

Capacity of groundcovers to mitigate and adapt to climate change in olive groves under semiarid conditions



Capacidad de las cubiertas vegetales para mitigar y adaptar el cambio climático en olivares semiáridos

Universidad de Córdoba

Córdoba, 12 de Diciembre de 2017

PhD Thesis-Tesis Doctoral

Programa de Ingeniería Agraria, alimentaria, Forestal y de Desarrollo Rural.

Directores

Jesús A. Gil Ribes
Rafaela Ordóñez Fernández

Doctorando

Francisco Márquez García

TITULO: *CAPACIDAD DE LAS CUBIERTAS VEGETALES PARA MITIGAR Y
ADAPTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO EN OLIVARES SEMIARIDOS*

AUTOR: *Francisco Márquez García*

© Edita: UCOPress. 2018
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

www.uco.es/publicaciones
publicaciones@uco.es



DEPARTMENT OF RURAL ENGINEERING

University of Córdoba

Capacity of groundcovers to mitigate and adapt to climate change in olive
groves under semiarid conditions

PhD Thesis

FRANCISCO MÁRQUEZ GARCÍA

CÓRDOBA, 2017



DEPARTMENT OF RURAL ENGINEERING

University of Córdoba

Capacity of groundcovers to mitigate and adapt to climate change in olive
groves under semiarid conditions

PhD Thesis written by

D. FRANCISCO MÁRQUEZ GARCÍA

For the obtention of the International PhD degree (PhD with International Mention) by

University of Córdoba

Córdoba, December 12 2017

TÍTULO: *Capacidad de las cubiertas vegetales para mitigar y adaptar el cambio climático en olivares semiáridos.*

AUTOR: Francisco Márquez García

© Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 2017

Campus de Rabanales

Ctra. Nacional IV, km 396^a

14071 Córdoba

www.uco.es/publicaciones

publicaciones@uco.es



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA RURAL

Universidad de Córdoba

Capacidad de las cubiertas vegetales para mitigar y adaptar el cambio
climático en olivares semiáridos

Córdoba, 12 de Diciembre de 2017

LOS DIRECTORES

Dr. JESUS A. GIL RIBES
Catedrático Ingeniería Agroforestal
Universidad de Córdoba.

Dra. RAFAELA ORDÓÑEZ FERNÁNDEZ
Investigadora Titular
IFAPA. Junta de Andalucía.

Memoria que presenta

D. FRANCISCO MÁRQUEZ GARCÍA

Para optar al Grado de Doctor con Mención Internacional en la Universidad de Córdoba



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA RURAL

Universidad de Córdoba

JESÚS A. GIL RIBES, Catedrático de la Universidad de Córdoba y RAFAELA ORDÓÑEZ FERNÁNDEZ, Investigadora Titular del Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Junta de Andalucía.

INFORMAN

Que el trabajo “Capacidad de las cubiertas vegetales para mitigar y adaptar el cambio climático en olivares semiáridos”, realizado por el Ingeniero Agrónomo D. Francisco Márquez García, bajo nuestra dirección se encuentra finalizado y puede ser presentado para su exposición y defensa como Tesis Doctoral en la Universidad de Córdoba.

Córdoba, 12 de Diciembre de 2017

LOS DIRECTORES

Dr. JESUS A. GIL RIBES

Dra. RAFAELA ORDÓÑEZ FERNÁNDEZ



TÍTULO DE LA TESIS DOCTORAL

“Capacity of groundcovers to mitigate and adapt to climate change in olive groves under semiarid conditions” – “Capacidad de las cubiertas vegetales para mitigar y adaptar el cambio climático en olivares semiáridos”

DOCTORANDO/A

Francisco Márquez García

INFORME RAZONADO DEL/DE DIRECTOR/ES DE LA TESIS

Esta Tesis Doctoral es una contribución, en términos generales, al conocimiento de la influencia de la adopción de cubiertas vegetales como método para mitigar y adaptar el efecto del cambio climático en olivares situados en entornos semiáridos y en términos particulares en analizar cómo influyen en estos parámetros las distintas tipologías de cubiertas vegetales y sus posibles manejos. El proyecto de tesis se ha llevado a cabo durante cuatro campañas de muestreos en ocho fincas situadas en las principales comarcas olivareras de Andalucía, Jaén, Córdoba, Sevilla y Huelva.

De manera general, se ha intentado analizar el papel que juegan los sistemas de agricultura de conservación en el olivar, cubiertas vegetales, en los posibles efectos del cambio climático tanto sobre el suelo de estos cultivos, como en algunos factores importantes para su manejo.

En la tesis se realiza en primer lugar un análisis de la influencia que las cubiertas vegetales juegan en el incremento del sumidero de carbono orgánico de los suelos de olivar, discriminado entre las diversas tipologías a utilizar. En segundo lugar, se ha estudiado la influencia que la implantación de cubiertas vegetales tiene en la salida de carbono orgánico de las explotaciones olivareras debido a la pérdida de suelo por erosión. Finalmente, se evaluó la variación en el balance de agua del suelo que se tiene al manejar el mismo con cubiertas vegetales o mediante laboreo.



Los resultados que ofrece la tesis pueden servir de manera general para mejorar el conocimiento e interrelación que tienen estas técnicas sostenibles con el cultivo del olivar y sus principales factores de cultivo, suelo y agua. En segundo lugar pueden utilizarse para validar estos manejos como técnicas capaces de ayudar no sólo a adaptar este cultivo frente a los efectos adversos del cambio climático, sino a ayudar de manera global a la lucha contra éste, favoreciendo la implantación y desarrollo de políticas de fomento de estos sistemas a distintas escalas geográficas.

La Tesis Doctoral Internacional, se presenta de manera tradicional. Como indicios de calidad cuenta con dos estancias internacionales, como se detalla en el apartado 11.1.1 del presente documento:

- Estancia internacional con la Asociación Argentina de Productores en siembra Directa (AAPRESID). Duración: 35 días. Periodo: 23/07/2008 al 26/08/2008. Tutor. Gastón Fernández Palma.
- Estancia internacional en la Faculty of Bioscience Engineering de la Katholieke Universiteit of Leuven. Duración: 92 días. Periodo: 01/06/2013 al 31/08/2013. Tutor: Prof. Wouter Saeys.



Además se ha llevado a cabo la publicación de un trabajo publicado en revista indexada con los indicios de calidad que se mencionan a continuación y otra en fase de publicación, o publicados en congresos internacionales o revistas de difusión, como se muestra en el apartado 11.1.2 del presente documento.

- Márquez-García, F., González-Sánchez, E.J., Castro-García, S., Ordóñez-Fernández, R. 2013. Improvement of soil carbon sink by cover crops in olive orchards under semiarid conditions. Influence of the type of soil and weed. Spanish Journal of Agricultural Research. 11, 335-346. Número de citas 9. Factor de impacto año publicación (2013): 0,514. Posición: 38/56; Q3. Factor impacto año envío (2012): 0,659. Posición: 28/57. Q2. Factor impacto medio últimos 5 años: 0,665. Posición: 30/56; Q2.
- Márquez-García, F., Gil-Ribes, J.A.; González-Sánchez, E.J., Ordóñez-Fernández, R. 2017 (en revisión. Rejection with resubmission). Influence of cover crops and conventional tillage in organic carbon output in mediterranean olive orchards. Soil & Tillage Research. Factor impacto año publicación (2016): 3,40. Posición: 6/34; Q1.

Por todo ello, se autoriza la presentación de la Tesis Doctoral.

Córdoba, 12 de Diciembre de 2017

LOS DIRECTORES

Dr. JESUS A. GIL RIBES

Dra. RAFAELA ORDÓÑEZ FERNÁNDEZ

AGRADECIMIENTOS

Hoy, tras más de diez años de andadura dentro del Departamento de Ingeniería Rural, y tras un camino largo e intrincado, aunque muy gratificante personal y profesionalmente, estoy a punto de defender mi Tesis Doctoral.

Durante este largo periodo he tenido la oportunidad de conocer a una gran cantidad de personas que han influido de manera importante a que hoy Curro sea quien es. Serían necesarias muchas páginas para individualizar en toda aquella gente que siempre mantendré en mi recuerdo, pero no puedo dejar de agradecer al personal de la AEAC.SV que me dieron la oportunidad de realizar mi TPFC junto con mi admirado Juan Vicente Giráldez, a todo el personal del IFAPA que en esa época fueron casi como mis madres y por supuesto a toda la gente del departamento de Ingeniería Rural de la Universidad de Córdoba, tanto profesores como investigadores, a los que junto a ellos durante este transcurrir he conseguido formarme, disfrutar y aprender a que con tesón, trabajo y constancia se puede alcanzar todas las metas que te propongas.

No tengo palabras para agradecer el cariño y esfuerzo recibidos por parte de mis directores de Tesis, a los que no puedo dejar de considerar como mis padres académicos, y sin los cuales este trabajo no hubiera llegado ser lo que es a día de hoy.

No puedo dejar fuera de estas líneas a todos los propietarios de las fincas que me brindaron la oportunidad de poder realizar todos estos estudios, ni a los proyectos de investigación que los han hecho posibles:

- Contrato de Consultoría y asistencia entre la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía y AEAC/SV “Desarrollo de un programa de seguimiento para la evaluación de la aplicación de medidas de fomento de cubiertas vegetales en el olivar de Andalucía”
- “*Cubiertas vegetales de crucíferas y gramíneas y su manejo como sistema de conservación y mejora de la calidad del suelo y de las aguas de escorrentía en el olivar andaluz*” RMN-03205. Proyecto de excelencia motriz de la Junta de Andalucía
- “*Análisis y optimización de los sistemas de mecanización de cubiertas vegetales de leguminosas en agricultura ecológica*” RTA2010-00026-C02 financiado por

INIA en el marco del *"Subprograma Nacional de Recursos y Tecnologías Agrarias en Cooperación con las Comunidades Autónomas"*

Finalmente, no tengo palabras para agradecer a mi familia todo lo que han hecho por mí a lo largo de una vida y darme su apoyo y cariño incondicional. Gracias a todos que junto con mis amigos me han ayudado a crecer como persona.

A todos vosotros, muchas gracias y enhorabuena, porque estas páginas en mayor o menor medida son también fruto vuestro.

ABREVIATURAS

AC: agricultura de conservación.

AvPreP: precipitación media.

AvR: Erosividad media.

C: carbono.

CC: cambio climático.

CH₄: metano.

CO: carbono orgánico.

CO₂: dióxido de carbono.

CV: cubierta vegetal.

GEI: gases de efecto invernadero.

IPCC: panel intergubernamental sobre cambio climático.

L: laboreo.

MaxPreP: precipitación máxima.

MaxR: erosividad máxima.

MO: materia orgánica.

N₂O: óxido nitroso.

PreP: precipitación.

R: erosividad.

SOC: carbono orgánico del suelo.

TotPreP: precipitación total.

TotR: erosividad total.

UNFCCC: convención marco de las naciones unidas sobre cambio climático.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del efecto invernadero terrestre y motivo del calentamiento global. Fuente: IPCC, 2001.	14
Figura 2. Total de emisiones de GEI antropogénicas durante el periodo 1970-2010. Fuente: IPCC, 2014. A: gases fluorhídricos estimados dentro del protocolo de Kioto (F-Gases); B: óxido nitroso (N ₂ O); C: metano (CH ₄); D: emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) asociadas a los bosques y a otros usos del suelo (CO ₂ FOLU); E: emisiones de CO ₂ asociadas a la combustión de combustibles fósiles y otros procesos industriales (CO ₂ Fossil fuel and industrial processes). Fuente: IPCC, 2014.	16
Figura 3. Diferencias de temperaturas mundiales respecto a la media del periodo 1961-1990. Fuente: US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2008.	18
Figura 4. a. Temperaturas medias de los océanos y la tierra. b: Nivel medio de los océanos. c: Concentración media de GEI. d: Emisiones antropogénicas de CO ₂ . Periodo de estudio: 1850-2010. Fuente: IPCC, 2014.	19
Figura 5. Cambios en la temperatura media mundial (a) y en las precipitaciones medias (b). Datos obtenidos basados en los multi-modelos de proyecciones medias para el horizonte 2081-2100 relativos a los periodos 1986-2005 bajo los escenarios RCP2.6 (izquierda) y RCP8.5 (derecha). Fuente: IPCC, 2014.	20
Figura 6. Evolución de la incidencia de desastres climáticos y terremotos a nivel mundial Fuente: CRED. Annual disaster statistical review 2006, 2007.	21
Figura 7. Consecuencias del cambio climático en Europa. Fuente: MMMR, 2010.	26
Figura 9. Cubierta espontánea en bandas seleccionada hacia gramíneas en ciruelos. ...	36
Figura 8. Cubierta espontánea a todo terreno en olivar.	36
Figura 11. Cubierta segada químicamente con banda de ensemillado.	36
Figura 10. Cubierta sembrada de cebada en bandas en olivar.	36
Figura 12. Picadora de restos de poda autoalimentada.	36
Figura 13. Mapa de distribución de los campos experimentales.	48
Figura 14. Recinto con derivadores de esorrentía para el muestreo de materia orgánica.	50

Figura 15. Bloque de microparcelas. Con cubierta vegetal a la izquierda y labrada a la derecha.....	51
Figura 16. Recogida de submuestras de agua de escorrentía.	52
Figura 17. Laboreo del terreno con ayuda de motoazada.....	53
Figura 18. Muestreo con barrena en la cubierta vegetal para evaluar el contenido de materia orgánica.	54
Figura 19. Cilindro introducido en el suelo y listo para extraerse mediante la uso de azada.	54
Figura 20. Muestreo de residuo en la zona de la cubierta vegetal.....	55
Figura 21. Evaporación en estufa de aire forzado usando cápsulas de porcelana.....	57
Figura 22. Muestras en matraces para calcular el contenido de materia orgánica.	57
Figura 23. Densidad aparente de los campos experimentales y profundidades muestreadas.	59
Figura 24. Pérdida de suelo y Materia orgánica asociada al sedimento de los diversos campos experimentales y años de muestreo. L: Laboreo; CV: Cubierta vegetal.....	60
Figura 25. Correlaciones entre la erosión y la Pérdida de carbón orgánico absorbido en el sedimento para los diferentes campos experimentales y años de estudio.	61
Figura 26. Distribución del contenido de materia orgánica (%) con la profundidad. Campaña de muestreo 2006-07. Letras diferentes indican diferencias significativas para el test de Tukey * $p \leq 0.05$ y ** $p \leq 0.01$	63
Figura 27. Comparativa entre sistemas de manejo del contenido de materia orgánica en los distintos campos experimentales para la totalidad del perfil muestreado (0-25 cm). Campaña de 2006-07. Letras diferentes indican diferencias significativas para * $p \leq 0.05$ y ** $p \leq 0.01$	64
Figura 28. Producción media anual de biomasa y su desviación estándar en los diferentes campos experimentales.....	66
Figura 29. Desviación respecto a la media del incremento de carbono en los sistemas de cubiertas vegetales, laboreo convencional y ambos.	68
Figura 30. Mapa de la distribución de los campos experimentales en la región de Andalucía, Sur de España.....	76

