familia Brassicaceae en la campaña 2001-2002.

Species	Emergence		Coverage		Height (cm)
	Numer of soils with seedling emerged/established	Mean (%)	Number of soils with coverage >30%	Mean (%)	
Mustard	13	28,1 ± 6,8	9	44,9 ± 10,5	41,5
Rocket	13	9,4 ± 1,9	7	30,1 ± 9,2	20,4
Violet cabbage	13	5,3 ± 1,1	4	15,4 ± 5,3	29,8
Radish	12	8,1 ± 3,0	1	3,7 ± 1,7	14

Fuente: elaboración propia a partir de Alcántara *et al.*, (2009).

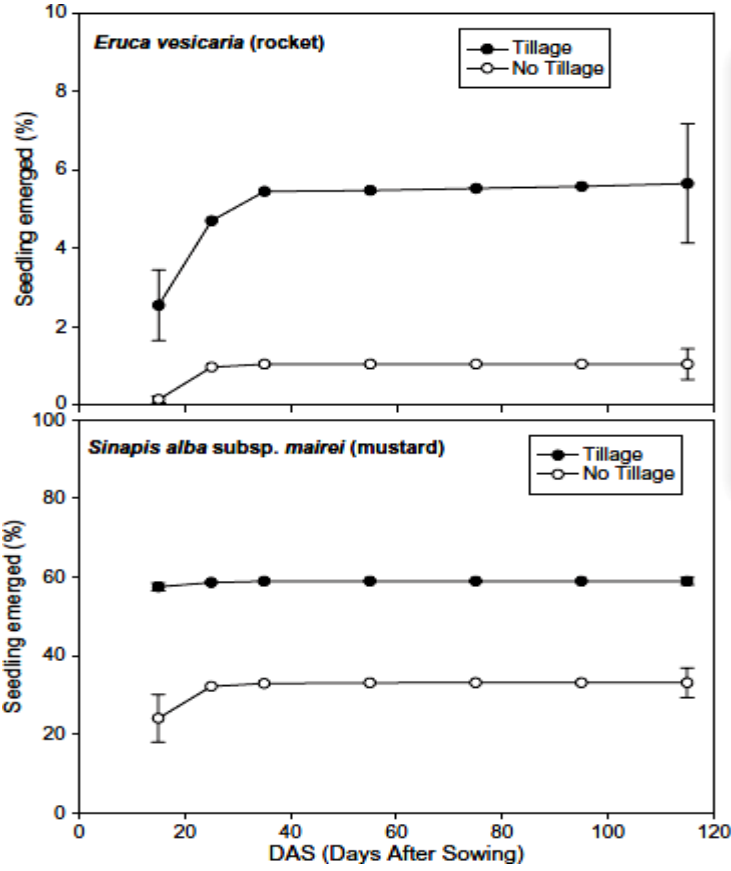
Alcántara *et al.*, 2009 concluyeron que estas diferencias entre campañas pudieron deberse a las semillas utilizadas en la primera campaña en comparación con la segunda. Otra de las razones por las que en la segunda campaña tuvo una menor cobertura pudo deberse a las condiciones climáticas, ya que, en la segunda campaña se dieron días con heladas. A estas condiciones climáticas hubo que sumarle una mayor depredación de las semillas por parte de las hormigas, lo que sumado a un menor número de estas, hace que se note aún más la depredación. Por tanto, es necesario elegir el tipo de cobertura no solo en función de las ventajas que aporten al suelo desde el punto de vista de erosión, evaporación, etc, sino tener en cuenta factores como la resistencia a depredadores tales como las hormigas, conejos y demás tipos de animales (Alcántara *et al.*, 2009).

Tanto la altura como la biomasa también pueden ser un hándicap, porque puede dificultar las labores que el agricultor realice en su cultivo. Es por ello, por lo que se requiere controlar estos factores, por ejemplo, utilizando siega mecánica. En el caso de la biomasa, el problema que puede presentar es la competencia por el agua con el cultivo. Sin embargo, la biomasa aporta más ventajas que inconvenientes porque juega un papel crucial en la defensa del suelo frente a la erosión, además de otorgar una gran cantidad de nutrientes al cultivo cuando se eliminan (Saavedra & Pastor, 2002).

También se observaron diferencias en función del tratamiento recibido por el suelo. Es decir, *Sinapis alba* y *Eruca vesicaria* tuvieron una mayor emergencia en suelos que fueron manejados antes de su siembra, llegando a valores del 60%, siendo este valor la mitad en suelos que no fueron labrados (Figura 5). A esto hay que añadir la profundidad en la que se plantaron esas semillas, pues cuanto más profunda fue, menor emergencia presentaron. En el caso de *Eruca vesicaria*, plantada superficialmente (a 0 cm) mostró una emergencia del 20% y del 50% para *Sinapis alba*.

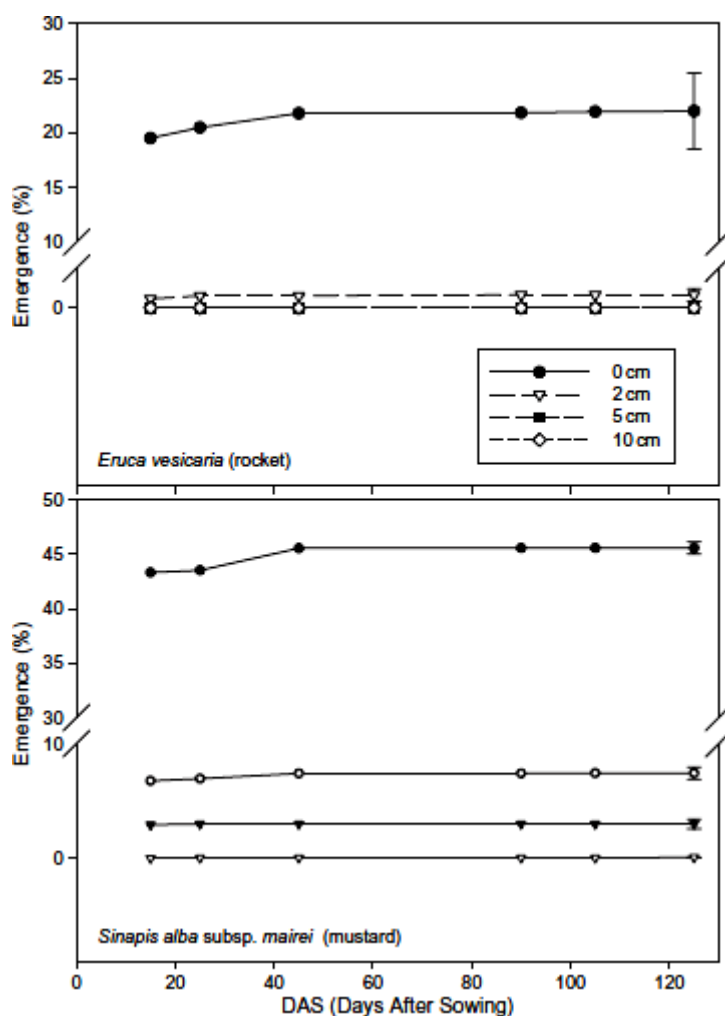
Por el contrario, *Eruca vesicaria* sembrada a 2 cm de profundidad menguó su porcentaje de emergencia al 0,5%, siendo nulo a partir de 5 cm, mientras que, *Sinapis alba*, a pesar de reducirse mucho su porcentaje de emergencia a esas profundidades, sí que mostró algo, se habla un 3% a 5 cm de profundidad y de un 0,07% a 10 cm (Figura 6) (Alcántara *et al.*, 2009). Esto ocurre por el tamaño de las semillas, las más grandes pueden emerger a una mayor profundidad (Sarrantonio, 2000). Además, a menor profundidad se da mayor emergencia, debido a que se requiere de menos energía para que progrese el desarrollo de la semilla, si bien, están más expuestas a fenómenos ambientales como precipitaciones o depredadores. Aunque estén expuestas a estos factores es mejor no sembrar a profundidades superiores a 2 cm ya que el rendimiento en cuanto a la emergenciamiento ve muy mermado (Saavedra &, 2002). Estos resultados también se han visto con otras especies que presentan unas semillas con un tamaño parecido al de estas especies (*Eruca vesicaria* y *Sinapis alba*), lo que hace indicar que efectivamente, a mayor superficialidad mejor se desarrollan las semillas y, por tanto, más óptimo es el rendimiento de las coberturas (Hakansson, 2003).

Figura 5.: Porcentaje de emergencia en función del manejo del suelo (labrado (tillage) y (no labrado(no tillage)) para las especies *Eruca vesicaria* y *Sinapis alba*.



Fuente: Alcántara *et al.*, (2009).

Figura 6.: Porcentaje de emergencia en *Eruca vesicaria* y *Sinapis alba* en función de la profundidad en la que se plantaron las semillas.



Fuente: Alcántara *et al.*, (2009).

La rápida y gran emergencia que se dio con plantas de esta familia (*Brassicaceae*), hace que estas plantas sean muy útiles como cubiertas vegetales, debido a la competitividad que tienen con otras especies de invierno. No obstante, especies como las cultivadas, como es el caso del brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*), repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*) o nabo (*Brassica rapa* subsp. *rapa*) mostraron una emergencia menor de la que en un principio había pensar. El inconveniente de estas especies de brasicáceas es que, al presentar una emergencia tan pobre, no son óptimas para formar coberturas, a pesar de que se les incrementara el número de semillas (Alcántara *et al.*, 2009).

El hecho de que las especies cultivadas tuviesen peores respuestas que las coberturas vegetales silvestres es normal ya que las cubiertas silvestres son especies típicas de esas zonas, por lo que están mejor adaptadas a las condiciones de ese sitio tanto climáticas como las condiciones edafológicas de esas regiones. Por ejemplo, *Brassica oleracea* var. *italica* o *Brassica oleracea* var. *capitata* son especies que dependen mucho de las condiciones del suelo, concretamente de su textura pues, son plantas que crecen mejor en suelos con más contenido en arena que los del olivar, de ahí que no tuvieran una cobertura tan densa como por ejemplo la mostaza (*Sinapis alba*). Esto no quiere decir que no se puedan usar como cubiertas vegetales en el cultivo del olivar obteniendo buenos resultados, al contrario, son plantas muy óptimas, sin embargo, no son las mejores (Maroto, 2002).

Especies como *Sinapis alba*, *Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra* y *Raphanus sativus* son cultivos que como cubiertas vegetales son muy útiles desde el punto de vista de la evaporación. Esto se debe a que son cultivos que presentan gran densidad y una buena capacidad de enraizamiento, de ahí que reduzcan y sean tan útiles para evitar las pérdidas de evaporación (Sarrantonio, 2000).

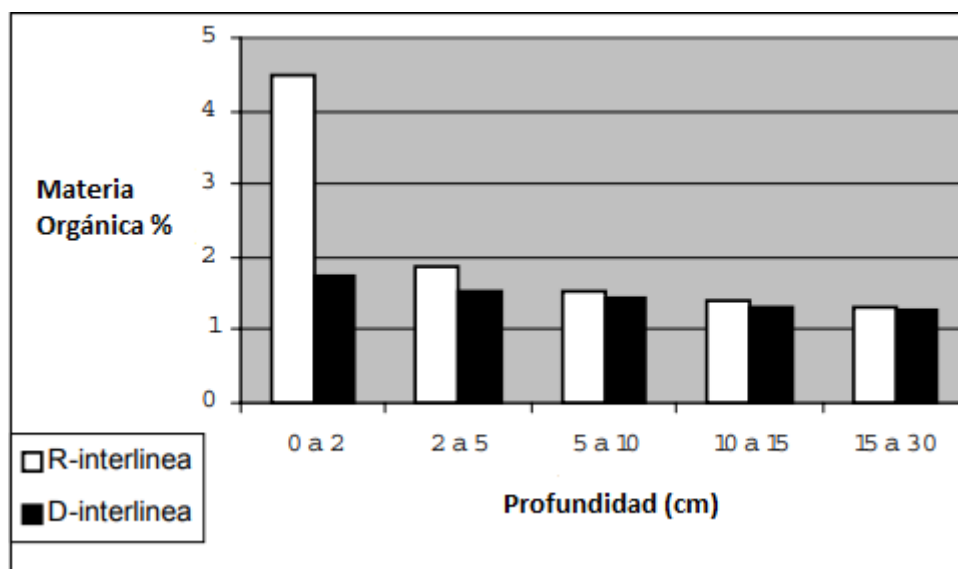
Estos resultados obtenidos deben de ser muy tenidos en cuenta, ya que cada vez hay menos precipitaciones y las que hay son más severas, a lo que añadir el incremento progresivo de temperatura que se está produciendo (Zamora *et al.*, 2015). Estos cambios están provocando escorrentías más fuertes que pueden propiciar una pérdida de suelo más acelerada. Además, al existir cada vez condiciones de mayor sequedad y, en el caso del olivar andaluz situarse en condiciones con poca humedad, veranos secos y calurosos y no demasiadas precipitaciones, los suelos presentarán cada vez mayor pérdida de agua por evapotranspiración. De esta forma, si no se aplican cubiertas vegetales, los daños que padecerán los suelos pueden ser de una importancia terrible (Borrelli *et al.*, 2020).

1. 2. Cubiertas vegetales y propiedades físico-químicas

La presencia de cubiertas vegetales en las calles provoca que se incremente el contenido en materia orgánica, por lo que ayuda a mejorar la fertilidad de los suelos. A ese incremento de la fertilidad del suelo también contribuyen las micorrizas (Paiola *et al.*, 2020). Ello se debe a que al existir las cubiertas vegetales existe un mayor número de raíces con las que poder formar simbiosis, de manera que esto contribuye con una gran aportación de nutrientes que ayudan a la formación del suelo (Winter *et al.* 2018).

