

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Efectos de las cubiertas vegetales sobre la
productividad del cultivar de olivo "Picual"

Mención:

Curso 2016/2017

Alumno/a:

José Jódar Ruiz

Director/es:

Julián Cuevas González
Fernando del Moral Torres



Índice de contenido.

1. INTERÉS Y OBJETIVOS.....	3
1.1. Interés del cultivo.....	4
1.2. Problemática actual.....	8
1.3. Objetivos.....	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1. Manejo del suelo.....	15
2.2. Laboreo convencional.....	16
2.3. No-laboreo con suelo desnudo.....	18
2.4. Laboreo reducido.....	19
2.5. Sistemas de cultivo con cubierta.....	20
2.5.1. Siega y fertilización de la cubierta.....	25
2.5.2. Ventajas e inconvenientes de las cubiertas vegetales.....	28
2.6. El cultivo del olivo.....	29
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1. Diseño experimental.....	33
3.2. Caracterización de la flora presente.....	34
3.3. Estudio y evaluación del desarrollo fenológico y la producción.....	34
3.4. Estudio y análisis del suelo.....	37
3.5. Análisis estadístico de resultados.....	38
3.6. Cronograma.....	39
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1. Caracterización de la flora presente.....	41
4.2. Seguimiento fenológico y la producción.....	46
4.3. Análisis de suelo.....	53
4.3.1. Enzimas β -Glucosidasas y Deshidrogenasa.....	53
4.3.2. Contenido en humedad.....	55
4.3.3. Carbono orgánico.....	58
4.3.4. Capacidad de intercambio catiónico.....	60
4.3.5. Cationes de cambio en el suelo: calcio, magnesio, sodio y potasio.....	62
4.3.6. Conductividad eléctrica.....	66
5. CONCLUSIONES.....	68
6. BIBLIOGRAFÍA.....	70

1. Interés y objetivos

1.1. Interés del cultivo.

El olivo, *Olea europea* L., pertenece a la familia botánica Oleaceae. Hay unas 35 especies en el género *Olea*. Incluida dentro de la especie *Olea europea* L. están todos los olivos cultivados y también los acebuches u olivos silvestres. Hay diferencias de opinión sobre cómo clasificar estos genotipos dentro de la especie, pero generalmente se considera que los olivos cultivados pertenecen a la subespecie *sativa* y los olivos silvestres (acebuches) a la subespecie *sylvestris*.

Olea europea L., el olivo, es la única especie de la familia Oleaceae con fruto comestible. Es una de las plantas cultivadas más antiguas, cuyos orígenes como cultivo se remontan a unos 4000-3000 años antes de Cristo en la zona de Palestina (Civantos, 2001).

El olivo cultivado es un árbol de tamaño mediano, de unos 4 a 8 m de altura, según la variedad. Puede permanecer vivo y productivo durante cientos de años. El tronco es grueso y la corteza de color gris a verde grisáceo. La copa es redondeada, aunque más o menos lobulada (Figura 1); la ramificación natural tiende a producir una copa bastante densa (Rapoport, 2008).



Figura 1. Olivar típico del cultivar “Picual”, en Huelva, provincia de Jaén, España.

El hábitat del olivo se concentra entre las latitudes 30° y 45°, en ambos Hemisferios, en regiones climáticas del tipo mediterráneo caracterizadas por un verano seco y caluroso.

Actualmente el 95% del área mundial cultivada se encuentra en el área mediterránea. El patrimonio oleícola existente se estima en aproximadamente 1.000 millones de olivos, ocupando una superficie de aproximadamente 10 millones de ha. El 95 o 98% del total se sitúa en los países de la Cuenca Mediterránea, 1,2% en el continente americano, 0,4% en Asia Oriental y otro 0,4% en Oceanía. Unos 75 millones de olivos se benefician de aportaciones de agua de riego.

Por otra parte, la producción mundial del olivar alcanza una media anual de cerca de 16 millones de t de aceitunas, de las que el 90% se destinan a la obtención de aceite y el 10% se consumen elaboradas como aceitunas de mesa.

España cuenta con olivares repartidos por casi todo el territorio nacional, lo que la sitúa a la cabeza de la producción de aceitunas en el mundo. En el año 2014/2015, la superficie total de olivar era de 2.584.564 ha. La media de producción en las últimas seis campañas (2009/10 – 2014/15) ha sido de 1.215.798 t, con un récord de 1.615.000 t en la campaña 2011/12. Es importante destacar que, en el último decenio, la producción media se ha incrementado un 23% respecto al anterior periodo que era de 986.654 t. (MAGRAMA). En Andalucía, con el 62% del olivar nacional, la superficie va en aumento.

Desde el punto de vista de reglamentación de las operaciones agronómicas, se distinguen tres sistemas productivos en olivar. Dos de ellos son sistemas certificados y reconocidos por la Administración con denominación específica: agricultura ecológica y producción integrada, mientras que el tercero, denominado producción convencional, se define por exclusión, siendo aquel no incluido en ninguno de los dos anteriores. (Consejería de Agricultura y Pesca, 2013).

La producción integrada (PI) se define como el sistema agrícola de obtención de vegetales, que optimiza los recursos y los mecanismos de producción naturales, asegurando a largo plazo una agricultura sostenible. En ella se introducen métodos biológicos de control, químicos y otras técnicas que compatibilizan las exigencias de la sociedad, la protección del medio ambiente y la productividad agrícola, así como las operaciones realizadas para la manipulación, envasado, transformación y etiquetado de productos vegetales acogidos al sistema. No existe ninguna normativa específica europea que regule la producción integrada. En el ámbito nacional, el Real Decreto 1201/2002 de 20 de noviembre, regula la producción integrada de productos agrícolas; sin embargo, no existe ninguna normativa de ámbito nacional específica sobre producción integrada de olivar. En Andalucía, la producción integrada y sus productos agrarios y transformados se encuentran regulados por el Decreto 245/2003 de 2 de septiembre y el Decreto 7/2008 de 15 de enero, que modifica al anterior, y desarrollados por la Orden 13 de diciembre de 2004 y la Orden de 24 de octubre de 2005. El primer Reglamento de producción integrada para olivar se publica en Andalucía en el año

1997, iniciándose este sistema de forma experimental con una superficie de 10.000 ha en el año 1999. A fecha de 2008 había 232.707 ha de olivar en producción integrada en Andalucía. Cada Comunidad Autónoma tiene la potestad de legislar el uso de sus propios logotipos (Figura 2).

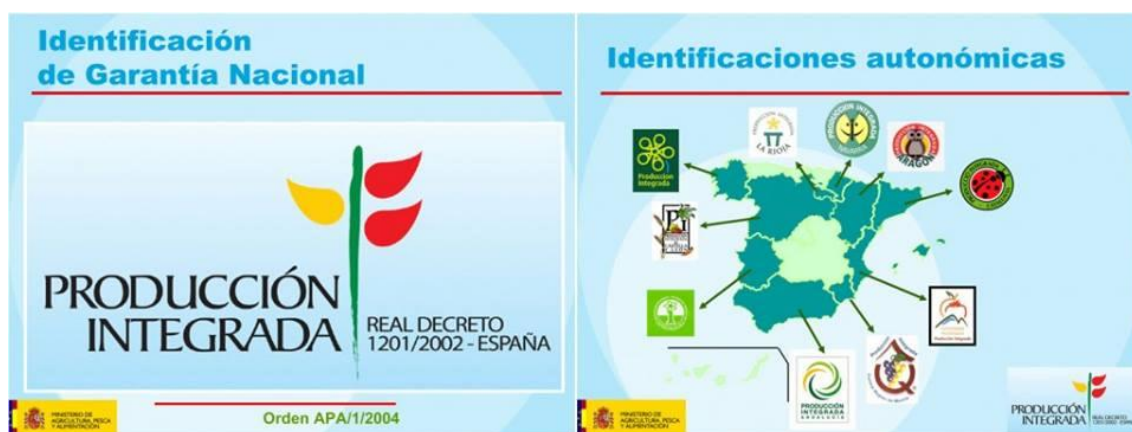


Figura 2. Logotipos de Producción Integrada Nacional y por Comunidades Autónomas.

Fuente: MAGRAMA.

Desde el punto de vista práctico, cualquier operador está obligado a cumplimentar un Cuaderno de Explotación, donde se recogen todas las intervenciones que se hacen sobre el cultivo y sobre los productos. La finalidad última de este mecanismo es garantizar la trazabilidad, es decir, el historial de los alimentos, desde el campo hasta el punto de venta.

Con relación a las materias de orden económico y comercial, el mercado no reconoce aún, la marca PI y no se detecta en el mismo, un incremento de los precios de la aceituna o el aceite producidos bajo estas condiciones. Sin embargo, las Comunidades Autónomas y la Unión Europea apoyan económicamente a los olivares que se acojan a estas condiciones de producción, aunque no lo hacen de una forma uniforme. En el caso de Andalucía, se ayuda a sufragar los gastos de contratación del técnico de la API (Agrupación de Producción Integrada), de análisis y los derivados del control y certificación, mientras que en otras CCAA la ayuda se articula a través de primas anuales por hectárea cultivada.

La Agricultura Ecológica (AE) tiene como objetivo preservar al máximo el medio ambiente y asegurar, al máximo también, las propiedades naturales de los alimentos. Se busca cumplir estos objetivos cumpliendo un compendio de técnicas agropecuarias que excluyen, normalmente, el uso de productos químicos con el fin de mantener o aumentar la fertilidad del suelo y no alterar las condiciones propias de cada producto.

La regulación legal de la agricultura ecológica comenzó en España en 1989, año en el que se aprobó el Reglamento de la Denominación Genérica “Agricultura ecológica, que fue de aplicación hasta la entrada en vigor del Reglamento Comunitario (CEE) 2092/91, sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios. Con posterioridad, desde el 1 de enero de 2009, la producción ecológica está regulada por el Reglamento (CE) 834/2007 del Consejo sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) 2092/91. En España, el control y la certificación de la producción agraria ecológica es competencia de las CCAA y se lleva a la práctica de forma variable según los criterios de cada administración. La forma de visualizar esta certificación es mediante un código de la autoridad u organismo de control, o un logo específico, con el nombre y el código de la entidad de control. Igualmente puede ir impreso el logo comunitario de la AE (Figura 3).



Figura 3. Logotipo español y europeo de Agricultura Ecológica.

La superficie de olivar ecológico en España era en 2007 de 94.251 ha, lo que suponía el 4% de la superficie total de olivar. En términos relativos al conjunto de la producción ecológica en España, estas cifras se corresponden con un porcentaje del 10%. Dejando aparte la superficie de pastos, praderas, forrajes, bosques y recolección silvestre, el olivar supone el 25% de la superficie total de producción en ecológico y representa la mayor superficie de cultivo ecológico de una única especie. En la actualidad, España cuenta con una superficie de olivar en ecológico de 168.829 ha. (MAGRAMA, 2013).

Se puede afirmar que el principal motivo de transformación en ecológico del olivar en España tiene un carácter económico. La transformación en ciertas condiciones es sencilla. El agricultor a cambio percibe ayudas interesantes por la superficie transformada y además el precio de venta del aceite se ve incrementado respecto al aceite obtenido de olivares convencionales.

1.2. Problemática actual.

La erosión del suelo por el agua es uno de los problemas más importantes de la olivicultura. El olivar es uno de los cultivos andaluces en los que las pérdidas del suelo son mayores (80t/ha) y muy superiores a otros cultivos (López-Cuervo, 1990). Diversos factores intrínsecos hacen que el problema de la erosión sea consustancial con el olivar: cultivo en suelos en pendiente, climatología de tipo mediterráneo, alternándose periodos de sequía con lluvias de gran intensidad en un corto periodo de tiempo, suelos arcillosos con baja velocidad de infiltración, en especial cuando se producen las primeras lluvias otoñales, y una escasa cobertura del suelo por el cultivo.

Poco puede hacer el agricultor para modificar estos factores en el olivar. Sin embargo, determinadas prácticas derivadas de la actividad agrícola, como el laboreo, han influido decisivamente en la aceleración del proceso erosivo. Se admite que otros sistemas de cultivo, como el no-laboreo o el cultivo con cubiertas vegetales, por ejemplo, pueden contribuir a reducir globalmente la erosión (Blevins, 1986).

El sistema de cultivo que utilicemos en nuestro olivar debe cumplir, en principio, las exigencias siguientes:

- a) Optimizar el aprovechamiento del agua de lluvia, ya que la falta de agua es el principal factor limitante de la producción del olivar.
- b) Permitir al cultivo el aprovechamiento integral del suelo
- c) Conservar el suelo, defendiéndolo de la erosión
- d) Facilitar la realización de todas las demás prácticas de cultivo, en especial la recolección de frutos, cuyo coste debe ser minimizado.

El fundamento de la problemática actual está en que una gran parte de la superficie ocupada por el cultivo del olivo se encuentra en parcelas con una acusada pendiente. Esta preocupación se manifiesta en todos los Reglamentos, de manera que todos implementan medidas de conservación de suelos en parcelas sensibles con el objeto de tratar de aminorar los daños asociados a este problema.

La forma de conseguir llevar a la práctica este objetivo es a partir de diversas medidas entre las que se encuentran las siguientes:

- Se obliga a que las parcelas con pendientes superiores al 10% sean correctamente mantenidas. Esto puede hacerse con una cubierta vegetal en las calles (controlándolas o incluso eliminándola solo en aquellas fechas en las que compete con el olivo), con cubierta inerte procedente de restos de poda, o con técnicas de no laboreo.
- El Reglamento de Cataluña va más allá y obliga el enyerbado de la calle en todos los olivares, independientemente de la pendiente de la parcela.

- La prohibición expresa del uso de la grada de discos y vertederas en el olivar, ya que destruyen la estructura del suelo y las raíces y propician la aparición de la suela de labor.
- En Andalucía se prohíbe, expresamente, labrar a favor de pendiente.
- La utilización de herbicidas se restringe a las zonas infestadas, aplicándolo en los momentos que las malas hierbas son más sensibles.
- Cataluña y Andalucía prohíben expresamente la aplicación de herbicidas sobre el ruedo del olivar.
- En Andalucía, se obliga a realizar controles periódicos de la maquinaria de aplicación de herbicidas, ya que el buen estado de ésta tiene un efecto directo sobre la eficiencia del tratamiento.

1.3. Objetivos.

Este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo general determinar el efecto comparado de laboreo, no laboreo y uso de cubiertas vegetales conformadas por adventicias sobre la disponibilidad de agua, el estado de fertilidad biológica del suelo y sobre la duración y calidad de la floración, cuajado y producción de frutos. El estudio se realizará en parcelas experimentales ubicadas en el término municipal de Huelma, provincia de Jaén.

2. Revisión Bibliográfica

En la gran mayoría de las zonas olivareras mediterráneas, la lluvia es el único aporte hídrico para el olivar, siendo el agua el factor limitante de la producción de este cultivo. La distribución anual de la pluviometría es marcadamente estacional, con un periodo muy seco (junio-septiembre), y un periodo lluvioso (otoño-invierno), en el que en el año medio se produce el 70% de la pluviometría total anual. Esta época lluviosa además está caracterizada por las bajas temperaturas y una escasa actividad vegetativa del olivo, por lo que el consumo de agua en transpiración es reducido. Durante buena parte de la primavera y en verano los olivos satisfacen sus necesidades hídricas a costa de las reservas de agua almacenadas en el suelo durante la estación lluviosa, siendo muy importante almacenar en el terreno la mayor cantidad posible de las precipitaciones de lluvia. Pero ello no es suficiente, es necesario además conservar el agua almacenada, reduciendo las pérdidas por evaporación desde el suelo, y limitar el consumo por las malas hierbas, que en determinados momentos puede ser importante (Pastor, 1989a). En la optimización del uso del agua juega un papel importantísimo el sistema de cultivo utilizado. La evolución anual del contenido de agua en el suelo depende de la naturaleza de éste (profundidad y capacidad de retención), así como de la cuantía de las lluvias y su reparto en el tiempo.

Además de conseguir una máxima infiltración de agua de lluvia en el suelo, es necesario conservar el agua almacenada, empleando para ello las técnicas de cultivo más adecuadas a cada situación, de modo que se reduzcan las pérdidas por evaporación directa a la atmosfera, limitando asimismo el consumo por las malas hierbas, consumo que en primavera puede ser muy importante (Pastor, 1989a). Debemos destacar que en la optimización del uso del agua juega un papel importantísimo el sistema de cultivo empleado.

La erosión del suelo por el agua es uno de los problemas más importantes de la agricultura mediterránea. El olivar es uno de los cultivos arbóreos extensivos más extendido y en el que la erosión representa un grave problema. Aunque los técnicos de la mayoría de países olivareros son conscientes de que la erosión es un problema muy importante, existe escasa información que cuantifique en campo las pérdidas reales de suelo, pérdidas que son aún mayores en los suelos de olivar con fuertes pendientes (Laguna, 1989; Francia *et al.*, 2000).

Los olivares son frecuentemente catalogados como muy susceptibles a la erosión del suelo. Las tasas de erosión se han estimado en torno a 40-100 toneladas por hectárea y año (López-Cuervo, 1990; ICONA, 1991) mediante investigaciones basadas en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE). USLE es un método que utiliza seis factores: erosividad de la lluvia (R), susceptibilidad de erosión del suelo (K), largo de la pendiente (L), magnitud de la pendiente (S), cubierta y manejo de los cultivos y residuos (C), y prácticas de conservación (P), para estimar la pérdida de suelos promedio (A) por el periodo de tiempo representado por R, generalmente un año de modo que; $A = R \times K \times L \times S \times C \times P$ (Depósito de documentos de la FAO, Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelos, 1991).

Las tasas de erosión en el olivar son muy inciertas, puesto que sobre ellas tienen influencia múltiples factores difíciles de determinar con exactitud, y antelación. El riesgo de erosión es más alto cuando mayor tierra desnuda hay, puesto que los suelos están más expuestos a la erosión (White *et al.*, 2016).

El empleo de cubiertas vegetales vivas sobre el suelo se ha mostrado como un sistema muy eficaz en la lucha contra la erosión (Philips y Philips, 1986; Moreira, 1991), en especial en cultivos leñosos de secano, como el olivar, donde la cobertura natural del terreno por el propio cultivo es reducida. Un aspecto fundamental para el éxito de esta técnica es el control de la transpiración de la cubierta.

Por otra parte, en los últimos años los depósitos de carbono orgánico y las prácticas que contribuyen a su aumento han sido ampliamente estudiados, debido a su influencia en la reducción del dióxido de carbono atmosférico (Buyanousky y Wayner, 2000; Lal, 2013; Schlesinger, 2014). La capacidad de almacenar carbono orgánico depende en gran medida de las propiedades de clima y suelo, aunque en los suelos agrícolas el sistema de cultivo también juega una parte considerable (Hernández *et al.*, 2002).

La adopción de determinadas prácticas de cultivo puede reducir globalmente la erosión a nivel de parcela, e incluso a nivel de la cuenca hidrográfica, si la adopción de las prácticas preventivas se hiciese de forma colectiva y coordinada.