Figura 31. Pase de labor con motoazada dentro de la microparcela captura de escorrentía y sedimentos.....	77
Figura 32. Pareja de microparcels, labrada (izquierda) y con cubierta vegetal (derecha).....	78
Figura 33. Medición de escorrentía capturada por la microparcela y muestreo de la misma.	79
Figura 34. Limpieza de la parte frontal de la microparcela, para obtención de sedimentos depositados.	79
Figura 35. Fotografía de microparcela de cubierta vegetal con marco reticulado.	80
Figura 36. Descarga de los datos almacenados por el medidor de precipitación.	81
Figura 37. Muestras de escorrentía en cápsulas de porcelana para su secado en estufa.	81
Figura 38. Ejemplo de la evaluación por sectores de la fotografía situada a la derecha.	82
Figura 39. Concentración de Carbono orgánico asociado al sedimento en función de la pérdida de suelo.....	87
Figura 40. Porcentaje de cobertura medio durante los cuatro años de estudio para los distintos campos experimentales y sistemas de manejo.	89
Figura 41. Erosión en función del porcentaje de cobertura de suelo.	90
Figura 42. Componentes principales de la pérdida de Carbono orgánico para el Laboreo y la Cubierta vegetal.....	93
Figura 43. Extracción de muestras de suelo con barrena para medir humedad volumétrica.....	102
Fig. 44. Zonas de muestreo.1. Junto al tronco (Bajo olivo). 2. Donde acaba la copa (Perímetro.). 3. Centro de la calle (Calle).....	102
Figura 45. Muestras de suelo en estufa para el cálculo de su humedad volumétrica. .	103
Figura 46. Valores asignados a los puntos de muestreo y ángulo α	104
Figura 47. Posición de los distintos puntos de muestreo para las distintas profundidades y zonas estudiadas. Parcelas C4 y J1.....	109

Figura 48. Variación temporal de la humedad volumétrica media y de la varianza. Parcelas C4 y J1.....	110
Figura 49. Evolución de la humedad volumétrica en la calle, perímetro y bajo olivo para las distintas profundidades muestreadas y la total. Parcelas J1, C4 y H2.	111
Figura 50. Relación entre la humedad volumétrica de la cubierta vegetal y el laboreo. Campañas 2003-04, 2004-05, 2005-06 y 2006-07. Conjunto de campos experimentales. Profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 0-20, 20-40, 40-60 cm.	112
Figura 51. Relación entre la humedad volumétrica de la cubierta vegetal y el laboreo. Campañas 2003-04, 2004-05, 2005-06 y 2006-07. Conjunto de campos experimentales. Profundidad de 0 a 60 cm.	113
Figura 52. Coeficientes de cubeta para el conjunto de parcelas experimentales estudiadas en función de las fracciones de arcilla y arena del suelo.	115
Figura 53. Datos observados y estimación del modelo de Thornthwaite-Mather para los procesos de carga y descarga del perfil del suelo. Parcelas H1 y H2. C: Cubierta vegetal y N: Laboreo.	116
Figura 54. Evolución de la evapotranspiración y del contenido de agua disponible para la planta. Parcela J2.	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Riesgos y oportunidades del cambio climático sobre la agricultura europea. .	27
Tabla 2. Previsibles consecuencias del cambio climático sobre el desarrollo y productividad de los cultivos.	28
Tabla 3. Principales características de los campos experimentales.	49
Tabla 4. Principales características físico-químicas de los campos experimentales. MO: Materia orgánica; CO ₃ ⁻² : carbonatos	49
Tabla 5. Temperaturas (°C) y precipitaciones medias (mm) y su desviación estándar durante el periodo 2003-07. Tpe: temperatura.	56
Tabla 6. Pérdida media anual de suelo y Materia orgánica (MO) durante los cuatro años de estudios y sus porcentajes de reducción. Periodo 2003-07. CV: Cubierta vegetal; L: Laboreo.	62
Tabla 7. Desviación estándar en los campos experimentales y profundidades muestreadas.	63
Tabla 8. Fijación de CO ₂ equivalente (Mg ha ⁻¹) en las diversas profundidades muestreadas y campos experimentales. CV: Cubierta vegetal; L: Laboreo.	67
Tabla 9. Principales características de los campos experimentales.	77
Tabla 10. Resumen de las características físico-químicas de los campos experimentales.	84
Tabla 11. Media y desviación de la precipitación (mm) y erosividad (MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹) de lluvia total, media y máxima durante las 4 campañas de estudio y campos experimentales.	85
Tabla 12. Distribución del porcentaje de pérdidas de escorrentía, erosión y salida de CO en función de las características de los eventos de lluvia.	86
Tabla 13. Matriz de correlaciones de los diversos indicadores muestreados.	88
Tabla 14. Pérdidas anuales medias de suelo, escorrentía y CO.	91
Tabla 15. Posición de cada punto de muestreo con respecto a sus compañeros y ángulo α . Profundidad de muestreo 0-0,6 m.	107

Tabla 16. Parámetros del modelo de Thornthwaite-Mather y marco de plantación, para el conjunto de parcelas de estudio.	114
--	-----

ÍNDICE

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	7
3. INTRODUCCIÓN	13
3.1. CAMBIO CLIMÁTICO. ORÍGENES Y CONSECUENCIAS	13
3.1.1. Conceptos generales sobre cambio climático	13
3.1.2. Gases de efecto invernadero	13
3.1.3. Circunstancias precursoras del cambio climático	14
3.1.4. Emisión de gases de efecto invernadero de origen antropogénico	15
3.1.5. Consecuencias del cambio climático	16
3.1.5.1. Incremento de la temperatura	17
3.1.5.2. Variación de las precipitaciones	20
3.1.6. Regulación de las actuaciones frente al cambio climático	22
3.2. INTERRELACIONES AGRICULTURA Y CAMBIO CLIMÁTICO	25
3.2.1. Dependencia climática de la agricultura	25
3.2.2. Incidencia del cambio climático en la agricultura europea	26
3.2.3. Contribuciones de la agricultura al cambio climático	29
3.2.4. Capacidad de los agrosistemas para luchar contra el cambio climático ...	30
3.2.5. Interrelaciones agricultura de conservación y cambio climático	31
3.3. LA AGRICULTURA ESPAÑOLA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO	32
3.3.1. Cambio climático en España	32
3.3.2. Cultivos más contaminantes	33
3.3.3. El olivar español	33
3.3.4. Sistemas de cubiertas vegetales en olivar	34
4. OBJETIVOS	41
4.1. OBJETIVO GENERAL	41

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	41
5. CAPÍTULO 1. EVALUAR LA CAPACIDAD DE LAS DISTINTAS TIPOLOGÍAS DE CUBIERTAS VEGETALES PARA INCREMENTAR EL SUMIDERO DE CARBONO COMO MEDIDA DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO	45
5.1. INTRODUCCIÓN	45
5.2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	48
5.2.1. Campos experimentales.....	48
5.2.2. Diseño experimental y tratamientos	50
5.2.3. Condiciones medioambientales en el área de estudio	55
5.2.4. Análisis de laboratorio.....	56
5.2.5. Análisis estadístico	58
5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
5.4. CONCLUSIONES	70
6. CAPÍTULO 2. ANALIZAR LA REDUCCIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARBONO ASOCIADO AL SEDIMENTO MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE CUBIERTAS VEGETALES COMO MEDIDA DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO	73
6.1. INTRODUCCIÓN	73
6.2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	75
6.2.1. Condiciones medioambientales del área de estudio	75
6.2.2. Campos experimentales.....	75
6.2.3. Diseño experimental y trabajo de campo	78
6.2.4. Trabajo de laboratorio	81
6.2.5. Tratamiento de datos y análisis estadístico	82
6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	84
6.4. CONCLUSIONES	94

7. CAPIULO 3. ESTUDIAR LA MEJORA DEL BALANCE HÍDRICO OLIVAR MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE CUBIERTAS VEGETALES COMO MEDIDA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	97
7.1. INTRODUCCIÓN	97
7.2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	100
7.2.1. Características de los campos experimentales.....	100
7.2.2. Trabajo de campo	101
7.2.3. Trabajo de gabinete	104
7.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	107
7.4. CONCLUSIONES	120
8. CONCLUSIONES	123
9. CONCLUSIONS.....	127
10. BIBLIOGRAFÍA	131
11. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DE LA TESIS DOCTORAL	153
11.1. INDICIOS DE CALIDAD DE LA TESIS DOCTORAL.....	153
11.1.1. Estancias internacionales de la Tesis Doctoral	153
11.1.2. Publicaciones científicas de la Tesis Doctoral.....	156
11.2. OTRAS PUBLICACIONES CIENTÍFICAS.....	193
11.3. ARTÍCULOS DE DIFUSIÓN. Ojo faltan de los últimos años.....	195
11.4. LIBROS.....	204
11.5. PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS	206
11.6. ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN.....	218

RESUMEN

1. RESUMEN

El cultivo del olivo representa desde hace más de dos milenios la propia identidad de la cultura mediterránea. Para muchos de los pueblos que se asientan en estas regiones este árbol es su vertebrador social y económico, muy especialmente en la zona sur de España, Andalucía, mayor productor a nivel mundial de aceituna y en donde muchos de sus pueblos el olivar es el único cultivo presente.

El olivar juega un papel fundamental en estos ecosistemas semiáridos, ya que contribuye a generar riqueza y recursos en regiones que por norma general presentan unos niveles de desarrollo deficientes. Sin embargo, su cultivo no se encuentra exento de problemas, pues el laboreo continuado, en muchas zonas durante siglos, ha ocasionado el deterioro de la calidad de los suelos, que por norma general presentan concentraciones muy bajas de materia orgánica.

Además, si a estos niveles de infertilidad unimos la importante pérdida de suelo que se registra en este cultivo debido a la escasa cobertura del terreno, propiciada por los árboles, y a una orografía abrupta, hacen que el olivar sea especialmente sensible a los efectos adversos del cambio climático, que por otra parte, según demuestran diversos estudios será en las regiones semiáridas mediterráneas donde presente una mayor incidencia nociva a nivel europeo.

Desde hace varias décadas se viene trabajando en Andalucía para promover la implantación de cubiertas vegetales en las calles de los olivares, habiéndose ampliamente demostrado como este sistema de manejo de suelo ocasiona que la erosión de los olivares prácticamente desaparezca. Sin embargo, no han sido muchos los trabajos que se han centrado en estudiar las interrelaciones que estas técnicas tienen con la sensibilidad de este cultivo al cambio climático y como su implantación pueda contribuir a adaptar y mitigar sus efectos adversos y menos aún a una escala regional y en un intervalo de tiempo medio-largo.

Por tanto, mediante este trabajo se persigue evaluar el efecto que tiene la implantación de diversos tipos de cubiertas vegetales en la capacidad de sumidero de carbono del suelo, en la pérdida de este elemento asociado a los procesos erosivos y finalmente su

influencia en el balance de agua del suelo. Siempre comparándolo con el sistema de manejo más común en esta región, el laboreo.

Durante cuatro campañas de estudio se trabajó en ocho campos experimentales situados en las principales provincias olivareras de Andalucía: Jaén, Córdoba, Sevilla y Huelva, en los que se distribuyeron parcelas labradas y con cubierta vegetal. Durante este periodo se llevaron a cabo salidas a campo para muestrear la generación de biomasa por parte de las cubiertas vegetales, la evolución de cobertura del suelo, la pérdida de sedimento y agua y la humedad del terreno. Durante este periodo se han llevado a cabo más de 250 salidas a los campos experimentales, tomando alrededor de 1.500 muestras de erosión y escorrentía, al igual que fotografías para cobertura y unas 6.000 muestras de suelo.

Los suelos labrados mantuvieron niveles más bajos de materia orgánica, presentando un perfil más homogéneo con la profundidad al mezclarse el terreno por la acción del arado. La biomasa generada por las cubiertas vegetales y la no alteración del perfil del suelo ocasionó que en los sistemas sostenibles aumentara el contenido de carbono orgánico especialmente en los horizontes superficiales, mostrando durante estos cuatro años un aumento medio del 38,1 % respecto al laboreo. En todos los casos las cubiertas vegetales aumentaron el contenido de este elemento en el suelo aunque su mejora estuvo directamente influenciada por el tipo de cubierta utilizado.

Fruto de este incremento superficial en el contenido de carbono orgánico del suelo, la concentración de este elemento en el sedimento estudiado en los sistemas con cubiertas vegetales aumentó de manera importante respecto al laboreo. Aunque, la cantidad total perdida fue mucho menor al verse la erosión disminuida en un valor próximo al 90 % con la implantación de estas técnicas de agricultura de conservación. De manera general las pérdidas de carbono orgánico asociado al sedimento se redujeron en un 76,4 % respecto al laboreo, no siendo en este parámetro tan importante el tipo de cubierta vegetal utilizada.

El manejo de las hierbas no fue el adecuado, pues se observó cómo anualmente la tendencia de los agricultores fue a realizar una siega tardía de las mismas. A pesar de este condicionante no se apreciaron variaciones importantes en cuanto al contenido de agua del suelo entre los dos manejos estudiados.