Incluso cuando la cubierta vegetal corresponde a restos de poda, también se observa un incremento de la materia orgánica presente en el suelo, especialmente en los dos primeros centímetros de profundidad. A medida que va creciendo la profundidad las diferencias en la cantidad de materia orgánica va disminuyendo, debido a que la cantidad aportada no es tan alta como para alterar la composición del suelo, de ahí que no se aprecien apenas diferencias entre el suelo con cubierta y el suelo desnudo (Figura 7) (Ordóñez *et al.*, 2001).

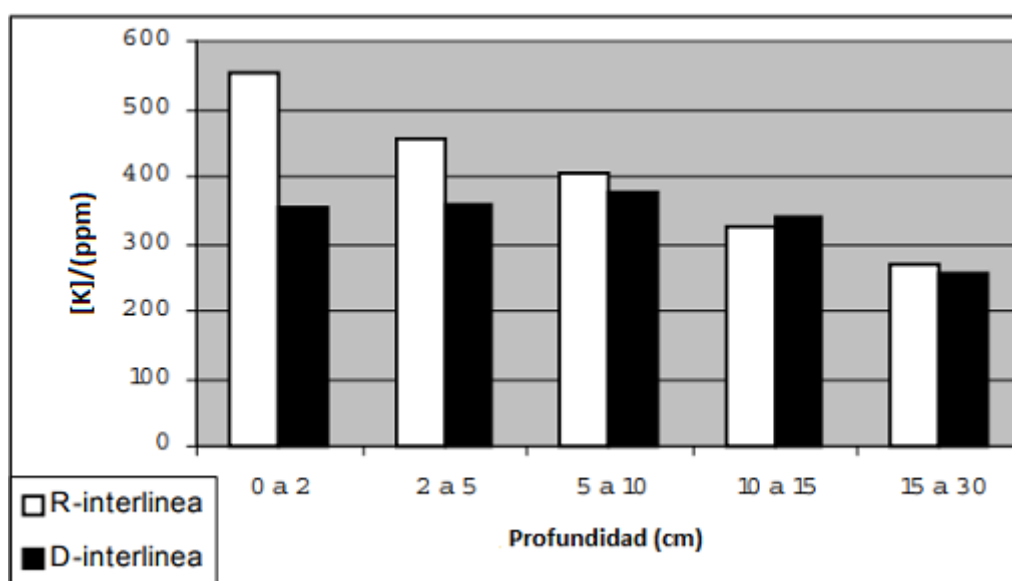
Figura 7.: Porcentaje de materia orgánica en el suelo con restos de poda (R-interlínea) o suelo desnudo (D-interlínea) a distintas profundidades.



Fuente: Ordóñez *et al.*, (2001)

Los resultados de Ordóñez *et al.*, 2001 muestran que el contenido en potasio mostró diferencias reseñables en los primeros cinco centímetros de profundidad. Esto pudo deberse a que en estas zonas es donde hay mayor contenido en materia orgánica, también se produce una mayor mineralización y, como en el cultivo sin cubiertas el contenido en materia orgánica es más homogéneo, apenas se aprecian diferencias en la concentración de potasio en el suelo (Figura 8).

Figura 8.: Cantidad de potasio con los tratamientos con cubierta vegetal (R-interlínea) y con el suelo desnudo (D-interlínea) en función de la profundidad.

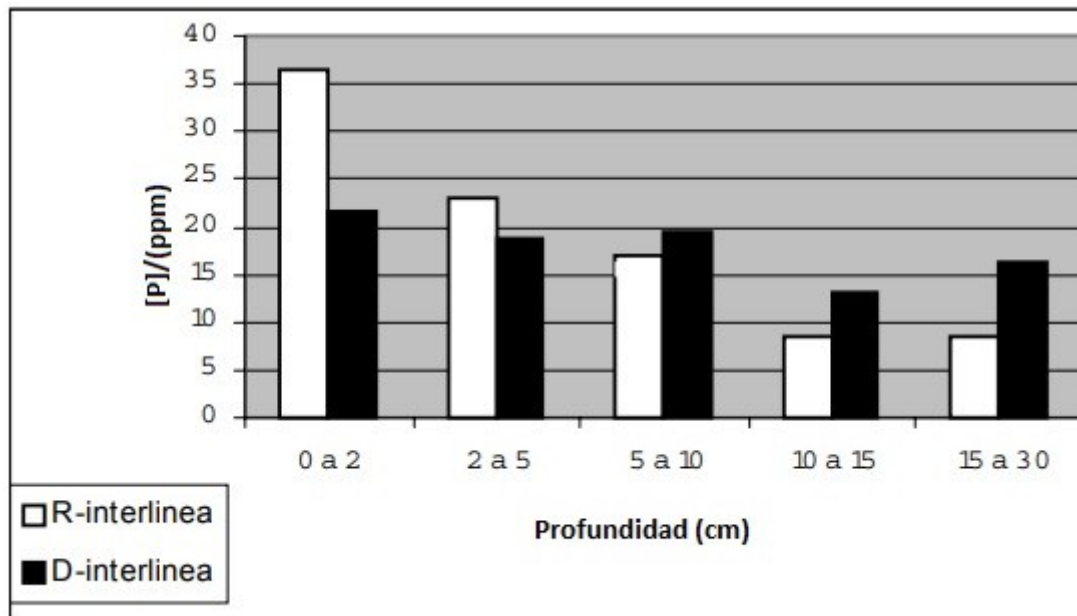


Fuente: Ordóñez *et al.*, (2001).

Respecto al fósforo, la tendencia es muy similar a la del potasio. Es decir, el tratamiento con cubiertas ha dado un mayor resultado sobre todo en las zonas más superficiales, y experimentando un descenso a medida que se iba descendiendo en profundidad. No obstante, en el olivar con cubiertas, las pérdidas de fósforo en función de la profundidad han sido mayores pues, en el olivar con cubiertas las pérdidas llegaron a ser de 22 ppm, mientras que en el olivar con el suelo desnudo se llegó a perder la mitad. Esto puede haber sido provocado por la poca movilidad del fósforo, de manera que, si casi todo el fósforo permanece en las capas superficiales, cuando se descende la diferencia va a ser mayor. Sin embargo, como en el olivar con el suelo

desnudo al no haber cubiertas, no hay ese aporte extra de fósforo, por lo que las pérdidas a medida que se incrementa la profundidad van a ser menores (Figura 9).

Figura 9.: Cantidad de fósforo con los tratamientos con cubierta vegetal (R-interlínea) y con suelo desnudo (D-interlínea) en función de la profundidad.



Fuente: Ordóñez *et al.*, (2001).

El contenido en nitrógeno también se ve favorecido en los primeros centímetros de suelo al igual que los otros nutrientes, observándose diferencias significativas entre los tratamientos con cubierta (tanto en las calles como debajo del olivo) y los tratamientos con suelo desnudo. Al igual que pasaba con los otros nutrientes, el contenido volvió a disminuir con la profundidad hasta encontrar cierta estabilidad (Tabla 7).

Tabla 7.: Porcentaje de nitrógeno a diferentes profundidades y con tratamientos con cubierta vegetal bajo la copa (R-copa) y en las calles (R-interl.) y con suelo desnudo bajo la copa (D-copa) y en las calles (D-interl.).

Profundidad	R-copa	R-interl.	D-copa	D-interl.
0 a 2 cm	0.28 a	0.33 a	0.14 a	0.13 a
2 a 5 cm	0.14 a	0.13 a	0.11 a	0.11 a
5 a 10 cm	0.10 a	0.10 a	0.10 a	0.10 a
10 a 15 cm	0.10 a	0.09 a	0.10 a	0.10 a
15 a 30 cm	0.09 a	0.09 a	0.09 a	0.10 a

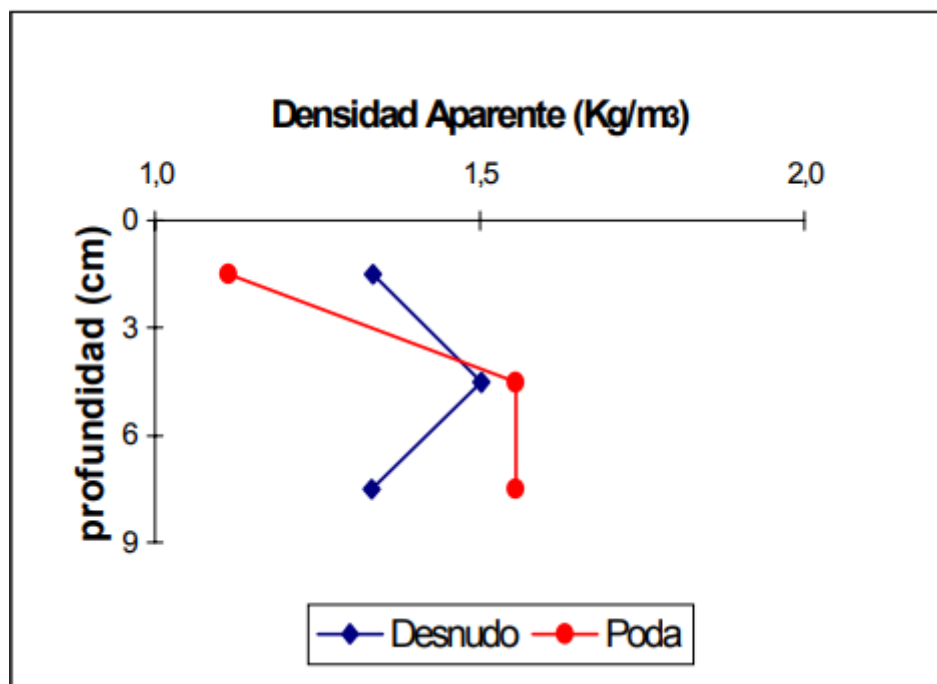
Fuente: Ordóñez *et al.*, (2001).

En cualquier caso y, viendo estos resultados, con las cubiertas vegetales se han incrementado nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio, nutrientes esenciales para el crecimiento del cultivo. De manera que, el hecho de dejar las cubiertas vegetales y los restos de poda ayudan a incrementar la fertilidad del suelo y, por tanto, el trabajar con cubiertas vegetales es una muy buena apuesta para cultivar el olivar, porque se le aportan nutrientes sin necesidad de tener que invertir en abonos. Asimismo, cuando bajo la copa se dejan cubiertas vegetales, también se obtienen resultados muy similares en lo que al perfil de estos nutrientes se refiere. Sin embargo, se hace muy complicado la recolección, a lo que hay que añadir que entra con el olivar en competencia por el agua y los nutrientes y, si se encuentra en un lugar en el que las condiciones son secas, puede perjudicar más que ayudar, de ahí que estos resultados y discusión se centren en las cubiertas vegetales colocadas en las calles, ya que es la manera de manejo del olivar con la que se obtienen resultados más positivos para con el propio olivar y el ambiente (Ordóñez *et al.*, 2001).

Ordóñez *et al.* , 2001 mostraron en su estudio que la densidad aparente del suelo mostró mejores resultados en los primeros centímetros de suelo en la zona con cubierta que la región con suelo desnudo, si bien, a medida que iba creciendo la profundidad, la densidad aparente era prácticamente la misma y, en el caso de la zona con cubierta vegetal se notó la diferencia de manera significativa de cuándo esta dejó

de tener efecto en la densidad aparente, ya que en unos centímetros de profundidad aumentó de manera considerable. El hecho de que con la cubierta se diera una densidad aparente baja es muy favorable para el suelo, ya que valores bajos de densidad aparente indican que los suelos se encuentran bien aireados, presentan un buen drenaje y son suelos porosos. Por tanto, la densidad aparente es un atributo del suelo muy a tener en cuenta, debido a su influencia en factores como la retención del agua o la transmisión de calor o de gases. Esta disminución de la densidad aparente en las capas superficiales del suelo es posible relacionarla con la mayor cantidad de materia orgánica detectada en esas profundidades, con lo cual, la materia orgánica no solo actúa en favor de la fertilidad, sino que lo hace también con factores como la densidad aparente (Figura 10).

Figura 10.: Densidad aparente en función de la profundidad en los cultivos con cubierta vegetal y con suelo desnudo.



Fuente: Ordóñez *et al.*, (2001).

La densidad aparente se relaciona con la resistencia a la penetración que presenta un tipo de suelo u otro. En el caso del suelo con cubierta la resistencia a la penetración fue menor, lo que indica que su estructura es mejor que la del suelo desnudo (tal y como ya indicaba la densidad aparente) al menos en las capas superficiales, ya que se potencian características como el drenaje del suelo y disminuyen las pérdidas de agua por escorrentía. No obstante, a los 20 cm se equilibra y los suelos responden de manera muy parecida a la penetración. Es decir, al igual que como ocurría en el resto de aspectos evaluados, a medida que se incrementa la profundidad, no se observan diferencias entre un suelo desnudo y otro suelo con cubierta vegetal (Figura 11).

Figura 11.: Resistencia a la penetración de los suelos con cubierta y desnudo.