Prácticas agrícolas, como el laboreo, han influido decisivamente en la aceleración del proceso erosivo. Debemos ser conscientes de que el laboreo no es una forma natural de mantenimiento de un suelo en un olivar, ya que al desagregar las partículas y al destruir la cubierta vegetal, es el sistema de cultivo que *a priori* puede generar las mayores pérdidas de suelo. Sistemas alternativos como el no laboreo, mínimo laboreo o el cultivo en no-laboreo con cubierta vegetal pueden contribuir, en muchas situaciones, a reducir globalmente las pérdidas de suelo (Pastor *et al.*, 2001).

A la hora de elegir un sistema de cultivo deberíamos conocer en su conjunto las características del suelo y las del olivar que vamos a manejar, aplicando en cada parcela, o incluso en cada subparcela de una determinada explotación, la práctica cultural más adecuada a sus características.

La labranza tradicional ha sido utilizada con el principal objetivo de reducir la competencia de las malezas debido a la escasez hídrica. La introducción de tractores y aperos de labranza, aumentaron la frecuencia del laboreo, dando lugar a la erosión grave en zonas de topografía accidentada, por lo que, desde la aparición de los herbicidas residuales, numerosos estudios han intentado buscar una alternativa al laboreo tradicional, reduciendo así la agresividad a la que los suelos se están viendo sometidos.

Los exámenes iniciales fueron positivos debido a la reducción de costos, y el sistema de no laboreo fue adoptado en los años ochenta, llegando a 30.000 ha en Andalucía. Desde entonces no ha habido más expansión por diversas razones, aunque diversos

ensayos agrícolas han determinado un aumento de los rendimientos en no laboreo incluso en años con precipitaciones por debajo de la media (Humanes, 1992).

En la actualidad, los principales objetivos del manejo del suelo en olivar son, por un lado, reducir la erosión y evitar la degradación y/o contaminación de los suelos, y por otro lado, conseguir un buen balance de agua y nutrientes, que garantice un adecuado nivel de productividad.

Las principales funciones del suelo con relación a los cultivos, en nuestro caso el olivar, son las siguientes:

- Almacén de agua y nutrientes, siendo el agua el factor que más influye en la producción del olivo.
- Espacio donde se desarrollan las raíces y que actúan de soporte del olivo, a la vez que son vía de entrada natural del agua y los nutrientes en la planta.
- Lugar donde se producen la mayor parte de los procesos de adsorción-desorción y degradación de fitosanitarios.
- Soporte fundamental del agrosistema, de la flora y de la fauna.

En los últimos años mucho se ha discutido sobre cuál es el sistema de cultivo más idóneo en el olivar. Así, existen defensores de los sistemas sin laboreo del suelo, mientras que la mayoría de los agricultores y técnicos han defendido el laboreo. En el estado actual de conocimiento, no está clara la conclusión, ya que una labor tras varios años de no-laboreo puede ser justificable en determinadas situaciones, y en algunos casos puede ser recomendable (Pastor,1991).

El proceso de formación de los suelos es muy lento y variable, según la naturaleza de la roca madre y de los factores ambientales. Las tasas de formación de suelos agrícolas pueden variar entre 3 y 15 toneladas por hectárea y año. En muchos olivares se producen pérdidas reales de suelo (entre 5 y 80 toneladas de suelo por hectárea y año) muy por encima de las tasas de formación, sobre todo en parcelas con fuertes pendientes y en las que no se llevan a cabo medidas de conservación de suelos. En los olivares de la cuenca mediterránea, por sus condiciones climáticas, dichas pérdidas se producen fundamentalmente debido a la acción erosiva del agua (erosión hídrica), aunque en algunos lugares también pueden producirse erosión por el viento (eólica).

Los factores intrínsecos que agravan el problema de la erosión en el olivar son:

- Cultivos en suelos con elevada pendiente.
- Climatología de tipo mediterráneo, alternando periodos de sequía con lluvias de gran intensidad en cortos periodos de tiempo.
- Suelos arcillosos con baja velocidad de infiltración.
- Escasa cobertura del suelo por el cultivo.

Las consecuencias de los procesos erosivos son:

- Reducción de la capacidad de almacenamiento de agua.
- Reducción de la cantidad de nutrientes disponibles.
- Pérdida de sistema radical del árbol (Figura 4).
- Riesgos de contaminación por pesticidas a través de la escorrentía y el arrastre de partículas
- Colmatación de cauces y sedimentaciones en arroyos, ríos y embalses.



Figura 4. Pérdida del sistema radical de un olivo a causa de la erosión hídrica.

La erosión hídrica se manifiesta de cuatro formas:

- Laminar; pérdida de partículas superficiales. Es muy importante, pero suele pasar inadvertida a simple vista.
- En surco; cuando hay acumulación de escorrentía y se disimula bien con las labores.
- En cárcavas y barrancos; es muy espectacular y no se disimula con las prácticas de laboreo habituales.
- Movimiento en masas; responde a un problema de estabilidad del suelo y normalmente escapa al control del agricultor.

La aparición de cárcavas en las explotaciones es un grave problema, ya que además de reducir la superficie efectiva disponible, supone un verdadero obstáculo para el tránsito y el desarrollo de las labores propias del cultivo.

La lucha de forma preventiva contra la formación de las cárcavas es fundamental, realizada principalmente a través del uso de cubiertas vegetales que sirvan de barrera, reduzcan la velocidad del agua de escorrentía e incrementen la capacidad de infiltración

del suelo. También se pueden proteger los cauces y zonas de concentración de aguas de escorrentía o acumular agua en determinadas zonas mediante la realización de pozas encadenadas, que permitan una mayor infiltración del agua, aumentando la cantidad de agua almacenada en el suelo, reduciendo los daños por erosión. Otra forma de evitar que las cárcavas se formen es la modificación de la pendiente del terreno mediante la realización de terrazas o bancales (Saavedra *et al.*, 2015).

Prácticas **recomendadas para luchar contra la erosión** en el olivar:

- Mantener la cubierta vegetal, natural o de especies cultivadas, en las calles.
- Aportar materia orgánica, por ejemplo, los restos de poda triturados, hojas, con el fin de mejorar la estructura y la capacidad de infiltración.
- Dejar las hojas caídas bajo la copa, salvo en casos de problemas fitosanitarios.
- Dejar los restos vegetales y de poda triturados sobre la superficie del suelo, excepto si hay riesgos de *verticilosis* u otras enfermedades o plagas que aconsejen retirarlos.
- Respetar la vegetación natural de lindes, setos, árboles asilados, bordes de montes, etc. Además, de favorecer la vegetación natural de las riberas de arroyos, cursos de agua o zonas de desagüe, procurando que su desarrollo no sea excesivo para evitar los posibles incendios en verano.
- Evitar las labores frecuentes en los suelos con la finalidad de eliminar las malas hierbas.
- Evitar la utilización de aperos que destruyan la estructura del suelo y propicien la suela de labor.
- En caso de labrar, nunca hacerlo a favor de la pendiente, y preferentemente siempre que sea posible perpendicular a la pendiente.
- No hacer subsolados o labores verticales profundas de forma continua que constituyan una red de drenaje (Cabeza *et al.*, 2009).

2.1. Manejo del suelo.

El manejo del suelo es uno de los factores con mayor peso específico a tener en cuenta en el cultivo del olivar por las repercusiones que tiene sobre el aprovechamiento del agua de lluvia, sobre la erosión y sobre el control de las “malas hierbas”. Las técnicas de manejo de suelo en olivar se pueden agrupar en dos líneas: técnicas de mantenimiento con suelo desnudo, y con cobertura de suelo. En el esquema de la **figura 5** se presentan las diferentes técnicas de manejo del suelo.

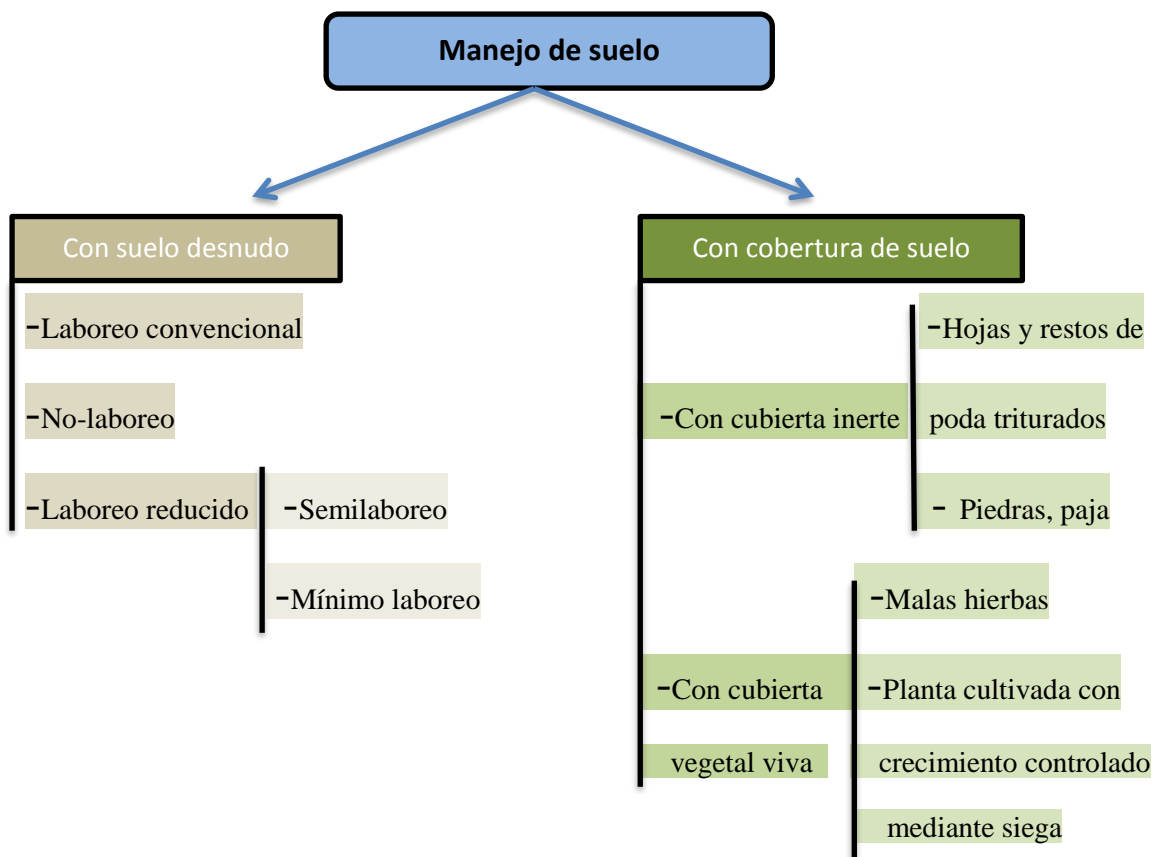


Figura 5. Esquema de los diferentes manejos del suelo en olivar.

2.2. Laboreo convencional.

El principal objetivo que persigue el agricultor cuando realiza las labores es aumentar las disponibilidades de agua en el suelo para el aprovechamiento del cultivo. En este sistema de cultivo, el suelo se mantiene desnudo de vegetación durante todo el año, ya que se lleva a cabo una continua realización de labores, principio básico de la agricultura mediterránea (Figura 6).

El laboreo es el sistema de cultivo más empleado a la vez que es la técnica que genera mayores pérdidas del suelo (Pastor *et al.*, 1997). La supresión del laboreo puede reducir globalmente la erosión, ya que con el tiempo la estabilidad de los agregados tiende a aumentar ya que al no ser alterados por los aperos de labranza estos son capaces de tolerar mejor el impacto de las gotas de lluvia sin desagregarse.



Figura 6. Laboreo tradicional en olivar, paraje “los majatrencos”, Huelma (Jaén).

En la actualidad, los aperos de labranza vertical, como cultivadores y vibrocultivadores, son los más utilizados por los olivereros, existiendo una tendencia a la reducción de la profundidad de las labores. La mejora temporal de la infiltración (hasta que ocurre la próxima precipitación intensa) es lo único que parece justificar técnicamente el laboreo, dependiendo su eficacia del tipo de apero empleado y del tempero del suelo en el momento en que se realizan las labores. Diferentes autores han puesto de entredicho la universalidad del laboreo como técnica más adecuada de cultivo, ya que en muchos casos tampoco es más eficaz y económico que los herbicidas en el control de malas hierbas (Civantos y Torres, 1981).

En el caso de llevar a cabo técnicas de cultivo como el laboreo, la grada de discos es el apero menos recomendable, ya que al voltear el suelo ocasiona importantes pérdidas de agua por evaporación, dando lugar además a la formación de suela de labor que reduce la infiltración en profundidad. Es frecuente que los agricultores empleen durante el verano las denominadas rastras o gradas de púas, que realizan una labor muy superficial sobre el suelo seco ya alterado por las labores anteriores. Sus efectos en este caso son pocos nocivos y preparan el suelo para recibir las lluvias otoñales. El trabajo anual del suelo finaliza con un pase de rulo compactador, cuya misión es preparar el suelo alrededor del olivo para la recolección (Pastor, 1991).

2.3. No-laboreo con suelo desnudo.

En este sistema de cultivo se eliminan totalmente las labores, encomendando el control de las malas hierbas al uso de herbicidas. Los herbicidas deben aplicarse bien sobre el suelo desnudo, en otoño en preemergencia de las malas hierbas, o en postemergencia temprana, a mediados de otoño, después de producirse las primeras lluvias que facilitan la germinación de la mayoría de las hierbas de ciclo invernal, que suelen ser las más abundantes. Las malas hierbas perennes son igualmente un importante problema y su eliminación debe hacerse durante la primavera, en postemergencia, empleando un herbicida de translocación.

Aunque desde el punto de vista de la producción, el sistema de no-laboreo proporciona casi siempre ventajas, así como una reducción global de la erosión, también presenta algunos inconvenientes: inversión de flora y formación de cárcavas profundas en las zonas de desagüe natural de la escorrentía (Figura 7).

La formación de cárcavas y las dificultades en el control de determinadas especies de malas hierbas, después de varios años de uso reiterado de los mismos herbicidas, junto con la falta de un adecuado servicio de transferencia de tecnología, han sido las causas que a lo largo del tiempo han limitado la aplicación generalizada de las técnicas de no laboreo por los agricultores (Pastor, 2001).



Figura 7. Surcos producidos por el desagüe natural de la escorrentía en no-laboreo con suelo desnudo.

En parcelas en las que durante varios años se empleó el sistema de no-laboreo se consiguieron excelentes resultados, con mayores producciones que en laboreo convencional en el 85% de los ensayos, con un aumento medio de producción del 16%

para el conjunto de los 88 ensayos que se realizaron bajo supervisión oficial. Solamente en el 5% de los ensayos se observaron pérdidas de producción en no-laboreo con respecto al sistema tradicional, casi siempre en suelos formados sobre margas triásicas y en pendiente debido a la formación de una costra superficial que limitan la infiltración de agua en el suelo (Pastor y Guerrero, 1990).

2.4. Laboreo reducido.

Los sistemas de laboreo reducido, bien en su versión de semilaboreo o en la de mínimo laboreo, han reducido los costes de cultivo, proporcionando en la gran mayoría de los casos aumentos significativos de producción con respecto al laboreo tradicional. En muchas situaciones estos sistemas parecen más eficaces que el laboreo en el uso del agua y del suelo por el cultivo.

El semilaboreo se trata de un sistema mixto entre el laboreo convencional y el no laboreo, consistente en aplicar un herbicida residual en la banda de árboles, o solamente bajo la copa de los mismos, dejando esta zona sin labrar, realizando el laboreo convencional en el centro de las calles, pudiendo cruzarse la labor. Mediante el empleo de esta técnica se obtuvo durante cuatro años y en cuatro olivares de la provincia de Jaén un aumento medio de la producción del 7% con respecto al laboreo convencional (Pastor, 1991), aunque la producción fue menor que en no laboreo.

Otro sistema interesante podría ser el mínimo laboreo, sistema bastante similar en su filosofía al semilaboreo, con la diferencia de realizarse únicamente una o dos labores superficiales (5 cm de profundidad) durante el año, cuya misión es romper la costra superficial, aplicándose herbicidas a toda la superficie de la finca para poder mantener la vegetación controlada durante todo el año. Debe quedar muy claro que en este sistema el objetivo del laboreo superficial no es controlar las malas hierbas, papel que se encomienda a los herbicidas, sino favorecer la infiltración ante las lluvias venideras (Benito *et al.*, 2003).

Estas labores superficiales deben realizarse cuando las pérdidas de agua ocasionadas sean mínimas, o cuando no dañemos el sistema radical del olivo, no debiéndose labrar nunca durante la primavera, momento en el que la rotura de raíces desequilibra fisiológicamente el árbol al alterar la relación funcional hoja/raíz.

La técnica de mínimo laboreo proporcionó durante varios años, y en diferentes explotaciones interesantes aumentos de producción con respecto al sistema convencional, especialmente en suelos limosos, incluso mejores que en no laboreo en los suelos en que este sistema no parece el más adecuado.

Para que esta técnica sea eficaz, es necesario elegir correctamente el momento de realizar las labores, así como el apero con que realizarlas. En este sentido, el vibrocultivador es de gran utilidad, así como labores de invierno, momento en el que la demanda evaporativa de la atmosfera es menor. Las labores de verano, cuando hay poca

agua que perder, son igualmente interesantes, con el fin de preparar el terreno para recibir las lluvias otoñales. En cualquier caso, el laboreo en primavera es poco recomendable en cuando a la conservación de agua se refiere (Navarrete *et al.*, 2003).

2.5. Sistemas de cultivo con cubierta.

Desde el punto de vista del control de la erosión, el cultivo con cubierta parece ser la solución más eficaz. Sin embargo, cubrir el suelo es, por diversos motivos, difícil en un cultivo de secano. Cualquier estrategia que permita de un modo económico cubrir el suelo, sin que se establezca competencia con el cultivo, siempre es recomendable.

Las cubiertas vegetales son, sin duda, una estrategia eficaz y de futuro para intentar parar el avance de la erosión. El olivar es uno de los cultivos en los que las pérdidas de suelo son mayores, muy superiores a las observadas en cultivos de cereal/girasol o en zonas de pastizal o matorral. El uso de cubiertas vegetales es una de las opciones destacadas entre las medidas medioambientales actualmente en desarrollo. La función de la cubierta vegetal es proteger el suelo de la degradación/erosión a la que se ve sometido por los impactos directos de las gotas de agua de la lluvia y por la escorrentía superficial.

En el olivar, las cubiertas se sitúan en la calle situada entre las hileras de árboles. La zona ubicada bajo la copa de los mismos se deberá mantener libre de vegetación. El manejo adecuado de las cubiertas se ha desarrollado al unísono con el desarrollo de los herbicidas.

Según Pastor (1991), todas aquellas prácticas de cultivo que eviten el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el terreno eviten la desagregación del suelo, aumenten la velocidad de infiltración y reduzcan la velocidad del agua en su movimiento sobre el terreno hacia las zonas de desagüe, contribuirán sin duda a la conservación del suelo.

A mayor grado de cobertura del suelo, las pérdidas por evaporación directa son menores. Una opción para incrementar la cobertura total del suelo es emplear materiales no vivos como, piedras, paja o restos vegetales con garantías sanitarias. Las cubiertas vegetales vivas (espontáneas o cultivadas) cubren también el suelo reduciendo la evaporación, pero consumen agua por transpiración y puede competir temporalmente por los nutrientes con el olivo (especialmente a finales de invierno o principios de primavera). A continuación, se describen diferentes modalidades del cultivo con cubierta (Blevins, 1986).