Anualmente, se observó como el suelo de la calle tuvo mayor contenido de agua durante todo el año, salvo en la primavera, pues en esta época la transpiración de las plantas herbáceas hizo disminuir la humedad del suelo. Aunque se apreció que los procesos de descarga del perfil estuvieron fuertemente influenciados por las condiciones atmosféricas y escasamente por el sistema de manejo de suelo realizado.

Atendiendo a esta premisa se podría conocer la correcta fecha de siega de las distintas cubiertas, ya que ésta se debería realizar en el momento en la que las hierbas empiecen a consumir grandes cantidades de agua del suelo, y la descarga súbita del perfil como consecuencia de las condiciones atmosféricas no haya comenzado.

Por tanto, a pesar del elevado número de factores condicionantes, mediante este estudio se ha podido demostrar como las cubiertas vegetales ayudan a adaptar y mitigar el efecto del cambio climático en olivares semiáridos, pues son una técnicas capaces de mejorar el efecto sumidero de carbono en el suelo y reducir sus pérdidas en el sedimento, a la par que no afectan al balance de agua, o incluso lo mejoran siempre que su manejo sea el adecuado.

ABSTRACT

2. ABSTRACT

Olive is a millenary crop in the Mediterranean basin and represents part of its culture. This tree is the social and economic core for most of the villages located in these regions. Especially in Andalusia, South of Spain, the largest world olive producer and where in most of the villages the olive is the only one crop present.

Olive plays a key role in these semiarid ecosystems, since it contributes to generate wealth and resources in regions that usually have deficient levels of development. However, its cultivation generates many problems, as the historical continuous soil tillage had produced the deterioration of the quality of the soils, which nowadays present very low concentrations of organic matter.

In addition, if at these levels of infertility we join the important soil loss that is registered in this crop due to the scarce coverage of the terrain, favored by the trees, and an abrupt orography, make the olive tree especially sensitive to the adverse effects of the climate change. Which, according to various studies, will be in the Mediterranean semi-arid regions where it has a higher harmful incidence at European level.

Since few decades, scientifics and technicians had been promoting the implantation of groundcovers in the rows of the olive orchards. This soil management system has demonstrated to eradicate the erosion in these crops. But, there have not been many studies that have focused on studying the interrelationships of these techniques with the sensitivity of this crop to climate change and how their implementation can contribute to adapt and mitigate their adverse effects, and even less on a regional scale and in a medium-long time interval.

Therefore, this work aims to evaluate the effect of the implementation of various types of groundcovers on the soil carbon sink capacity, the loss of this element associated with erosion processes and finally its influence on the balance of soil water. Always comparing it with the most common management system in this region, tillage.

Four experimental seasons were carried out in eight experimental fields located in the main olive-growing provinces of Andalusia: Jaén, Córdoba, Sevilla and Huelva, in which tillage and groundcovers plots were distributed. During this period, field trials

were carried out to sample biomass generation by groundcovers, soil cover evolution, sediment and water loss, and soil moisture. During this period, more than 250 field days have been carried out to the experimental fields, taking about 1,500 erosion and runoff samples, as well as photographs for cover and about 6,000 soil samples.

The tillage soils maintained lower levels of organic matter, presenting a more homogeneous profile with the depth, as the ground was mixed by the action of the plow. The biomass generated by the groundcovers and the non-alteration of the soil profile caused that in the sustainable systems the organic carbon content increased especially in the superficial horizons. Showing during these four years an average increase of 38.1% with respect to the tillage. In all cases, the groundcovers increased the content of this element in the soil. Although, the type of cover used directly influenced on its improvement.

Because of this superficial increase in the organic carbon content of the soil, the concentration of this element in the sediment studied in the sustainable systems increased significantly with respect to tillage. Although, the total amount lost was much lower as erosion was reduced by about 90% with the implementation of these conservation agriculture techniques. In general, the losses of organic carbon associated to the sediment were reduced by 76.4% with respect to tillage, being not so important the type of groundcover used.

The management of the weeds was not adequate, as it was observed how yearly the tendency of the farmers was to carry out a belated mowing of them. In spite of this condition, there were no significant variations in soil water content between the two soil management systems studied.

Annually, it was observed how the soil of the row had greater water content throughout the year, except in the spring, because at this time the evapotranspiration of the herbaceous plants did decrease the soil moisture. Although, it was observed that the discharge processes of the profile were strongly influenced by the atmospheric conditions and scarcely by the soil management system carried out.

In view of this premise, the correct mowing date of the different groundcovers could be known, since this should be done when the grasses begin to consume large amounts of

water from the soil, and the sudden discharge of the profile because of atmospheric conditions have not started.

Therefore, in spite of the high number of conditioning factors, this study has demonstrated how the groundcovers helps to adapt and mitigate the effect of climate change in semi-arid olive groves. Since they are a technique capable of improving the carbon sink effect in soil and reduce their losses in the sediment, while not affecting the water balance, or even improve it whenever their managed is appropriate.

INTRODUCCIÓN

3. INTRODUCCIÓN

3.1. CAMBIO CLIMÁTICO. ORÍGENES Y CONSECUENCIAS

3.1.1. Conceptos generales sobre cambio climático

Según la Real Academia de la Lengua Española se define clima como el conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región. Los elementos que lo constituyen son básicamente cinco: temperatura y presión atmosférica, viento, humedad y precipitaciones. Dependiendo de cómo concurren una serie de factores como la latitud, la altitud, la distancia al mar, el relieve terrestre con respecto a la insolación y a la dirección de los vientos y las corrientes marinas, se establecerá un equilibrio entre estos los elementos constituyendo el clima en una determinada región (IPCC, 2001).

Cualquier circunstancia que provoque la existencia de fluctuaciones temporales y/o espaciales de uno o varios de los elementos constituyentes del clima, causaría un cambio en el historial climático a una escala regional o global, produciéndose así, un cambio climático (CC) a dicha escala (IPCC, 2007).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, 1992) define este término para referirse a las modificaciones que suceden en el presente y sólo por causas humanas: *“Por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos comparables”*.

3.1.2. Gases de efecto invernadero

Estos cambios vienen producidos en la mayoría de las ocasiones por variaciones en los principales constituyentes de la atmósfera terrestre, que se encuentra principalmente compuesta por nitrógeno y oxígeno, con pequeñas cantidades de dióxido de carbono, vapor de agua, metano, óxido nitroso y compuestos fluorados entre otros. Estos componentes, conocidos como Gases de Efecto Invernadero (GEI), condicionan en

buena medida la temperatura del planeta mediante el efecto invernadero, figura 1, posibilitando la vida tal y como la conocemos actualmente (Bruntland Report, 1987). Así pues, cualquier modificación de las cantidades de estos gases presentes en la atmósfera, alteraría el balance energético del sistema climático, produciéndose reajustes para restablecer el equilibrio entre la energía entrante y saliente de la tierra. La forma más directa de realizar este reajuste para eliminar el excedente de energía sería a través del calentamiento global de la superficie de la tierra y de las capas inferiores de la atmósfera, modificándose así la temperatura.

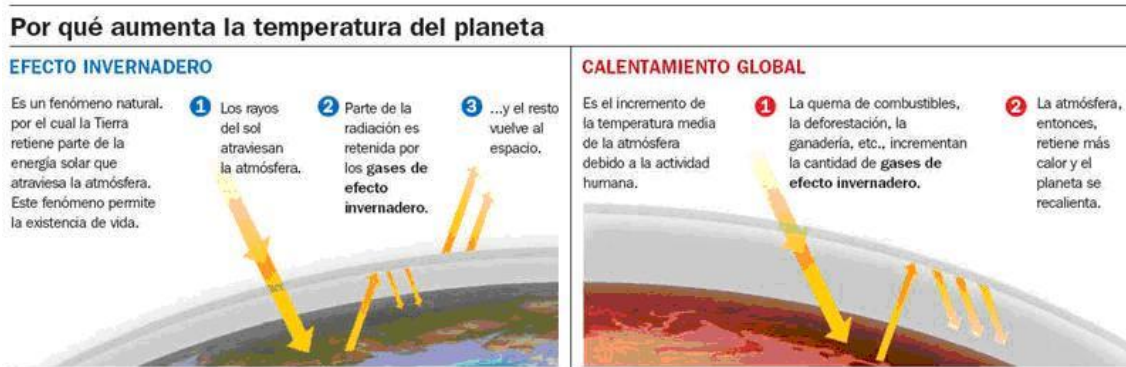


Figura 1. Esquema del efecto invernadero terrestre y motivo del calentamiento global. Fuente: IPCC, 2001.

3.1.3. Circunstancias precursoras del cambio climático

Las variaciones pueden ser externas o internas a los propios ciclos terrestres. Entre las externas se consideran las variaciones de la actividad del sol, los cambios orbitales de la tierra y los impactos de meteoritos. Aunque la ocurrencia de estos fenómenos es poco probable y extremadamente infrecuente. Cabe reseñar la extinción en masa que llevó a la desaparición de los dinosaurios por el choque de un meteorito en el Cretácico.

Las internas, más comunes, contemplan la influencia de la deriva continental, las corrientes oceánicas, el campo magnético terrestre, la composición atmosférica y los efectos antropogénicos o derivados directamente de la actividad humana. Por su importancia nos centraremos en la influencia que sobre el clima tiene, la composición de la atmósfera y las actividades humanas, y cómo la interrelación entre estas dos

circunstancias está motivando las modificaciones climáticas que actualmente se están originando en el planeta (IPCC, 1995).

3.1.4. Emisión de gases de efecto invernadero de origen antropogénico

Por su parte, el ser humano, a través de sus actividades productivas, constituye hoy en día uno de los agentes climáticos más determinantes, incorporándose a la lista hace relativamente poco tiempo. El IPCC (2001) concluyó que la mayor parte del calentamiento observado durante los últimos 50 años es debido a actividades humanas. Su influencia sobre el clima se basa en la realización de actividades que directamente afectan a las cantidades de GEI presentes en la atmósfera. Inicialmente con la deforestación de bosques para su conversión a tierras de cultivo y pastoreo, y posteriormente con la revolución industrial y un desarrollo basado en el consumo de combustibles fósiles, las actividades humanas suponen una abundante emisión de GEI que producen, a su vez, un incremento de los mismos en la atmósfera, provocando el calentamiento global del planeta (Klein Tank *et al.* 2002). En cuanto a importancia, es la emisión de dióxido de carbono (CO₂) proveniente de la quema de combustibles fósiles y otros procesos industriales el que mayor emisiones registra, seguido de las emisiones de metano (CH₄) y las de CO₂ ligadas a los bosques y otros procesos de manejo de suelo como la agricultura, ver figura 2, que además se han visto fuertemente incrementados en las últimas décadas.

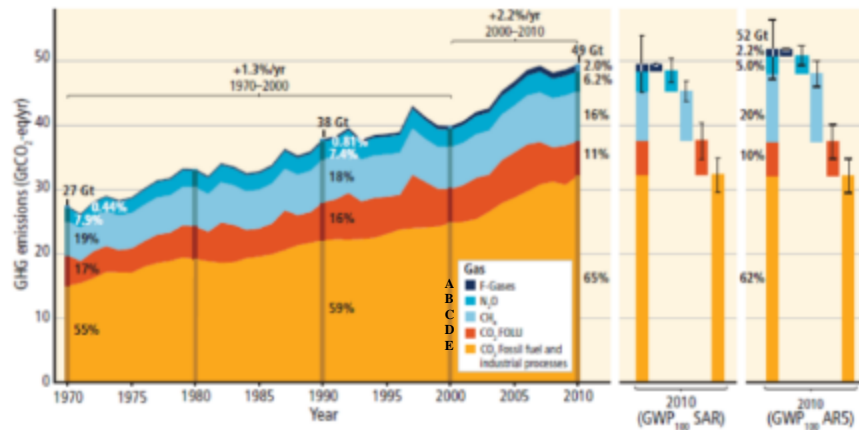


Figura 2. Total de emisiones de GEI antropogénicas durante el periodo 1970-2010. Fuente: IPCC, 2014. **A:** gases fluorhídricos estimados dentro del protocolo de Kioto (F-Gases); **B:** óxido nitroso (N₂O); **C:** metano (CH₄); **D:** emisiones de dióxido de carbono (CO₂) asociadas a los bosques y a otros usos del suelo (CO₂ FOLU); **E:** emisiones de CO₂ asociadas a la combustión de combustibles fósiles y otros procesos industriales (CO₂ Fossil fuel and industrial processes). Fuente: IPCC, 2014.

Entre 1990 y 2013 las emisiones de GEI sufrieron un incremento de un 34 % (Huang *et al.*, 2015), suponiendo una amenaza no sólo para el futuro de la sociedad sino también para el medio ambiente (Breyer *et al.*, 2015). Estas emisiones se distribuyen desigualmente entre regiones y países. Actualmente, son los países industrializados los responsables de la mayoría de emisiones GEI, aunque también lo han sido largo de la historia (UNEP, 2006).

3.1.5. Consecuencias del cambio climático

En la actualidad existe un consenso científico, casi generalizado, en torno a la idea de que el planeta está sufriendo una alteración climática global provocada por nuestro modo de producción y consumo energético (IPCC, 1990; UNFCCC, 1992). Es difícil pronosticar en qué medida el CC podría afectarnos, dado que el clima mundial es un sistema sumamente complejo. Pero la alteración de un aspecto clave del mismo, como la temperatura media global, tiene consecuencias sobre el resto de los elementos constituyentes del clima. Así, los efectos inciertos se adicionan. Por ejemplo, podría cambiar el régimen de vientos, lluvias y corrientes marinas que ha prevalecido durante

cientos y miles de años, como parece que está ocurriendo con el fenómeno del niño (IPCC, 2014); o subir el nivel de los mares y amenazar islas y zonas costeras bajas.