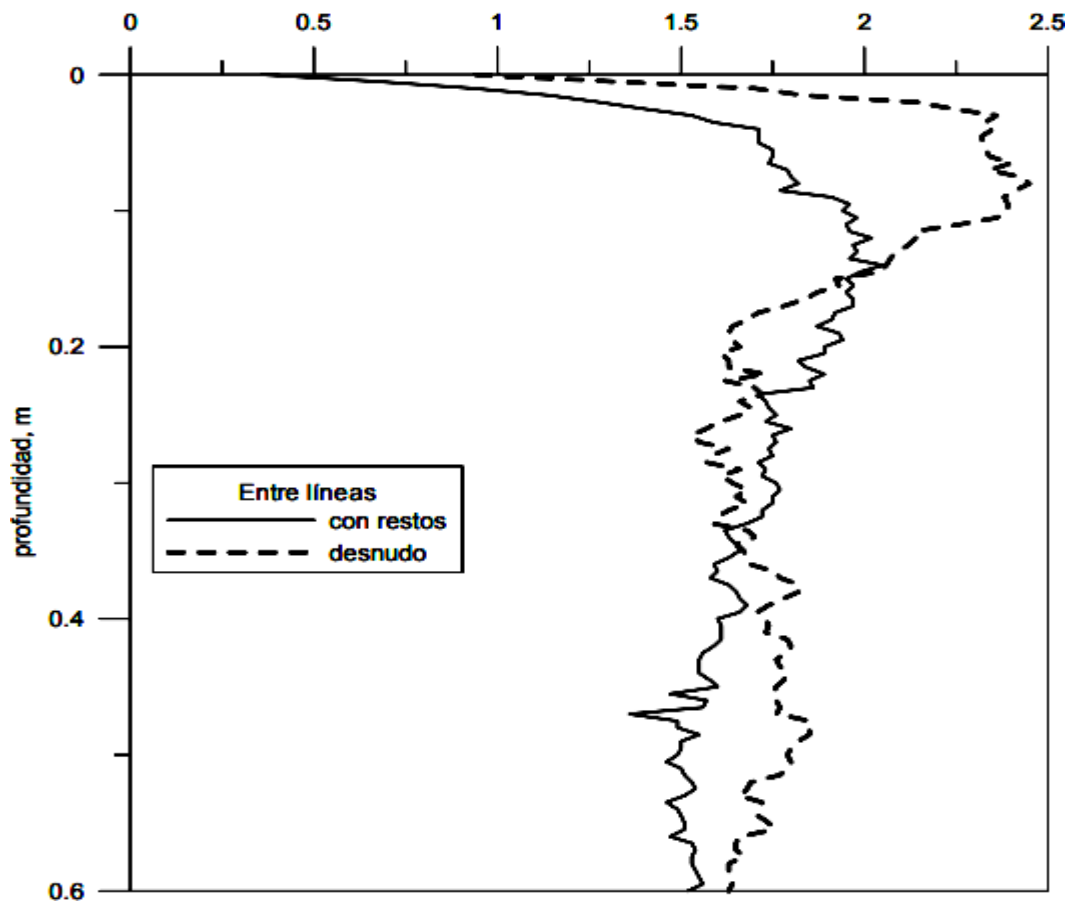


Figura: Ordóñez *et al.*, (2001).

1. 3. Cubiertas vegetales frente al cambio climático

1. 3. 1. Carbono

Otro de los elementos con bastante relevancia en el olivar es el carbono, el cual mediante el laboreo tradicional está sufriendo pérdidas de entre 1/3 y la mitad del carbono total del suelo. Esta pérdida ocurre por la fragmentación que origina la labranza, lo que provoca que se incremente la actividad en el suelo, dando lugar a la mineralización de la materia orgánica, lo cual radica en un motivo más de pérdida de suelo. La importancia del carbono es tal que una cantidad de carbono por debajo de la mínima (aproximadamente un 1%) puede comprometer el correcto funcionamiento del olivar (Rodríguez-Lizana *et al.*, 2007).

En la lucha contra los efectos del cambio climático, se ha visto que las cubiertas vegetales incrementan la retención del carbono en el suelo, siendo superior en suelos con temperaturas mayores como ocurre en suelos de la cuenca del Mar Mediterráneo. Estos resultados no mostraron resultados significativos para plantas leguminosas y no leguminosas (Kaye & Quemada, 2017).

Como se ha mencionado antes, la biomasa de los residuos de la cubierta vegetal juega un papel muy importante también en lo que al aporte de carbono al suelo se refiere. Hernanz *et al.*, (2009) descubrieron incrementos cercanos al 20% del carbono en el suelo en los 30 primeros centímetros del suelo cuando se cambió de laboreo tradicional a dejar las cubiertas vegetales. Transcurridos 10 años ese incremento también se acercó al 20%, además de aumentarse la profundidad hasta el medio metro, pudiendo llegar incluso en una década una diferencia de hasta un 75%.

Además, la cantidad de carbono también se relaciona con el tipo de suelo. Por ejemplo, comparando tres zonas diferentes (Castillo, Matallana y La Torre), se observa que donde el contenido de arcilla fue menor comparando cultivos concubierta nativa o sin cubierta (en este caso fue menor en Castillo), también se apreció un descenso en el contenido de carbono orgánico del suelo. Además, tal y como cabía esperar, en la zona en la que no hubo cubierta vegetal, hubo menor cantidad de materia orgánica inerte en el suelo, a consecuencia de esa ausencia de vegetales que la suministren (tabla 8).

Tabla 8.: Porcentaje de arcilla, cantidad de carbono orgánico del suelo (SOC) (en Mg C/ha), cantidadde materia orgánica inerte (IOM) (en Mg C/ha), cantidad de entrada de carbono modelada y tiempo de rotación en el caso del olivar tradicional.

Ubicación	Arcilla	SOC medido	OIM	Entrada C modelada	Tiempo de rotación
	%	(Mg C Ha ⁻¹)	(Mg C Ha ⁻¹)	(Mg C Ha ⁻¹ * año ⁻¹)	año
Castillo	32ab	14,7 ± 1,6a	1	0,46 ± 0,04a	29bis
Matallana	43bis	32,2 ± 2,8b	2,6	1,22 ± 0,10b	24ab
Torre	33c	21,9 ± 3,5c	1,6	1,06 ± 0,16b	19b
Significar		22,9 ± 8,0		0,92 ± 0,36	24 ± 5
ANOVA (F)	11,5	30,5		39,6	
Sig. (p)	0,009	0,001		<0,001	<0,001

Fuente: Elaboración propia a partir de Nieto *et al.*, (2013).

El contenido en arcilla es cierto que no ejerce una función directa como sí que lo puedan hacer otros factos, si bien, es un parámetro a tener en cuenta, ya que la arcilla ocasiona una mineralización del carbono orgánico del suelo, lo que desemboca en una emisión de carbono en forma de CO₂. Es por este motivo, por el que no se requiere de grandes suministros vegetales en suelos con un contenido relevante de arcilla para alcanzar unos valores de carbono orgánico en el suelo que se puedan asemejar a los valores obtenidos con mayor cantidad vegetal, pero otra textura del suelo como puede ser la arenosa. Por tanto, estos resultados ponen de manifiesto el papel que juega la protección física del suelo en lo que al contenido de carbono se refiere (Nieto *et al.*, 2011).

En general no se ha visto alterado el contenido de arcilla en ninguno de los sitios estudiados ni en función del manejo del cultivo llevado a cabo. Sin embargo, hay ocasiones en las que en una misma región, en función de un tipo de manejo u otro existen diferencias en cuanto a la concentración de valores de arcilla. Estas diferencias aparecen como consecuencia directa del tipo de cultivo llevado a cabo, es decir, cuando no hay cubiertas vegetales y se realiza el laboreo tradicional, el suelo como hemos visto anteriormente se encuentra desprotegido, llegando a sufrir efectos de la erosión y, por tanto, perdiéndose partículas del suelo, de ahí que aparezcan esas diferencias. A esto hay que sumar que, si el olivar se encuentra en pendiente, esas

pérdidas pueden ser más agravantes, sobre todo si se producen lluvias torrenciales, ya que, como se ha mencionado anteriormente, tendría lugar fenómenos de erosión hídrica que formarían cárcavas. Por ejemplo, la región de Castillo es la más susceptible a tener mayores pérdidas de erosión debido a la mayor inclinación que presenta su terreno (Tabla 9), hecho que se ve refrendado en la tabla anterior, donde se observa que la zona de Castillo es la que menor porcentaje de arcilla tiene de manera significativa ($p=0,009$). Estas diferencias entre los dos tipos de manejo pueden ser todavía más notorias si el cultivo con cubiertas vegetales tiene una alta densidad (Martínez *et al.*, 2006).

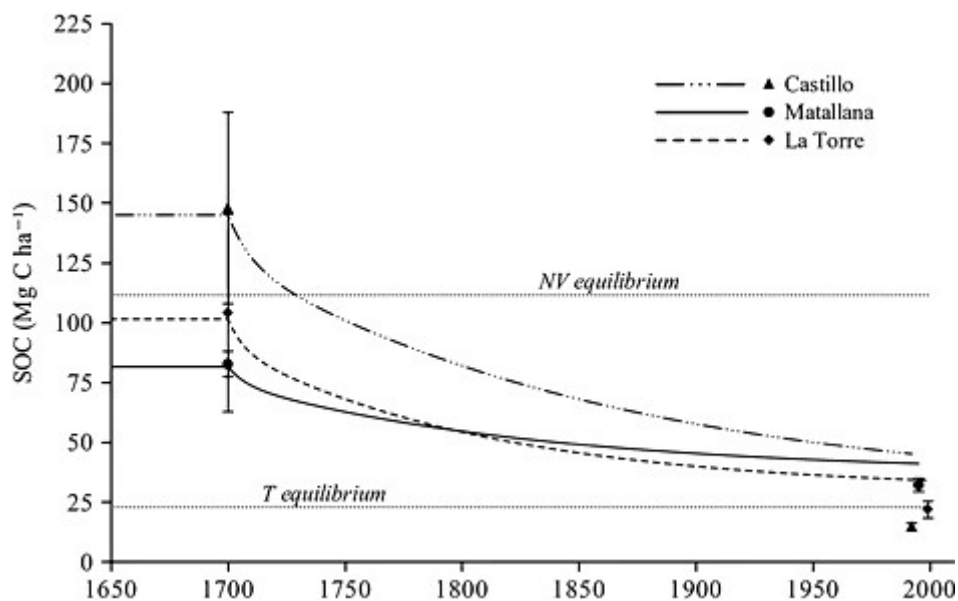
Tabla 9.: Temperatura media, precipitación anual, tipo de suelo, textura, altitud y porcentaje de desnivel.

Ubicación	Temperatura media (°C)	Precipitación (mm*año) ⁻¹	Tipo de suelo	Textura	Altitud (m. s. n. m.)	Pendiente (%)
Castillo	15,2	452	Calcisol vértico	arcilla limosa	720	10
Matalana	16	577	Calcisol vértico	arcilla/arcilla limosa	310	<4
Torre	17,1	454	Calcisol hipercálcico	marga arcillosa arenosa	410	6

Fuente.: Elaboración propia a partir de Nieto *et al.*, (2013).

No obstante, el efecto de la ausencia de cubierta vegetal, también aparece en el carbono orgánico del suelo, pudiéndose corroborar observando la figura 12. En dicha figura se observa cómo ha variado el contenido de carbono orgánico en el suelo con el paso de los siglos. En el caso de la zona de Castillo se llegaba a encontrar por encima del valor que el suelo con cubiertas nativas tenía en el equilibrio a finales del siglo XVII. Sin embargo, a finales del siglo XX, ya con unas cuantas décadas con el cultivo sin cubiertas implantado, se muestra que el nivel de carbono orgánico en el suelo ha sido aminorado considerablemente (Nieto *et al.*, 2013).

Figura 12.: Evolución del carbono orgánico en el suelo (medido en Mg C/ha) desde 1700 hasta el final del siglo XX (2000) en función del tipo de tratamiento del olivar, es decir, con el paso de presencia de cubiertas nativas a ausencia de estas.



Fuente: Nieto *et al.*, (2013).

Tras volver a implantar cubierta vegetal, se ha visto que volvieron a crecer los niveles de carbono orgánico en el suelo y, como era previsible, las zonas que presentaban una mayor degradación y menor cantidad de carbono orgánico en el suelo, experimentaron una diferencia en el crecimiento más acusada que los suelos que eran más ricos en carbono orgánico. Para ver la influencia de la cubierta vegetal se estudió el suelo a distintas profundidades (0-5 cm, hasta los 15 cm y hasta los 30 cm).

En el caso de la región más superficial, se entiende que el insumo de carbono procede de las cubiertas vegetales y no de las raíces, puesto que es una zona muy superficial. En la región intermedia, la cubierta empieza a cobrar menos relevancia respecto al total del carbono, como consecuencia de que las raíces comienzan a aportar carbono y, como motivo de ese aporte por parte de las raíces del olivar, apareció un mayor contenido en carbono que en la zona que va hasta los 5 cm de profundidad. Aun así, más de la mitad del carbono que entra se debe al papel de las cubiertas vegetales. Por último, el efecto de las cubiertas más sensible se dio en la región más profunda, donde las cubiertas vegetales aportaron entre un 30 y un 50% del carbono total añadido, debido a que las raíces del olivar se encuentran a una profundidad en la que

sí que son capaces de aportar carbono al suelo, de ahí que sea la zona de las 3 estudiadas donde más manifestaron su acción las raíces. Es decir, en este punto las raíces del olivo son las que juegan un cometido mayor a la hora de contabilizar los insumos de carbono (Tabla 10).

Tabla 10.: Entrada de carbono al suelo en las zonas de Castillo, Matallana y La Torre en las zonas diferentes en función de la profundidad (a. 0-5 cm, b. hasta 15 cm y c. hasta 30 cm).