- **Cultivo con cubierta inerte.**

El cultivo con cubierta inerte (plásticos, paja, mantas porosas sintéticas, restos vegetales, etc.) representa un coste elevado. Sin embargo, la utilización del material de poda troceado y repartido sobre la superficie del terreno, dado que presenta una gran persistencia en el suelo, parece ser bastante viable. Otra alternativa son las piedras de pequeño y mediano tamaño, que en suelos pedregosos proporcionan una excelente cobertura en cultivos de secano.

- **Cultivo con cubierta viva de malas hierbas durante el invierno.**

Pensando en la resolución eficaz del problema de la erosión, puede plantearse el empleo de cubiertas vegetales vivas (Blevins, 1986) en el centro de las calles (Figura 8), manteniéndolas hasta el final del invierno, momento en que debe realizarse su siega, para evitar que la planta de cobertura siga consumiendo agua y compitiendo con el cultivo al entrar la primavera. Para que esta práctica sea agronómicamente viable, debe plantearse la formación de la cubierta a expensas del aumento en las disponibilidades de agua en el suelo, ya que la presencia de la cubierta aumenta la infiltración durante el periodo de lluvias (Pastor, 1989), mientras que los restos vegetales secos, junto con la ausencia de labores, pueden reducir la velocidad de evaporación del agua desde el suelo durante la primavera y verano (Castro, 1993).

El empleo de cubiertas de malas hierbas segadas químicamente con herbicidas ha proporcionado muy buenos resultados desde el punto de vista de la producción (Pastor, 1991), consiguiendo un aumento de cosecha de un 21% con respecto al laboreo. En algunos ensayos la mayor dificultad que plantea el cultivo con este tipo de cubierta de invierno es el adecuado manejo de las malas hierbas por un uso incorrecto de los sistemas de siega (Pastor *et al.*, 1986), lo que ocasiona problemas de competencia por agua y nutrientes con el cultivo. Se recomienda un aporte de nitrógeno complementario en invierno, para que, de esta forma, se cubran las posibles necesidades, sobre todo en años con baja pluviometría.



Figura 8. Cubierta vegetal viva en el centro de las calles de un olivar.

En este sistema es recomendable el empleo de cubiertas en las que predomine una única especie, o una mezcla de especies de una única familia, haciendo evolucionar la flora natural mediante el empleo de herbicidas. Para el éxito de este tipo de cubiertas es recomendable dejar franjas estrechas de vegetación sin segar en el centro de las calles (Figura 9), lo que permitirá la producción de semillas y su autosiembra.



Figura 9. Franja sin segar de la cubierta vegetal con la finalidad de garantizar su autosiembra.

Recomendaciones de uso:

- Es muy recomendable en suelos donde la topografía del terreno hace complicada la siembra de especies y en zonas labradas, donde habrá una cantidad de especies que nos permitirá tener una densa cubierta protectora.
- Es importante segar la cubierta, ya que su crecimiento espontáneo libre puede dar lugar a menores producciones de aceituna.
- En zonas de montaña, en el caso de existir ganado, se recomienda el pastoreo, siempre dejando entrar a los animales cuando el suelo no tenga exceso de humedad, ya que de lo contrario se compactará el terreno.
- En olivar con menor pendiente media y con mayores rendimientos, la cubierta se podrá tratar con herbicidas o desbrozadoras.

Inconvenientes en el control:

- Siega química; requiere dosis más altas de herbicidas que las usadas en cubiertas con única especie, con el consiguiente mayor coste económico.
- Siega mecánica; la vegetación puede evolucionar hacia especies perennes, de fácil rebrote y rastreras, todas ellas de difícil control con desbrozadora.
- Siega con pastoreo; dejar pasar en el momento adecuado. Vigilar especies no consumidas por el ganado. La elección del ganado también es importante, ya que algunas especies tienden a comer las hojas del olivo (ramonear) (Saavedra *et al.*, 2015).

- **Cultivo con cubierta viva de cereal o veza.**

En este caso, la cubierta vegetal se obtiene mediante la siembra de una especie vegetal en las calles del cultivo. Se recomienda especies adaptadas en seco, tales como cebadas o vezas, cuyas semillas son fáciles de conseguir, son baratas y de ciclo otoño-invierno, y su cultivo es muy bien conocido por el agricultor.

La siembra debe realizarse en los primeros días del otoño, para que las semillas germinen con las primeras lluvias, de modo que en poco tiempo y antes de la llegada del frío se consiga una buena cobertura del terreno. La cubierta así obtenida debe dejarse crecer sin otro tipo de cuidado especial durante el periodo otoño-invierno.

La siega de la cubierta para evitar que continúe consumiendo agua, se sitúa en torno a la tercera semana del mes de marzo (inicio del encañado del cereal) (Castro, 1993). Esta fecha también podría mantenerse para las cubiertas de veza, momento que

fenológicamente parece coincidir con la aparición de las primeras flores (Humanes y Pastor, 1995).

Los restos de cebada una vez segada presentan una gran persistencia sobre el terreno, mayor que la veza, aspecto que es fundamental en la protección del suelo de la erosión. El cultivo con cubiertas de cereal demanda un abonado complementario a la fertilización normal del cultivo. Se pueden cifrar estas necesidades en unas 50 UF/ha de nitrógeno, siendo muy importante esta técnica para evitar déficit de nitrógeno en primavera (Van Huyssteen *et al.*, 1984).

Los problemas más importantes que se pueden plantear con esta técnica son la competencia por el agua si la siega no es oportuna o el peligro de incendio, si en primavera y después de la siega no se produjeran lluvias. Una vez que la paja se ha mojado se producen alteraciones microbianas que la hacen poco combustible.

- **Cubiertas vegetales sembradas de gramíneas.**

Se recomiendan en olivares cuyos suelos hayan sido previamente manejados en no laboreo o en suelos muy erosionados. En ambos casos, el banco de semillas es pobre en especies y en densidad de semillas.

Se pueden utilizar semillas no certificadas con precios económicos. Estas precisan de siembra con sembradoras, abonadoras tipo centrífugo o a mano y enterrado de la semilla con pase superficial de rastra o reja. No es posible en parcelas con pendientes pronunciadas (15-20%). Las dosis son de 100-110 kg/ha de cubierta vegetal (50-55 kg/ha de terreno). En el caso de gramíneas espontáneas (ballico, cebadillas, bromo, braquipodium, etc), no se necesita enterrado de semillas. Se pueden emplear en parcelas con pendiente o en años posteriores puede “autosembrarse” (formación de la banda de semillado mediante siega química). Las dosis de ballico son de 15 kg/ha de cubierta (7,5 kg/ha de terreno). (Saavedra *et al.*, 2015).

- **Cubiertas vegetales de leguminosas sembradas.**

Son muy interesantes como alternativa en los olivares ecológicos en los que necesariamente son manejados con desbrozadoras. En ningún caso se deben incorporar los restos vegetales al suelo con una labor. En estas cubiertas, su eliminación se puede hacer mediante siega química, siendo más difícil y costoso de llevar a cabo que en las gramíneas con los herbicidas actuales. Otra alternativa sería la siega mecánica, muy eficiente sobre todo en especies con poca capacidad de rebrote como la veza, y siempre que las siegas sean muy tardías (después de marzo y con la planta en plena floración) (Cano *et al.*, 2011).

- **Cubiertas vegetales de crucíferas sembradas (mostaza blanca, eruca y otras).**

Las crucíferas se presentan como una alternativa muy interesante, por un lado, por la necesidad de encontrar especies capaces de entrar en rotación con la cubierta de gramíneas, ya que tras varios años de utilización de la misma especie como cubierta se produce un deterioro de la misma y de la capacidad de protección del suelo, compactación, e inversiones de flora hacia especies de difícil control, y por otro lado, por las múltiples ventajas que ofrecen como:

- Especies conocidas por el agricultor (el típico jaramago).
- Crecimiento rápido y abundante producción de biomasa
- Sistema radicular potente que favorece la infiltración de agua.
- Su potencial como especies que controlan *Verticillium dahliae*, así como otras enfermedades del suelo (Alcántara *et al.*, 2005).

2.5.1. Siega y fertilización de la cubierta.

Una vez que se ha conseguido una buena cobertura del suelo (un 70% podría ser suficiente), debe realizarse la siega de la cubierta para evitar que continúe transpirando, eliminando así la competencia por agua y nutrientes con el olivo. Dependiendo de las zonas y los cultivos las fechas de siega varían. Las eliminaciones de las cubiertas vegetales se pueden realizar mediante los siguientes procesos:

- a) **Siega mecánica** empleando segadoras convencionales o desbrozadoras accionadas por el tractor (Figura 10). Los resultados obtenidos con este procedimiento son pocos satisfactorios, debido a los rebrotes de la hierba, y en otros casos por la selección de especies de porte rastrero o perennes que ocasionan reducciones en la producción debido a la competencia por el cultivo (Civantos y Torres, 1981).
- b) **Siega química** pulverizando herbicidas de contacto o translocación sobre la cubierta, escogiendo aquellos que generen menores problemas de selección de flora.
- c) **Siega a diente** pastoreando únicamente con ganado ovino. Este sistema es eficaz siempre que se emplee una carga ganadera suficiente como para haber consumido la cubierta antes de iniciarse la competencia por el agua con el cultivo. Con este sistema productivo se produciría la compactación superficial del terreno por las pezuñas del ganado cuando se pastorea después de una lluvia, lo que limita la infiltración de agua tras las lluvias.



Figura 10. Siega mecánica con desbrozadora activada por la toma de fuerza de un tractor.

El cultivo con cubiertas demanda normalmente un abonado complementario a la fertilización normal del cultivo, cifrando estas necesidades en unos 50 kg/ha de nitrógeno, siendo especialmente importante esta práctica si entre las plantas de cobertura predominan las gramíneas, ya que el bloqueo temporal de nitrógeno puede ocasionar problemas de deficiencia para el olivo al principio de la primavera, coincidiendo con el momento de máximas necesidades (máximo crecimiento vegetativo, floración) (Ramírez *et al.*, 2015).

Con la finalidad de hacer viable económicamente el cultivo con cubierta, Pastor (2001) indica que es necesario facilitar la recolección de las aceitunas, ya que esta operación representa el coste de cultivo más importante, siendo bastante frecuente la caída de frutos al suelo tras su maduración. Para ello, cuando se vaya a implantar este sistema de cultivo comenzaremos por preparar los suelos, alisándolos y despedregándolos, aplicando posteriormente un herbicida remanente bajo la copa de los árboles o en líneas, para mantener esta zona permanentemente libre de malas hierbas.

Más tarde, se preparará el terreno y se realizará la siembra de la cubierta o se permitirá la implantación de la cubierta natural en franjas en el centro de las calles, cubierta que se dejará crecer durante el otoño e invierno. A principios de primavera se realizará la siega química con herbicida, dejando los restos vegetales hasta el otoño, no olvidando dejar una estrecha franja sin segar para proporcionar el banco de semillas que asegure la autosiembra en el otoño siguiente.

Los restos de poda, que normalmente son quemados por el olivarero, una vez triturados, constituyen igualmente una adecuada cubierta natural (Figura 11).



Figura 11. Triturado de restos de poda e incorporación inmediata al suelo.

Las cubiertas vegetales vivas mantenidas en seco permanentemente y sin ningún tipo de control en las plantaciones arbóreas reducen el desarrollo y vigor de los árboles. Esto se debe a que compiten por agua y nutrientes, afectando tanto a plantaciones jóvenes, especialmente, como adultas. Es, por consiguiente, necesario ejercer un control sobre el crecimiento de la cubierta y eliminar esos efectos negativos, en este tipo de plantaciones.

Las diferencias del contenido de agua en suelo, según el método de siega elegido, se traducen al final en variaciones en las producciones. Por lo que respecta a la producción, la siega química es el sistema más eficaz en controlar el crecimiento de la cubierta y con el que se obtienen las mayores producciones comparado con la siega mecánica.

- **Manejo de herbicidas.**

En los sistemas de manejo de suelo desarrollados anteriormente se hace referencia de forma frecuente a la posibilidad de siegas químicas. Es obvio que la utilización de herbicidas adquiere un papel fundamental en algunos sistemas de manejo de suelo y que el conocimiento de las características de los mismos facilitara su empleo de forma eficaz.

Los herbicidas se pueden clasificar atendiendo a diferentes factores. En el momento de la aplicación de un herbicida es fundamental conocer a que grupo pertenece y si sus características se adaptan al objetivo que se persigue.

En la siguiente tabla se muestra una clasificación de los herbicidas según su modo de acción, la vegetación afectada y el momento de aplicación (García *et al.*, 2000).

Cuadro 1

Clasificación de los diferentes herbicidas (Saavedra, M. et al., 2015).

Por su modo de acción	
Residuales	Deben permanecer en el suelo y sin descomponerse, al menos, el tiempo que transcurra desde el momento de su aplicación hasta el de la nascencia de las malas hierbas que se pretenden controlar, dado que es en este momento cuando realizan su función.
De contacto	Afectan a las plantas y partes de las plantas que son mojadas por ellos, de ahí la importancia que adquiere en este tipo de herbicidas el factor mojabilidad.
Sistémicos o de traslocación	Penetran en el interior de las plantas y bloquean alguno de los procesos metabólicos de esta. Afectan a la totalidad de la planta. Este tipo de herbicidas está especialmente indicado contra especies con sistema radicular potente que tengan tendencia a rebrotar
Por la vegetación afectada	
Totales	Aquellos que afectan a toda la vegetación sobre la que se aplican
Selectivos	Afectan a un determinado tipo de vegetación. Dentro de ellos están los conocidos como “herbicidas de hoja ancha” o de “hoja estrecha”.
Por el momento de aplicación	
Pre-emergencia	Los que se aplican una vez que el cultivo ha sido sembrado, pero con anterioridad a la nascencia del mismo. También se incluyen los que se aplican en cultivos permanentes antes de la emergencia de las hierbas que se pretenden controlar
Post-emergencia	Se aplican tras el nacimiento tanto de las malas hierbas como de las plantas cultivadas.

2.5.2. Ventajas e inconvenientes de las cubiertas vegetales.

Las características de la “cubierta ideal teórica en olivar” sería de una altura media no excesiva, con un rápido crecimiento y desarrollo radicular superficial o profundo con capacidad de descompactar, según el fin que se pretenda (Jordan y Jordan, 1995). Es necesario que la cubierta vegetal sea escasamente competitiva con el cultivo, pero competitiva con las malas hierbas no deseadas. Además, cabe destacar que debe estar adaptada a la estación de lluvia y a los suelos, no debe ser hospedadora de insectos-plaga, de baja combustibilidad, con capacidad de captar o movilizar nutrientes y ser capaz de “autosembrarse”

Según Pastor (2001), con respecto al cultivo con suelo desnudo de vegetación, una cubierta vegetal podría proporcionar para el cultivo y el medio ambiente algunos beneficios importantes. Entre ellos se puede citar una reducción de las pérdidas de suelo por erosión, aumento de la infiltración del agua de lluvia en el terreno, en especial durante los momentos de lluvias intensas, lo que repercute en una mayor cantidad de agua disponible para el cultivo a lo largo del ciclo vegetativo, en especial durante la primavera. Por último, los restos vegetales también pueden contribuir al control de las malas hierbas.

Hay que señalar que durante la primavera los restos vegetales proporcionan un buen hábitat para las aves nidificantes en el suelo, y facilitan la conservación de la fauna de artrópodos del suelo, invertebrados que constituyen la base alimenticia de muchas aves en las primeras etapas de su desarrollo.

Una de las ventajas de las cubiertas vegetales es la economía del agua en el cultivo. Un olivar es un cultivo tradicional de secano, en el que el agua es el factor limitante de su producción. La creación de una cubierta viva en las calles de un olivar, siempre plantea la duda de que un mal manejo de la misma puede ocasionar problemas de competencia por el agua y nutrientes con el olivo, lo que podría provocar ciertas pérdidas de producción, inaceptables para el olivarero, a pesar de ser ésta la técnica más adecuada para la conservación del suelo.

Dentro de los puntos débiles de esta técnica destaca la posibilidad de fuego de los restos vegetales secos durante el verano que podría causar serios daños a la plantación, en especial en primaveras secas en la que la descomposición de los restos por los microorganismos del suelo es más lenta. Por otra parte, el mal manejo de la cubierta, especialmente la elección de la fecha de siega, puede ocasionar importantes e irreversibles pérdidas de agua, lo que puede afectar negativamente a la producción. Por último, la presencia de la cubierta puede dificultar la recolección si no se preparan los suelos correctamente para esta labor.

Los cultivos con cubierta vegetal o de cobertura, se definen por excelencia como cultivos para proteger el suelo de la erosión y las pérdidas de nutrientes por lixiviación y escurrimiento, además, ayudan en la conservación y la calidad del agua y el riego, y aumentan la población de insectos beneficiosos en el manejo integrado de plagas (White *et al.*, 2016).

2.6. El cultivo del olivo.

Los olivares son uno de los cultivos más importantes y extensos en la región del Mediterráneo, ya que ocupan un área estable cultivada (Freibauer *et al.*, 2009) de unos 9,4 millones de has. La erosión del suelo, y la consiguiente pérdida de la fertilidad, afecta al contenido del carbono orgánico entre otros nutrientes. Estos problemas son significativos en olivares debido principalmente a las fuertes pendientes del terreno, y al

clima mediterráneo, que normalmente tiene largos periodos de sequía seguidos de lluvias torrenciales (Gómez *et al.*, 2003 y 2004; Pastor, 2004).

La falta de cobertura del suelo, causada por la labranza tradicional, reduce el carbono orgánico y el nitrógeno, ya que minimiza la incorporación de residuos orgánicos y aumenta los riesgos de erosión, además de romper los agregados del suelo y aumentar la aireación de los suelos (Balesdent *et al.*, 1990; Lal, 2002; Sainju *et al.*, 2002; Bronick y Lal, 2005; Pulleman *et al.*, 2005). En los últimos años, los sistemas en olivar de cubierta alternativa se han introducido para frenar la erosión del suelo. Estos nuevos sistemas de cultivo pueden aumentar el contenido de carbono y nitrógeno orgánico en el suelo y, en consecuencia, contribuir a modificar la cantidad de carbono atmosférico (Sofo *et al.*, 2005)

La adopción de prácticas agrícolas conservacionales, que incluyen el reciclado de los residuos de plantas o el cultivo de cobertura, pueden dar lugar a un aumento significativo de las concentraciones de nutrientes (Hargrove, 1986; Klavdivko, 1994). Un estudio llevado a cabo en la finca Salido Bajo en Jaén, que comenzó en 1976 y continúa hasta la actualidad, ha determinado que, dependiendo de los diferentes manejos de suelos, se modifican varias características del suelo, tales como el contenido en carbono y nitrógeno, densidad aparente, entre otras más. El contenido en carbono del suelo se ve significativamente afectado por la adición de residuos de las plantas.

En cultivos con cobertura se incrementa el contenido de carbono orgánico en los primeros centímetros del suelo y en un volumen reducido. Por el contrario, en no laboreo con suelo desnudo, el suelo presenta menores niveles de carbono orgánico en todas las profundidades. En los treinta centímetros del suelo analizado, el laboreo y semilaboreo proporcionan una gran cantidad de biomasa, que es mineralizada lentamente debido a las dificultades de drenaje, pero, por otro lado, hay que tener en cuenta la posible pérdida de carbono orgánico debido a la exposición del suelo a la erosión (Castro *et al.*, 2007).