A modo de resumen, se desgrana a continuación, las consecuencias directas probables que el cambio climático podría tener sobre nuestro planeta:

3.1.5.1. Incremento de la temperatura

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) ha demostrado desde hace más de 25 años (IPCC, 1990, IPCC, 1995; IPCC, 2001; IPCC, 2007; IPCC, 2014) como la temperatura del planeta va en aumento. El último informe de evaluación del IPCC estima que a finales del siglo XXI, las temperaturas serán entre 1,1 °C (en el mejor de los escenarios) a 6,4°C (en el peor de los escenarios) más cálidas que en los niveles preindustriales (finales de 1800). Puede parecer que son aumentos pequeños, pero basta recordar que durante la última Edad del Hielo, que finalizó hace 11.500 años, la temperatura media del planeta era inferior a la actual en tan sólo 5°C, y sin embargo, los hielos polares cubrían gran parte de Europa. A esto se debe sumar un manifiesto incremento de temperatura de aproximadamente 0,7° C durante el siglo XX, y la de Europa en particular en casi 1°C. A nivel mundial, los cinco años más cálidos desde que se conservan registros, año 1860, han ocurrido en el periodo comprendido entre 1998 y 2009, ver figura 3.

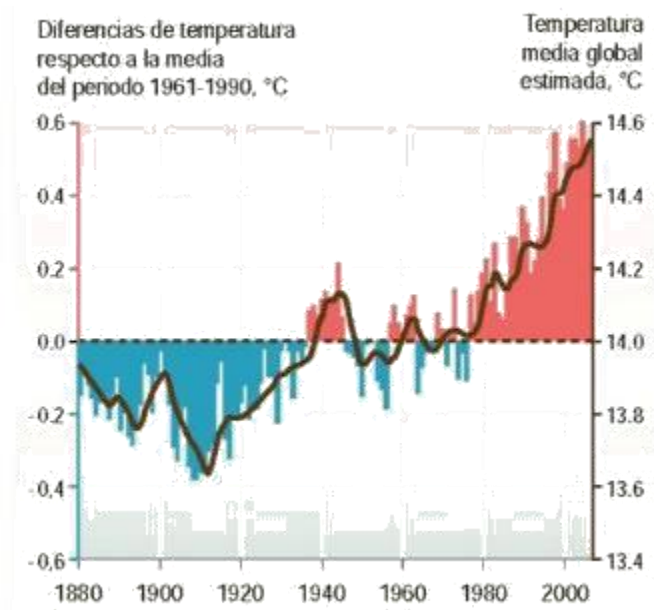


Figura 3. Diferencias de temperaturas mundiales respecto a la media del período 1961-1990. Fuente: US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2008.

El aumento de temperatura provoca una expansión de los océanos por dilatación, contribuyendo así a la subida del nivel del mar, que se ve aún más agravada por el deshielo de los casquetes polares y glaciares de montaña. La figura 4 muestra como existe una relación clara entre el aumento de la temperatura terrestre y de las masas oceánicas, uniando el incremento del nivel del mar a el aumento de la concentración de GEI, que se han visto especialmente incrementados por el uso indiscriminado de los combustibles fósiles y sus derivados durante la última mitad del siglo XX y hasta nuestros días y el cambio en los usos del suelo (IPCC, 2014).

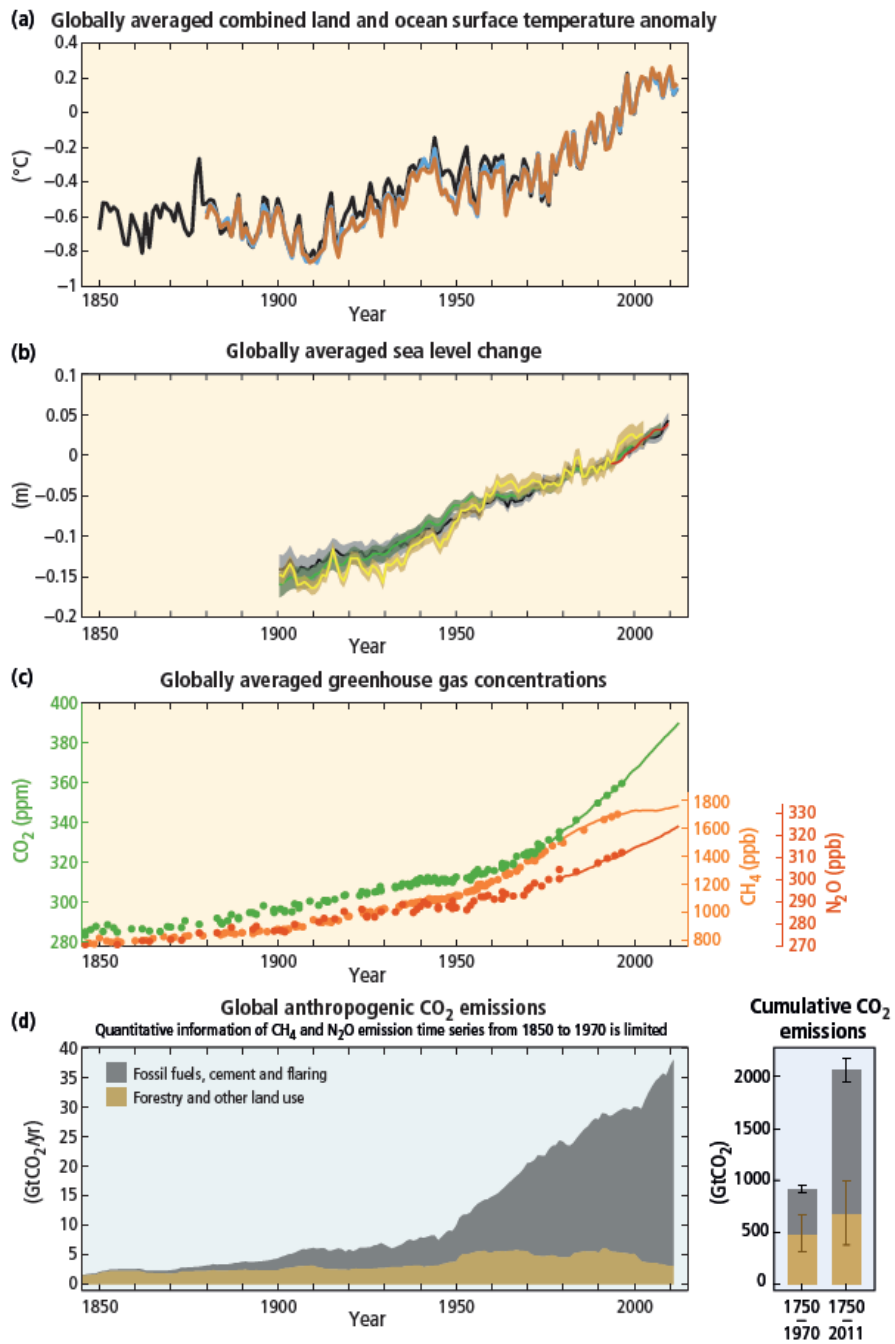


Figura 4. *a.* Temperaturas medias de los océanos y la tierra. *b.* Nivel medio de los océanos. *c.* Concentración media de GEI. *d.* Emisiones antropogénicas de CO₂. Periodo de estudio: 1850-2010. Fuente: IPCC, 2014.

3.1.5.2. Variación de las precipitaciones

El patrón de comportamiento futuro de las precipitaciones es menos claro que el de las temperaturas, por lo que los datos que arrojan los modelos de predicción están sometidos a un mayor grado de incertidumbre (Manning *et al.*, 2004).

Así, según informes del IPCC en el siglo XX aumentaron las precipitaciones en las latitudes medias del hemisferio Norte y disminuyeron en las regiones subtropicales y tropicales (Kjellström *et al.*, 2011). Según los científicos, estos cambios no pueden explicarse si se intenta ignorar el efecto del CC inducido por el hombre y, además, pueden haber tenido ya efectos significativos en los ecosistemas, la agricultura y la salud humana en regiones que son sensibles a los cambios de las precipitaciones (IPCC, 2012 a).

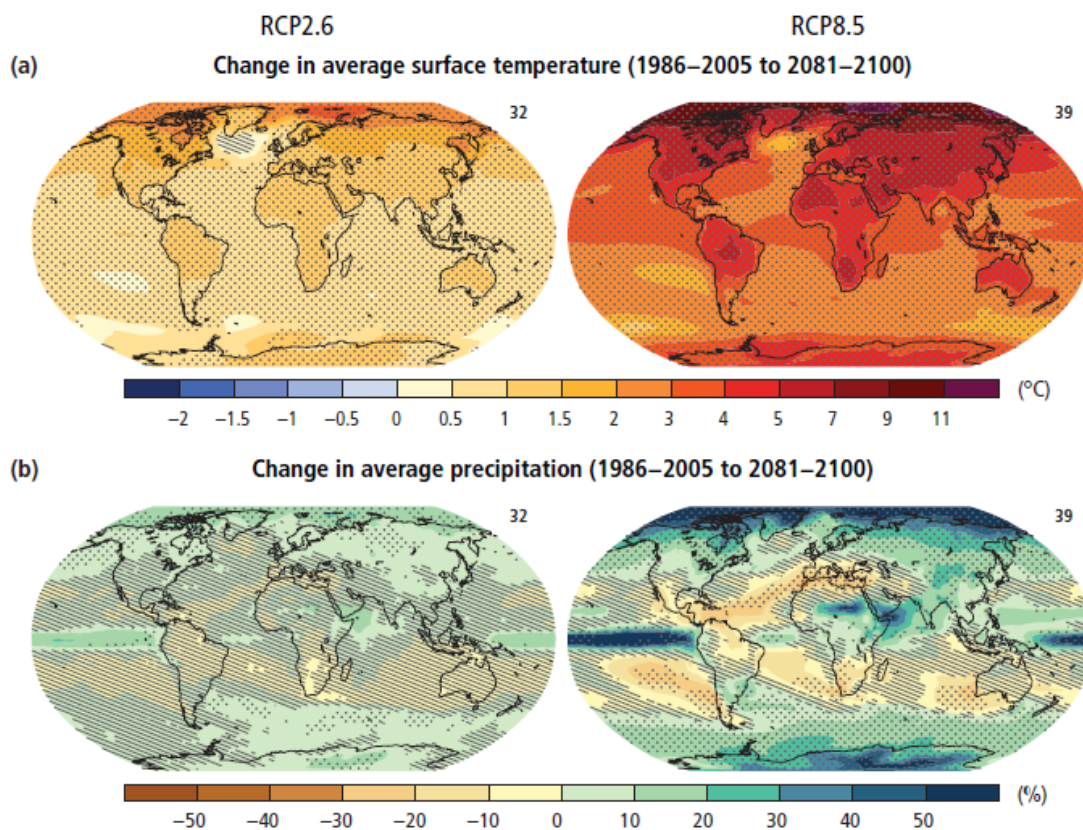


Figura 5. Cambios en la temperatura media mundial (a) y en las precipitaciones medias (b). Datos obtenidos basados en los multi-modelos de proyecciones medias para el horizonte 2081-2100 relativos a los periodos 1986-2005 bajo los escenarios RCP2.6 (izquierda) y RCP8.5 (derecha). Fuente: IPCC, 2014.

En lo que a España se refiere, los modelos, ver figura 5, proyectan una tendencia progresiva a la disminución, que puede ser realmente importante en aquellos escenarios que se postulan dentro de las condiciones más adversas (RCP8.5), (Moss *et al.*, 2008; Moss *et al.*, 2010). Se estima que la reducción de precipitaciones será de un 5% en la mitad norte de la península, y cercanos al 10% en el suroeste en el período 2011-2040, hasta alcanzar en el último tercio del siglo (2070-2100) disminuciones en el promedio de precipitaciones anuales del 15% al 25% en las regiones de la mitad norte y del 20% al 30% en el tercio sur peninsular, lo que casi con total seguridad llevará asociados cambios en el uso del suelo en estas regiones (Iglesias *et al.*, 2007).

Por otro lado, las evaluaciones más recientes predicen que debido al CC aumenten los episodios de precipitaciones más intensas y localizadas en los próximos años (IPCC, 2012b). Esto se debe a que a mayor temperatura, las masas de aire son capaces de retener una mayor cantidad vapor de agua, la cual ante condiciones cambiantes de presión o temperatura, precipitará de forma brusca y localizada dando lugar a lluvias torrenciales, como se muestra en la figura 6, en la que se aprecia un importante aumento a nivel mundial de la incidencia de ciclones e inundaciones a partir del año 2000.

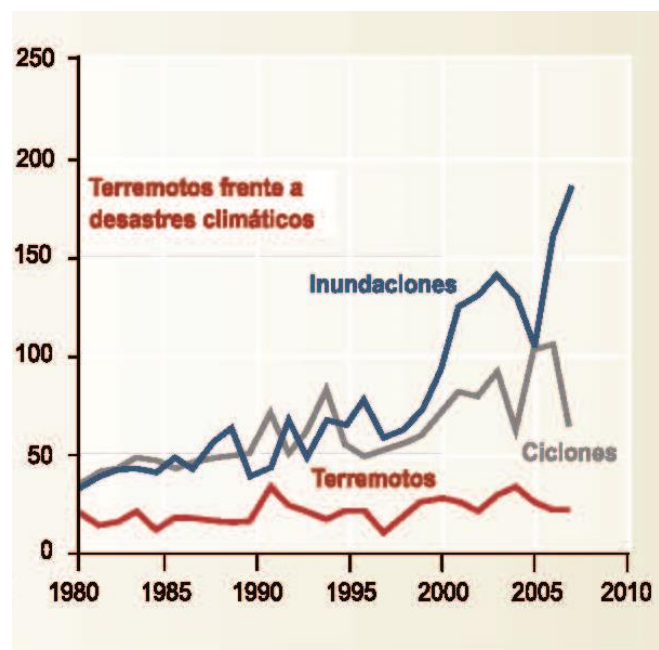


Figura 6. Evolución de la incidencia de desastres climáticos y terremotos a nivel mundial
Fuente: CRED. Annual disaster statistical review 2006, 2007.

Por lo tanto, la incidencia del CC no sólo afectará a la cuantía total de las precipitaciones, sino que además también se verán modificadas sus patrones de distribución espacio-temporal, aumentando los periodos de sequías en los climas semiáridos. Todo ello dará lugar a fenómenos meteorológicos extremos más intensos y frecuentes, como inundaciones y tormentas y largos periodos de ausencia de lluvia (Sousa *et al.*, 2011). Esto ocasionará un incremento de los cultivos de regadío (Savé *et al.*, 2012) y la pérdida de superficie cultivable en las zonas más afectadas por los efectos adversos del cambio climático.