Ubicación	Aportes de carbono al suelo (Mg C ha ⁻¹ año ⁻¹)					SOC medido (Mg ha ⁻¹)	Arcilla (%)
	Sobre el suelo		Bajo tierra		Total		
	Cultivo de cobertura	Olivo	Cultivo de cobertura	Olivo			
un. Entrada de carbono medida sobre el suelo para el cultivo de cobertura y modelado total para la capa de a) 0-5 cm. Las entradas de carbono subterráneas se calcularon como la diferencia entre la entrada total y la entrada sobre el suelo.							
Castillo	1,19 ± 0,48	0,32 ± 0,11	2,86 ± 0,57a	0	4,37 ± 0,57	24,3 ± 3,0	45
Matallana	1,74 ± 0,72	0,32 ± 0,11	0,98 ± 0,64ab	0	2,67 ± 0,78	16,5 ± 3,4	52
La Torre	2,01 ± 1,28	0,32 ± 0,11	0,83 ± 0,78b	0	3,16 ± 0,78	7,7 ± 1,0	25
Significar	1,69 ± 0,9		1,63 ± 1,17		3,40 ± 0,98		
Sig. (p)	0,099		0.028		0,070		
b. Se midieron los insumos de carbono sobre el suelo para el cultivo de cobertura y el modelado total para la capa b) de 0 a 15 cm. Las entradas de carbono subterráneas se calcularon como la diferencia entre la entrada total y la entrada sobre el suelo.							
Castillo	1,19 ± 0,48	0,32 ± 0,11	2,86 ± 0,57a	2,39 ± 0,42	6,76 ± 0,69	41,2 ± 3,6	46
Matallana	1,74 ± 0,72	0,32 ± 0,11	0,98 ± 0,64ab	1,21 ± 0,19	3,88 ± 0,78	30,5 ± 3,4	49
La Torre	2,01 ± 1,28	0,32 ± 0,11	0,83 ± 0,78b	3,03 ± 1,25	6,18 ± 1,97	19,1 ± 2,6	24
Significar	1,69 ± 0,9		1,63 ± 1,17	2,21 ± 1,04	5,61 ± 1,72		
Sig. (p)	0,099		0.028	0,069	0,072		
c. Se midieron los insumos de carbono sobre el suelo para el cultivo de cobertura y el modelado total para la capa c) de 0 a 30 cm. Las entradas de carbono subterráneas se calcularon como la diferencia entre la entrada total y la entrada sobre el suelo.							
Castillo	1,19 ± 0,48	0,32 ± 0,11	2,86 ± 0,57a	5,03 ± 0,73	9,39 ± 1,12	59,9 ± 5,8	46
Matallana	1,74 ± 0,72	0,32 ± 0,11	0,98 ± 0,64ab	2,84 ± 0,92	5,51 ± 0,91	49,4 ± 4,0	48
La Torre	2,01 ± 1,28	0,32 ± 0,11	0,83 ± 0,78b	5,73 ± 1,77	8,88 ± 2,42	33,6 ± 2,3	24
Significar	1,69 ± 0,9		1,63 ± 1,17	4,53 ± 1,68	7,93 ± 2,31		
Sig. (p)	0,099		0.028	0,064	0,050		

Fuente: Nieto *et al.*, (2013).

Ese mayor incremento en el carbono orgánico del suelo junto con una mayor presencia de superficie vegetal, propició que se diera una mayor respiración, debido a que las cubiertas vegetales cuando se descomponen dan lugar a restos orgánicos que establecen las condiciones idóneas para que proliferen microorganismos que son los que van a llevar a cabo dicha respiración heterótrofa. Esa mayor respiración fruto del aumento de los restos orgánicos, derivó en un flujo de carbono a la atmósfera más grande que cuando no hubo cubierta vegetal. Si bien, debido a la presencia de cubiertas vegetales, se produce una mayor fotosíntesis que actúa eliminando CO₂ de la atmósfera. De manera que, a pesar de las pérdidas por respiración, los valores de carbono orgánico en el suelo fueron altos, lo que indica que el ecosistema está sufriendo ganancias de carbono en el cómputo global (Tabla 11).

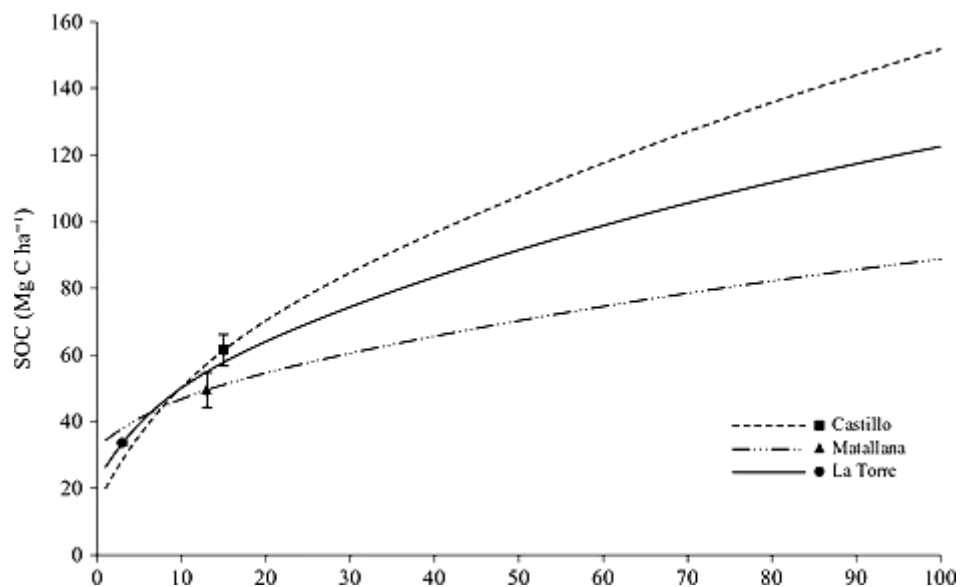
Tabla 11.: Aporte de biomasa y respiración heterótrofa del suelo, almacenamiento y fijación de carbono orgánico al suelo al principio (t=0) y transcurrido un año con cubierta vegetal (t=1) para las regiones de Castillo, Matallana y La Torre.

Ubicación	CO2 flujo (Mg CO2 ja-1 año-1)	Respiración heterótrofa del suelo	SOC (Mg C Ha-1)	Almacenamiento SOC	Fijación SOC
	Aporte de biomasa			(Mg Cha-1año-1)	
Castillo					
Tt=0	1,70 ± 0,14	-0,46	14,7 ± 1,6	5,35 ± 0,54	7,63 ± 0,99
CCt ± 1	34,47 ± 4,11	-5,25	20,1 ± 1,4		
Matallana					
Tt=0	4,49 ± 0,38	-1,22	32,2 ± 2,8	2,18 ± 0,48	3,63 ± 0,75
CCt ± 1	20,21 ± 3,35	-3,63	34,4 ± 2,9		
Torre					
Tt=0	3,89 ± 0,57	-1,06	21,9 ± 3,5	4,53 ± 1,25	6,48 ± 2,38
CCt ± 1	32,60 ± 8,88	-6	26,4 ± 2,3		
				4,02 ± 1,65	5,91 ± 2,06

Fuente.: Elaboración propia a partir de Nieto *et al.*, (2013).

La cantidad de carbono orgánico en el suelo, por tanto, depende de la biomasa del suelo, la cual no fue igual en las 3 ubicaciones, motivo por el que no se dieron los mismos resultados, pero sí los mismos comportamientos. En la siguiente figura (Figura 13), se puede ver cómo si se siguen implementando las cubiertas vegetales y se van manteniendo a lo largo de los años, optando así por esta vía de cultivo del olivar, se irá incrementando el contenido de carbono orgánico en el suelo. Con todo, no solo se incrementa la cantidad de carbono por el hecho en sí de tener un cultivo manejado con cubiertas vegetales, sino que ese mayor soporte y agarre que brindan las cubiertas vegetales al terreno, hace que las partículas y agregados que presenta el suelo no se pierdan por fenómenos como la erosión, por lo que no se pierde arcilla y, por tanto, puede ayudar también a la absorción de carbono en el suelo. Es decir, ocurre el caso inverso al mencionado anteriormente cuando se eliminó la cubierta vegetal nativa (Gómez *et al.*, 2009).

Figura 13.: Tendencia del contenido de carbono orgánico en el suelo en el periodo que abarca los 100 primeros años con olivares con cobertura vegetal.



Fuente: Nieto *et al.*, (2013).

Como se ven en estos resultados, para el contenido de carbono orgánico en el suelo influye no solo el tipo de suelo en el que se asiente el olivar, sino el manejo que se emplea. De manera que, una compensación entre uso y tipo de tierra es lo que ofrece las garantías de un cultivo que tenga un buen resultado en el tratamiento del carbono. Además, los resultados muestran que la mejor cubierta que se puede emplear es la que había originalmente, es decir, la cubierta nativa. No obstante, es mejor tener cubierta vegetal, aunque esta no sea nativa. Este hecho lo demuestran los pobres valores de carbono en los cultivos de suelo desnudo, debido a la escasa densidad de los cultivos en comparación a los cultivos que presentan cubierta vegetal (Nieto *et al.*, 2010).

El hecho de que los niveles de carbono fueran más bajos en el cultivo del olivar tradicional se debe a tres motivos que pueden darse de manera conjunta o separada. Los olivares con manejo tradicional sintetizan una cantidad de biomasa más alta de la que se ingresa, puesto que sumado a los restos poda quemada y retirada de estos y otros productos hace que el ecosistema no se encuentre con unos niveles óptimos de biomasa, por lo que el carbono orgánico del suelo se va a resentir. Esto además se ve potenciado porque no hay ningún aporte externo de biomasa vegetal, dado que en el laboreo tradicional se aplican herbicidas para evitar la germinación de cubierta vegetal (Nieto *et al.*, 2013).

Otro motivo que afecta a los niveles de carbono es la mineralización de materia orgánica, es decir, la materia orgánica sufre una serie de cambios que dan lugar a la formación de sales minerales, derivando en alteraciones en los patrones físico-químicos tales como la humedad, aireación, temperatura o acceso a nutrientes por microorganismos para que realicen reacciones de catálisis. De manera que, se modifica la estructura del suelo, sobre todo el horizonte A (donde se encuentra la materia orgánica), influyendo así en el descenso de los niveles de carbono en el suelo. Por lo cual, una buena cubierta vegetal al disminuir la erosión de los cultivos, reduce la mineralización, atenuando de esta manera las pérdidas de carbono orgánico del suelo (Paustian *et al.*, 2000).

El último motivo de ese menor contenido de carbono en este tipo de manejo del olivar se debe a la erosión, la cual provoca que los agregados del suelo se descompongan, favoreciendo aún más las pérdidas. Este aspecto se refleja en la zona de Castillo que, como aparece en la figura 8, es la que mayores pérdidas de carbono ha protagonizado a lo largo de estos últimos siglos, coincidiendo con el terreno que más desnivel presente (como se comentó en párrafos anteriores) (tabla de desnivel), lo que provoca mayores pérdidas de erosión y, por tanto, de carbono (Nieto *et al.*, 2013).

Con todo, hay diferentes maneras de gestión de las cubiertas, cada una de ellas con diferentes resultados. Cuando se utilizan cubiertas vegetales, pero se procede a eliminarlas mediante una gestión ecológica como es la de introducir animales para que realicen el pastoreo y, de esta forma evitar la competencia de las cubiertas con el olivar en épocas más secas, los niveles de carbono orgánico en el suelo llegaron hasta un 7%. Sin embargo, cuando se dejan las cubiertas o se aplica siega mecánica, pero sin retirar la cubierta, los crecimientos rondan el 50%. Si bien, hay excepciones como utilizando *Avena sativa* (avena) combinada con *Vicia sativa* (veza) en la que el incremento se aproxima a un 55%, o empleando *Avena sativa* de manera exclusiva, en la que se llega a un auge de un 66% de carbono orgánico en el suelo (Ramos *et al.*, 2010).

Los datos obtenidos muestran valores de carbono orgánico en el suelo y una fijación de carbono alta en comparación con otros trabajos realizados en otras zonas (Nieto *et al.*, 2010). Con todo, estos resultados son normales porque en el sur de España (Andalucía) al darse condiciones donde hay poca cantidad de carbono orgánico y veranos con muy poca pluviometría y altas temperaturas, se logra que la materia orgánica sea más complicado descomponerla, por lo que hay tasas de respiración heterótrofa bajas, de manera que, al no existir mucha pérdida de carbono por respiración, se consiguen incrementos de carbono más rápidos y más altos (Nieto *et al.*, 2013).

Midiendo las biomásas de los desechos de cubiertas vegetales de diferentes especies durante varios años, se observó que *Brachypodium*, seguida de *Sinapis*, *Eruca* y las demás especies surgidas fueron los residuos que mayor biomasa generaron. En el caso de la segunda campaña, *Brachypodium*, *Eruca*, especies espontáneas y *Sinapis* fue el orden de mayor a menor generación de biomasa.

Además, llegó a haber más biomasa que en la campaña anterior, debido a un mayor índice de siembra y a un incremento de las precipitaciones. Sin embargo, cuando no es necesario eliminar las cubiertas debido a las buenas condiciones climáticas, los niveles de biomasa residual son, por tanto, menores. No obstante, unas buenas condiciones climáticas dan lugar a mayores tasas de descomposición por parte de los microorganismos. Por tanto y, atendiendo a estos resultados, *Brachypodium* es de las especies que mayor carbono puede aportar al suelo, ya que al tener mayor biomasa, es capaz de brindar más carbono orgánico, lo que se traduce en una notoria mejora de la estructura del suelo, además de incrementarse la fertilidad de este (Ruibérriz *et al.*, 2012).

No obstante, no todas las especies se comportan igual en lo que a la duración de sus ciclos se refiere. Por tanto, si se tiene una cubierta vegetal con un contenido de especies variado se logrará un mayor secuestro de carbono, dado que cuando haya especies que no realicen esta función con una gran eficacia, habrá otras que sí que lo hagan. De esta manera, se asegura que siempre haya un secuestro de carbono óptimo (Winter *et al.*, 2018).

Otro componente que se emite en gran cantidad a la atmósfera fruto de los cultivos agrícolas es el óxido nitroso (N_2O), un compuesto con un poder de calentamiento casi 300 veces superior al dióxido de carbono (CO_2) (Stocker *et al.*, 2014). El óxido nitroso se libera por la desnitrificación del nitrato NO_3^- . El proceso de desnitrificación se produce (entre otros motivos) cuando se realiza una respiración heterótrofa, lo cual provoca que haya un aporte considerable de carbono que deriva en la desnitrificación (Mitchell *et al.*, 2013). De hecho, Basche *et al.*, (2014) observaron que no existían diferencias significativas en el contenido de óxido nitroso entre los cultivos con cubiertas y los que no tenían coberturas.