La labranza modifica las propiedades físicas del suelo. Por lo general, la densidad aparente de los suelos labrados disminuye, además de crear una capa compacta en profundidad tras repetidas operaciones conocida como suela de labor (Carter y Colwick, 1991); disminuyendo así la penetración de las raíces y la capacidad de infiltración del agua en los suelos.

Cuando se reduce la labranza, la porosidad del suelo tiende a aumentar, aunque a menudo se produce el sellado de la superficie, limitando así seriamente la tasa de infiltración (Lindstrom y Onstad, 1984). Es difícil predecir la respuesta del suelo a los cambios en los métodos de labranza sin la ayuda de la experimentación a largo plazo.

Los diferentes sistemas de cultivo también van a determinar la flora existente en el olivar. El concepto de mala hierba es subjetivo, una planta recibe el calificativo de “maleza o “mala hierba” porque causa un perjuicio al hombre en un momento y lugar determinado. Las malas hierbas compiten con el olivo por agua en las épocas de

escasez, y por nutrientes, reduciendo la cosecha en cantidad y/o calidad. Sin embargo, en ciertos sentidos, son beneficiosas porque ayudan a aumentar la infiltración de agua en el suelo, protegen de la erosión, aportan materia orgánica, mejoran la actividad microbiana, y favorecen el desarrollo de fauna beneficiosa entre otras más cualidades (Saavedra y Pastor 1994).

Desde el punto de vista de la competencia por agua y nutrientes es necesario controlarlas en ciertos momentos. Sin embargo, puesto que determinadas plantas aportan beneficios, debemos entender que se trata de manejarlas adecuadamente a nuestro favor. No es necesario eliminar por completo las malas hierbas durante todo el año, podemos utilizarlas cuando su presencia no repercuta en la cantidad y calidad de la cosecha y, manejadas convenientemente, pueden incluso mejorar la producción del olivar y la rentabilidad de la explotación (Pastor, 1991).

Las malas hierbas del olivar son en su mayor parte de origen mediterráneo, estando perfectamente adaptadas al medio en el que se cultiva el olivo. Además, es una flora muy diversa, ya que es frecuente encontrar hasta más de 100 especies en una hectárea (Pujadas-Salvá, 1988).

Otro aspecto importante a tener en cuenta en el uso de cubiertas vegetales en olivar, es el aporte extra de materia orgánica. Se ha demostrado que las enmiendas orgánicas incrementan la actividad de las enzimas en el suelo, a no ser que estas contengan ciertos contaminantes como metales pesados o compuestos tóxicos en determinadas concentraciones, por lo que afectarían negativamente a la composición y a la actividad de la microflora del suelo (Baath, 1989; Brookes, 1995). Ceccanti y García (1994) indicaron que la importancia del conocimiento de las actividades enzimáticas en los suelos, deriva fundamentalmente del papel que juegan en los procesos de degradación y evolución de la materia orgánica. A esto se le suma el hecho de que procesos como la mineralización y humificación de la materia orgánica se rigen en gran medida por reacciones de oxidación, reducción e hidrólisis (Pascual, 1995). La determinación de la actividad de estas enzimas, es un reflejo de las actividades oxidativas de la microflora del suelo, ya que están asociadas a los microorganismos proliferantes, y no son estabilizadas por los coloides inorgánicos (arcillas) y orgánicos (sustancias húmicas) del suelo (Rossel *et al.*, 1997).

3. Materiales y Métodos.

3.1. Diseño experimental.

Los experimentos se realizarán en tres parcelas adyacentes orientadas N-S, cultivadas con olivar cv. *Picual* de edad comprendida entre 80 y 100 años, con un marco de plantación de 8 x 6 m, situadas en el término municipal de Huelma, provincia de Jaén, pertenecientes a diferentes agricultores (coordenadas X UTM 460302 e Y UTM 4167146,9 con altitud media de 966 msnm) (Figura 12).



Figura 12: Imagen de las tres parcelas (tomada del sigpac).

En cada una de las tres parcelas con las mismas condiciones de suelo y pendiente similar, se llevará a cabo uno de los tratamientos siguientes:

Laboreo (T1): Parcela 175 polígono 25, con una superficie de 0,72 ha y una pendiente media del 38,1% en laboreo tradicional conforme al uso y costumbre de la zona. El agricultor realizó dos pases de labranza con aperos superficiales (rastra de púas), uno a finales de la primavera con el objetivo de eliminar las malas hierbas emergentes durante el invierno y transcurso de dicha estación, y otro en otoño acompañado de un rulado para la preparación del terreno de cara a la recolección de aceituna.

No laboreo (T2): Parcela 173 polígono 25, con una superficie de 0,45 ha y una pendiente media del 35,1% en no laboreo con suelo semidesnudo. El agricultor de esta parcela realizó tres aplicaciones de herbicidas en la totalidad del terreno, una de preemergencia a inicios del invierno, y otras dos de mantenimiento en primavera y verano. El fin de la utilización del herbicida es a modo de siega química cuando la altura de la vegetación adventicia es excesiva (15-20 cm).

Cubierta vegetal (T3): Parcela 174 polígono 25, con una superficie de 0,38 ha y una pendiente media del 34,5% con cubierta vegetal compuesta por vegetación adventicia y la suma de los restos de poda del propio olivar triturados. El agricultor realizó un tratamiento con herbicidas en primavera solo en el vuelo del árbol para controlar la

rápida crecida de la vegetación en esta fecha, controlando el centro de las calles a finales de mayo con una siega mecánica y dejando una estrecha franja sin segar justo en el centro de las calles buscando su propia autosiembra, franja que se eliminó posteriormente para preparar el suelo antes de la recolección.



Figura 13: Fotografía realizada el día 5 de mayo del 2016 de las parcelas experimentales;

T1: laboreo; T2: no laboreo; T3: Cubierta vegetal.

3.2. Caracterización de la flora presente.

La caracterización de la flora presente en el olivar se realizó mediante muestreos de las especies presentes y una cuantificación de su frecuencia y aparición. La recogida de muestras se realizó el día 17 de abril del 2016, y se tomaron tres repeticiones en cada parcela con una superficie de un metro cuadrado por repetición, en el centro de dos olivos. Tras la contabilización de las plantas herbáceas (abundancia), se llevó a cabo una extracción de las mismas para su posterior identificación. La dominancia de cada especie se evaluó en una escala del 1 al 3.

3.3. Estudio y evaluación del desarrollo fenológico y la producción:

En cada parcela se seleccionaron al azar seis árboles en pleno desarrollo, sin anomalías o enfermedades apreciables en los que se marcaron ocho ramos fructíferos situados a la altura de mira del observador en los cuatro puntos cardinales. Estos ramos actúan como submuestreo dentro de cada árbol (repetición), con lo cual obtenemos un total de 6 repeticiones y 48 ramos fructíferos por tratamiento.

Al inicio de la primavera (8/04/2016) se llevó a cabo el marcado de ramos (Figura 14) para realizar un seguimiento de la fenología reproductiva del cultivo (Cuadro 2). Este marcado de ramos se realizó con etiquetas rotuladas debidamente, de forma homogénea alrededor del árbol y marcando ramos “estándar”, de longitud y características semejantes. Sobre estos ramos se estimó la intensidad de floración mediante conteo de las inflorescencias presentes en cada ramo marcado. Posteriormente, la carga se reguló a diez inflorescencias por ramo para tener un valor homogéneo en todas las unidades muestrales, siendo esas inflorescencias donde se llevará a cabo las determinaciones posteriores.



Figura 14: Etiqueta utilizada para el marcado de ramos.

Cuadro 2.

Detalle de los principales estados fenológicos del olivo (Donoso et al., 2005).

Estado	Definición
A. Yema de invierno	Caracteriza el estado de reposo de la yema
B. Inicio de actividad	El pedúnculo se alarga y la yema aumenta de tamaño
C. Cáliz visible	El tallo floral está elongado completamente
D. Corola visible	La yema floral se presenta hinchada de una forma globosa
E. Estambres visibles	La yema floral eclosiona mostrando la separación de los sépalos
F. Floración	Cuando el 50% de las flores, al menos, están abiertas
G. Cuajado	El ovario fecundado se agranda, se pierden los pétalos, aunque el pistilo se mantiene adherido

Antes de que comenzara la floración se realizaron seguimientos semanales de los diferentes estadios fenológicos. Este seguimiento comenzó el 21 de mayo del 2016, antes del inicio de la floración (Figura 15). Estos seguimientos se realizaron

semanalmente, y se dio por finalizado el 2 de julio del 2016 cuando el estado fenológico predominante era ya el de cuajado de frutos (Figura 16). Se estableció la fecha de plena floración y la duración de la floración para cada tratamiento, siguiendo la fenología cada semana como se ha indicado anteriormente, desde la yema de invierno hasta el cuajado, de acuerdo con Barranco *et al.*, (1994) y según los estados fenológicos descritos en el cuadro 2.



Figura 15: Fotografía tomada en las parcelas experimentales que se corresponde con el estado fenológico de cáliz visible.



Figura 16: Fotografía tomada en las parcelas experimentales que se corresponde con el estado fenológico de cuajado.

Pasados unos 15 días aproximadamente del estado fenológico de plena floración, se llevó a cabo el conteo de frutos para determinar el cuajado inicial. Este conteo se realiza el día 6 de julio del 2016. Transcurridos 45 días del cuajado inicial, se realizó un nuevo

conteo de frutos para determinar el cuajado final del árbol (Figura 17). Este nuevo conteo se realizó el día 20 de agosto del 2016.



Figura 17: Fotografía tomada en las parcelas experimentales que se corresponde con la fecha de conteo del cuajado final.

La estimación del efecto de los tratamientos de mantenimiento del suelo sobre la producción de frutos, se finalizó con una estimación de la productividad del ramo en fechas inmediatamente previas a cosecha el día 13 de noviembre de 2016. En esta fecha se realizó un nuevo conteo y recolección de los frutos presentes para volver a comparar los distintos valores de cantidad y además incluir el peso total de frutos y peso medio de fruto unitario en fresco.

Un último análisis se realizó para determinar la capacidad de ajuste de los árboles sometidos a diferentes manejos del suelo, comparando los valores porcentuales de frutos retenidos en los ramos en las tres fechas de conteo.

3.4. Estudio y análisis del suelo.

Se han realizado dos campañas de muestreo de suelos: 16/06/2016 y 21/09/2016 correspondientes a dos estadios fenológicos diferentes del cultivo de olivar. En cada campaña de muestreo, de cada una de las parcelas, se tomaron muestras brutas de la capa arable del suelo (0-30 cm de profundidad), obtenidas a su vez de la extracción y homogeneización de 3 submuestras de unos dos kg de peso cada una. La preparación de las muestras para su estudio en el laboratorio, ha comprendido las siguientes operaciones:

- Secado de las muestras hasta humedad ambiental.
- Desmenuzamiento de los agregados, con posterior tamizado a 2 mm y homogeneización, para obtener la fracción menor de 2 mm.
- Molienda fina de una parte alícuota de la muestra en mortero de ágata, hasta conseguir un diámetro de partícula inferior a 0,2 mm.
- Conservación adecuada de las muestras, para no alterar sus propiedades, en recipientes cerrados y en lugar fresco y seco.

Los análisis realizados y sus correspondientes procedimientos son:

- Actividad enzimática **deshidrogenasa** y **β -glucosidasa** mediante el método descrito por Tabatabai (1994). Para la deshidrogenasa el método se basa en la extracción con metanol de TPF (2,3,5-trifenil formazan) procedente de la reducción de TTC y su determinación colorimétrica. Para la β -glucosidasa el método está basado en la determinación colorimétrica del p-nitrofenol liberado por la actividad enzimática cuando los suelos son incubados con el tampón THAM a pH=12.
- Determinación de la **curva característica de humedad** mediante el método de la membrana de Richards (1945), que consiste en aplicar a la muestra previamente saturada en agua y colocada sobre una membrana porosa, una presión determinada, de tal forma que se extrae de ella toda el agua que esté retenida con un potencial matricial más bajo que la presión aplicada.
- **Granulometría** determinada por el método de la pipeta de Robinson (Marañés *et al.* 1998).
- Determinación de la **capacidad de intercambio catiónico y bases de cambio** mediante el método del acetato amónico (Marañés *et al.* 1998). El calcio y magnesio de cambio se determinaron mediante espectrofotometría de absorción atómica. El sodio y potasio de cambio se determinaron por fotometría de llama.
- Determinación cuantitativa de la **materia orgánica** analizando el **carbono orgánico** mediante el método de Tyurin, que consiste en un método volumétrico de óxido-reducción por retroceso, con el que se oxida la materia orgánica del suelo con un oxidante en exceso (dicromato potásico), y posteriormente se valora la cantidad de dicromato reducido mediante sal de Mohr.
- Calculo de la **conductividad eléctrica (C.E.)** mediante el método de Porta *et al.*, (1986), que se basa en preparar una pasta saturada del suelo para obtener un extracto de saturación donde se puede medir la C.E. mediante un conductivímetro.

3.5. Análisis estadístico de resultados.

Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de la varianza (ANOVA) para comprobar si existen diferencias significativas entre los tratamientos (sistemas de mantenimiento del suelo), una vez comprobados los criterios de normalidad mediante el test de Kolmogorov-Smirnov y de homocedasticidad según el test de Levene. En caso de existir dichas diferencias, se realizó la separación de medias mediante el test de

mínimas diferencias significativas (LSD) de Fisher para determinar que poblaciones difieren de otras. Para ello, se utilizó el paquete estadístico Statgraphics IV.

3.6. Cronograma.

Las diferentes labores realizadas por parte de los agricultores, así como la recogida de datos a nivel de parcela o el análisis de suelo en el laboratorio, se reflejan en el siguiente cronograma, en el cual se representan las actividades citadas anteriormente frente a los meses del año del presente trabajo. Las casillas sombreadas indican el mes en el cual se ha llevado a cabo el procedimiento.

	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.
Labranza												
Aplicación herbicida												
Siega mecánica												
Marcado de ramos												
Estadíos fenológicos												
Cuajado inicial												
Cuajado final												
Conteo final y peso de frutos												
Muestreos de suelo												
Análisis en laboratorio												

Figura 18: Cronograma de las fechas de actuación.

4. Resultados y Discusión.

4.1. Caracterización de la flora presente.

En el cuadro 3, se enumeran las especies de malas hierbas caracterizadas del olivar de la zona estudiada y datos de la época de floración de las especies. En la zona muestreada se encontraron 15 especies de 10 familias diferentes. La clasificación del ciclo biológico es la establecida por Montegut (1974), donde diferenciaremos plantas anuales o terofitos (Th) y plantas bianuales o hemicriptofitos (Hm).

Cuadro 3

Especies y Ciclos Biológicos de las Malas hierbas en las parcelas de olivo

Parcela de No laboreo			
Familia	Genero	Biología	Mes de floración
Crasuláceas	<i>Sedum reflexus</i>	Th/Hm	Marzo-Septiembre
Gramíneas	<i>Hordeum murinum</i>	Th	Abril
Lamiáceas	<i>Thymus vulgaris</i>	Th/Hm	Marzo-Agosto
Leguminosas	<i>Astragalus</i>	Th	Mayo
Resedáceas	<i>Reseda lutea</i>	Th	Marzo-Septiembre
Parcela con Cubierta Vegetal			
Asteráceas	<i>Calendula arvensis</i>	Th	Marzo-Agosto
Asteráceas	<i>Lactuca sp</i>	Th	
Crucíferas	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Th/Hm	Febrero-Noviembre
Crucíferas	<i>Diploaxis muralis</i>	Th	Enero-Septiembre
Gramíneas	<i>Avena sp</i>	Th	
Gramíneas	<i>Hordeum murinum</i>	Th	Abril
Lamiáceas	<i>Lamium amplexicaule</i>	Th/Hm	Marzo-Agosto
Liliáceas	<i>Muscari neglectum</i>	Th	Marzo-Abril
Malváceas	<i>Malva sylvestris</i>	Th	Marzo-Junio
Rubiáceas	<i>Galium sp</i>	Th	Marzo-Mayo

En las **figuras 19** (No laboreo) y **20** (Cubierta vegetal), se muestran imágenes de cada especie en ambos tratamientos tomadas el día de la identificación:



Figura 19: fotografías de las malas hierbas en No laboreo;

1 *Astragalus sp.*, **2** *Hordeum sp.*, **3** *Reseda lutea*, **4** *Sedum reflexus* y **5** *Thymus vulgaris*.



Figura 20: fotografías de las malas hierbas en Cubierta Vegetal;

1 *Avena sp*, 2 *Calendula arvensis*, 3 *Capsella bursa-pastoris*, 4 *Diplotaxis muralis*, 5 *Galium sp*, 6 *Hordeum murinum*, 7 *Lactuca sp*, 8 *Lamium amplexicaule*, 9 *Malva sylvestris*, 10 *Muscaris neglectum*.

En los meses invernales (noviembre-marzo), la flora en los tres tratamientos no difirió significativamente, presentando más abundancia las parcelas de no laboreo y cubierta vegetal, al menos en las primeras fechas primaverales. En el **cuadro 4** se presenta la abundancia de malas hierbas inventariadas en el olivar estudiado, mediante un coeficiente de abundancia visual y utilizando una escala de 0 a 3 (1 se corresponde con poca y 3 con mucha presencia de la planta herbácea, siendo 0 la ausencia).

Cuadro 4

Abundancia de especies de malas hierbas en el olivar

No laboreo		Abundancia		
Familia	Genero	Repetición	Repetición	Repetición
		1	2	3
Crasuláceas	<i>Sedum reflexus</i>	0	2	1
Gramíneas	<i>Hordeum murinum</i>	2	0	0
Lamiáceas	<i>Thymus vulgaris</i>	2	3	1
Leguminosas	<i>Astragalus sp</i>	0	0	2
Resedáceas	<i>Reseda lutea</i>	0	0	2
Cubierta Vegetal				
Asteráceas	<i>Calendula arvensis</i>	2	3	0
Asteráceas	<i>Lactuca sp</i>	0	1	0
Crucíferas	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	2	3	0
Crucíferas	<i>Diploaxis muralis</i>	1	2	3
Gramíneas	<i>Avena sp</i>	3	2	1
Gramíneas	<i>Hordeum murinum</i>	1	3	2
Lamiáceas	<i>Lamium amplexicaule</i>	0	2	0
Liliáceas	<i>Muscari neglectum</i>	0	0	3
Malváceas	<i>Malva sylvestris</i>	2	0	2
Rubiáceas	<i>Galium</i>	0	2	0

En la abundancia total (suma de todos los valores de abundancia de las especies en los distintos tratamientos, 13 en el segundo tratamiento frente a 34 en el tercero) fueron menores en la parcela de no laboreo, mayores en cubierta vegetal e inexistentes en la parcela de laboreo como se demuestra en la **figura 21**. Destaca en este aspecto la presencia de *Thymus vulgaris* en las 3 repeticiones del segundo tratamiento, y *Malva sylvestris*, *Hordeum murinum*, *Diploaxis muralis* y *Avena sp*, con mayor abundancia en el tercer tratamiento, lo que indica una mayor diversidad de flora en cubierta vegetal con un mayor número y presencia de diferentes especies.