Todo ello constituye un serio problema que nos afectará a todos y que tendrá consecuencias no sólo sobre el medioambiente, sino también sobre la economía y la sociedad (MEA, 2005). Por tanto, es necesario tomar una serie de medidas que permitan mitigar el CC y adaptarnos a los posibles escenarios que se den como consecuencia del calentamiento global.

3.1.6. Regulación de las actuaciones frente al cambio climático

Estas medidas fueron plasmadas a través de una serie de compromisos jurídicos de los principales países desarrollados y los países en proceso de transición hacia una economía de mercado que buscaban el reducir las emisiones de GEI a la atmósfera y la promoción de medidas de adaptación frente al cambio climático.

En 1992 fue constituida la UNFCCC, tres años después el IPCC afirmó en su segundo informe de evaluación que el CC era producido por el incremento en las concentraciones de GEI en la atmósfera. En 1997 se acuerda incorporar el protocolo de Kioto como respuesta a este informe. Se define como un acuerdo internacional de la UNFCCC que busca “*la estabilización de la concentración de GEIs en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas en el sistema climático*”. Fue adoptado en (Kioto) Japón el 11 de diciembre de 1997 y entró en vigor el 16 de febrero de 2005.

En dicho acuerdo se describen aquellas actividades emisoras de GEI y que pueden alterar el sistema climático terrestre:

-
- 1) Usos energéticos (combustión de combustible, industrias energéticas, manufactureras y construcción, transporte y otros sectores)
 - 2) Procesos industriales (minería, industria química, metalúrgica, producción y otros procesos)
 - 3) Utilización de disolventes y otros productos
 - 4) Agricultura y ganadería (utilización de fertilizantes y fitosanitarios, fermentación entérica, manejo de suelo, reconversión de suelo, quema de rastrojos, etc.)

El objetivo era reducir a nivel global durante el periodo 2008 a 2012 un 5 % de las emisiones de GEI respecto al periodo de referencia, 1990. Estas cifras no se alcanzaron y en diciembre de 2012 en la Conferencia sobre CC de Doha “*Enmienda Doha*” se estableció un segundo periodo de compromiso desde el 1 de enero de 2013 al 31 de diciembre de 2020. En esta enmienda se acordó proponer una reducción de emisiones del 20% para la UE. Aunque la UE ha ido más allá y ha ofrecido avanzar hacia una reducción del 30%. Para ello ha comenzado a planificar la adaptación y mitigación a través del intercambio de información (Clima-ADPAT plataforma) y legislación específica (EC, 2013). Mientras tanto, a nivel nacional y local todos los gobiernos están transponiendo estas legislaciones.

Finalmente, el Acuerdo de París es un acuerdo dentro del marco de la UNFCCC que establece medidas para la reducción de las emisiones de GEI a través de la mitigación, adaptación y resiliencia de los ecosistemas a efectos del Calentamiento Global, su aplicabilidad sería para el año 2020, cuando finaliza la vigencia del Protocolo de Kioto. El acuerdo fue negociado durante la XXI Conferencia sobre Cambio Climático (COP 21) por los 195 países miembros, adoptado el 12 de diciembre de 2015 y abierto para firma el 22 de abril de 2016 para celebrar el Día de la Tierra.

Conforme al propio texto del instrumento internacional, tal como se enumera en su Artículo 2, el acuerdo tiene como objetivo "*Reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza*" para lo cual determina tres acciones concretas:

-
- a) Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático;
 - b) Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos;
 - c) Elevar las corrientes financieras a un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

El 1 de junio de 2017, el presidente Donald Trump anunció la retirada de Estados Unidos de este acuerdo, dadas sus promesas de campaña en pro de los intereses económicos de la nación. Todos los demás países del mundo, incluido China, reiteraron su compromiso y comunicaron que no se iban a retirar del acuerdo aunque Estados Unidos lo hiciese.

3.2. INTERRELACIONES AGRICULTURA Y CAMBIO CLIMÁTICO

3.2.1. Dependencia climática de la agricultura

Si hay alguna actividad productiva que dependa directamente del clima y de su variabilidad, ésta es sin duda la agricultura. Un cambio de los patrones de comportamiento de las temperaturas y precipitaciones, o el incremento de la concentración del CO₂ atmosférico, afectarán de una manera significativa al desarrollo de los cultivos (Lal, 2004).

La distribución regional de los impactos del CC en la producción agrícola puede variar ampliamente (Donatelli *et al.*, 2012; Iglesias *et al.*, 2012). Si bien algunos aspectos del CC, como el incremento de las estaciones de crecimiento y el aumento de la temperatura pueden resultar beneficiosos, (Kang *et al.*, 2009; Bindi y Olsen, 2011). Aunque, también tendrán lugar impactos negativos y adversos, como la falta de disponibilidad de agua y la ocurrencia de fenómenos climatológicos extremos de manera más frecuente, (Newton *et al.*, 2011). Así pues, según se mire, el CC puede suponer oportunidades o riesgos para la agricultura según la zona que consideremos, en base a las características climáticas de la región, de los cultivos y de los cambios potenciales que puedan darse. La figura 7, resume las previsibles consecuencias que el CC podrá tener en la agricultura europea, apreciándose como el arco mediterráneo será la región en las que las condiciones resultantes podrán ser más adversas. En la década de 2080, se prevé un aumento de semillas oleaginosas templadas (por ejemplo, girasol), cultivos de almidón (por ejemplo, patatas), cereales (por ejemplo, cebada) en el norte de Europa como resultado del incremento de las temperaturas, mientras que en el sur de Europa se espera una disminución debido al aumento de las sequías (Kovats *et al.*, 2014). El sur de Europa experimentaría las mayores pérdidas de producción (25 % en 2080, con un calentamiento de 5,4 °C) (Ciscar *et al.*, 2011).

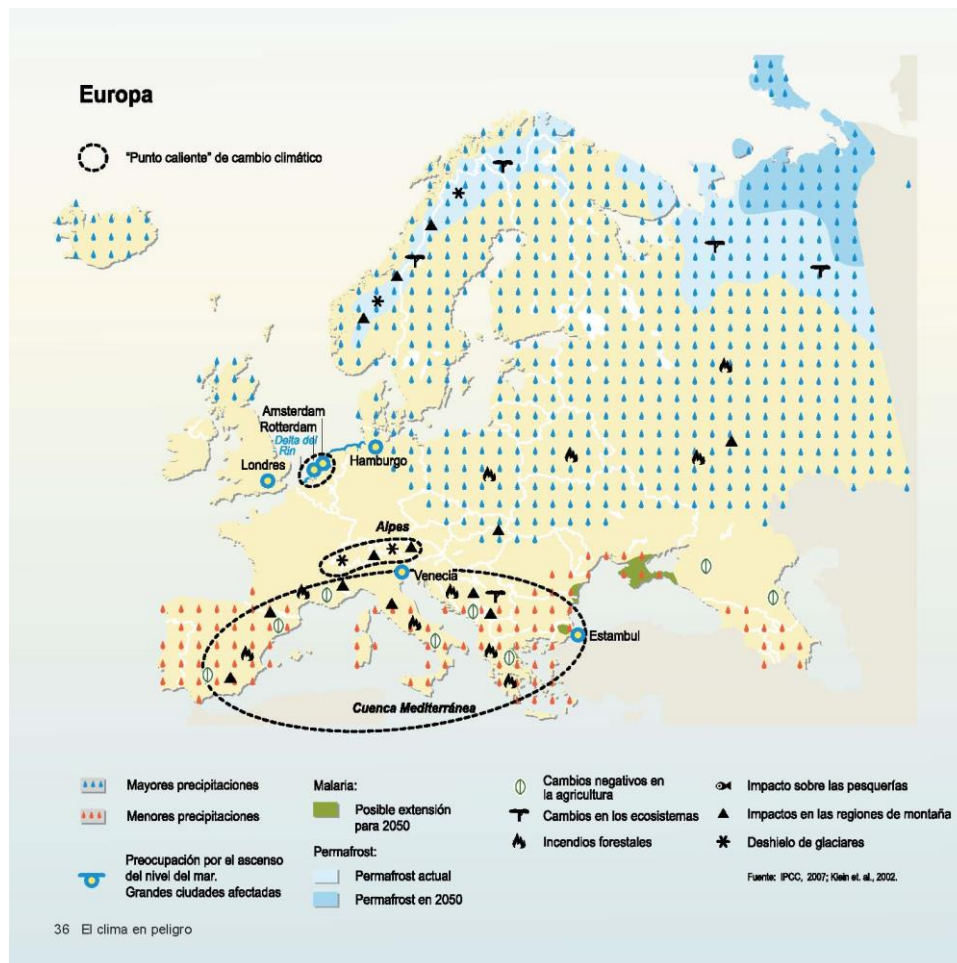


Figura 7. Consecuencias del cambio climático en Europa. Fuente: MMMR, 2010.

3.2.2. Incidencia del cambio climático en la agricultura europea

Focalizando en Europa, las regiones septentrionales experimentarán veranos más cálidos y secos, inviernos más húmedos, además de un aumento del nivel del mar. Esto dará lugar a estaciones de crecimiento más prolongadas, pero también un mayor riesgo de inundaciones. Mientras tanto, las regiones mediterráneas serán las más afectadas por altas temperaturas y por la disminución de precipitaciones (Kovats *et al.*, 2014), cuyos eventos serán además de naturaleza torrencial. Todo ello conllevará una disminución en la superficie de suelo apta para el cultivo, no sólo por las condiciones climáticas adversas, sino por el aumento de la erosión y la pérdida de calidad de los suelos y del agua como consecuencia de los eventos extremos de lluvia (García-Ruiz *et al.*, 2011; Olesen *et al.*, 2011). En la tabla 1 se aprecia cómo la región mediterránea donde se

enclava la mayor parte del territorio español presenta en la mayoría de circunstancias riesgos altos a los efectos negativos del CC y unas oportunidades medias a los efectos beneficiosos del mismo, siendo la región peor parada de las cinco en la que clasifica Europa.

Tabla 1. Riesgos y oportunidades del cambio climático sobre la agricultura europea.

Descripción	Boreal	Atlántica	Continental	Alpina	Mediterránea
RIESGOS					
Cambios de superficie de cultivo, debido a disminución de las condiciones óptimas para su desarrollo		Medio	Medio	Medio	Alto
Disminución de la productividad de los cultivos		Medio	Medio	Medio	Medio
Aumento del riesgo de plagas agrícolas, enfermedades, malas hierbas	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto
Disminución de la calidad de los cultivos		Medio	Medio		Alto
Aumento del riesgo de inundaciones	Alto	Alto	Alto	Alto	
Aumento del riesgo de sequía y escasez de agua		Alto	Alto	Alto	Alto
Aumento de necesidades de riego		Medio	Alto		Alto
Deterioro de la calidad del agua	Alto	Alto		Alto	
Erosión de suelos, salinización, desertificación	Alto	Medio	Alto	Alto	Alto
Pérdida de glaciares y permafrost (suelos con hielo, que actúan como reserva de agua)	Medio			Alto	
Deterioro de las condiciones para la producción ganadera	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Medio
Elevación del nivel del mar	Alto	Alto	Alto		Alto
OPORTUNIDADES					
Cambios en la distribución de cultivos para aumentar la agricultura en óptimas condiciones	Alto	Medio	Alto	Alto	Medio
Aumento de la productividad de los cultivos	Medio	Medio		Alto	
Disponibilidad de agua	Alto	Alto		Medio	
Disminución de los costes de energía para los invernaderos	Medio	Medio	Medio		Medio
Mejora de la productividad de la ganadería	Alto	Alto	Alto	Alto	

Por el contrario, se podría pensar que el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera podría favorecer a la productividad agraria, incrementando la generación de biomasa y su eficiencia en el uso del agua. Sin embargo, estudios recientes cuestionan hasta qué punto estos efectos directos del CO₂ se manifiestan en condiciones de cultivo

en donde la planta está sometida a otros factores limitantes que hagan que la producción final decline (Supit *et al.*, 2010). La tabla 2 resume los posibles efectos positivos y negativos de cambios en el clima para la producción de cultivos:

Tabla 2. Previsibles consecuencias del cambio climático sobre el desarrollo y productividad de los cultivos.

Factor de cambio	Posibles beneficios	Posibles efectos negativos
Aumento del temperatura	Periodos de crecimiento más largos	Aumento del estrés térmico por las temperaturas ambientales
	Periodos de crecimiento más rápidos	Aumento de malas hierbas, plagas y enfermedades
	Nuevos cultivos en zonas frías	Problemas de floración y cuajado por daños en la vernalización
Variación de las precipitaciones	Aumento de la productividad	Aumento de las inundaciones y salinización
	Disminución de la demanda de agua	Aumento de la frecuencia de sequías
	Aumento de las garantías de abastecimiento de agua	Aumento de malas hierbas, plagas y enfermedades Aumento de la erosión
Aumento de la concentración de GEI	Incremento de la fertilización por la mayor concentración de CO ₂ atmosférico	Efectos negativos de otros gases

Lógicamente, los potenciales beneficios y efectos negativos descritos en la tabla anterior no se darán en todas las regiones, dependerán en buena medida de lo que el CC suponga respecto a las condiciones de partida de cada región. Realizando un rápido análisis de la situación cabría pensar que, en general, se producirían cambios en la zonificación y productividad de los cultivos, produciéndose un desplazamiento de las áreas óptimas de desarrollo de los mismos hacia zonas más septentrionales, estableciéndose así un nuevo mapa de cultivos, en los que los países más fríos pasarán a ocupar el papel agrícola que hasta ahora estaban desempeñando los países cálidos y templados (UNFCCC, 2013).

3.2.3. Contribuciones de la agricultura al cambio climático

Se estima que en Europa la agricultura es responsable de alrededor del 10% de las emisiones de GEI de origen antropogénico. En España, según la edición de 2010 del Inventario de GEI de nuestro país, el sector agrícola fue responsable en el año 2009 del 9,6% de las emisiones de GEI de origen antropogénico. Si bien se trata de un porcentaje menos elevado que los de otros sectores como el sector energético e industrial, supone que la agricultura sea en la actualidad la cuarta actividad emisora en nuestro país.