1. 3. 2. Nitrógeno

En cuanto a los nitratos que se filtran, se ha visto que las cubiertas vegetales disminuyen la lixiviación de nitrógeno, aunque no de igual manera. En concreto, las cubiertas de plantas no leguminosas reducen la lixiviación de nitrógeno hasta en un 70% mientras que las leguminosas lo hacen en un 40%. Sin embargo, cuando se quiso ver los resultados en territorios de regadío, se observó que las únicas cubiertas que fueron capaces de reducir la lixiviación fueron las plantas no leguminosas, las cuales redujeron la lixiviación en un 50% (Quemada *et al.*, 2013).

Otra ventaja de utilizar cubiertas vegetales en los cultivos es que se pueden disminuir el uso de fertilizantes de nitrógeno ya que las cubiertas aportarían contenido en materia orgánica y actuarían como fertilizante. Shapiro *et al.*, (2008) sugieren que cada década las cubiertas vegetales (independientemente del tipo), incrementan la concentración de materia orgánica un 0,3%, provocando una reducción de fertilizantes de nitrógeno en 1 g/m²*año como consecuencia de la mineralización del nitrógeno partiendo de esa materia orgánica. No obstante, se llegaría a un estado estacionario de almacenamiento de carbono y nitrógeno aproximadamente a los 50 años, por lo que se estaría hablando de una cantidad máxima que rondaría los 5 g de nitrógeno/m²*año. De manera que, en función de la duración de la cobertura, la cantidad de fertilizantes de nitrógeno que se puede reducir oscila entre 0-5 g de nitrógeno/m²*año (Kaye & Quemada, 2017).

Aun así, no toda la materia orgánica es igual, es decir, es necesario conocer cuál es la calidad de esa materia orgánica. Para ello se utiliza la relación C/N actúa como indicador de la calidad de la materia orgánica del suelo. Una relación baja, indicaría que el contenido en nitrógeno es alto y el de materia con lignina bajo, algo ideal para el humus. Por el contrario, cuando se da el caso opuesto, el humus no es tan elaborado, como consecuencia de producirse un efecto un efecto acidificante. Un tipo de cubiertas cuyos desechos presentan una gran relación C/N son las cubiertas vegetales de la familia *Brassicaceae*, mencionadas anteriormente (Chaves *et al.*, 2004).

1. 3. 3. Metano

En el caso del metano (CH_4) no se tienen muchos datos sobre lo que las cubiertas pueden aportar para combatir contra las emisiones de este gas. Si bien, los estudios actuales muestran que no existen diferencias significativas entre utilizar cubiertas vegetales (sin importar el tipo) o no, todos los tratamientos se comportan como un sumidero pequeño (Sanz-Cobena *et al.*, 2014). Incluso realizando modificaciones en el cuidado de los tratamientos como fue modificar las concentraciones de fertilizante, no se encontraron diferencias significativas, extrayéndose conclusiones parecidas a las de Sanz-Cobena *et al.*, (2014) (Guardia *et al.*, 2016). Por tanto, a día de hoy no se puede afirmar que las coberturas vegetales aporten alguna ventaja para mitigar el efecto del metano.

1. 3. 4. Albedo

En cuanto al albedo, las cubiertas brindaron al suelo una disminución de la temperatura, debido a que se pudo reflejar más energía, aunque también disminuyen la temperatura del suelo al absorber el nitrógeno mineralizado. Cabe mencionar que en función de cómo de la estacionalidad de las cubiertas vegetales hay unas diferencias u otras. Cultivos plantados en agosto, llegaron a su cobertura máxima (en torno a un 80% de la superficie) en diciembre llegando casi al invierno. Cuando finalizó el invierno disminuyó a casi la mitad de la superficie y no fue hasta primavera cuando se volvió a la cobertura inicial, provocándose que se pudiera incorporar al suelo y actuar sobre el albedo en dos periodos, otoño y finales de primavera. Sin embargo, cuando los cultivos se llevaron a cabo en octubre al finalizar la cosecha de maíz, llegaron a tener su cobertura máxima en un periodo de tiempo más rápido y no tuvo ninguna etapa en la que disminuyó la cobertura hasta que finalizó su ciclo a finales de marzo, aunque después de esto siguió teniendo efecto sobre el albedo durante un mes. Aun así, a pesar de actuar de diferente manera según la estación, los resultados de actuación frente al albedo son similares, ya que se compensan (Kaye & Quemada, 2017).

1. 3. 5. Visión general de las cubiertas vegetales frente al cambio global

En la tabla 12 se observa cómo aplicando cubiertas vegetales de plantas no leguminosas y leguminosas se pueden reducir hasta un total de 141 y 160 g de CO₂/m₂ y año respectivamente, aunque estos valores no orientativos ya que hay ciertos datos que están relacionados. Aun así, en el escenario más negativo, el utilizar cubiertas vegetales es una buena manera de luchar contra el cambio global (Bright *et al.*, 2015). Poeplau y Don (2015), estimaron que en torno a un 10% del CO₂ que se produce en la agricultura en el periodo de un año, es posible reducir mediante la aplicación de cubiertas vegetales sin tener en cuenta el tipo ni la estacionalidad de estas.

Tabla 12.: Mitigación del cambio global aplicando cubiertas vegetales de leguminosas y no leguminosas y valores estimados para el forzamiento climático medido en unidades de dióxido decarbono equivalentes (CO₂ e). Los valores positivos denotan la mitigación neta del forzamiento climático. En el caso de los valores negativos, denotan las fuentes de este.

Proceso	CO ₂ e (g/m ² /año)		Fuente de variación
	No leguminosas	Legumbre	
Secuestro del suelo C	117 (78, 156)	117 (78, 156)	Variación de sitio a sitio, cultivo de cobertura de tiempo
Suelo N ₂ O flujo	-4 (1, -9)	-2 (3, -6)	Tasa de fertilizante N, incorporación
Reducción de N aguas abajoFlujo O	3 (0, 22)	0 (0, 13)	Efecto del cultivo de cobertura en la lixiviación de N
Reducción del uso de fertilizantes N			
Crédito de estiércol verde	0	20 (8, 59)	Fijación N de cultivos de cobertura
Crédito de materia orgánica	4 (0, 20)	4 (0, 20)	Igual que el secuestro C del suelo
Suelo CH ₄ flujo	0	0	Muy pocos estudios para la variación
Uso de combustible en las operaciones agrícolas	-4 (-1, -10)	-4 (-1, -10)	Opciones de siembra y terminación
Biogeoquímica total	116	135	
Cambio de albedo	25 (-39, 111)	25 (-39, 111)	Albedos del suelo y de las plantas, nieve, 
Total general	141	160	

Fuente: Kaye & Quemada, (2017).

Comparando los resultados de los valores únicamente biogeoquímicos, es decir, elementos como el nitrógeno, carbono, hidrógeno, etc, vemos que emplear cubiertas vegetales, mitiga hasta 116 g de CO₂ e/m² al año y 135 para cubiertas vegetales no leguminosas y leguminosas respectivamente (Tabla 10). Por el contrario, con el cultivo sin labranza (una alternativa al cultivo tradicional en la que se pretende cultivar el olivar sin utilizar las técnicas del cultivo tradicional tales como herbicidas, rulos, arado entre otras técnicas, pero sin utilizar cubiertas vegetales), la mitigación anduvo entre 48 y 94 g de CO₂ e/m² al año (medido en un periodo de 20 años) (Van Kessel *et al.*, 2013).

También se encuentran diferencias en la introducción de fertilizantes debido a que en el caso de las plantas leguminosas y ciertas plantas leñosas no leguminosas no es necesario ya que, debido a la simbiosis que realizan con bacterias como las del género *Rhizobium* o *Sinorhizobium* (en leguminosas) o *Cercocarpus* (en no leguminosas) y son capaces de fijar nitrógeno (Kaye & Quemada, 2017). Sin embargo, en el caso del cultivo sin labranza, como al comienzo pueden verse reducidos sus rendimientos, es posible que se introduzcan más fertilizantes de los que en un principio se tenían pensado introducir, por lo que se estaría incrementando la emisión de gases de efecto invernadero (Van kessel *et al.*, 2013). Es más, en los diez primeros años de cultivo sin labranza, las emisiones de gases de gases como N₂O pueden ser muy similares a las producidas en el cultivo tradicional (Quemada *et al.*, 2013).

En cuanto al rendimiento de los cultivos, también fue superior en los cultivos de cobertura, pudiendo llegar a ser entre un 5-30% superior en cultivos de leguminosas y entre un 1-10% para cobertura de plantas no leguminosas. Es decir, Las plantas leguminosas aportan beneficios notorios en cuanto al rendimiento y la mitigación del cambio climático y, las cubiertas vegetales de plantas no leguminosas brindan beneficios para paliar el cambio climático, debido a que no son tan notorios los cambios producidos en cuanto a rendimiento (Finney *et al.*, 2016). Estas mejoras en el rendimiento se traducen en unos incrementos en el panorama económico de entre el 50-67%, no solo por los beneficios directos sobre el cultivo (en este caso olivar), sino los derivados de esta gestión, como la venta de las coberturas muertas como forraje o para que se alimenten los animales (Kaye & Quemada, 2017).

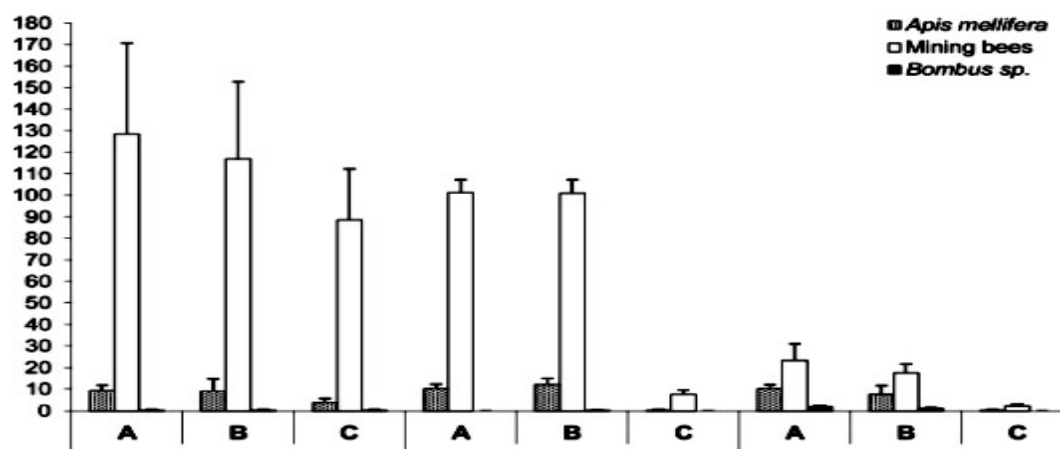
2. Cubiertas vegetales desde una perspectiva entomológica

2. 1. Cubiertas vegetales y biodiversidad

En un estudio donde se apostó por dejar las cubiertas vegetales y la técnica de *mulching* o acolchado (técnica que consiste en dejar los restos de plantas y otros materiales en el suelo para establecer en el cultivo las condiciones más similares a las que se dan en un bosque sin intervención antropogénica), se produjo un incremento de hasta un 20% de la biodiversidad en comparación con un suelo desnudo (Paiola *et al.*, 2020). Además, si se tiene una cubierta vegetal biodiversa, se permitirá una mayor presencia de organismos como los nematodos o anélidos, ya que habrá más diversidad de lugares en los que poder hospedarse y donde poder alimentarse. La presencia de estos organismos es muy útil desde el punto de vista de la cadena alimentaria, debido a que pueden aportar humus al suelo, enriqueciéndolo en materia orgánica. Es decir, derivado del uso de cubiertas vegetales, se puede utilizar también la vermicultura, por lo que contribuiría a incrementarse la fertilidad del suelo (Winter *et al.*, 2018).

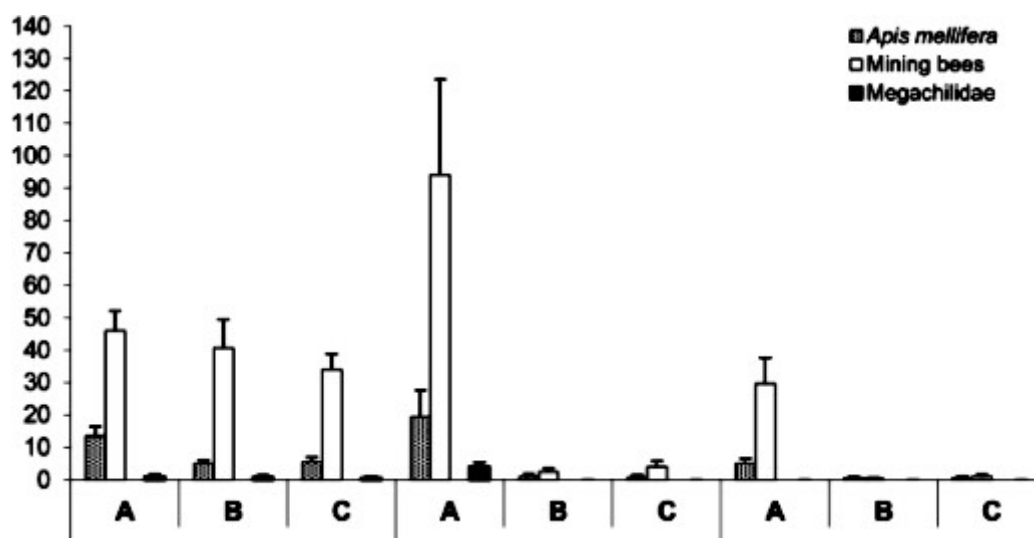
Por otro lado, los resultados muestran que las zonas con cubiertas vegetales de distintas especies tienen una mayor atracción ante los polinizadores, destacando sobre todas ellas las especies de abejas obreras (mining bees en la figura 14, 15 y 16) *Andrena* sp., y *Lasioglossum* sp. y seguidas de las abejas melíferas *Apis mellifera* (Figura 14, 15 y 16). Estos resultados son muy positivos dado que las abejas mineras son insectos que contribuyen mucho a la hora de realizar la polinización. Por tanto, se llega a un *feed-back* positivo, ya que a mayor diversidad, mayor número de polinizadores serán atraídos, por lo que se generará más diversidad (Karamaouna *et al.*, 2019).