Figura 21: fotografía tomada el día de la identificación de flora que demuestra su inexistente presencia en la parcela del primer tratamiento (Laboreo).

Esta ausencia de malas hierbas en la parcela de laboreo, se debe al seguimiento de los métodos tradicionales de labranza en los cultivos agrícolas de la zona. En cuanto al uso de cubierta vegetal, todas las hierbas presentes se usan como abono natural del cultivo principal, una vez segadas, retardando la erosión del suelo y favoreciendo en él la penetración de agua, especialmente en terrenos con fuertes pendientes como es el caso que concede a este trabajo. Estos métodos también incrementan la efectividad de los fertilizantes aplicados al suelo y eliminan los residuos de la cosecha anterior, aunque pueden generar un peligro al guardar en su espacio formas invernales de plagas y patógenos. Aun así, la susceptibilidad del suelo desnudo a la erosión es más probable, al estar expuesto a mayor evaporación y escorrentía que los suelos cubiertos (Triplet y Van Doren, 1977). No obstante, el laboreo puede mejorar la estructura si se realiza adecuadamente en profundidad sin llegar a compactar el suelo cuando hay excesiva humedad.

Por otro lado, el mantenimiento del suelo cubierto en cultivos mediterráneos en la época de heladas, es interesante para proteger contra el frío a las plantas cultivadas. Por ello, se considera que se deben realizar los laboreos en el olivar a partir del inicio de la primavera, pasados los fríos invernales y antes de la aparición de las malas hierbas (Gomez de Barreda, 1983).

Para un adecuado control de las malas hierbas, es preciso conocer bien su ciclo biológico de desarrollo, especialmente en las anuales, y según sea la germinación de sus semillas, los regímenes con o sin laboreo (control mediante labranza o con herbicidas), influirán distintamente en el control de las mismas (Fernández 1988). En el olivar, los métodos de “no laboreo” con herbicidas en la preemergencia de malas hierbas, resultan

útil para mantener el cultivo sin plantas adversas, logrando incrementos de cosecha de hasta el 20%. Como inconveniente en el uso de herbicidas, destacar que el control continuo con herbicidas, además de causar perjuicios a largo plazo a la composición y estructura de los suelos, origina la implantación de especies resistentes y facilita la invasión de perennes (Pastor y García, 1984).

Con la metodología disponible utilizada, se concluye que; en la finca experimental bajo laboreo tradicional, no existe presencia alguna de flora con las consecuencias que esto conlleva (la susceptibilidad del suelo desnudo a la erosión es más probable), encontrándose expuesta a los factores erosivos. En la finca experimental que sigue el mantenimiento de no laboreo, se aprecia un aumento de flora, aunque cabe indicar que la finca puede estar expuesta a una invasión de perennes por la presencia de algunas de ellas (*Thymus vulgaris*) en gran cantidad, además de tener en cuenta los problemas a largo plazo de contaminación ambiental por el uso continuado de herbicidas. Por último, la finca con cubierta vegetal como sistema de mantenimiento del suelo, presenta una cantidad significativa de especies herbáceas en el centro de las calles, protegiendo el suelo de los agentes erosivos.

4.2. Seguimiento fenológico y la producción.

Un seguimiento fenológico del cultivo ayuda a determinar cuándo han tenido lugar aproximadamente las fechas de los distintos estadios del olivo. Comenzaremos con la estimación de plena floración.

Se define floración como la apertura de los botones de las flores, esto hace visibles los órganos reproductores hasta la caída de los estambres y de los pétalos; se inicia con la expansión de la corola que hace visible las antera de color amarillo brillante, y se llega a la plena floración con el distanciamiento de los pétalos y el alargamiento de los estambres y del pistilo que dejan ver el estigma; la floración se completa con la dehiscencia de las anteras y finaliza con el oscurecimiento de estas y su distanciamiento; finalmente ocurre la caída de pétalos (Tombesi 2003)

Las fechas de floración que se han registrado en los tres tratamientos ha sido el comprendido entre las fechas 16 de junio al 4 de julio del 2016. En la **figura 22** se aprecia la fenología de la floración.

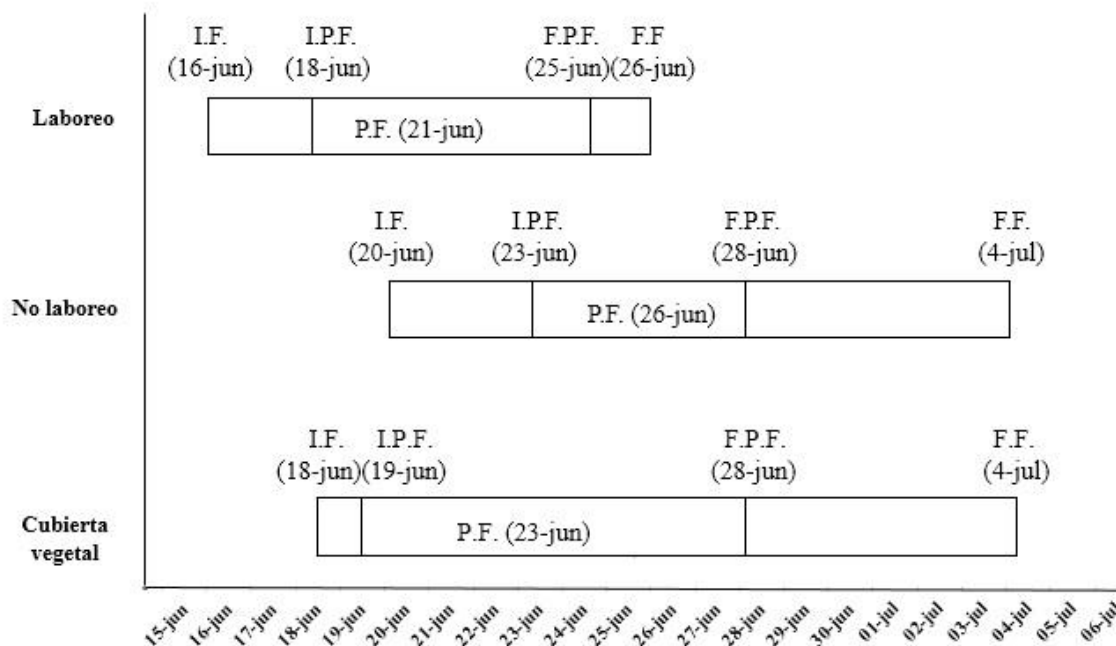


Figura 22: Fenología de la floración. Las simplificaciones se corresponden con Inicio de Floración (I.F.), Inicio de Plena Floración (I.P.F.), Final de Plena Floración (F.P.F.), Final de Floración (F.F.) y Plena Floración (P.F.).

Según lo manifestado por Deidda *et al* (2003), en el ambiente olivícola del Mediterráneo la plena floración puede variar entre 5 y 20 días dependiendo de las condiciones ambientales y fisiológicas de la planta, pero siempre entre la mitad de mayo y junio; en España las investigaciones de Barranco (2008) han mostrado diferencias de más de 20 días entre años para el inicio de la floración, dependiendo de las temperaturas en los meses anteriores. En el presente estudio realizado en Huelma, en la provincia de Jaén, la floración se produce en los meses de junio e inicios de julio, registrando 13 días de promedio en floración.

En este año la floración fue bastante compacta y presentó una duración de 2 a 3 semanas según tratamientos, como se registra en la **figura 22**. Los diferentes manejos del suelo han generado modificaciones en las fechas de floración. Así, los árboles sometidos a laboreo han comenzado antes su floración (16 de junio), han alcanzado la plena floración antes (el día 21 de junio), prolongándose dicho estado fenológico durante 7 días (desde el día 18 hasta el 25 de junio) y han finalizado la floración también antes (27 de junio). La floración ha sido asimismo más compacta, con menor duración. Los árboles cultivados mediante el no laboreo han sido los más tardíos; han alcanzado la plena floración 5 días después, y se han mantenido en este estado durante 5 días (desde el 23 hasta el 28 de junio), finalizando la floración más tarde. Del mismo modo, los árboles cultivados con cubierta vegetal dieron comienzo a su floración el día 18 de junio, en fechas intermedias, manteniéndose en estado de plena floración durante 9 días (desde el 19 hasta el 28 de junio) y teniendo el día 23 de junio su plena floración,

siendo éste el tratamiento con una floración más escalonada. Dadas las fechas anteriores, no se aprecian diferencias importantes en cuanto al día de comienzo de la floración entre los tres diferentes manejos de suelo, puesto que varían apenas 4 días unos de otros, donde sí existen diferencias importantes es en la duración del estado de plena floración y de la floración en sí, más prolongada en la parcela con cubierta vegetal.

De los resultados se deduce que el principal factor que afecta a la floración es la cubierta vegetal, aunque el laboreo muestra un periodo de 10 días de floración y 7 de plena floración y el no laboreo un periodo de 14 días desde inicio hasta final de floración y 5 de plena floración. La cubierta vegetal pone de manifiesto que tiene un efecto notable sobre la duración de estos periodos, obteniendo por consiguiente más días de plena floración (9 días para ser concretos) y más días desde inicio hasta final de floración (16 días que transcurren desde el 18 de junio que da comienzo, hasta el 4 de julio que se da por finalizada la floración). El adelanto de la floración en respuesta al laboreo se puede explicar por la modificación que se produce en la temperatura del suelo desnudo en la parcela labrada. El retraso de la floración en no laboreo puede estar justificado por la poda severa que se produjo en primavera, siendo esta parcela la única sometida a esta labor durante el curso del año que dura este trabajo.

En cuanto a la intensidad de floración (número de inflorescencias por ramo fructífero), y teniendo en cuenta que los datos recogidos para este trabajo no permiten afirmar que el año 2016 ha sido un año vecero, no es frecuente observar una reducción abrupta en la floración de los años de descanso (Lavee *et al.*, 1996-1999).

Cuadro 5

Intensidad de floración (inflorescencias/ramo) en ramos marcados en reposo al azar. Media (n=48), C.V. (coeficiente de variación), y grado de significación 0,05.

Tratamiento	Media	C.V.
Laboreo	12,60 (0,46) ^b	4
No-laboreo	12,20 (0,73) ^b	6
Cubierta Vegetal	14,52 (0,69) ^a	5

Como se observa, la parcela mantenida con cubierta vegetal mostró un nivel de floración significativamente superior en ramos que fueron marcados en reposo al azar, mientras que los otros dos tratamientos (laboreo y no laboreo) no presentaron diferencias significativas entre sí. Los coeficientes de variación fueron bastantes bajos mostrando que existe poca variabilidad en los datos y que las muestras son homogéneas. Los resultados obtenidos demuestran que el uso de cubierta vegetal produjo un ligero aumento en el número de inflorescencias por ramo fructífero, que con mayor número de nudos expresó un mayor potencial productivo. La mayor longitud del ramo se relaciona

con mejores condiciones en la parcela durante la primavera previa, cuando tiene lugar el crecimiento del brote, luego ramo.

La demanda de asimilados determinada por el comienzo del crecimiento de los frutitos origina una acusada competencia entre los mismos y con los ovarios de las flores sin fecundar, lo que se traduce en una másica abscisión de ovarios y jóvenes frutos. El período de abscisión comienza tan pronto crecen los primeros frutos y se prolonga hasta unas 6-8 semanas después de la floración, llegando a caer hasta un 96-99% de las flores de un olivo (Rallo y Cuevas, 2008).

La competencia por una cantidad limitada de recursos está también involucrada en la aparición del aborto pistilar en olivo, influenciado también por la posición de las inflorescencias en el tamo. En una situación en la que los recursos que llegan a las inflorescencias fueran ilimitados, y su transporte tampoco fuera impedido (situaciones que se presentan en olivo) se asume que no habría aborto del pistilo en ninguna de sus flores. Seifi *et al* (2008) muestran que en la variedad de olivo “Frantoio” bajo riego y abonado abundante, la presencia de flores hermafroditas es del 100% en todas las posiciones de sus inflorescencias.

Una vez comprobado el efecto positivo y significativo de las cubiertas vegetales sobre el crecimiento del ramo y la floración, se evaluó el subsiguiente efecto sobre la fecundación de las flores y cuajado de frutos. Al medir el número de frutos en ramos aclarados a sólo 10 inflorescencias se parte de valores homogéneos, y se evita que valores iniciales dispares afecten a los resultados. El cuajado inicial de frutos es el proceso que marca la transición del ovario de la flor a fruto en desarrollo (Cuadro 6). Para que el cuajado se produzca, Faust (1989) indica que son necesarios tres pre-requisitos; existencia de yemas florales maduras, bien formadas y nutridas, régimen de temperaturas óptimo, y un aporte adecuado de fotosintatos cuando el ovario inicie el desarrollo. Anteriores estudios (Uriu, 1959; Cuevas y Polito, 2004), han puesto de manifiesto la importancia de la competencia entre flores por un suministro limitado de recursos sobre el aborto del pistilo en olivo. Una vez formada una flor fértil, para que se produzca la transición de flor a fruta en olivo, es necesaria la fecundación de la flor y el crecimiento del ovario (Rallo y Cuevas, 2008).

Cuadro 6

Cuajado inicial de frutos (frutos/nudo) en ramos homogéneos de 10 inflorescencias. Media (n=48), C.V. (coeficiente de variación), y grado de significación 0,05.

Tratamiento	Media	C.V.
Laboreo	0,41 (0,06) ^b	14
No-laboreo	0,39 (0,09) ^b	24
Cubierta Vegetal	0,69 (0,17) ^a	24

Los resultados mostrados en el **cuadro 6** indican un mayor cuajado de frutos inicial en olivos que se cultivan mediante la técnica de cubierta vegetal, presentando un nivel de cuajado de 0,69 frutos por inflorescencia. Estas diferencias fueron altamente significativas, muestran de nuevo un efecto positivo del mantenimiento del suelo con cubierta vegetal, que viene a suponer casi el doble de frutos que en los tratamientos de laboreo y no laboreo.

Como ya se ha indicado, en olivo tras el cuajado inicial de frutos acontece una intensa abscisión de estos pequeños frutitos debido a la competencia que se establece entre los mismos, y con el brote y otros sumideros alternativos. Es por tanto importante verificar si tras la mejora inicial debida al uso de cubiertas, las ventajas de esta parcela se mantienen al momento en que se mide el cuajado final de frutos. Transcurridos 45 días aproximadamente del conteo del cuajado inicial, se volvieron a contabilizar los frutos que quedaban en el ramo para obtener el cuajado final. El número de frutos por ramo fructífero en esta fecha depende de los procesos vegetativos y de reproducción del olivo, y es preciso tener en cuenta la vecería o la alternancia en la producción, y la caída de flores y frutos en las 6-8 semanas que siguen a la floración.

Cuadro 7

Cuajado final de frutos (frutos/nudo) en ramos homogéneos de 10 inflorescencias. Media (n=48), C.V. (coeficiente de variación), y grado de significación 0,05.

Tratamiento	Media	C.V.
Laboreo	0,33 (0,08) ^b	26
No-laboreo	0,30 (0,09) ^b	30
Cubierta Vegetal	0,58 (0,18) ^a	30

Aunque lógicamente existe un descenso ligero en los valores de cuajado medidos inicialmente, el **cuadro 7** muestra que las diferencias significativas y positivas a favor del uso de cubierta vegetal se mantuvieron en el cuajado final y que incluso se incrementaron porcentualmente. Aunque esta mejora porcentual fuera ligera, el menor ajuste en los ramos de los árboles de la parcela con cubierta vegetal, señala también tras el cuajado inicial, que las condiciones en esta parcela eran más favorables, y que, a pesar de la mayor carga de fruta, el ajuste fue menor. En función a lo descrito anteriormente, los valores oscilan entre el 77,13% del no laboreo y el 83,43% de tratamiento de cubierta vegetal (**Cuadro 9**). El olivo realiza un aclareo de frutos en función del estado nutricional en el que se encuentre y en relación al suministro de nutrientes que éste posea para llevar el fruto a cosecha.

El fruto deriva del desarrollo del ovario que crece bajo estímulos hormonales del endospermo de la semilla. En él tiene un crecimiento y aumento de peso intenso hasta los 45 días después de la floración para detenerse llegando a los 90 días, aunque luego tiene lugar nuevamente un incremento en el peso que continua por dos meses (Tombesi, 2003).

El crecimiento de la aceituna, descrito en base del diámetro transversal y del peso fresco, comienza a partir de la fecundación con un aumento rápido del tamaño del mesocarpo y del endocarpo, tal y como ocurre en otras drupas. Prontamente, el endocarpo pone fin a su crecimiento y el fruto sigue creciendo solo gracias al mesocarpo hasta alcanzar su máximo tamaño (Hartmann, 1949; Lavee, 1986). El tamaño y peso final del fruto se ve influenciado y determinado tanto por factores exógenos, como la disponibilidad de agua y la temperatura ambiental, como endógenos, como el nivel de carga (Corelli-Grappadelli y Lakso, 2004). A mediados de noviembre, se realizó un último conteo de frutos para obtener valores próximos a cosecha, y no influidos por accidentes meteorológicos o por plagas y enfermedades, obteniéndose datos de frutos por inflorescencia y peso de los mismos tras su recogida y posterior pesada. Los resultados son los siguientes:

Cuadro 8

Frutos por inflorescencia, peso total de frutos por ramo fructífero y peso medio fresco del fruto

Tratamiento	Cosecha	Peso total (g)	Peso unitario fresco (g)
Laboreo	0,30 (0,07) ^b	4,00 (1,14) ^c	1,38 (0,10) ^b
No-laboreo	0,28 (0,07) ^b	8,30 (1,30) ^b	3,02 (0,39) ^a
Cubierta Vegetal	0,55 (0,17) ^a	14,64 (4,60) ^a	2,74 (0,60) ^a

Cuadro 9

Ajustes en tanto por cien

Tratamiento	Cuajado final/Cuajado Inicial (%)	Cosecha/Cuajado final (%)	Cosecha/Cuajado inicial (%)
Laboreo	79,08	91,42	72,29
No-laboreo	77,13	92,92	71,66
Cubierta Vegetal	83,43	94,58	78,91

En el **cuadro 9** se resumen los ajustes porcentuales en la población de frutos (cuajado) que el olivo sometido a diferentes tratamientos de mantenimiento del suelo mostró desde el cuajado inicial de frutos hasta cosecha. Los valores de frutos por inflorescencia al final de la maduración en comparación con el final de cuajado, sufren un ligero descenso que más homogéneo que entre cuajado inicial y final (**Cuadro 9**), situándose el dato final entre un 91,42% para laboreo, y un 94,58% el uso de cubiertas vegetales. Es decir, este último tratamiento retuvo más frutos entre estos dos momentos de medida. Las diferencias siguen siendo significativas desde que se iniciaron con el cuajado inicial, destacando el tercer tratamiento (cubierta vegetal) con respecto a los dos primeros. El hecho de que, a pesar de la mayor carga inicial de frutos en el tratamiento de cubierta vegetal, estos árboles retuvieran proporcionalmente una mayor proporción

de los frutos inicialmente cuajados, indica que el manejo de la cubierta vegetal fue el adecuado y que lejos de empeorar las condiciones durante el verano y otoño, los resultados sugieren una mayor suficiencia en árboles mantenidos bajo cubierta vegetal tal y como aquí se ha realizado

Una vez obtenidos todos los valores de frutos por inflorescencia desde el inicio de la floración hasta la maduración, se puede determinar que el uso de cubierta vegetal es más eficaz que los otros dos modelos de mantenimiento del suelo comparados el cuajado y maduración y crecimiento de los frutos, mejora probablemente vinculada al mejor estado hídrico y nutricional que presenta la planta, y a la mayor reserva de suministros que ésta aporta al fruto para su éxito.