En dicho informe se recoge que la agricultura tuvo especial incidencia en las emisiones de N₂O y CH₄, representando el 79% y el 52% respectivamente del total de emisiones referidas a estos gases. De manera global, se estima que la agricultura es la responsable del 30 % del total de las emisiones de CO₂, N₂O y CH₄. (Denman *et al.*, 2007; Popp *et al.*, 2010; Srinivasarao *et al.*, 2015), así que puede afirmarse que el uso del suelo juega un papel importante en las emisiones.

Las fuentes de emisión procedentes de la agricultura son diversas y se encuentran descritas en IPCC, 2003:

- CH₄: descomposición de materiales orgánicos en condiciones de falta de oxígeno, fermentación anaerobia a causa de la digestión en rumiantes, estiércol almacenado, arroz bajo condiciones de inundación.
- N₂O: transformación microbiana del nitrógeno del suelo y del estiércol. A menudo aumentado cuando el nitrógeno disponible en el suelo excede los requerimientos de la planta, especialmente bajo condiciones de humedad, estando estrechamente ligada a la fertilización de los cultivos.
- CO₂: estas emisiones se deben fundamentalmente a la acción del laboreo sobre la dinámica del carbono en el suelo y por el consumo energético de cada uno de los factores involucrados en las operaciones agrícolas.

Así, el laboreo estimula la producción y acumulación de CO₂ en la estructura porosa del suelo a través de los procesos de mineralización de la materia orgánica (MO). La acción mecánica sobre el suelo supone una rotura de los agregados, con la consiguiente

liberación del CO₂ atrapado en los mismos y su posterior emisión a la atmósfera, lo que además disminuye la capacidad de sumidero de los ecosistemas agrarios.

El consumo energético asociado a las diferentes prácticas agrícolas (laboreo, aplicación de abonos y enmiendas, riego, tratamientos fitosanitarios, etc.) se lleva a cabo, básicamente, con el uso de combustibles fósiles, lo que implica inevitables emisiones a la atmósfera de GEI.

3.2.4. Capacidad de los agrosistemas para luchar contra el cambio climático

Sin embargo, los agrosistemas no sólo son una fuente de emisión de GEI, ya que los suelos agrícolas también pueden suponer un importante sumidero de carbono atmosférico (González-Sánchez *et al.*, 2012; Lal, 2014). La cantidad de carbono (C) acumulada en el suelo se estima en alrededor de 2.500 Gt, muy superior a las almacenadas en la atmósfera y la masa biótica, 760 Gt y 560 Gt respectivamente (Lal, 2004). También es importante la captura de C de la atmósfera realizada por las plantas a través de la fotosíntesis (Peterhansel y Offermann, 2012; Rosgaard *et al.*, 2012; Avila *et al.*, 2014). Por otra parte, la tasa de secuestro de C atmosférico, la eficiencia en el uso del mismo y la respiración del suelo está fuertemente influenciada por el sistema de manejo de suelo llevado a cabo a los cultivos (Triplet y Dick, 2008; Kassam *et al.*, 2012; González-Sánchez *et al.*, 2015) pues la realización de laboreos del terreno tiene una fuerte influencia en el consumo de combustible y emisión de CO₂ fruto de la oxidación de la MO (Ordóñez *et al.*, 2007a, Carbonell-Bojollo *et al.*, 2011).

Sin embargo, la supresión o disminución del laboreo promovidos por la agricultura de conservación (AC) favorece la reducción del consumo de combustible (Hernanz *et al.*, 1995; Nassi o Di Nasso *et al.*, 2011) e incrementa el efecto sumidero de C de los suelos (González-Sánchez *et al.*, 2012; Márquez-García *et al.*, 2013; Carbonell-Bojollo *et al.*, 2015). Aunque, no es la única alternativa, pues la realización de rotaciones de cultivo o la adopción de agricultura ecológica también pueden mejorar el balance, si bien es cierto no son tan efectivas como la aplicación de agricultura de conservación.

Fruto de esta capacidad de mejorar el balance de carbono de los grosistemas que tiene la agricultura de conservación ha sido nombrada por el Gobierno español como una

herramienta a fomentar dentro de la iniciativa 4x1000, a la que España se adhirió en diciembre de 2015. Esta iniciativa es conocida como: “*Suelos para la seguridad alimentaria y el clima*” y tiene como objetivo asegurar que la agricultura juega su papel en el combate contra el cambio climático. Con el crecimiento anual de un 4/1000 en el carbono almacenado en el suelo se busca demostrar que incluso un pequeño incremento en el almacenamiento de este elemento en los suelos (suelos agrícolas, sobre todo prados y pastos; y suelos forestales) es crucial para mejorar la fertilidad de los mismos y la producción agrícola, y contribuir así a conseguir el objetivo a largo plazo de limitar el incremento de la temperatura media global a un máximo de 1,5 o 2°C.

3.2.5. Interrelaciones agricultura de conservación y cambio climático

La AC comprende una serie de técnicas aplicadas tanto a cultivos herbáceos (siembra directa), como leñosos (cubiertas vegetales), cuyo fin consiste en mejorar la sostenibilidad agroambiental de las explotaciones (Kassam *et al.*, 2012; González-Sánchez *et al.*, 2015). Se fundamenta en mantener el suelo cubierto por los restos vegetales del cultivo anterior y en suprimir las labores del terreno (FAO, 2000). Son diversos los trabajos que han demostrado la efectividad de estas técnicas para reducir la escorrentía y la pérdida de suelo (Francia *et al.*, 2006; Ordóñez *et al.*, 2007b; Gómez *et al.*, 2009), mejorar el balance hídrico del cultivo (Durán-Zuazo *et al.*, 2009; Alcántara *et al.*, 2011), reducir la contaminación de aguas superficiales (Franklin *et al.*, 2007; Ordóñez *et al.*, 2007b), incrementar el contenido de carbono orgánico (CO) en el suelo (Moreno *et al.*, 2009; Carbonell *et al.*, 2010), reducir el consumo de combustible (Holland, 2004; Sánchez-Girón *et al.*, 2007) y mejorar la eficiencia energética de los cultivos (Zentner *et al.*, 2004; Moreno *et al.*, 2011; Omar-Ferraro, 2012), lo que las posiciona como un sistema de manejo de suelo de gran importancia para luchar contra el cambio climático, como ha sido puesto de manifiesto en diversas normativas a nivel mundial y europeo.

3.3. LA AGRICULTURA ESPAÑOLA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

3.3.1. Cambio climático en España

En España desde 1960, hay una clara tendencia a un menor número de días frescos, siendo estos cada vez más cálidos. Se está produciendo una mayor variabilidad climatológica intra-anual, de manera muy acentuada en la zona de influencia del clima Mediterráneo, donde se han acrecentado las olas de calor y sequías, especialmente en la época cálida.

La temperatura media en los últimos 100 años se ha elevado ligeramente más en España que en el resto de la UE, siendo especialmente alta en primavera y verano. Este aumento de temperatura media fue de 1,2-1,5 °C en España, mientras que fue de 0,74 °C globalmente y de 1 °C en Europa. Desde 1850 las temperaturas máximas y mínimas en España han aumentado en un promedio de 0,12 °C y 0,10 °C / década respectivamente.

Los modelos de evoluciones para las próximas décadas pronostican los siguientes cambios: las temperaturas en España irán aumentando de manera constante, aproximadamente unos 0,4 °C/década en invierno, y 0,6-0,7 °C en verano. En 2100 la temperatura en el interior de la Península será 5-7 °C mayor en verano y 3-4 °C mayor en invierno. Las proyecciones del CC para finales de este siglo (2071-2100) muestran un aumento en la duración media de los períodos de sequía.

La situación actual de emisiones de España muestra que para el año 2013 se superaron en un 10,9 % las emisiones de GEI respecto al periodo de referencia, 1990 (MAGRAMA, 2015). Habiendo sufrido estas en los últimos años una fuerte reducción, teniendo en cuenta que durante el periodo 2005-07 se superaron en más de un 50% el nivel de emisiones. En España para el año 2013 se emitieron 319.671 Kilotoneladas de CO₂-eq de las cuales el 15,5% provinieron de la comunidad autónoma de Andalucía, que es la que mayores emisiones registra. Cabe reseñar que para ese año los diferentes usos del suelo consiguieron fijar 34.760 Kilotoneladas de CO₂-eq, más de un 10% de las emisiones GEI totales (MAGRAMA, 2015).

3.3.2. Cultivos más contaminantes

No todos los cultivos tienen los mismos niveles de emisión, que dependen de la cantidad de inputs aplicados, el manejo de suelo realizado y la utilización o no de agua de riego (Hernán *et al.* 1995; Sartori *et al.*, 2005; Daccache *et al.*, 2014). Los cultivos con mayor utilización de abonos y fitosanitarios (maíz, algodón, cereales, naranjos, viña), presentan valores de emisiones muy superiores a aquellos en el que el uso es más limitado (leguminosas, girasol, olivo, almendro) (Khakbazan *et al.*, 2009; Moreno *et al.*, 2011).

En cuanto al manejo utilizado también influye de manera directa en las emisiones; por ejemplo, los cultivos manejados con agricultura orgánica al utilizar menos abonos y fitosanitarios ven reducidas de manera importante sus emisiones (Sartori *et al.* 2005) o los cultivados bajo AC que al no labrar se produce un importante ahorro de combustible (Zentner *et al.*, 1998; Nassi o Di Nasso *et al.*, 2011).

El regadío origina que las emisiones aumenten en torno al 25 % respecto al mismo cultivo de secano (Mousavi-Avval, *et al.*, 2012), siendo este gasto aún mayor cuando el agua de riego se ha de extraer de acuíferos a gran profundidad lo que eleva el nivel de emisiones hasta casi alcanzar el 50% de las totales (Rodríguez-Díaz *et al.*, 2011).

3.3.3. El olivar español

Los cultivos leñosos han sufrido un gran desarrollo en el arco mediterráneo (EUROSTAT, 2016), siendo el olivo (*Olea europea L.*) el que mayor expansión presenta en estas condiciones al ser además uno de los cultivos más antiguos de esta zona (Barranco *et al.*, 2008). Este árbol es en España donde ha alcanzado su mayor extensión, siendo un elemento vertebrador social y económico en muchas regiones del país, especialmente en el sur (Gómez-Limón *et al.*, 2012). Andalucía cuenta con alrededor de un 60% de la superficie total de olivar en España, más de 2.5 millones de hectáreas (MAGRAMA, 2015), representando este cultivo un 25% de la producción agraria andaluza (Consejería Agricultura y Pesca, 2006).

La tipología de las plantaciones es muy diversa, aunque aproximadamente el 70% son de secano, cultivadas en suelos relativamente pobres y con pendientes elevadas (Consejería de Agricultura y Pesca, 2006). Ello propicia que este cultivo sea especialmente sensible al CC y a los procesos de degradación de suelo, con la posible pérdida de rentabilidad que conlleva (de Graaff y Eppink, 1999) y el efecto negativo de este proceso sobre la economía de los productores (Gómez-Limón *et al.*, 2012), que han visto incrementarse de manera muy significativa en los últimos años los costes de producción, mientras que decaen los precios de las producciones agrarias (EUROSTAT, 2011). Estos hechos se ven especialmente agravados debido a que el laboreo es el manejo de suelo más utilizado por los agricultores para cultivar el olivo (Kassan *et al.*, 2012; González-Sánchez *et al.*, 2015)

Por otra parte el cultivo del olivo se considera como eco-ineficiente (Gómez-Limón *et al.*, 2011), principalmente debido a los graves procesos erosivos ocasionados por el laboreo continuado del terreno (Vanwalleghem *et al.*, 2010; Gómez *et al.*, 2011; Taguas *et al.*, 2011;), lo que convierte a este proceso en el mayor problema medioambiental de la olivicultura (García-Ruiz *et al.*, 2010). Asociado a los sedimentos también se transporta gran cantidad de C que se emite posteriormente a la atmósfera, estimándose que las emisiones mundiales de CO₂ asociadas a la erosión se encuentran entre las 0,8-1,2 Gt y año (Lal, 2003). Este hecho asociado a las emisiones GEI fruto de la oxidación de la materia orgánica provocado por el laboreo (Carbonell-Bojollo *et al.*, 2011) ocasionan que el contenido de este compuesto en los suelos de olivar sea muy bajo (Márquez *et al.*, 2013). Todo ello origina que estas plantaciones sean extremadamente vulnerables a los efectos del CC debido a su sensibilidad a los procesos de desertificación que se producirán por el excesivo laboreo, pérdida de fertilidad y disminución de la humedad edáfica (Fernández-Romero *et al.*, 2014).

3.3.4. Sistemas de cubiertas vegetales en olivar

Demostrada la insostenibilidad ambiental que el olivar posee (García-Ruiz, 2010) y su fragilidad frente al CC, se hacen necesarias una serie de medidas que favorezcan la mitigación y adaptación a los efectos perjudiciales que el CC pueda producir a este cultivo. Los sistemas de AC en cultivos leñosos, cubiertas vegetales, se presentan como

una técnica muy eficaz para tales fines, al aportar un importante número de beneficios agroambientales, sin un incremento del gasto productivo (Márquez-García et al., 2012) y una reducción de las producciones (Barranco et al, 2008). Entre los principales efectos beneficiosos, es la reducción de la erosión la que hizo que se empezaran a implantar por los olivares, aunque también producen una disminución de la escorrentía (Francia et al., 2006; Ordóñez et al, 2007b; Gómez et al., 2009), menor contaminación difusa de las aguas superficiales (Franklin et al., 2007; Ordóñez et al., 2007b), una mejora del balance hídrico del olivar (Durán-Zuazo et al., 2009; Alcántara et al., 2011), un incremento del contenido de CO del suelo (Moreno et al., 2009; Carbonell et al., 2010; Márquez-García et al., 2013), un aumento en la actividad microbiana del suelo y de la biodiversidad del mismo.