Figura 14.: Polinizadores que visitan las diferentes parcelas (a y b parcelas con diversidad de especies y c el control) en 2011.



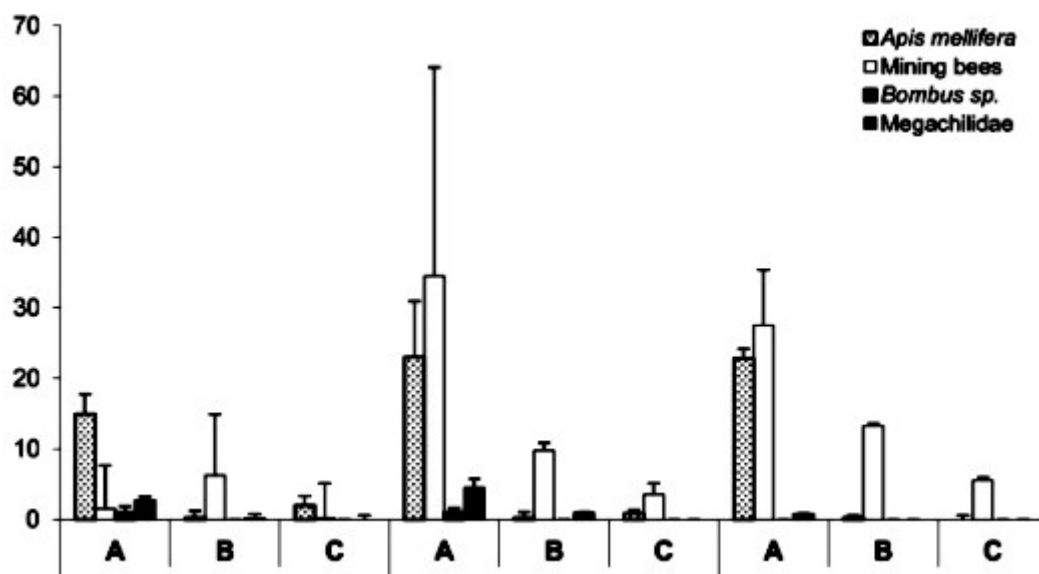
Fuente: Karamaouna *et al.*, (2019).

Figura 15.: Polinizadores que visitan las diferentes parcelas (a y b parcelas con diversidad de especies y c el control) en 2012.



Fuente: Karamaouna *et al.*, (2019).

Figura 16.: Polinizadores que visitan las diferentes parcelas (a y b parcelas con diversidad de especies y c el control) en 2013.



Fuente: Karamaouna *et al.*, (2019).

El hecho de que la mayor diversidad de plantas hiciera que fueran visitadas por más polinizadores se debe seguramente a la mayor atracción que despertó esa diversidad de flores en los polinizadores. Además, a esto hay que añadir que se propició una mayor diversidad de artrópodos ligada a esa mayor diversidad de cubiertas. Sin embargo, una vez los polinizadores se encontraban en la zona tenían preferencias por interactuar con unas plantas antes que con otras (Albecht *et al.*, 2007).

En general, se observa que cubierta con *Coriandrum sativum* (cilantro) y *Borago officinalis* (borraja), presentan mayor atracción a los polinizadores que con cubiertas con *Bellis perennis* (margarita). Por tanto, es más que probable los polinizadores se vean más atraídas por *C. sativum* y *Borago officinalis*, si bien no cambiaron su actividad en función de las especies que hubiera, es decir, si no había tanto *C. sativum* o *B. officinalis* no alteraban su actividad con tal de buscar dichas especies, sino que polinizaban las plantas que hubiera. En igualdad de condiciones y con la misma facilidad de acceder a un cultivo u otro, preferían las cubiertas con *C. sativum* y *Borago officinalis*. Sin embargo, esas preferencias no se tienen por qué mantener a lo largo de las temporadas, puesto que se ve influenciada por varios aspectos como la densidad de flores o el conjunto de especies entre otros parámetros (Karamaouna *et al.*, 2019).

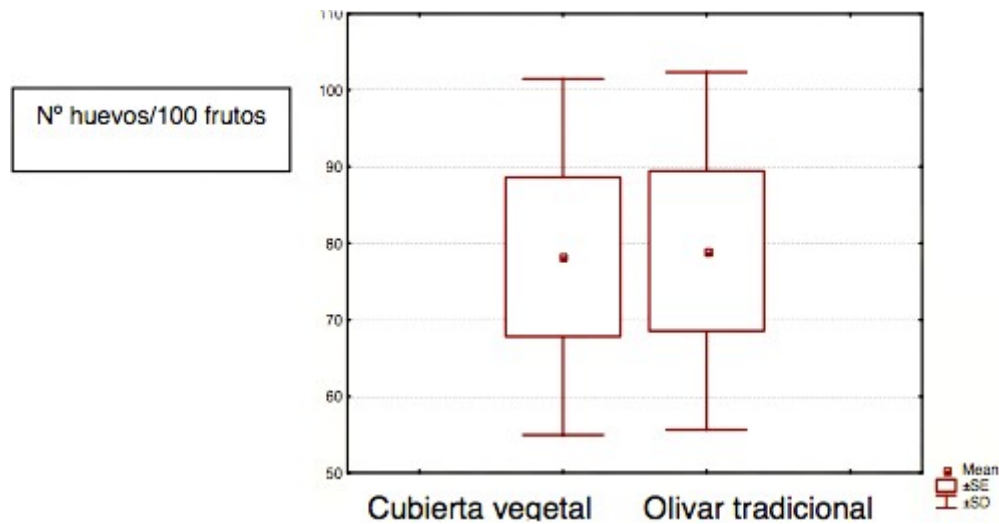
Esa mayor diversidad de plantas provocó que se establecieran condiciones idóneas para un mayor número de artrópodos entre los que se incluían los enemigos de las plagas del olivo. Es decir, cuanto mayor es la diversidad vegetal, más grande es la posibilidad de que esta albergue una mayor variedad de huéspedes capaces de regular un mayor número de organismos susceptibles de formar plagas en el olivar. Por tanto, este mayor número de especies depredadoras de plagas del olivo logran regular de manera natural y controlar a los enemigos de los cultivos del olivar. Por ello, aunque las especies que atacan al olivar también se pueden ver atraídas por la diversidad de cubiertas vegetales, al final van a estar en equilibrio con las especies que llevan a cabo esa depredación (Carvell *et al.*, 2007).

Se sabe que la abundancia de depredadores se relaciona de manera directa con la diversidad de plagas porque cuando se presentan los meses en los que la floración es menor, también disminuye el número de estos enemigos naturales de las plagas del olivo (Nave *et al.*, 2017). Además, existen diferencias entre varios años. Esto es, cuando se dan años en los que la floración es menor o florece una menor variedad de especies, el número de depredadores es menor. Por tanto, este es otro indicio que muestra que el número de enemigos de las plagas del olivar se relaciona con la diversidad y el número de especies de las cubiertas del olivar (Campbell *et al.*, 2017). Es decir, las cubiertas vegetales son una gran manera de controlar las plagas que influyen al olivo ya que, por ejemplo, en el caso de *Chrysoperla carnea* las cubiertas otorgan protección a sus larvas, las cuales cuando sean adultas llevarán a cabo la depredación de *Prays oleae* o *Saissetia oleae* y, en menor medida *Euphyllura olivine* (González *et al.*, 2016).

2. 2. Cubiertas vegetales frente a plagas

La presencia o no de cubierta vegetal no es un factor influyente en el comportamiento de las poblaciones de *Prays oleae*, es decir, la cubierta vegetal no es determinante en lo que a la puesta de huevos se refiere (Figura 17) (Cazalla-Millán, 2022).

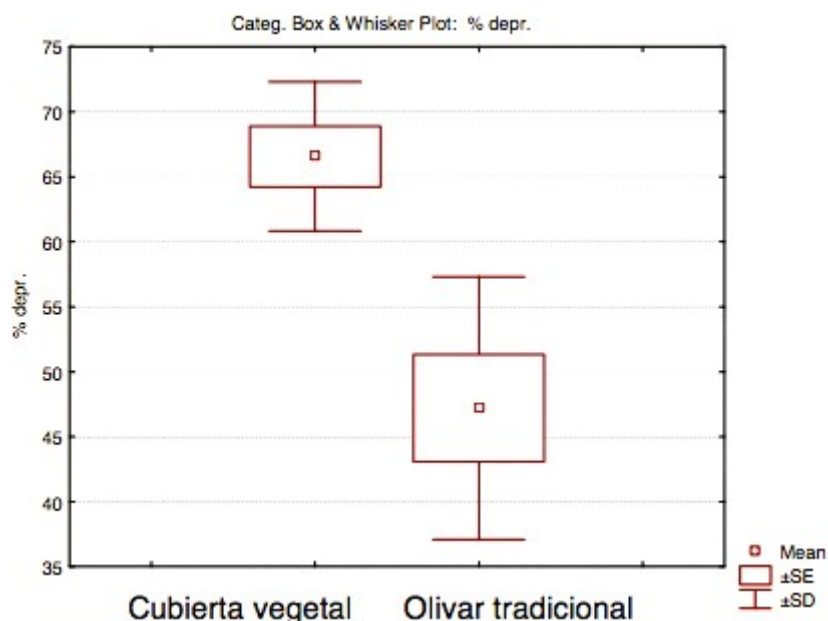
Figura 17.: Número de huevos de *Prays oleae*/100 frutos en las zonas de cubierta vegetal y olivar tradicional (sin cubierta).



Fuente: Cazalla-Millán, (2022).

Donde sí que se observaron diferencias fue en la depredación por parte de *Chrysoperla carnea*. Hubo una mayor depredación en el cultivo con cubierta vegetal (Figura 18). Se estima que se disminuyó entre un 45-70% el número de huevos de *Prays oleae*. Ello se debe a que a que las cubiertas vegetales brindan protección a las poblaciones de *Chrysoperla carnea* frente a las condiciones climáticas (como las heladas de invierno) y frente a posibles depredadores como pudieran ser entomófagos. Además, no tiene por qué ser cubierta vegetal viva, sino que también puede ser útil el utilizar los desechos de la cubierta vegetal, ya que esa cubierta puede servir como punto desde el que realizar la dispersión para la futura primavera. Otra opción que se podría emplear son las cubiertas artificiales, si bien, independientemente del tipo de cubierta, la solución es emplear alguna, y hacerlo en regiones próximas a los olivos para garantizar el mayor asilo para los individuos de *Chrysoperla carnea* y, por ende, la mayor protección para el olivar (D’Orazio *et al.*, 2021).

Figura 18: porcentaje de depredación de los crisópidos en los cultivos con cubierta vegetal y olivar tradicional.



Fuente: Cazalla-Millán, (2022).

Es decir, al no retirar la cubierta en el periodo de los meses de primavera, se provoca que crezcan poblaciones de plantas como *Medicago sativa* o *Chaenopodium* sp, ofrecen las condiciones para que se dé la proliferación durante mínimo dos generaciones. Por ejemplo, *Chrysoperla agilis* a finales de primavera está más presente en cultivos con cubierta vegetal que en los que tienen ausenciade esta, repercutiendo en una menor depredación. De manera que, *Prays oleae* sufre una mayor depredación mayor, para poder desarrollarse va a tener que recurrir a zonas alejadas del olivar, donde no se encuentren las cubiertas vegetales que contengan a los enemigos naturales. Por tanto, si *Prays oleae* tiene que instalarse en zonas más alejadas, su poder de actuación se verá mermado (Ruiz *et al.*, 2008).

La caída de los frutos a causa de *Prays oleae* se produce en dos momentos, el primero a partir de la segunda quincena de junio, llamada caída de San Juan (en la que el insecto introduce cantidades ingentes larvas en el interior del fruto) y, la segunda caída en el mes de septiembre, siendo más dominante a finales de este, de ahí que se conozca con el nombre de caída de San Miguel (en la que las larvas en la etapa previa a la fase de pupa, emergen hacia el exterior, partiendo del endocarpo). No obstante, estas caídas no siempre son producidas por *Prays oleae*, hay ciertas

ocasiones en las que ha llegado a coincidir con motivos naturales, es decir, provocado por una causa meramente fisiológica (González *et al.*, 2016).

En la tabla 13 se muestra que la caída de los frutos no se relaciona significativamente con *Prays oleae*. Se ha visto que la caída se ha producido en muchos casos mediante una fragmentación del pedúnculo en su zona distal, es decir, en la zona donde se agrega a la rama, en lugar de en la zona en la que se une al cáliz que es donde debería encontrarse en el caso de que la aceituna fuera atacada por *Prays oleae*. Además, a esto hay que añadir que no se ha visto presencia de huevos eclosionados en la inmensidad de situaciones en las que hubo caída de fruto. Por tanto, estos resultados demuestran que no por el hecho de que las fechas de caída de frutos coincidan con la fecha en la que lo hace a causa de *Prays oleae*, significa que sea producida por esta plaga (Cazalla-Millán, 2022).

Tabla 13: análisis del porcentaje de frutos caídos por *Prays oleae*.

	SS	Df	MS	SS	Df	MS	F	p
	Effect	Effect	Effect	Error	Error	Error		
% frutos caídos	1,74	1	1,74	392,6428	16	24,54	0,071	0,79

Fuente: elaboración propia a partir de Cazalla-Millán, (2022).