El fruto tiene un peso fresco que puede variar según variedades de uno a diez gramos, al completar la maduración. Del 60-90% de ese peso lo constituye la pulpa, del 10-40% el hueso y del 1-2% la semilla. Los principales componentes del fruto son: agua, aceite, azúcares, proteínas, taninos, otros derivados y cenizas. El fruto de la variedad "Picual" es elipsoideo, apuntado por un pequeño mamelón excéntrico, asimétrico sobre todo en su parte superior. Se presenta arracimado, en su conjunto, en el ramo que lo lleva, porque son muchas las inflorescencias axilares que contribuyen a formarlo. De cada inflorescencia hay normalmente un fruto cuajado, pero puede excepcionalmente presentarse dos y hasta tres frutos en las variedades de fruto más pequeño (Tombesi, 2003).

Según Balquerias (1953), el peso de fruto de la variedad "Picual" está comprendido entre los 1,90g y los 4,40g. El peso medio se sitúa en torno a 3,15g. En este estudio, los dos valores que se aproximan a este peso medio de fruto son los obtenidos en los olivares con cubierta vegetal y en no laboreo. Los olivos que se encuentran en la parcela bajo no laboreo, han sido podados en el curso del año de este estudio. La poda controla la respuesta vegetativa del árbol y regula la producción. Esta práctica permite actuar sobre el tamaño y el peso de los frutos, principalmente sobre la relación pulpa/hueso. La poda adecuada favorece una correcta lipogénesis. Ortega (1969) puso de manifiesto la influencia de la iluminación y aireación en el tamaño de los frutos y en el rendimiento del aceite, por lo que el valor más alto en el peso obtenido por el segundo tratamiento (3,02g) estaría justificado por este motivo y por la menor carga con respecto al uso de las cubiertas vegetales.

En un olivo bien dotado de humedad durante el ciclo de maduración, los frutos son uniformes con relación pulpa/hueso alto y forman el aceite en cantidad adecuada. Por el contrario, la falta de humedad en el suelo en las etapas previas a la madurez, provoca la existencia de frutos pequeños con lipogénesis dificultosa y se puede llegar, incluso, a la caída de las aceitunas (Tombesi, 2003). Esto justifica que el tratamiento de cubierta vegetal también posea un valor alto en el peso medio fresco (2,74 g). Dados los valores obtenidos, se concluye que el laboreo es la técnica más desfavorable en este sentido, puesto que presenta un menor peso medio de frutos (1,38 g) frente al no laboreo y cubierta vegetal, es decir, cualquier técnica que modifique las propiedades del suelo

evitando las pérdidas de agua por evaporación, y ayude a conservar un estado hídrico favorable para la planta, se traducirá en un aumento del peso del fruto, y en un mayor número de frutos por inflorescencia como se demuestra con los resultados obtenidos. Esta mejora productiva bajo manejo del suelo con cubiertas vegetales se relaciona con una mejora en las condiciones del mismo tal y como ahora se detalla.

4.3. Análisis de suelo

4.3.1. Enzimas β -glucosidasa y deshidrogenasa.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

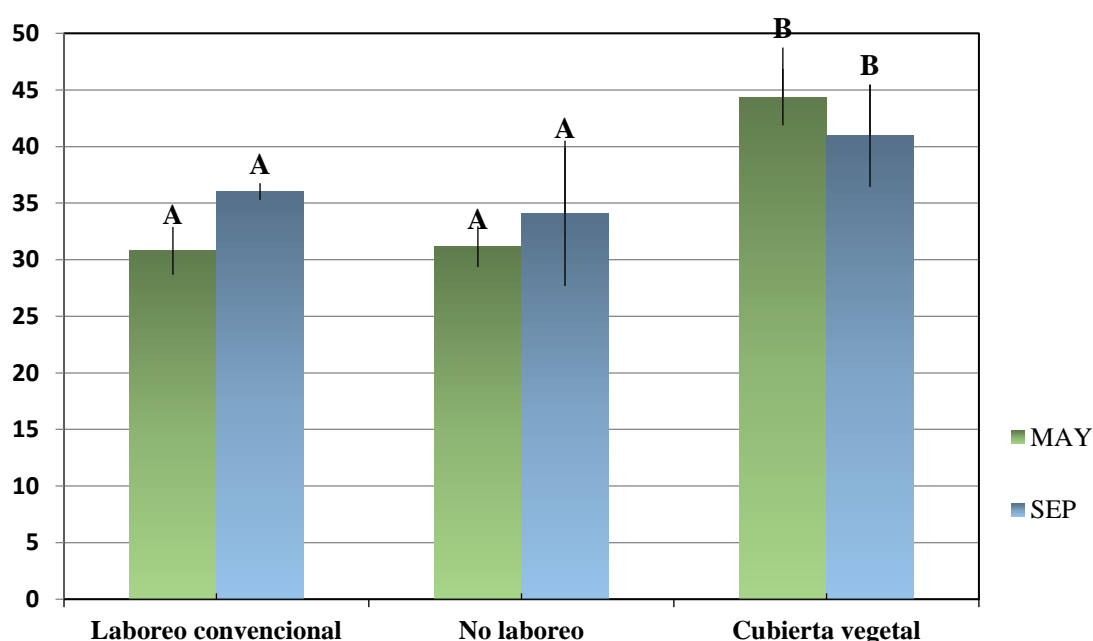


Figura 23: Actividad beta-glucosidasa de los tres tratamientos en mayo y septiembre (mg PNG kg suelo y hora).

La actividad de la beta-glucosidasa en el suelo es la más fácil de detectar ya que es la más abundante de las enzimas que intervienen en el ciclo del carbono. La determinación de esta enzima es importante para conocer la calidad del suelo ya que juega un papel crucial en la utilización de biomasa produciendo estructuras orgánicas más simples que facilitan la actuación de otras actividades enzimáticas (Sardans *et al.*, 2008). Las glucosidasas juegan un papel clave en las fases iniciales de descomposición de los compuestos orgánicos, y sus productos de reacción son fuentes de energía para los microorganismos del suelo (Eivazi y Tabatabai, 1988). En general, la actividad de esta enzima es un índice apropiado para conocer el potencial de descomposición de materia orgánica que contiene el suelo (Caravaca *et al.*, 2002).

Con el análisis estadístico de los resultados se determina que existen diferencias significativas entre el tratamiento de cubierta vegetal y los otros dos (laboreo y no laboreo), no existiendo estas diferencias entre las muestras tomadas en mayo y septiembre. Estos datos demuestran que el uso de cubiertas vegetales en el olivar aumenta el potencial del suelo para descomponer la materia orgánica, influidos por el aporte que se realiza de materia orgánica procedente de la trituración de los restos de poda y de las malas hierbas, lo que conlleva a un mejor estado del suelo y, por consiguiente, del árbol.

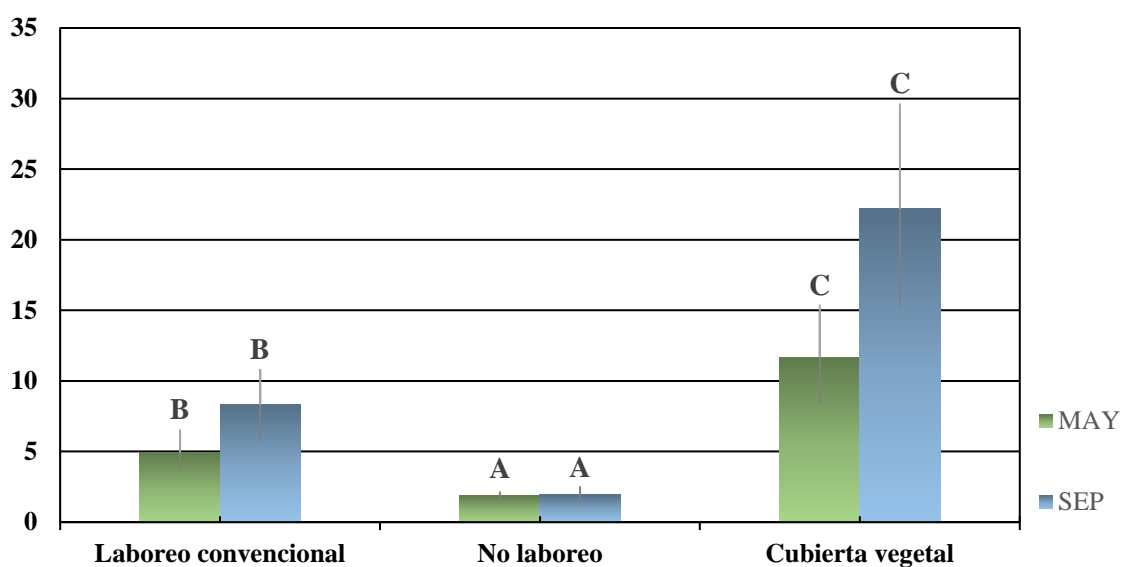


Figura 24: Actividad deshidrogenasa en los tres tratamientos en mayo y septiembre (mg PNG kg suelo y hora).

La actividad deshidrogenasa del suelo refleja la actividad total oxidativa de los microorganismos sobre la materia orgánica. Es el resultado global de diferentes deshidrogenasas que participan en el metabolismo respiratorio, en el ciclo del citrato y en el metabolismo del nitrógeno (von Mersi y Schinner, 1991). Son enzimas exclusivamente intracelulares presentes en todas las células vivas (Dick *et al.*, 2005).

Se interpreta al igual que en la enzima beta-glucosidasa, no existen diferencias significativas entre los meses de mayo y septiembre, aunque se aprecia un incremento en el mes de septiembre por haber una mayor descomposición de los restos aportados procedentes de la cubierta vegetal en cubierta vegetal. Entre los tres tratamientos existen diferencias significativas, siendo el no laboreo el que obtiene los valores más bajos. En cuanto al laboreo, destaca sobre el no laboreo debido en parte a que, en el año anterior al presente estudio, el agricultor realizó un aporte de estiércol a su parcela, pudiendo

justificar así un mayor valor, aunque claramente el mejor resultado lo presenta el tratamiento de cubierta vegetal.

La temperatura y la humedad afectan al tamaño, estructura y actividad de la microbiota edáfica y a las actividades enzimáticas del suelo (Schimel *et al.*, 1996). Existe una influencia de los factores climáticos sobre la biología del suelo, junto con el manejo del mismo. La temperatura, por ejemplo, puede influir sobre las actividades enzimáticas del suelo modificando tanto la cinética como la proliferación de los microorganismos que la producen (Zeller *et al.*, 2001). No obstante, la intensidad con que los factores climáticos actúan sobre las propiedades biológicas del suelo es homogénea para los tres tratamientos, ya que se encuentran uno al lado de otro. Aunque podemos tener en cuenta que los distintos manejos del suelo modifican la climatología a nivel de parcela, creando su propio microclima.

4.3.2. Contenido en humedad.

La curva característica de retención de humedad ofrece la relación existente entre el contenido de agua y la presión a la cual está sometida en la matriz del suelo, que viene determinada fundamentalmente por la distribución del tamaño de poros. Cuando hablamos de porosidad de un suelo es importante diferenciar entre la porosidad textural (debida a la distribución del tamaño de partículas del suelo), y la porosidad estructural (donde se engloban los microporos, grietas, bioporos y macroporos estructurales). Mientras que la porosidad textural es difícil de cambiar, ya que la textura es una propiedad física del suelo inherente del medio y muy estable en el tiempo, la porosidad estructural se ve muy afectada por el manejo que se haga del suelo, fundamentalmente el laboreo, la compactación, o la propia explotación del terreno (Dexter, 2000). Los resultados obtenidos son los siguientes:

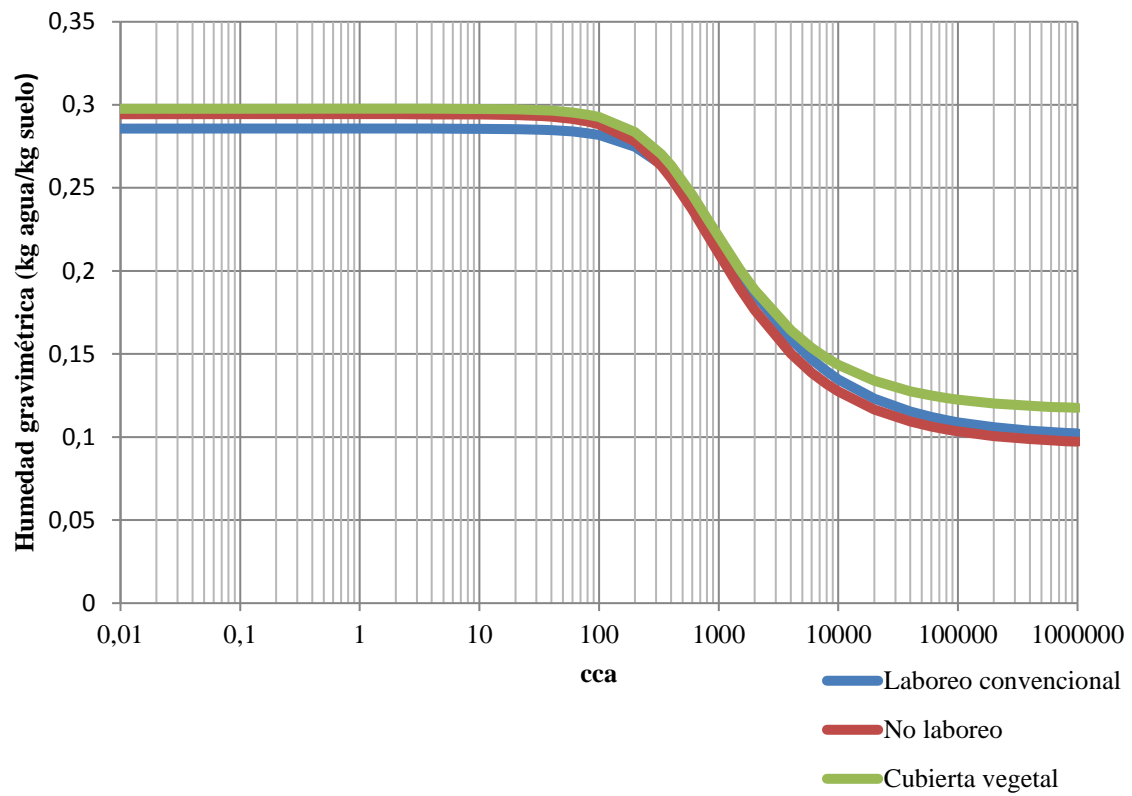


Figura 25: Curvas características de humedad para el mes de mayo.

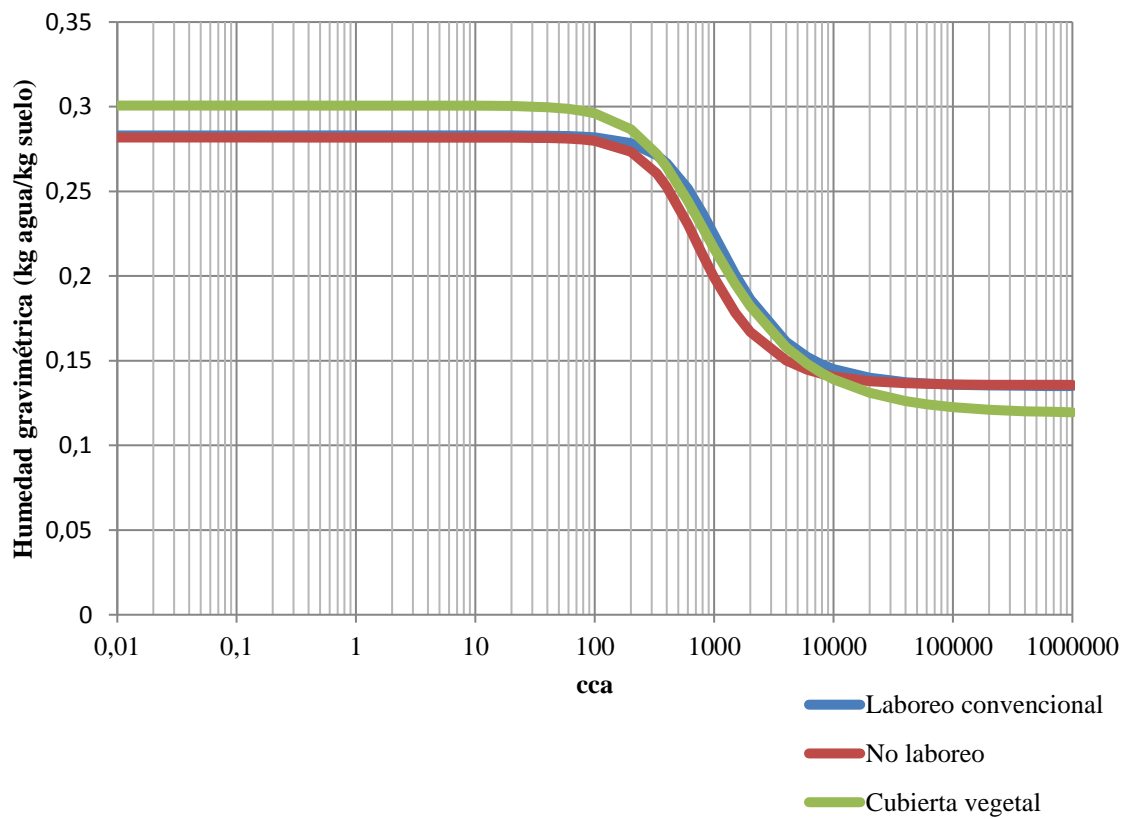


Figura 26: Curvas características de humedad para el mes de septiembre.

El análisis descriptivo de los datos indica valores de humedad para cada punto de la curva que se corresponden con diferentes presiones a las que han sido sometidas las muestras, pudiendo destacar el hecho de que en los primeros puntos con presiones bajas el contenido en humedad es elevado, y a medida que la presión aumenta, el contenido en humedad disminuye. Las diferencias entre los tres tratamientos son significativamente distintas, a favor de las muestras tomadas en la parcela de cubierta vegetal, lo que justifica una mayor calidad física del suelo bajo cubierta vegetal como ya ha sido comprobado en otros trabajos llevados a cabo (Dexter 1988; Dexter y col., 2000, 2004, 2007).

La capacidad de retención de agua está controlada en primer lugar por el número de poros y su distribución (Hudson, 1994). Según Bhogal *et al.* (2009), la materia orgánica aumenta la agregación y el tamaño de poros, favoreciendo la infiltración y actuando como una esponja que eleva el contenido en agua disponible. En este trabajo, el cambio en el manejo del suelo junto con la adición de los restos de poda incrementa la capacidad de retención de agua a bajas presiones. Estas variaciones coinciden con los resultados señalados por otros autores en cultivos del área mediterránea (Hernández *et al.*, 2005; Fernández-Ugalde *et al.*, 2009).