Es reseñable que esta técnica es aplicable para la gran mayoría de árboles frutales, incluso en viñas cultivo en el que se originan importantes pérdidas de suelo (González-Sánchez et al., 2015). Consiste en mantener el suelo de la plantación cubierto por hierbas vivas durante la época lluviosa (otoño e invierno). A la llegada de la primavera es necesaria la siega de las mismas, a fin de evitar la competencia por agua y nutrientes entre el árbol y las hierbas, permaneciendo el residuo seco sobre la superficie del suelo durante el verano (González-Sánchez et al., 2012).

En función de su forma de implantación, las cubiertas vegetales se clasifican en:

- ✻ Cubiertas espontáneas: son las más comunes y son aquellas formadas por las hierbas procedentes del banco de semillas del suelo, figura 8.
- ✻ Espontánea seleccionada hacia gramíneas: se deja crecer la vegetación y después se seleccionan las hierbas hacia gramíneas (cebadilla, bromo, ballico, etc.) mediante la utilización de herbicidas, figura 9.
- ✻ Cubiertas sembradas: se siembran las hierbas, normalmente gramíneas (ballico, cebada, avena, brachypodium, etc.), figura 10, aunque se pueden mezclar con leguminosas. El objetivo es que se autosiembren en años sucesivos al dejar una banda de ensemillado de plantas vivas en el centro de la calle sin segar, figura 11.



Figura 8. Cubierto espontánea a todo terreno en olivar.



Figura 9. Cubierto espontánea en bandas seleccionada hacia gramíneas en ciruelos.



Figura 10. Cubierto sembrada de cebada en bandas en olivar.



Figura 11. Cubierto segada químicamente con banda de ensemillado.

✿ Cubiertas inertes de restos de poda: en esta alternativa para proteger el suelo se utilizan los restos de poda de los árboles, que son picados y distribuidos sobre el suelo como cubierta, figura 12.



Figura 12. Picadora de restos de poda autoalimentada.

Según la distribución de las hierbas, las cubiertas son:

- ✿ A todo terreno, ocupando toda la superficie del suelo, muy utilizada cuando las cubiertas son espontáneas, ver figura 8.
- ✿ Disposición en bandas, es la posibilidad más común, ocupando el centro de la calle, preferiblemente dispuesta de manera perpendicular a la línea de máxima pendiente. Más utilizada cuando las cubiertas son sembradas o seleccionadas hacia gramíneas, aunque también es ampliamente usada en cubiertas espontáneas, ver figuras 9, 10 y 11.

OBJETIVOS

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

En el contexto expuesto con anterioridad el objetivo que se persigue mediante esta Tesis Doctoral es: *“Evaluar la idoneidad de las cubiertas vegetales como sistema de mitigación y adaptación de los efectos adversos del cambio climático en olivares de climas semiáridos del sur de España”*

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcanzar dicho objetivo general se llevarán a cabo los siguientes estudios científicos:

1. Evaluar la capacidad de las distintas tipologías de cubiertas vegetales para incrementar el sumidero de carbono como medida de mitigación del cambio climático
2. Analizar la reducción de la pérdida de carbono asociado al sedimento mediante la implantación de cubiertas vegetales como medida de mitigación del cambio climático
3. Estudiar la mejora del balance hídrico olivar mediante la implantación de cubiertas vegetales como medida de adaptación al cambio climático

CAPÍTULO 1

Evaluar la capacidad de las distintas tipologías de cubiertas vegetales para incrementar el sumidero de carbono como medida de mitigación del cambio climático

5. EVALUAR LA CAPACIDAD DE LAS DISTINTAS TIPOLOGÍAS DE CUBIERTAS VEGETALES PARA INCREMENTAR EL SUMIDERO DE CARBONO COMO MEDIDA DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

5.1. INTRODUCCIÓN

El olivo es una planta originaria de la cuenca mediterránea, aunque es en España donde ha alcanzado su mayor desarrollo e implantación. Este árbol es para muchas regiones españolas el principal y casi único cultivo. Así, Andalucía cuenta con una superficie de olivar que supera los 1,5 millones de hectáreas, un 60 % de la total española (MARM, 2015), produciendo alrededor del 40 % del aceite de oliva mundial y el 25 % de la aceituna de mesa (International Olive Oil Council, 2015). Representando su cultivo el 25 % de la producción agraria andaluza (Consejería de Agricultura y Pesca, 2015). La mayoría de las plantaciones son de secano, ocupando cerca de un 70 % de la superficie total de olivar en Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca, 2015), cultivadas en suelos relativamente pobres y normalmente con elevadas pendientes. Así, el 12% del olivar andaluz se enclava en pendientes superiores al 25%, y el 24 % y 46 % entre el 15-25 % y 5-15 % respectivamente. Sólo el 18 % se encuentra en pendientes inferiores al 5 % (Consejería de Agricultura y Pesca, 2006).

Estos hechos, junto a la existencia de un clima Mediterráneo con prolongados periodos de sequía seguidos de frecuentes tormentas torrenciales, y que el laboreo es el sistema de manejo de suelo más utilizado por los agricultores, ocasionan unas elevadas pérdidas de suelo (Pastor, 2004; Gómez et al., 2008; Vanwalleghem et al., 2010), que llegan a originar en algunos eventos de gran intensidad tasas erosivas superiores a las 400 Mg ha⁻¹ (Vanwalleghem et al., 2008).

La erosión asociada al laboreo es el mayor problema medioambiental de la olivicultura de secano. Aunque actualmente, y debido al gran incremento producido en los últimos años en el contenido de CO₂ en la atmósfera (Mckibben, 2007), la pérdida de carbono orgánico del suelo (SOC) asociado a las labores se plantea como una grave amenaza; tanto, para la continuidad de los cultivos debido a la pérdida de fertilidad, como para el medio ambiente por las elevadas emisiones de CO₂.

Los motivos que provocan la disminución del contenido de SOC debido a su mineralización son varios, asociados por norma general al laboreo del terreno: aireación del perfil del suelo, disgregación, disminución, e inestabilidad de los agregados; aumento de la proporción de macroporos frente a microporos y severa reducción del aporte de restos orgánicos (Lal y Kimble, 1998; Jones et al., 2004; Bronick y Lal, 2005; Pulleman et al., 2005). Todo ello reduce de manera importante la fertilidad y productividad del terreno e incrementa el contenido de CO₂ en la atmósfera, al emitirse debido a la oxidación del SOC. Además, se estima que las emisiones mundiales de CO₂ asociadas a la erosión se encuentran entre las 0,8 y 1,2 Gt año⁻¹ (Lal, 2003).

La MO está compuesta básicamente por C y es ampliamente reconocida como un compuesto estabilizador de la estructura del suelo y un reservorio de nutrientes para las plantas (Carbonell et al., 2010). Durante la segunda mitad del siglo XX la intensificación de sistemas agrícolas, especialmente del laboreo del terreno, provocaron un importante descenso del SOC (Izaurre et al., 2001; Sperow et al., 2003; Triplet y Warren, 2008). La cantidad global de C acumulada en el suelo se estima en alrededor de 2500 Gt, de las cuales un 62% se encuentra de forma orgánica y el resto en forma de carbono inorgánico. Esta reserva supera en dos veces a la de la atmósfera (760 Gt) y en 2,8 veces a la de la masa biótica (560 Gt). Se estima que debido a las malas prácticas se ha perdido del suelo entre 55 y 78 Gt de C, que se corresponde con su capacidad potencial como sumidero de este elemento. Aunque, la capacidad real de almacenar C del suelo se encuentra entre un 50 y 66% de su capacidad potencial (Lal, 2004).

El secuestro de C requiere transferir carbono atmosférico a almacenes de manera que no se vuelva a emitir de forma inmediata, y dado que el tiempo medio de degradación de la MO en el suelo es del orden de siglos, incluso milenios (Paul et al., 1997; Torn et al., 1997), aumentar el SOC mediante prácticas de manejo de suelo adecuadas es una opción interesante, ya que la estrategia de secuestrar C en el suelo es eficaz económica y medioambientalmente.

Los sistemas de agricultura de conservación en cultivos leñosos, basados en el uso de cubiertas vegetales (CV), acumulan C en el suelo por varios motivos: disminuyen la salida de MO asociada al sedimento al reducir la erosión hídrica (Gómez et al., 2005; Francia et al., 2006; Ordóñez et al., 2007), aumentan el contenido de MO al aportar gran cantidad de restos vegetales (Moreno et al. 2009) y disminuyen la mineralización de la

misma al no airear el terreno y mejorar su estructura (Oades, 1993; Franzluebbers, 2002).

A pesar de los beneficios anteriormente indicados, aún existen muchos interrogantes sobre el papel que pueden jugar los sistemas de manejo de suelo en el secuestro de carbono atmosférico (Smith et al., 2005; Pike y Andelman, 2007; Ovando y Caparrós, 2009). Por tanto, el objetivo de este trabajo es cuantificar la eficacia de las CV como método para potenciar la capacidad del suelo como sumidero de carbono en olivares de secano en climas semiáridos del Sur de España.

5.2. MATERIAL Y MÉTODOS

5.2.1. Campos experimentales

El estudio se realizó durante cuatro campañas (2003-07) en cinco campos experimentales distribuidos en diferentes comarcas olivareras andaluzas de secano. Dos en la provincia de Córdoba (C3 y C5), uno en la provincia de Jaén (J2), uno en la provincia de Sevilla (S2) y uno en la provincia de Huelva (H2), ver figura 13.



Figura 13. Mapa de distribución de los campos experimentales.

El conjunto de campos engloba la mayoría de tipos de suelo y tipologías de olivar y sus manejos más comunes bajo AC. Por tanto, representan de manera bastante fidedigna la realidad del olivar andaluz, obteniendo resultados muy cercanos a los reales, al extrapolar los datos al total del cultivo en esta comunidad. Sus características más relevantes aparecen descritas en la tabla 3.

Tabla 3. Principales características de los campos experimentales.

Campo	Marco (m ²)	Edad (años)	Cubierta	Siega	Pendiente (%)	Tipo de suelo	Coordenadas	
C3	8x8	12	Espontanea	Desbrozado+ laboreo	15,6	Calcic Haploxerecept	37° 38' 18"	4° 29' 60"
C5	indefinido	>60	Espontanea	Animal	21,6	Ruptic-Lithict Xerorthent	38° 08' 26"	4° 46' 01"
J2	12x12	>70	Sembrada	Herbicida	18,6	Calcic Haploxerecept	37° 49' 42"	3° 57' 36"
S2	8x6	10	Espontanea	Desbrozadora	6,2	Typic Calcexerecept	37° 34' 38"	5° 21' 37"
H2	6x8	9	Espontanea	Desbrozadora	8,7	Typic Haploxerecept	37° 21' 14"	6° 23' 42"

Durante el primer año de estudio se llevó a cabo una campaña de muestreos en todos los campos para la caracterización físico-química de los primeros 60 cm de suelo. Los resultados obtenidos aparecen resumidos en la tabla 4.

Tabla 4. Principales características físico-químicas de los campos experimentales. MO: Materia orgánica; CO₃²⁻: carbonatos

	Profundidad (cm)	pH	MO (%)	CO ₃ ²⁻ (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura
C3	0-20	8,09	1,10	78,6	21,3	45,8	32,9	Franco-arcillosa
	20-40	8,26	0,86	78,6	25,9	45,8	28,3	Franco-arcillosa
	40-60	8,25	0,76	67,0	27,1	39,2	33,7	Franco-arcillosa
C5	0-20	6,61	2,62	8,5	37,6	57,6	5,2	Franco-limosa
	20-40	6,61	1,59	0,4	34,2	60,1	5,7	Franco-limosa
	40-60	6,66	0,93	0,4	47,4	47,5	5,1	Franco-arenosa
J2	0-20	7,98	0,93	48,0	27,0	39,8	33,2	Franco-arcillosa
	20-40	7,89	1,17	44,8	25,3	43,9	30,8	Franco-arcillosa
	40-60	8,08	0,60	49,6	30,4	43,1	26,5	Limosa
S2	0-20	8,29	1,49	28,2	42,6	33,2	24,2	Limosa
	20-40	8,21	2,06	28,1	36,2	32,8	31,2	Franco-arcillosa
	40-60	8,23	1,80	34,2	37,6	34,9	28,3	Franco-arcillosa
H2	0-20	8,05	1,51	20,1	28,4	41,8	29,8	Franco-arcillosa
	20-40	8,09	1,35	20,9	27,4	43,1	29,3	Franco-arcillosa
	40-60	8,25	0,94	33,4	24,7	47,6	27,7	Arcillosa

Se aprecian diferencias en las texturas de los distintos campos experimentales y especialmente en el contenido de MO, influenciados por la composición granulométrica, la climatología y los distintos sistemas de laboreo llevados a cabo por los propietarios de las explotaciones.

5.2.2. Diseño experimental y tratamientos

Para valorar el efecto de los distintos manejos empleados en el suelo sobre los procesos erosivos se instalaron 3 pares de subparcelas de 6 m² (3 x 2 m) por sistema de manejo de suelo, laboreo (L) y CV, y campo experimental, sobre las que se evaluó la evolución temporal del contenido de MO del suelo. La distribución fue por bloques al azar. En cada campo las tres parcelas bajo AC se implantaron en la misma cubierta de la propia finca y las parcelas labradas en zonas habilitadas para tal efecto. En estas últimas se instalaron unos derivadores de escorrentía para evitar que el agua proveniente de la CV rica en MO distorsionara los resultados obtenidos, ver figura 14.



Figura 14. Recinto con derivadores de escorrentía para el muestreo de materia orgánica.

La pérdida de suelo y MO asociada al sedimento se midió mediante microparcels de captura de escorrentía y sedimento de 1 m² (1 x 1 m). El funcionamiento de las microparcels era sencillo, la escorrentía y sedimentos generados durante la lluvia se recirculaban, a través de un colector situado en la parte frontal, hacia un bidón de 25 l de capacidad con la ayuda de una goma, ver figura 15. La escorrentía generada en episodios de lluvia importantes, más de 100 mm día⁻¹, podía superar los 25 l m⁻², por lo que al primer bidón se le acopló un segundo recipiente, obteniendo una capacidad total de almacenamiento de agua de escorrentía de 50 l.