3. Cubiertas vegetales desde una perspectiva económica

Dos importantes puntos a favor de esta manera de cultivar el olivar son la disminución de los gastos y la disposición de más tiempo durante la época de sembrar (Calles-Domenech, 2020). Por tanto, se requiere de menos tiempo para la preparación de la tierra, lo cual repercute muy positivamente ya que evita que se pierda la alternancia del olivar. Se estima que con esta práctica los costes pueden verse reducidos unos 60.000€/ha. De manera que, con los métodos de laboreo de conservación se permite mejorar la explotación. Si bien, los rendimientos al principio no son muy favorables con respecto al laboreo tradicional, pero poco a poco sí que se ven resultados positivos con un crecimiento uniforme y fluido de los cultivos debido a que se respetan todos los tiempos para el correcto desarrollo. Por tanto, no solo hay un mayor rendimiento del cultivo, sino también una considerable reducción de costes (López-Garrido, 2012).

Yáñez y Marola (2019) apuntaron que no solo se llegan a producir daños en los propios cultivos, sino que también en zonas cercanas. Por ejemplo, los daños producidos por escorrentía suponen efectos sobre los caminos y demás infraestructuras y, estiman que más de 2/3 de los daños repercuten sobre lugares distintos a donde se originó, por lo que se incrementan las pérdidas económicas de manera significativa. Sin embargo, cuando se emplean cubiertas vegetales en zonas sobre todo de cárcavas, se reducían los daños hasta en un 30%. Esto tiene consecuencias muy importantes, debido a que se reducirían costes en el propio cultivo y en infraestructuras estatales como caminos, carreteras o presas (Costa & Costa, 2018).

Además, también se incrementa el valor de la finca de cara al turismo. Esto es, al presentar cubiertas, se incrementa el atractivo y se potencia el ecoturismo, ya que cobra más importancia el valor paisajístico. Es decir, una vía de aprovechar el olivar también es el oleoturismo o las Denominaciones de Origen Protegidas (DOP), presentando España veintinueve, de las cuales doce se encuentran en Andalucía (Farré *et al.*, 2020). Es vital seguir potenciando el olivar en todos los sectores posibles y, sobre todo en regiones como Córdoba o Jaén donde se produce más del 40% del aceite del mundo (Calles-Domenech, 2020).

ASPECTOS EN LOS QUE SEGUIR TRABAJANDO DE CARA AL FUTURO

Tras esta revisión bibliográfica, sugeriría investigar formas de paliar el contenido de N_2O ya emitido por ejemplo, disminuyendo las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados o modificando las actividades llevadas a cabo en el manejo del estiércol en el sector agrícola. Otra opción podría ser utilizar en menor medida maquinaria que realice combustiones, es decir, hacer un mayor uso de energías renovables como ocurre con muchos de los vehículos particulares actuales o introducir convertidores catalíticos para aminorar los contaminantes procedentes de los vehículos.

Además, otros factores como son el albedo, los flujos de calor, evaporación y precipitaciones o mitigación de los incrementos de la temperatura del suelo pueden llegar a ser igual de importantes que el propio cambio climático *per se* y, sin embargo, las investigaciones no son las mismas, es decir, se invierte más en el estudio del

cambio global que en estos temas que son de una importancia crucial para el desarrollo de los ecosistemas.

Por ejemplo, los resultados obtenidos en el ámbito del albedo muestran la importancia de utilizar cubiertas vegetales para mitigar el cambio climático, sin embargo, son resultados con una alta varianza, debido a que para obtener ciertos valores ha sido necesario realizar simulaciones y, todavía no es posible realizarlas de una manera tan fiable como se desearía. Por ello, es otro motivo más por el que seguir invirtiendo en este ámbito.

Además, investigaciones sobre el secuestro del carbono en función de las especies utilizadas, su labranza y el clima de las regiones en las que se aplique, además del fertilizante que usar pueden ser útiles en lo ecológico, ya que se estará haciendo un uso más responsable del cultivo y se estará haciendo una labor de conservación y cuidado de la biodiversidad y, en el ámbito económico, debido a que se estaría incrementando el valor del olivar tanto con mejores cosechas como con un mayor interés para el turista rural. Otro aspecto en el que se debe de mejorar es el de unificar métodos para estimar el secuestro de carbono que se produce en el suelo porque debido a la gran variedad de métodos, se obtienen resultados que hace que se produzcan ciertas controversias y sea complejo establecer criterios para comparar los resultados obtenidos con cada método.

Por ejemplo, hay estudios que dicen que mediante el cociente de la oscilación de carbono orgánico del suelo y los años empleados para realizar la simulación se estima la tasa de secuestro de carbono. No obstante, existen discrepancias porque hay otros en los que se calcula la tasa de secuestro de carbono de otra manera porque se dice que el incremento del carbono no se produce de manera lineal, sino que al comienzo se produce un crecimiento muy acelerado y, a medida que pasan los años la recta va menguando la inclinación, por lo que va decreciendo a medida que avanza en el tiempo. Por tanto, resulta complicado comparar los resultados de secuestro de carbono en caso de que se comparen resultados obtenidos de una manera u otra.

Respecto al manejo de la cubierta consideraría atractivo incidir en la estacionalidad, el tipo de labranza o el tipo de utilización de los desechos de la cobertura. Esto es importante conocerlo muy bien, ya que cada especie se puede comportar de manera distinta y cada especie se puede desarrollar mejor en un tipo de ambiente

determinado. Incluso si hay especies similares, se pueden emplear especies de plantas diferentes para generar mayor biodiversidad, lo que generaría más resistencia ante el ataque de plagas o depredadores. Por tanto, es muy importante seguir profundizando en este ámbito ya que son numerosas las ventajas que se han visto que hacen y, si se estudian y se conoce mejor cómo tratar las cubiertas vegetales, jugarán un papel todavía más importante si cabe para un máximo desarrollo del cultivo del olivar.

En lo que a la biodiversidad de los cultivos de cubiertas vegetales, se debe de conocer muy bien la flora y fauna de los ecosistemas en los que se vaya a implantar. Por tanto, se hace muy necesario seguir investigando y realizando estudios sobre la biodiversidad de las cubiertas vegetales. Es decir, se debe de estudiar los artrópodos de la zona que vayan a llevar a cabo los procesos de polinización y los que vayan a realizar el control biológico contra los insectos que sean capaces de desarrollar plagas en el olivar. En función de estas características se evaluará el tipo de cubierta que brinde estos parámetros y sea lo más diversa posible para garantizar los resultados más óptimos posibles y, en definitiva, se trabaje en un cultivo que garantice la rentabilidad en lo económico y en lo ambiental, de manera que, se trabaje en un cultivo sostenible.

CONCLUSIONES

La pendiente no se relaciona tanto con la erosión como sí que lo hace la cobertura o el manejo del arado, lo cual refuerza la idea de que un terrero con pendiente si presenta una buena cobertura vegetal y evitando prácticas como el arado puede convertirse en un terrero muy óptimo para el desarrollo del olivar pese a sus características orográficas.

Se debe de hacer un seguimiento de las cubiertas vegetales, ya que dependiendo de las condiciones climáticas hay que realizarles una serie de cuidados u otros para poder garantizar bajo cualquier circunstancia unas condiciones de sostenibilidad, lo que dará lugar a unas mejores producciones.

Combinaciones adecuadas de coberturas pueden dar un gran rendimiento a la vez que mitigar los efectos del cambio global.

El uso de cultivos coberturas vegetales también otorgan ventajas económicas ya que supone un ahorro de fertilizantes e incluso de alimento para los animales, además de incrementarse el rendimiento del olivar.

Especies de la familia *Brassicaceae* como *Sinapis alba* y *Eruca vesicaria* son muy buenas especies para utilizar como cubiertas vegetales debido a su nivel de biomasa y su porcentaje de emergencia, lo cual es muy útil para paliar la erosión de suelos mediterráneos. Esto se debe a que son especies silvestres típicos de estas regiones, por lo que están muy bien adaptadas.

Las emisiones de carbono no solo se relacionan con las altas respiraciones llevadas a cabo por una buena cantidad de biomasa, sino que también influye el hecho de tener un suelo arcilloso. Si bien, lo ideal usar una buena cubierta vegetal y un suelo franco-arcilloso, ya que para el olivar la mejor textura del suelo es esta, a pesar de que en lo que a emisiones de carbono se refiere es mejor un contenido alto de arcilla.

El empleo de cubiertas vegetales para luchar contra los problemas del laboreo tradicional, han hecho que el contenido de carbono orgánico en el suelo se incremente porque aporta más biomasa, estando también influenciado por el tipo de textura del suelo y, siendo ese aumento de manera más clara en el tramo que va hasta los 30 cm de profundidad. Además, de ese incremento en la recepción de carbono orgánico del suelo, con un buen equilibrio textura-cubierta también se disminuyen las pérdidas.

En el caso en el que el olivar no tuviera cobertura, todo el trabajo de fijación de carbono la llevarían a cabo las raíces del olivar, por lo que se fijaría menos cantidad, ya que al fin y al cabo, las raíces cuando más actividad tienen es en torno a los 30 cm de profundidad. Otro factor que se ve reducido es la respiración heterótrofa, como consecuencia de existir menos biomasa. Es decir, la materia orgánica que descomponen los microorganismos son los residuos que se aporten del olivar (como restos de poda) y la que obtengan de las malas hierbas.

Los suelos con cubierta vegetal incrementaron el carbono orgánico del suelo entre un 44-85% entre los primeros 15 cm de profundidad del suelo. El carbono fue capaz de fijarlo como CO₂ mediante la fotosíntesis, y permaneció en el suelo como CO₂ residual cuando las cubiertas vegetales murieron.

Las tasas de fijación de carbono fueron tan grandes debido a las condiciones climáticas presentes en la región mediterránea y, concretamente en la región de

Andalucía oriental. Con esas condiciones se eliminaba poco carbono a la atmósfera por procesos de respiración heterótrofa, lo cual permitía que los valores netos de fijación y almacenamiento dependieran en una gran medida de los insumos de carbono. En definitiva, con los resultados obtenidos, se puede concluir que las cubiertas vegetales son una buena solución para aminorar el CO₂ presente en la atmósfera, es decir, las cubiertas vegetales son capaces de establecer las condiciones para el desarrollo de un óptimo sumidero de carbono.

Teniendo en cuenta que una mayor biodiversidad de especies de cubiertas vegetales atrae a un mayor número de especies causantes de plagas, aunque también lo hace con sus enemigos, una buena solución podría ser plantar solo las especies vegetales que atraigan a los enemigos naturales de las plagas, para que estas no obtengan ningún beneficio. Si bien, esta medida podría resultar útil contra las plagas, se estaría limitando el número de polinizadoras, por lo que no resultaría una solución del todo efectiva.

El uso de cubiertas vegetales le da al suelo un incremento notorio y mejoras a nivel de estructura respecto a los suelos desnudos. Un atributo que se ve muy reforzado es el de la fertilidad pues, a causa del incremento que sufre el suelo en materia orgánica, se ven potenciados nutrientes como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, tres nutrientes clave en el uso de abonos (NPK). Por tanto, el uso de cubiertas vegetales puede ser una herramienta sustitutiva del abono, teniendo en cuenta que puede abastecer de dichos nutrientes, con lo que si se evita echar abonos se estará protegiendo el suelo y el medio ambiente a la par que la producción no se verá mermada.

BIBLIOGRAFÍA

Alcántara, C., Sánchez, S., Pujadas, A., & Saavedra, M. (2009). Brassica species as winter cover crops in sustainable agricultural systems in southern Spain. *Journal of sustainable agriculture*, 33(6), 619-635.

Allas, R. B., Pérez, M. J. M., & Colmenero, M. R. (2012). Cultivos herbáceos, viñedos y olivares: el manejo tradicional del suelo y sus consecuencias en la erosión hídrica. *Cuadernos de investigación geográfica/Geographical Research Letters*, (38),49-74.

Alonso-Ayuso, M., Gabriel, J. L., Quemada, M. (2014). The kill date as management tool for cover cropping succes. *Plos One*. 9:e109587. doi: 10.1371/journal.pone.0109587.

Álvaro-Fuentes, J., López, M.V., Arrúe, J.L., Moret, D., Paustian, K. (2009). Tillage and cropping effects on soil organic carbon in Mediterranean semiarid agroecosystems: Testing the Century model. *Agr Ecosyst Environ*. 134:211-217.

Basche, A., Miguez, F. E., Kaspar, T., Castellano, M. J. (2014). Do cover crops increase or decrease nitrous oxide emissions? A meta-analysis. *J Soil Water Conserv* 69:471-482. doi:10.2489/jswc.69.6.471.

Boardman, J., Poesen, J., Evans, R. (2003). Socio-economic factors in soil erosion and conservation. *Environmental Science & Policy*, 6: 1-6.

Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., ... & Ballabio, C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(36), 21994-22001.

Brand, F. S., Jax, K. (2007). Focusing the meaning(s) of resilience: resilience as a descriptive concept and a boundary object. *Ecology Society* 12:23.

Bright, R. M., Zhao, K., Jackson, R., Cherubini, F. (2015). Quantifying Surface albedo changes and direct biogeophysical climate forcings of forestry activities. *Glob Chang Biol* 21: 3246-3266. doi:10.1111/gcb.12951.

Calles Domenech, J. M. (2020). El papel de la cubierta vegetal en la provisión de servicios ecosistémicos en el olivar.

Camargo. G. G. T., Ryan, M. G., Richard, T. M. (2013). Energy use and greenhouse gas emissions from crop production using the farm energy análisis tool. *Bioscience* 63:263-273. doi:10.1525/bio.2013.63.4.6.

Carvell, C., Meek, W. R., Pywell, R. F., Goulson, D., & Nowakowski, M. (2007). Comparing the efficacy of agri-environment schemes to enhance bumble bee abundance and diversity on arable field margins. *Journal of applied ecology*, 44(1), 29-40.

Cazalla-Millán, N. (2022). Estrategias para promover el control natural de plagas en el olivar andaluz.