Las diferencias entre manejos fueron más significativas al comienzo de la curva con presiones aplicadas más bajas, ya que en profundidad la concentración del contenido en humedad tiende a igualarse. Estos resultados coinciden con los señalados por Bescansa *et al.* (2006), que indicaron una fuerte correlación entre la densidad aparente y el contenido en agua del suelo como resultado de un aumento en la materia orgánica del suelo. Rawls *et al.* (2003), señaló que la retención de agua depende fundamentalmente de la estructura y por tanto del manejo del suelo.

Por tanto, se puede indicar que el laboreo convencional, intensivo y de forma continuada, provoca cambios estructurales en el suelo relacionados con la distribución de poros del mismo, provocando efectos importantes en su capacidad para poner a disposición del cultivo agua almacenada. El no laboreo mejora las condiciones del suelo y aumenta su capacidad para retener y suministrar agua al cultivo. Mientras que la cubierta vegetal a lo largo del tiempo permite alcanzar una mejora sustancial en las propiedades hídricas del suelo, con lo que ello conlleva en el desarrollo de cultivos extensivos de secano como el caso del olivar en el que se ha llevado a cabo el presente estudio, para los cuales el suelo es el principal reservorio de agua para el cultivo y el único aporte de agua es el procedente de la climatología.

Estos resultados ponen en evidencia que, diferentes tipos de manejo del suelo pueden provocar cambios en la distribución de poros, no tanto en la capacidad de éste para almacenar agua, sino en la capacidad del mismo para poner el agua a disposición del cultivo.

4.3.3. Carbono orgánico.

La materia orgánica de los suelos procede de la descomposición de restos de seres vivos, principalmente biomasa vegetal. A nivel de elementos químicos, los componentes orgánicos de los tejidos vegetales están formados principalmente por hidrógeno, carbono, y oxígeno, que constituyen del orden del 90%, seguidos de nitrógeno, azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio y una serie de microelementos, todos ellos integrados en estructuras como los hidratos de carbono, ligninas y proteínas entre otros (Fuentes Yagüe, 1983). En la descomposición de la materia orgánica intervienen numerosos microorganismos a través de la humificación (la materia orgánica fresca se transforma en humus) y la mineralización (transformación de compuestos orgánicos en inorgánicos).

La materia orgánica es uno de los constituyentes más importantes del suelo ya que influye en muchas de sus características. Por este hecho es considerado indicador de la calidad del suelo por excelencia (Franzluebbers, 2002). Los principales parámetros que determinan la evolución de la materia orgánica se pueden agrupar en factores climáticos, edáficos, y uso y manejo del suelo.

El descenso en la restitución de restos vegetales y la eliminación de los residuos orgánicos (generalmente mediante su quema) son algunos de los factores que determinan el nivel actual de carbono en los suelos agrícolas (Freibauer *et al.*, 2004). A estas prácticas hay que sumarle los efectos del laboreo, ya que ambos aceleran los procesos erosivos y disminuyen la calidad del suelo. Incluso con la adición de restos de cultivo, los países de labor aumentan la mineralización al situar dichos residuos en condiciones más favorables para su descomposición (Angers *et al.*, 1997). Jarecki y Lal (2003) destacan la destrucción de la estructura como el proceso inicial en la pérdida de carbono orgánico. Este empobrecimiento conlleva mayores tasas de erosión, incrementos en la densidad aparente del suelo, menor capacidad de almacenamiento de agua y pérdida de nutrientes. Por el contrario, la presencia de carbono orgánico actúa de forma recíproca, favoreciendo a su vez la estructura del suelo (Pikul y Zuzel, 1994).

La capa más superficial del suelo es de vital importancia ya que recibe los fertilizantes y pesticidas que se añaden en los cultivos, el intenso impacto de la lluvia y participa en el flujo de gases entre la atmósfera y el suelo. Por ello, la estratificación del carbono orgánico calculada como el ratio de la concentración en la capa más superficial entre otra más profunda, puede ser usado como indicador de la calidad y del funcionamiento del ecosistema suelo. La materia orgánica en la superficie afecta al control de la erosión, la infiltración del agua o la conservación de nutrientes. Su valor suele ser alto en pastos y áreas de vegetación natural, así como en terrenos agrícolas restaurados (Franzluebber, 2002).

Cuadro 10.

Carbono orgánico (%) para cada tratamiento. Media (n=3), desviación estándar y grado de significación 0,05

	Mayo	Septiembre
Laboreo	1,95 (0,56) ^a	1,41 (0,66) ^a
No laboreo	2,99 (1,94) ^b	0,98 (0,33) ^b
Cubierta vegetal	5,23 (2,56) ^c	1,98 (0,83) ^c

Es el elemento que más se ha visto influenciado por los cambios de uso y manejo del suelo, considerado como indicador de la calidad del suelo por excelencia (Franzuebbers, 2002; Jarecki y Lal, 2005). Nieto (2011) registra valores de carbono orgánico en vegetación nativa de un 11,5%, en este trabajo los valores de carbono que más se aproximan a ese valor los presenta el suelo con cubierta vegetal, con 5,23% en mayo y 1,98% en septiembre.

El manejo convencional del olivar se caracteriza por generar suelos muy pobres, con un bajo contenido en nutrientes, horizontes superficiales decapitados y un escaso espesor útil (Aguilar *et al.*, 1995; Beaufoy, 2001). La degradación queda reflejada en los valores más bajos registrados en los otros tratamientos, y en especial, en la finca bajo laboreo convencional, existiendo diferencias significativas entre los tres tratamientos. En el cultivo del olivar, la erosión es uno de los principales factores que afecta a la pérdida del CO del suelo (Beaufoy, 2001). Los valores obtenidos en este trabajo indican la importante degradación que ha sufrido la finca estudiada tras más de 100 años de labores agrícolas, teniendo en cuenta también que casi el 50% de la superficie queda desnuda y desprotegida durante todo el año, favoreciendo la erosión y degradación de estas áreas, por la baja densidad de plantación en el olivar tradicional.

El CO almacenado en el suelo varía dependiendo de las entradas en forma de materia orgánica y de las salidas por mineralización y erosión (Smith, 2008). Los menores valores del laboreo convencional se deben a varios factores; existe una baja reposición de los restos del cultivo y de elementos nutritivos que hace que disminuya la fertilidad del suelo, ya que las salidas a causa de la quema de los restos de poda y de la recogida de frutos, son mayores que las entradas. Además, la labor que se le suele dar en el centro de la calle y el empleo de herbicidas en el ruedo, controlan la germinación de plantas adventicias disminuyendo el aporte de restos vegetales. Por otro lado, el laboreo favorece la mineralización de la materia orgánica al afectar a una serie de condiciones físicas y químicas que influyen sobre ésta, las alteraciones físicas de las primeras capas

del suelo provocan una destrucción de su estructura y con ello una mayor pérdida de carbono (Jarecki y Lal, 2003).

Las variaciones en CO tras comparar los diferentes manejos del suelo, están relacionadas con un incremento de las entradas de biomasa por la cubierta (raíces y aérea) y a un descenso de las pérdidas. Smith (2008) indicó que este tipo de manejos (cubierta vegetal viva y adición de restos de poda) disminuían las pérdidas de CO del suelo al reducir los impactos que se generan tras el labrado, principalmente la erosión y la mineralización orgánica. Por lo que se determina que el uso de cubierta vegetal consigue aumentar la cantidad de CO, un indicador por excelencia de la calidad del suelo.

4.3.4. Capacidad de intercambio catiónico.

Los complejos coloidales del suelo (arcilla-humus) están cargados negativamente, esta carga, al igual que ocurre en los imanes, es capaz de atraer a cargas positivas. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se define como el número de espacios (negativos) que podrán ser ocupados por cationes (nutrientes) y por tanto almacenados hasta que las plantas los tomen. Es por tanto una propiedad que nos indica la fertilidad potencial del suelo. Depende fundamentalmente de la textura del suelo, el tipo de arcillas predominantes y en contenido en humus, y puesto que con el análisis textural se ha demostrado que el suelo es el mismo para las tres parcelas, en este trabajo se puede justificar que las diferencias en CIC pueden deberse a los cambios en el carbono orgánico producidos como consecuencia del manejo del cultivo. Los suelos con una elevada CIC son capaces de almacenar gran cantidad de nutrientes, que podrán ser suministrados a las plantas, por tanto, admiten mayores dosis de abonado, sin embargo, en los suelos con capacidad baja hay que fraccionar los abonos en dosis más pequeñas (García *et al.*, 2010).

La adición de residuos del cultivo contribuye a incrementar la CIC del suelo, especialmente en las capas más superficiales. En olivar, Castro (1993) observó un aumento significativo de la CIC en los primeros 15 cm como resultado de implantar cubierta vegetal con respecto al no laboreo y laboreo convencional. Bajo cultivo ecológico también se han registrado resultados similares (Álvarez *et al.*, 2007). Otros trabajos han señalado valores más altos en laboreo frente al no laboreo (Thomas *et al.*, 2007). Loch y Coughlan (1984) indicaron que este hecho puede ser debido a la adsorción de herbicida por las partículas de arcilla.

Los diferentes manejos han afectado significativamente a la CIC, con valores máximos en la cubierta vegetal y menores en laboreo y no laboreo (Figura 27). La CIC ha sido relacionada con el porcentaje de arcilla y con el contenido en carbono orgánico, ya que ambos presentan una elevada superficie específica que incrementa los lugares de intercambio (Lal, 1997; Caravaca *et al.*, 1999).

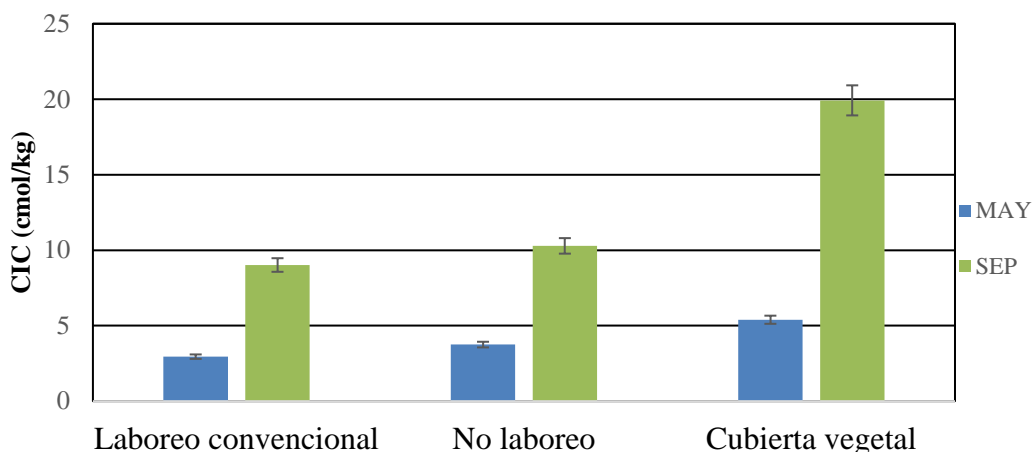


Figura 27: valores medios de la capacidad de intercambio catiónico en las tres fincas experimentales.

Leinweber *et al.*, (1993) indicó que el tamaño de partícula es el factor que más afecta a la CIC, seguido de aquellos que modifican el contenido en carbono orgánico como el manejo del suelo, por lo que el uso de cubierta vegetal claramente aumenta dicho contenido. Caravaca *et al.* (1999) señalan que la influencia del carbono orgánico en la CIC es casi tan importante como la de las arcillas. Oorts *et al.*, (2003) señalan que la materia orgánica es la responsable del 75-85% de la CIC registrada tras cambiar el manejo del suelo, mientras que Bigorre *et al.* (2000) estimaron su influencia entre el 40 y el 54% en suelos de Francia.

En términos generales, los valores de CIC registrados en este trabajo coinciden con los señalados por Caravaca *et al.* (1999) en el área semiárida mediterránea, con descensos en suelos cultivados con respecto a áreas naturales. Fernández-Ugalde *et al.* (2009) registraron un incremento en la CIC en los primeros 30 cm de un suelo cultivado con grano que pasaba de laboreo convencional a no laboreo. Este efecto sólo fue observado en el análisis de los manejos para cada finca, ya que las variaciones en arcilla modificaron esta relación. También en olivar, la adición de restos orgánicos y la ausencia de labor incrementó la CIC del suelo en cultivos ecológicos (Álvarez *et al.*, 2007), mientras que Gómez *et al.* (2009) no detectaron diferencias entre laboreo convencional, no laboreo y cubierta vegetal tras 6 años de manejo en suelos con un contenido medio en arcilla del 49%.

4.3.5. Cationes de cambio en el suelo: calcio, magnesio, sodio y potasio.

Los contenidos de cationes en suelos naturales dependen fundamentalmente del material de origen y de los procesos de meteorización y lixiviación, las fuentes para las plantas en el corto plazo son cationes intercambiables y en la solución del suelo. Si bien estos cationes intercambiables se encuentran en forma hidratada, en general nos referimos a ellos como iones: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .

Los valores aproximados de cada uno de los cationes se presentan a continuación según García *et al.*, (2010).

Cuadro 11.

Valores de calcio

Calcio (mg/100g de suelo)	Contenido
300-400	Normal
<300	Bajo
>400	Alto

Cuadro 12.

Valores de magnesio. El contenido de este catión se interpreta en conjunto con el calcio.

Valores de calcio	Contenidos normales de magnesio (mg/100g)
Calcio bajo	8-10
Calcio normal	18-20
Calcio alto	25

Cuadro 13.

Valores de sodio

Sodio (mg/100g de suelo)	Contenido
< 1,15	Pobre
1,15 – 2,3	Bajo
2,3 – 6,9	Normal bajo
6,9 - 16	Normal alto
16 - 23	Alto
> 23	Muy alto

Cuadro 14.

Valores de potasio en función del porcentaje en arcillas

Riqueza en arcilla	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto
< 10%	50	80	125	175
20%	75	100	200	300
30%	100	150	275	350
>40%	125	175	300	400

Los valores obtenidos de los cuatro cationes en este trabajo se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 15.

Valores de calcio, magnesio, sodio y potasio en los meses de realización de los muestreos de los distintos tratamientos.

Tratamiento	Mes	Ca (mg/100g de suelo)	Mg (mg/100g de suelo)	Na (mg/100g de suelo)	K (mg/100g de suelo)
Laboreo	Mayo	378 (1,68) ^b	15,2 (0,17) ^b	4,83 (0,05) ^a	210 (0,01) ^b
No laboreo	Mayo	256 (0,15) ^a	12,7 (0,03) ^a	5,29 (0,16) ^a	110 (0,02) ^a
Cubierta vegetal	Mayo	536 (0,48) ^c	18,2 (0,33) ^c	3,22 (0,19) ^a	190 (0,13) ^b
Laboreo	Sept.	359 (0,79) ^b	15,3 (0,27) ^b	5,06 (0,15) ^a	200 (0,05) ^b
No laboreo	Sept.	227 (0,24) ^a	11,8 (0,03) ^a	3,45 (0,04) ^a	85 (0,01) ^a
Cubierta vegetal	Sept.	447 (1,27) ^c	20,0 (0,53) ^c	4,14 (0,16) ^a	210 (0,21) ^b

El **calcio** intercambiable es el catión mayoritario entre las bases intercambiables, y su contenido depende principalmente del material parental y del contenido en arcilla y materia orgánica del suelo. Normalmente las cantidades de Ca²⁺ presentes en los suelos exceden largamente las necesidades de los cultivos. Se trata de un macronutriente esencial para las plantas, su concentración en tejidos vegetales puede llegar a ser el 2% de la materia seca. Es un constituyente de la pared celular (función estructural), regula la permeabilidad de las membranas, es esencial para la elongación de las células y juega un papel importante en la división celular por lo que es importante en el crecimiento, y además, cumple funciones osmóticas. La deficiencia de calcio es bastante rara, mostrándose reducción del crecimiento, clorosis y deformaciones.

Según los datos obtenidos (**cuadro 15**), no existen diferencias significativas entre parcelas y meses, es decir, aunque hay una ligera disminución del valor de calcio entre mayo y septiembre, los valores son similares para ambos meses. Las diferencias si surgen entre tratamientos pudiendo determinar que: el sistema de laboreo presenta un contenido normal en calcio, puesto que está comprendido entre 300 y 400 mg/100g de

suelo (378 en mayo y 359 mg/100g de suelo en septiembre), el sistema de cultivo de no laboreo presenta el contenido más bajo, estando por debajo de 300 mg de calcio por gramo de suelo (256 en mayo y 227 en septiembre) por lo que se encuentra con un contenido bajo en calcio. El sistema de cubierta vegetal presenta el mejor valor de calcio frente a los otros dos tratamientos, con un contenido alto en calcio puesto que en ambos meses se obtienen valores mayores a 400 mg/g de suelo (536 en mayo y 447 en septiembre).

Se determina por tanto que el sistema de cubierta vegetal presenta un contenido más óptimo en calcio con respecto a los otros tratamientos, debido en gran medida a la asociación que existe entre materia orgánica y calcio.

La proporción de **magnesio** intercambiable en los suelos es generalmente menor a la del calcio. El contenido de Mg^{2+} depende fundamentalmente del material parental y del contenido de arcilla y materia orgánica de los suelos. Para las plantas es un macronutriente esencial, forma parte de la clorofila y cumple funciones como promover reacciones enzimáticas, regular el pH celular o el balance de cationes y aniones. Su concentración en los tejidos vegetales es generalmente menor al 0,5%. Los síntomas de deficiencia se muestran en principio en las hojas viejas, apareciendo clorosis y necrosis desde la base hasta el extremo.

Al interpretar los valores de este catión en conjunto con el calcio, se determina que: para el tratamiento de laboreo se obtienen un valor normal en calcio que se correspondería con parámetros de entre 18 y 20mg por 100g de suelo, debido en parte al aporte de estiércol que el agricultor realizó en la campaña anterior como se ha indicado previamente. En el **cuadro 15** se observa un valor de 15 mg de magnesio por 100 g de suelo, por lo que es un poco inferior a los valores estándar. En el no laboreo ocurre lo mismo que para el calcio, es el tratamiento que presenta los valores más bajos para el magnesio con un 12,7 mg/100g en mayo, y 11,8 mg/100 g en septiembre. Los valores mayores de magnesio se corresponden con el tratamiento de cubierta vegetal siendo de 18,2 mg/100 g de en mayo y de 20,0 mg/100 g de suelo en septiembre. Teniendo en cuenta que la cantidad de este catión depende fundamentalmente del material parental y del contenido en arcilla y materia orgánica de los suelos, se puede concretar que los mayores valores obtenidos en cubierta vegetal se deben al mayor contenido en materia orgánica, ya que el contenido en arcilla era menor en esta parcela como pudimos observar en resultados anteriores, por lo que se determina que el uso de cubierta vegetal aumente el contenido en magnesio asimilable para las plantas.

El **sodio**, a diferencia de los anteriores, no está probado que sea un nutriente esencial para las plantas y, en general, los suelos tienen suficiente capacidad de aporte de este catión. El sodio puede sustituir al potasio en ciertas funciones en las plantas, especialmente relacionadas al mantenimiento de la turgencia. La problemática del sodio en los suelos está más relacionada con su exceso que con su deficiencia, un alto contenido en sodio provoca una dispersión de los coloides arcillosos y húmicos del suelo dando como consecuencia una pérdida de la estabilidad estructural, y como

consecuencia, se dificulta la circulación del agua y aire, produciendo encharcamientos y asfixia radicular.

Para los tres tratamientos se obtienen valores de sodio que se corresponde con un contenido normal bajo de este catión, oscilando entre 3,22 y 5,29 mg por 100 g de suelo, por lo que se determina que, para el contenido de este catión, no existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos para este estudio.

El **potasio** es un macronutriente esencial para las plantas. Aunque no entra a formar parte permanente de los tejidos, actúa como regulador de numerosas funciones como la resistencia de la planta a la sequía al influir sobre el mecanismo de apertura y cierre de los estomas, la calidad de los frutos y la resistencia a las heladas y enfermedades (Fuentes Yagüe, 1983). Se encuentra disuelto en la solución del suelo, adsorbido en forma intercambiable o bien retrogradado por las partículas de arcilla. Soria (2002) registró deficiencias en K en gran parte de los olivares de Jaén, recomendando la fertilización foliar debido a su gran movilidad en el suelo y la facilidad de pérdida por lavado. El contenido en K asimilable guarda una relación muy estrecha con el contenido en arcilla y su mineralogía, además, se ha señalado una relación directa entre el contenido en K y la materia orgánica, debido al aumento de los sitios de intercambio y a la liberación de ciertas cantidades de K durante su mineralización. El empleo de manejos de suelo que aumenten el contenido en carbono orgánico como la adición de restos de cultivo al suelo incrementan también el contenido en K disponible (Thomas *et al.*, 2007). En olivar, Ordóñez *et al.* (2001) indicaron un aumento del K en suelos cubiertos con restos de poda, mientras que Soria (2002) en los primeros años de implantación de cubiertas vegetales registró valores de K más bajos con respecto a la zona bajo la copa del olivo, indicando que la propia caída eventual de hojas y frutos y su mantenimiento en superficie mejoraba las propiedades del suelo.

Los valores más altos de K se registraron en la parcela bajo cubierta vegetal, mostrando diferencias significativas con los demás tratamientos. Teniendo en cuenta que su contenido en el porcentaje de arcillas era menor con respecto a los otros dos tratamientos (un 12% frente al 20-22%), presenta un contenido alto en potasio. En laboreo se obtienen valores medios de K, y en no laboreo el resultado es el menor obtenido, siendo un contenido bajo en este elemento. Este incremento de K en olivos cultivados con cubierta vegetal está relacionado con la adición de restos vegetales. Otros autores han obtenido resultados similares a los de este trabajo, con valores altos en cultivos en los que se acumulaban en superficie residuos vegetales (Thomas *et al.*, 2007). Ordóñez *et al.* (2001) indicaron un aumento significativo del K en los primeros 5 cm de suelos cubiertos con restos de poda con respecto a un no laboreo desnudo. Gómez *et al.* (2009) también señalaron incrementos del 50% en una cubierta vegetal con respecto al no laboreo. Ambos autores relacionaron estas variaciones con un aumento de la materia orgánica, además de indicar que el empleo de cubiertas vegetales reduce las pérdidas de K al reducir la erosión. Las diferencias detectadas entre las fincas indicaron que la concentración de este elemento en el suelo está condicionada no sólo

por el contenido en materia orgánica, sino también por el grado de degradación o el porcentaje y mineralogía de las arcillas.

4.3.6. Conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica de una disolución puede definirse como la aptitud de ésta para transmitir la corriente eléctrica. La presencia de iones que forman parte de las sales que hay en el suelo contribuyen a conducir la electricidad y esa propiedad es la que se utiliza para determinar la conductividad eléctrica. Nos aporta información sobre la concentración de sales en el suelo, por lo que, a mayor contenido de sales, mayor conductividad. En olivar, más de 4 dS/m puede hacer descender la producción en un 10% (Navarro y Parra, 2004).

Las sales se encuentran en todos los suelos y aportan muchos de los elementos esenciales para el crecimiento del árbol. Sin embargo, cuando se concentran en exceso pueden causar daños de consideración y pueden incluso ser limitantes para la plantación. El exceso de sales en un suelo puede ser inherente al material parental del mismo o éstas pueden acumularse como consecuencia del riego con aguas salinas o por capilaridad desde las capas freáticas. En cualquier caso, la movilidad de las sales es alta y se translocan fácilmente en el suelo. Su distribución está influenciada por las características del perfil, las lluvias, el nivel de las capas freáticas, el sistema de riego y otros factores. Como consecuencia de ello, la cantidad de sales solubles en el suelo varía ampliamente en distancias cortas, tanto vertical como horizontalmente, por lo que el muestreo del análisis ha de realizarse cuidadosamente (García *et al.*, 2010).

Cuadro 16.
Valores medios y desviación típica de conductividad eléctrica (dS/m) para cada tratamiento.

	Mayo	Septiembre
Laboreo	1,01 (0,24) ^b	0,53 (0,11) ^b
No laboreo	0,65 (0,04) ^a	0,34 (0,05) ^a
Cubierta vegetal	1,35 (0,05) ^c	0,87 (0,19) ^c

Los niveles de salinidad según C.E. (dS/m en extracto de saturación, referidos a 25°C) según García *et al.*, (2010) son los siguientes:

Cuadro 17.

Valores de referencia de C.E. (dS/m).

Valores de C.E.	Tipo de suelo
< 2	Suelo no salino. Efectos de sales despreciables
2 - 4	Ligeramente salino. Efectos en cultivos sensibles
4 - 8	Salino, reducción de cosechas en los cultivos
8 - 16	Muy salino, sólo cultivos tolerantes a la salinidad

Todos los resultados obtenidos en los diferentes tratamientos están por debajo de 2 dS/m, tanto para el mes de mayo como para el de septiembre, por lo que consideramos que el suelo es no salino y el efecto de las sales puede ser considerado despreciable, aunque entre los tres tratamientos aparecen diferencias significativas. Al tratarse de cultivos en secano, no existe un aporte extra de sales por parte del agua de riego. Los valores mayores obtenidos en cubierta vegetal pueden estar relacionados con un mejor estado del suelo y un mayor equilibrio entre nutrientes.

5. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. El uso de cubierta vegetal hizo la floración más escalonada, con una plena floración más prolongada y una floración, en general, más larga.
2. El mantenimiento del suelo con cubiertas vegetales incrementó los niveles de floración (inflorescencias por ramo), probablemente debido a ramos más largos.
3. El uso de cubiertas vegetales en el suelo del olivar incrementó significativamente los niveles de cuajado inicial y final de frutos, y el número de frutos por ramos en maduración.
4. Las cubiertas vegetales atenuaron las caídas de frutos producidas entre los 15 y 45 días después de plena floración, es decir, entre cuajado inicial y final, y entre estos periodos y cosecha, lo que sugiere una mejor condición de los árboles mantenidos bajo este sistema.
5. El tamaño del fruto expresado por su peso fresco en cosecha fue significativamente menor bajo laboreo. El tratamiento de no laboreo produjo los frutos más pesados, con el tratamiento de cubiertas vegetales en una situación intermedia, si bien la productividad por ramo fue de nuevo superior gracias al uso de cubiertas vegetales.
6. El contenido en carbono orgánico incrementa significativamente con el uso de cubierta vegetal. Este elemento presenta importantes correlaciones con el resto de propiedades estudiadas, por lo que su aumento implica incrementos en la actividad enzimática, el contenido de cationes, capacidad de intercambio catiónico y capacidad de retención de agua.
7. La variación en el contenido de carbono orgánico y en las propiedades asociadas al mismo está directamente relacionada con los aportes de biomasa que se producen en cada manejo, registrándose las mayores concentraciones en la cubierta vegetal por el aporte de la vegetación triturada y los restos de poda del olivar.
8. El cumplimiento de la normativa sobre la utilización de cubiertas vegetales en cultivos de olivar con pendientes superiores al 10%, y el compromiso por parte de los agricultores a ser más respetuosos con el medio ambiente, hacen del uso de cubiertas vegetales una muy buena alternativa frente a técnicas de laboreo tradicionales.

6. Bibliografía

- Aguilar, J., *et al.*, (1995). *Jerarquización de parámetros edáficos en la evaluación de la productividad del olivo*. Anales de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo 1.
- Alcalá, A.R., Barranco, D. (1992) *Prediction of flowering time in olive for the cordoba olive collection*. Departamento de Agronomía, Universidad de Córdoba.
- Alcántara, C., Saavedra, M., (2005). *Manejo de cubiertas de especies crucíferas en olivar*. Simposium expoliva.
- Álvarez, S. *et al.*, (2007). *Soil properties in organic olive groves compared with that in natural areas in a mountainous landscape in southern Spain*. Soil Use Manage. 23, 404-416.
- Angers, D.A., *et al.*, (1997). *Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada*. Soil and Tillage Research 41.
- Balguerías, E. (1953). *Las variedades del olivo en Término Municipal de Jaén*. Anales del Jardín Botánico de Madrid.
- Barranco, D. *et al.*, (2008). *El cultivo del olivo*. Capítulo I, La olivicultura en el mundo y en España. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. 19-34.
- Barranco, D., G. Milona, and L. Rallo. (1992). *Epocas de floración y maduración de variedades de olivo*. Olea (In press.)
- Beaufoy, G. (2001). *Eu policies for olive farming. Unsustainable on all counts*. BirdLife International.
- Bhogal, A., Nicholson, F.A., Chambers, B.J. (2009). *Organic carbon additions: effects on soil bio-physical and physico-chemical properties*. European Journal of Soil Science 60.
- Bhonsle, N.S., Pal, S.K., Sekhon, G.S. (1992). *Relationship of K forms and release characteristics with clay mineralogy*. Geoderma 54, 285-293.
- Bigorre, F., Tessier, D., Pedro, G. (2000). *Contribution des argiles et des matières organiques a la retention de l'eau dans les sols*. Signification et role fundamental de la capacité d'échange en cations. Surface Geosciences 330.
- Cabeza, C., Jiménez, M., (2009). *Olivar sostenible*. Prácticas para una producción sostenible de olivar en Andalucía. IFAPA Córdoba.
- Cano, J., Hidalgo, J.C., Holgado., *et al.*, (2011). *Erosión y cubiertas vegetales en olivar adehesado*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla.
- Caravaca, F., Lax, A., Albaladejo, J. (1999). *Organic matter, nutrient contents and cation exchange capacity in fine fractions from semiarid calcareous soils*. Geoderma 93.

- Castro, J. (1993). *Control de la erosión en cultivos leñosos con cubiertas vegetales vivas*. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba.
- Corelli-Grappadelli, L., Lakso, A. (2004). *Fruit development in deciduous tree crops as affected by physiological factors and environmental conditions*. Acta Horticultura. 636, 425-441.
- Cortés, S. (2002). *BBCH - Descripción de las fases fenológicas del olivo (Olea europea L)*. En Meier, U. Estadios de las plantas mono y dicotiledóneas. BBCH Monografía. 2ª ed. Centro federal de investigaciones biológicas para agricultura y silvicultura.
- Cuevas, J., Polito, VS. (2004) *The role of staminate flowers in the breeding system of Olea europaea (Oleaceae): an andromonoecious, wind-pollinated taxon*. Annals of Botany 93:547-553.
- De Benito, A., Sombrero, A. y Escribano-Villa, C., (1999). *Influencia del Laboreo de Conservación sobre las Propiedades del Suelo*. "Agricultura". Num. 804:538-541.
- Dexter, A.R. (1998). *Advances in characterization of soil structure*. Soil Tillage Res. 11, 199-238
- Dexter, A.R. (2004). *Soil physical quality*. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter on root growth. Geoderma 120: 201-214.
- Donoso, J., Bastías, R., et al., (2005-2006). *Comportamiento fenológico del olivo en tres localidades de la VI región*. Informativo INIA rayentué.
- Fernandez-Ugalde, O., Virto, I., Bescansa, P., Imaz, M.J., Enrique, A., Karlen, D.L. (2009). *No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils*. Soil and Tillage Research 106.
- Franzluebbers, A.J. (2002). *Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality*. Soil and Tillage Research 66, 95-106.
- Freibauer, A., Rounsevell, M., Smith, P., Verhagen, J. (2004). *Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe*. Geoderma 122.
- Fuentes Yagüe, J.L. (1983). *El suelo y los fertilizantes*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- García, F., Ruiz, F., Cano, J., Pérez, J., (2010). *Suelo, riego, nutrición y medio ambiente del olivar*. Consejería de agricultura y pesca. Junta de Andalucía.
- García, L., Prado, J.L., (2000). *Asociación Española de Agricultura de Conservación*. Suelos Vivos. Dossier agricultura de conservación
- Gómez del campo, M., Rapoport, H. (2008). *De la yema al desarrollo inicial de la aceituna*. Descripción de la iniciación floral, floración, cuajado, caída de frutos y endurecimiento del hueso. Dossier agricultura, 400-406.

- Gómez, J.A. *et al.*, (2004). *Experimental assessment of runoff and soil erosion in an olive grove on a vertic soil in southern Spain as affected by soil Management*. Soil Use and Management 20, 426-431.
- Gómez, J.A. *et al.*, (2009). *Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain*. Soil and Tillage Research 102, 5-13.
- Hartmann, H.T. and J.W. Whisler. (1975). *Flower production in olive as influenced by various chilling temperature regimes*. J. Amer. Soc. Horticulture Science. 100:670-674.
- Hernández, A.J. *et al.*, (2005). *Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed olive orchard*. Agric. Water Manage. 77, 232-248.
- Hudson, B.D. (1994). *Soil organic-matter and available water capacity*. Journal of Soil and Water Conservation 49.
- Hueso, J.J. y González, M. (2012). *Riego deficitario y poda prefloración para adelantar la recolección en níspero japonés \ICV\2 Algerie*. Centro de Innovación Agroalimentaria y Sostenibilidad de la Fundación Cajamar, departamento de Producción Vegetal. Universidad de Almería.
- Jarecki, M.K. y Lal, R. (2003). *Crop management for soil carbón sequestration*. Critical Reviews in Plant Sciences 22.
- Lal, R. (1997). *Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO2 enrichment*. Soil and Tillage Research 43, 81-107.
- Lal, R. (2004). *Soil carbon sequestration to mitigate climate change*. Geoderma 123, 1-22.
- Lavee, S., Rallo, L., Rapoport, H., Troncoso, A. (1996). *The floral biology of the olive: effect of flower number, type and distribution on fruitset*. Scientia Horticulturae 66:149-158
- Lavee, S., Rallo, L., Rapoport, H., Troncoso, A. (1999) *The floral biology of the olive - II. The effect of inflorescence load and distribution per shoot on fruit set and load*. Scientia Horticulturae 82:181-192.
- Leinweber, P., Reuter, G., Brozio, K. (1993). *Cation exchange capacities of organo-mineral particle-size fractions in soil from long-term experiment*. European Journal of Soil Science 44, 111-119.
- Loch, R.J. y Coughlan, K.J. (1984). *Effects of zero tillage and stubble retention on some properties of a cracking clay*. Australian Journal of Soil Research 22, 91-98.

- López-Cuervo, S., (1990). *La erosión en los suelos agrícolas y forestales de Andalucía*. Colección Congresos y Jornadas Nº 17/1990. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. 11-16.
- MAGRAMA; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (Actualización 2012/2013). Fecha de acceso: 03 de octubre del 2016. <http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/aceite-oliva-y-aceituna-mesa/aceite.aspx#para1>
- Marañés, A., Sánchez, J.A., De Haro, S., Sánchez, S.T., Del Moral, F. (1998). *Análisis de suelos. Metodología e interpretación*. Ed. Universidad de Almería. 76-145.
- Montegut, J. (1974). *Mauvaises herbes des cereales mediterraneenes. Aspects geographiques et ecologiques en France et en Espagne*. En: IV J. Circum. Medit, (Marseille): 392-402.
- Navarrete, L. et al., (2003). *Evolución de la Vegetación Arvense en Respuesta al Laboreo*. "Agricultura de Conservación". Nº 19. Enero-febrero. 7-10.
- Navarro, C. y Parra, M.A. (2001). *Plantación En "el cultivo del olivo"*. Editorial mundi-prensa, Madrid.
- Nieto, O.M. (2011). *Propiedades de los suelos de olivar con diferentes manejos. Simulación del carbono orgánico fijado aplicando el modelo rothc*. Universidad de Granada, departamento de Edafología y Química Agrícola.
- Oorts, K., Vanlauwe, B., Merckx, R. (2003). Cation exchange capacities of soil organic matter fractions in a Ferric Lixisol with different organic matter inputs. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 100, 161-171.
- Ordoñez, R., Ramos, F.J., González, P., Pastor, M., Giráldez, J.V. (2001). *Influencia de la aplicación continuada de restos de poda de olivo sobre las propiedades físico-químicas de un suelo de olivar*. Temas de investigación en la zona no saturada. Universidad Pública de Navarra, Spain.
- Ortega, J.M. (1969). *Estudios y experiencias de poda del olivo*. Boletín del instituto de estudios giennenses.
- Pikul, J.L., Zuzel, J.F. (1994). *Soil crusting and water infiltration affected by long-term tillage and residue management*. *Soil Science Society of America Journal* 58.
- Porras, A. (2001). *Recolección En "el cultivo del olivo"*. Editorial mundi-prensa, Madrid
- Rallo, L. (1994). *Fructificación y producción en olivo*. *Agricultura*, 746: 13-16.
- Ramírez, P., Lasheras, J.M. (2015). *Guías de cubiertas vegetales en vid*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural.

- Rawla, W.J., Pachepsky, Y.A., Ritchie, J.C., Sobecki, T.M., Bloodworth, H. (2003). *Effect of soil organic carbon on soil water retention*. Geoderma 116. 61-76.
- Richard, G. *et al.*, (2001). *Effect of compactation on the porosity of a silty soil: influence on unsaturated hydraulic properties*. Eur. J. Soil Sci. 52, 49-58
- Saavedra, M., Hidalgo, J., Pérez, D., Hidalgo, J. C. (2015). *Guías de cubiertas vegetales en olivar*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. 2015.
- Saavedra, M.; Pastor, M. (1994). *La flora del olivar y el uso de herbicidas*. Agricultura, 748-753
- Seifi, E., Guerin, J., Kaiser, B. and Sedgley, M. (2008). *Inflorescence architecture of olive*. Scientia Horticulturae 116: 273-279.
- Smith, P. (2008). *Land use change and soil organic carbon dynamics*. Nutrient Cycling in Agroecosystems 81.
- Tabatabai, M.A. (1994). *Soil enzymes en weaver R.W. et al., (eds.) Methods of soil análisis. Part II: Microbiological and biochemical properties*. Capítulo 37. SSSA Book Series nº 5. Madison. Wisconsin. USA.
- Thomas, G.A., Dalal, R.C., Standley, J. (2007). *No-till effects on organic matter, pH, cation exchange capacity and nutrient distribution in a Luvisol in semi-arid subtropics*. Soil and Tillage Research 94.
- Tombesi, A. (2003). *Capítulo 3: Biología Fiorale e di Fruttificazione*. Pp 35-55 Fiorino P. Trattato di olivicoltura. Edagricole. Bologna, 461p.
- Uriu, K. (1959). *Periods of pistil abortion in the development of the olive flower*. Proceeding of the American Society for Horticultural Science 73: 194-202.
- White, C.A., *et al.*, (2016). *A review of the benefits, optimal crop management practices and knowledge gaps associated with different cover crop species*. Research Review No. 90.