- Chaves, B., De Neve, S., Hofman, G., Boeckx, P. and O. Van Cleemput. (2004). Nitrogen mineralization of vegetable root residues and green manures as related to their (bio) chemical composition. *European Journal of Agronomy* 21:161–170.
- Consejería de Agricultura y Pesca (2008). El sector del aceite de oliva y de la aceituna de mesa en Andalucía. Recuperado de: [http:// www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca](http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca).
- Cooper, P. J. M., Gregory, P. J., Keatinge, J. D. H., & Brown, S. C. (1987). Effects of fertilizer, variety and location on barley production under rainfed conditions in Northern Syria 2. *Soil water dynamics and crop water use*. Field Crops Research, 16(1), 67-84.
- Costa, C. Y Costa, J. (Ed). (2018). Libro de resúmenes. XXX Jornadas Luso Espanholas de Gestão Científica. Cooperação transfronteiriça: Desenvolvimento e coesão territorial. Bragança, (Portugal). *UNIAG, Instituto Politécnico de Bragança*.
- D’Orazio, V., Stallone, D., Samer, S., Loffredo, E., Cirulli, M., & Bruno, G. L. (2021). Phytotoxic metabolites produced by *Verticillium dahliae* Kleb. in olive wilting: a chemical and spectroscopic approach for their molecular characterisation. *Natural Product Research*, 35(12), 1991-2001.
- Del Moral Lendínez, B. (2020). Propuesta de una metodología preliminar para la estimación de la huella erosiva en olivar.
- Duro-Molina, N. (2018). Evaluación del papel de la cubierta vegetal en la capacidad de secuestro de C de cultivos de olivar. Aplicación del modelo RothC como herramienta predictiva.
- Farré, M., Lozano, C. y Aguilar, E. (2020). La “nueva cultura del aceite” como eje de transformación en los territorios olivareros andaluces. *AIBR, Revista de Antropología Iberoamericana*, 15(1), 79-104.
- Feller, C., & Bernoux, M. (2008). Historical advances in the study of global terrestrial soil organic carbon sequestration. *Waste Management*, 28(4), 734-740.
- Finney, D. M., White, C. M., & Kaye, J. P. (2016). Biomass production and carbon/nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures. *Agronomy Journal*, 108(1), 39-52.

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), 17-17.

García-Ruiz, J. M., & Lana-Renault, N. (2011). Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region—A review. *Agriculture, ecosystems & environment*, 140(3-4), 317-338.

García-Ruiz, J.M., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N & Beguería, S. (2013). *Erosion in Mediterranean landscapes: Changes and future challenges. Geomorphology*. 198: p. 20-36.

Gómez, J. A., Guzmán, M. G., Giráldez, J. V., & Fereres, E. (2009). The influence of cover crops and tillage on water and sediment yield, and on nutrient, and organic matter losses in an olive orchard on a sandy loam soil. *Soil and Tillage Research*, 106(1), 137-144.

Gonzalez, D., Nave, A., Gonçalves, F., Nunes, F. M., Campos, M., & Torres, L. (2016). Higher longevity and fecundity of *Chrysoperla carnea*, a predator of olive pests, on some native flowering Mediterranean plants. *Agronomy for sustainable development*, 36(2), 1-10.

Guardia, G., Abalos, D., García-Marco, S., Quemada, M., Alonso-Ayuso, M., Cárdenas, L. M., ... & Vallejo, A. (2016). Effect of cover crops on greenhouse gas emissions in an irrigated field under integrated soil fertility management. *Biogeosciences*, 13(18), 5245-5257.

Guerrero, A. (2000). Nueva olivicultura. *Mundi-Prensa*, 4a ed. 281 pp.

Guerrero-Baides, R. M. (2016). Caracterización de las tipologías de manejo de las Cubiertas herbáceas en el olivar de la campiña y sierra sur de Jaén.

Guzmán Casado, G. I., González de Molina Navarro, M., & Sevilla Guzmán, E. (2000). *Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible* (No. Sirsi) i9788471148704).

Hakansson, S. (2003). Weeds and Weed Management on Arable Land An Ecological Approach. *Cabi*.

- Karamaouna, F., Kati, V., Volakakis, N., Varikou, K., Garantonakis, N., Economou, L., ... & Edwards, M. (2019). Ground cover management with mixtures of flowering plants to enhance insect pollinators and natural enemies of pests in olive groves. *Agriculture, ecosystems & environment*, 274, 76-89.
- Kaye, J. P., & Quemada, M. (2017). Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. *Agronomy for sustainable development*, 37(1), 1-17.
- L. (2000). Efecto de cubiertas, riego y fertilización foliar en el desarrollo radical de manzano. *Terra Latinoamericana*, 18(3), 0.
- Lima-Cueto, F. J., Blanco-Sepúlveda, R., & Gómez-Moreno, M. L. (2018). La erosión del suelo y la normativa ambiental de la política agraria europea en cultivos de olivar (*Olea europaea*) del sur de España. *Agrociencia*, 52(3), 293-308.
- López-Avila, A. (2002). Control biológico componente fundamental del MIP: origen, definiciones y conceptos básicos. (No. Doc. 19347)* CO-BAC, Santafé de Bogotá).
- López-Garrido, R. (2012). Laboreo de conservación: Efectos a corto y largo plazo sobre la calidad del suelo y el desarrollo de los cultivos.
- Maroto, J. V. (1995). Horticultura Herbácea Especial. *Mundi-Prensa, Madrid, Spain*.
- Martínez, A. I., Román, A. E. B., Morales, A. C., Quezada, R. A. P., & Castañeda, C. Martínez, J. R. F., Zuazo, V. H. D., & Raya, A. M. (2006). Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain). *Science of the Total Environment*, 358(1-3), 46-60.
- Mellouli, H. J., Van Wesemael, B., Poesen, J., & Hartmann, R. (2000). Pérdidas por evaporación de suelos desnudos influenciadas por técnicas de cultivo en regiones semiáridas. *Gestión del agua agrícola*, 42(3), 355-369.
- Mitchell, D. C., Castellano, M. J., Sawyer, J. E., & Pantoja, J. (2013). Cover crop effects on nitrous oxide emissions: role of mineralizable carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 77(5), 1765-1773.
- Nieto, O. M. (2011). Soil properties in olive groves under different soil management systems. Simulation of soil organic carbon stocks using the RothC model. *Dissertation, University of Granada, Spain*.
- Nieto, O. M., Castro, J., & Fernández-Ondoño, E. (2013). Conventional tillage versus cover crops in relation to carbon fixation in Mediterranean olive cultivation. *Plant and Soil*, 365(1), 321-335.

- 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 and Management*, 26(2), 118-125.
- O. (2012). Carbon sequestration potential of residues of different types of cover crops in olive groves under Mediterranean climate. *Spanish Journal of Agricultural Research*, (3), 649-661.
- Ordóñez, R., Ramos, F. J., González, P., Pastor, M., & Cervera, J. V. G. (2001). Influencia de la aplicación continuada de restos de poda de olivo sobre las propiedades físico-químicas de un suelo de olivar. In *Temas de investigación en zona no saturada: actas de las V Jornadas sobre Investigación en la Zona no Saturada, 7-9 de noviembre de 2001, Pamplona: ZNS'01* (pp. 165-169). Servicio de Publicaciones.
- Ordóñez, R., Ramos, F. J., González, P., Pastor, M., & Cervera, J. V. G. (2001). Influencia de la aplicación continuada de restos de poda de olivo sobre las propiedades físico-químicas de un suelo de olivar. In *Temas de investigación en zona no saturada: actas de las V Jornadas sobre Investigación en la Zona no Saturada, 7-9 de noviembre de 2001, Pamplona: ZNS'01* (pp. 165-169). Servicio de Publicaciones.
- Paiola, A., Assandri, G., Brambilla, M., Zottini, M., Pedrini, P., & Nascimbene, J. (2020). Exploring the potential of vineyards for biodiversity conservation and delivery of biodiversity-mediated ecosystem services: A global-scale systematic review. *Science of the total environment*, 706, 135839.
- Parras-Alcántara, L., Lozano-García, B., Keestra, S., Cerdà, A & Brevik, E.C. (2016). Long-term effects of soil management on ecosystem services and soil loss estimation in olive grove top soils. *Science of the Total Environment*. 571: p. 498-506.
- Paustian, K., Six, J., Elliott, E. T., & Hunt, H. W. (2000). Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry*, 48(1), 147-163.
- Peinado, L., Colmenero, G. S., Fuentes, A. G., & Cordero, J. A. T. (2017). Ensayo en cámara de germinación de especies arvenses de la flora del olivar: un primer paso hacia la selección de aquellas con interés en la restauración de cubiertas herbáceas en el cultivo. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, (293), 166-167.

- Poeplau, C., & Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 33-41.
- Quemada, M., Baranski, M., Nobel-de Lange, M. N. J., Vallejo, A., & Cooper, J. M. (2013). Meta-analysis of strategies to control nitrate leaching in irrigated agricultural systems and their effects on crop yield. *Agriculture, ecosystems & environment*, 174, 1-10.
- R. (2002). The importance of natural vegetation patches on the colonisation of the olive grove by *Chrysoperla carnea* Stephen (Neuroptera., Chrysopidae). *IUFRO symposium «Entomol. Res. in Med. forest ecosystems»*. Rabat, Morocco 6-11.
- Ramos, M. E., Benítez, E., García, P. A., & Robles, A. B. (2010). Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: Effects on soil quality. *Applied Soil Ecology*, 44(1), 6-14.
- Ribes-Dasi, M. (1996). Estudio de la compactación de los suelos sometidos a un proceso de nivelación laser. *Doctoral dissertation, Universitat de Lleida*.
- Rodríguez-Lizana, A., Ordóñez, R., Espejo-Pérez, A. J., & González, P. (2007). Plant cover and control of diffuse pollution from P in olive groves. *Water, Air, and Soil Pollution*, 181(1), 17-34.
- Rodríguez-Lizana, A., Ordóñez, R., Espejo-Pérez, A. J., González, P., & Giráldez, J. Rose, S., Groves, S., & Bailey, R. (2001). Calibration of a capacitance sensor for soil water measurement. *UK IRRIGATION*, 17-19.
- Ruibérriz, M. A. R., Bojollo, R. M. C., Braña, C. A., Lizana, A. R., & Fernández, R. M. Ruiz, R. G., Al-Asaad, S., & Bozsik, A. (2008). Influencia de las masas forestales en la diversidad y abundancia de los crisópidos (Neur.: "Chrysopidae") del olivar. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (26), 33-38.
- Saavedra, M. M. S., & Muñoz-Cobo, M. P. (2002). Sistemas de cultivo en olivar: manejo de malas hierbas y herbicidas. *Agrícola Española S.A. Madrid*.
- Sánchez Montero, A., Gómez Calero, J. A., & Guzmán, G. (2020). Guía cálculo de erosión en ladera con QGIS.

- Sánchez-Fernández, J., Vílchez-Vivanco, J.A., Navarro-Reyes, F.B., Castro-Rodríguez, J. (2020). Efectos del Sistema de Manejo en Olivares en Pendiente sobre la Diversidad de Mariposas. *Consejería de Agricultura, ganadería, pesca y desarrollo sostenible. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Área de Ingeniería y Tecnología Agroalimentaria*. 1-11.
- Sanz-Cobena, A., García-Marco, S., Quemada, M., Gabriel, J. L., Almendros, P., & Vallejo, A. (2014). Do cover crops enhance N₂O, CO₂ or CH₄ emissions from soil in Mediterranean arable systems?. *Science of the total environment*, 466, 164-174.
- Sarrantonio, M. (1998). Building fertility and tilth with cover crops. *Managing cover crops profitably*, 16-24.
- Seidl, R., Albrich, K., Erb, K., Formayer, H., Leidinger, D., Leitinger, G., ... & Rammer, W. (2019). What drives the future supply of regulating ecosystem services in a mountain forest landscape?. *Forest Ecology and Management*, 445, 37-47.
- Shapiro, C. A., Ferguson, R. B., Hergert, G. W., Dobermann, A., & Wortmann, C. S. (2008). Fertilizer suggestions for corn. *University of Nebraska–Lincoln Extension EC117*.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M. M., Allen, S. K., Boschung, J., ... & Midgley, P. M. (2014). Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of IPCC the intergovernmental panel on climate change. *Cambridge University Press*.
- V. (2005). Estudio de la influencia de la cobertura vegetal viva en olivar en la contaminación de las aguas de escorrentía por nitratos. *Proc VII Jornadas de Investigación en la zona no saturada del suelo ZNS*, 5, 81-86.
- Van Kessel, C., Venterea, R., Six, J., Adviento-Borbe, M. A., Linquist, B., & van Groenigen, K. J. (2013). Climate, duration, and N placement determine N₂O emissions in reduced tillage systems: a meta-analysis. *Global change biology*, 19(1), 33-44.
- Varela, J. L., Cano, E., García, A., Torres, J. A., Salazar, C., Melendo, M., González, West, T. O., & Six, J. (2007). Considering the influence of sequestration duration and carbon saturation on estimates of soil carbon capacity. *Climatic change*, 80(1), 25-41.

- Winter, S., Bauer, T., Strauss, P., Kratschmer, S., Paredes, D., Popescu, D., ... & Batáry, P. (2018). Effects of vegetation management intensity on biodiversity and ecosystem services in vineyards: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 55(5), 2484-2495.
- Wythers, K. R., Lauenroth, W. K., & Paruelo, J. M. (1999). Evaporación del suelo desnudo en condiciones de campo semiárido. *Revista de la Sociedad de Ciencias del Suelo de América*, 63(5), 1341-1349.
- Yáñez, S. y Marola, L. (2019). Erosión por cárcavas en olivar: proyecto de restauración de la cuenca del arroyo Ibros (Ibros, Jaén), (Trabajo Fin de Máster Julio). *Dpto: Geología Centro de Estudios de Postgrado Máster en Análisis. Universidad de Jaén*.
- Zamora, R., Pérez-Luque, A. J., Bonet-García, F. J., Barea-Azcón, J. M., & Aspizua-Cantón, R. (2015). Tendencias del clima pasado y predicciones al futuro. *La huella del Cambio Global en Sierra Nevada: Retos para la conservación*. 20-31.