Figura 15. *Bloque de microparcels. Con cubierta vegetal a la izquierda y labrada a la derecha.*

Este tipo de microparcels no arrojan valores reales de generación de escorrentía y erosión tras cada evento de lluvia, ya que debido a su pequeño tamaño, infravaloran estos resultados, al reducirse el flujo de agua. A pesar de esta situación, se presentan como una herramienta muy efectiva para comparar sistemas de manejo de suelo, ya que los datos obtenidos nos permiten conocer de manera fiable el potencial reductor en la generación de escorrentía, sedimentos y pérdida de nutrientes, que las CV aportan frente al L.

La distribución fue en bloques al azar, con 3 pares de microparcels por campo experimental, con los dos tratamientos anteriormente descritos, CV y L. Tras cada evento de lluvia, se viajó a los distintos campos experimentales, midiendo la escorrentía generada en cada microtrampa y tomando dos submuestras de 1,3 l de volumen del agua y sedimentos contenidos en las mismas. Debido a la sedimentación producida en el bidón colector de agua y suelo previamente a la toma de las submuestras se procedía a la agitación de los mismos con el fin de homogeneizar la distribución de sedimentos dentro del colector, ver figura 16.



Figura 16. *Recogida de submuestras de agua de escorrentía.*

El manejo de la cubierta fue distinto para cada finca, tabla 3, pues el agricultor lo realizó acorde a sus necesidades, por lo que la época y tipo de siega fue diferente para cada una de ellas, respondiendo a las prácticas reales de la zona en la que se encontraba. El laboreo en el interior de las trampas de los suelos manejados de forma convencional se efectuó acorde al estado de la vegetación y a las prácticas de la zona. Para ello se recurrió a una motoazada, trabajando el terreno hasta una profundidad de 20-25 cm, ver figura 17.



Figura 17. Laboreo del terreno con ayuda de motoazada.

Al inicio de la experiencia y tras los 4 años de duración del estudio se realizó una campaña de muestreos del contenido de MO del suelo en ambos sistemas de manejo. Se muestrearon los primeros 25 cm, con barrena Edelman de 6 cm de diámetro, ver figura 18, ya que las capas superficiales son las que muestran cambios más notables tras los primeros años de implantación de CV (Jarecki y Lal, 2005). La distribución de profundidades muestreadas fue: 0-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm y 10-25 cm, tomando una muestra compuesta de 3 muestreos en cada subparcela de 6 m².



Figura 18. Muestreo con barrena en la cubierta vegetal para evaluar el contenido de materia orgánica.

Coincidiendo con las tomas de MO se realizaron también prospecciones de la densidad aparente del terreno, recurriendo a cilindros huecos de acero inoxidable de 60 mm de largo y 52 mm de diámetro, ver figura 19. Esta operación se realizó en dos puntos por manejo de suelo y campo experimental, prospectando los perfiles: 0-6 cm y 19-25 cm.



Figura 19. Cilindro introducido en el suelo y listo para extraerse mediante la uso de azada.

Como complemento se evaluó la cantidad de biomasa generada por las CV mediante muestreos anuales antes del desbroce de las hierbas. Para el cálculo de la biomasa se utilizaron cuadrículas de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m), ver figura 20. Realizando 4 repeticiones por campo experimental en el sistema de AC, ya que en el convencional no existía cobertura debido al paso reiterado de aperos de labranza.



Figura 20. Muestreo de residuo en la zona de la cubierta vegetal.

5.2.3. Condiciones medioambientales en el área de estudio

La zona mediterránea, que aglutina la totalidad del estudio, corresponde a un régimen de humedad xérico, según las normas establecidas por la Soil Taxonomy (USDA, 1998). Con un clima caracterizado por un periodo frío y húmedo, que coincide con los meses otoñales e invernales, en el que se concentran el 80% de las precipitaciones, y otro muy cálido y seco, que corresponde con la primavera y el verano. El régimen de temperaturas es térmico.

En la tabla 5 se aprecia como la desviación en la temperatura fue mucho menor que la registrada en las precipitaciones, mostrando la gran irregularidad que registran los diferentes años hidrológicos en estas latitudes, con desviaciones respecto a la media en

la precipitación total que superan los 200 mm año⁻¹ en alguno de los campos experimentales.

Tabla 5. Temperaturas (°C) y precipitaciones medias (mm) y su desviación estándar durante el periodo 2003-07. Tpe: temperatura.

		Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
C3	Tpe	7,4±1,0	8,6±1,6	11,9±0,7	14,4±1,4	18,0±3,5	24,5±1,6	27,4±0,4	26,8±0,6	22,5±0,6	16,9±1,7	11,5±1,2	8,0±0,5	-
	Lluvia	41±34	79±21	71±40	40±31	53±41	5±5	2±3	2±4	29±11	95±50	37±37	47±30	500±120
C5	Tpe	6,7±1,1	7,1±1,4	10,1±0,9	12,4±1,1	18,8±2,1	23,0±1,8	26,2±0,5	25,5±0,8	21,9±1,6	15,5±1,2	10,5±1,2	6,9±0,3	-
	Lluvia	36±26	57±22	60±36	60±14	52±36	4,4±2,4	0±0	8±14	36±27	146±97	54±43	53±28	565±177
J2	Tpe	8,0±1,0	9,3±1,7	12,7±1,0	15,6±1,4	20,4±2,2	26,1±1,7	29,0±0,4	28,3±0,8	24,1±0,7	18,3±1,0	12,4±1,2	8,7±0,3	-
	Lluvia	21±21	63±21	54±32	52±36	45±42	8±9	1±1	8±10	21±13	72±52	38±32	34±21	416±119
S2	Tpe	8,9±1,4	10,1±1,8	13,5±0,6	16,3±0,7	20,6±1,7	25,2±1,3	27,4±0,8	27,0±0,7	23,8±0,8	18,6±0,6	13,2±1,3	9,5±0,4	-
	Lluvia	40±44	68±26	46±30	33±16	63±53	2±3	0±0	14±18	34±24	79±73	52±43	57±42	501±138
H2	Tpe	10,1±0,9	10,9±1,1	13,6±0,7	15,6±0,9	19,4±1,5	23,5±1,7	26,0±0,8	25,7±1,1	22,7±0,6	18,6±0,6	14,0±0,8	10,9±0,5	-
	Lluvia	50±50	82±70	57±41	42±31	36±39	11±20	0±0	17±33	18±22	117±72	59±47	46±53	535±212

5.2.4. Análisis de laboratorio

El agua de escorrentía con los sedimentos, tras su decantación a fin de reducir el volumen a evaporar, se depositaba en cápsulas de porcelana en una estufa de aire forzado a 110 °C, ver figura 21. Tras la pesada de los sedimentos secos, se obtenía su concentración, la cual mediante extrapolación al volumen total de escorrentía, nos permitía conocer la erosión ocasionada en cada microparcela.

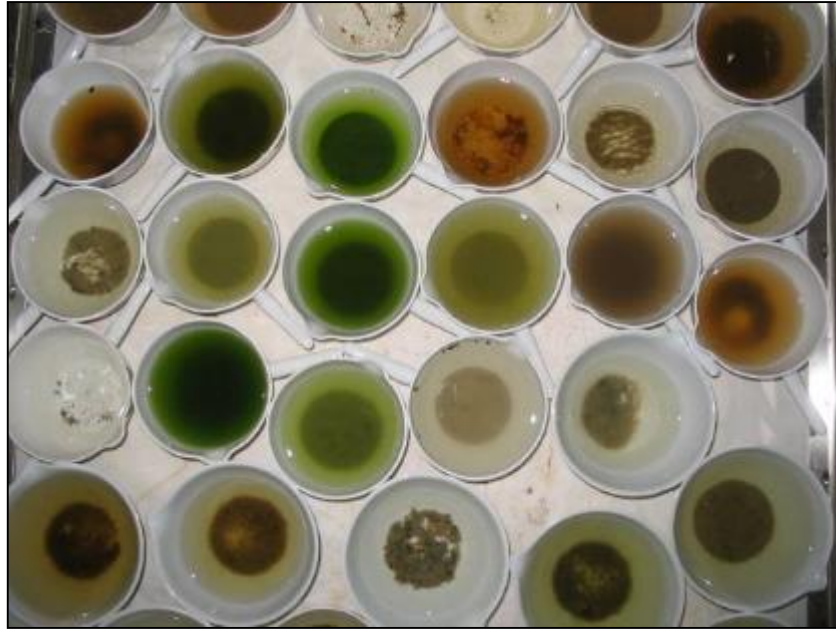


Figura 21. Evaporación en estufa de aire forzado usando cápsulas de porcelana.

Las muestras de suelo y sedimento tras su desecación, se pasaron por un tamiz de 2 mm. Posteriormente se analizó su contenido en CO siguiendo el método de Walkley y Black (Sparks, 1996) por oxidación con Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en medio ácido, ver figura 22.



Figura 22. Muestras en matraces para calcular el contenido de materia orgánica.

Conociendo el contenido de CO de cada suelo se puede calcular la cantidad de CO₂ equivalente que almacena mediante las fórmulas:

$$C_{org} \left(\frac{g}{kg} \right) * \rho_a \left(\frac{t}{m^3} \right) * prof(m) * \frac{10.000m^2}{ha} * \frac{1kg}{1.000g} = C \left(\frac{t}{ha} \right) \quad C \left(\frac{t}{ha} \right) * 3,67 = CO_2 \left(\frac{t}{ha} \right)$$

Donde:

ρ_a : densidad aparente C: carbono orgánico CO₂: dióxido de carbono

Con los restos vegetales se procedió a su limpieza con agua destilada para eliminar impurezas y su posterior secado durante 2 días en estufa de aire forzado a 65 °C, para obtener así su peso seco.

5.2.5. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se recurrió al programa estadístico Statistix, versión 8, Tallahassee, USA. Se consideraron 3 factores: parcela, bloque y tratamiento. La comparación de medias entre estos factores se realizó mediante un test de Tukey con un grado de significación (p) $\leq 0,05$.

5.3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La densidad aparente es un indicador directamente ligado con el material que constituye el suelo y la porosidad del mismo. Por tanto, bajo los sistemas de AC presumiblemente se podría producir un incremento de esta debido a la ausencia de labores y el paso reiterado de maquinaria agrícola. Sin embargo, en la figura 23, que muestra el valor de esta variable del suelo de los diferentes campos experimentales y sistemas de manejo, no se aprecian diferencias importantes en los valores de esta propiedad en los sistemas de CV y L, al igual que los datos observados por Alvarez y Steinbach (2009).

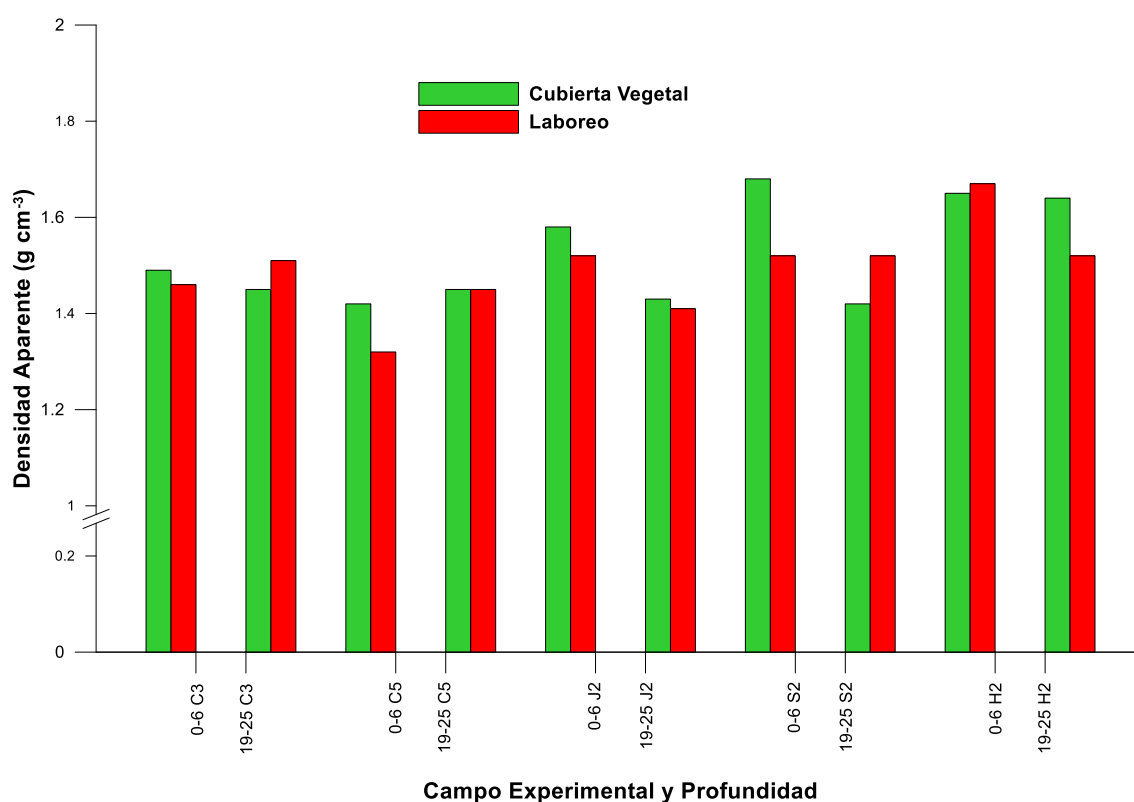


Figura 23. Densidad aparente de los campos experimentales y profundidades muestreadas.

Los suelos bajo AC presentaron valores ligeramente superiores en la primera profundidad muestreada (0-6 cm). Incrementándose de media esta propiedad en los 5 campos experimentales un 4% en la zona cubierta. En el horizonte más profundo (19-25 cm) esta propiedad del suelo se mantuvo igual para ambos manejos estudiados. Los sistemas de L arrojaron una distribución más homogénea de la misma, hecho que coincide con los resultados publicados por Birkás et al. (2004), que observaron cómo los sistemas de AC presentan un pico de compactación a los 5 cm de profundidad.

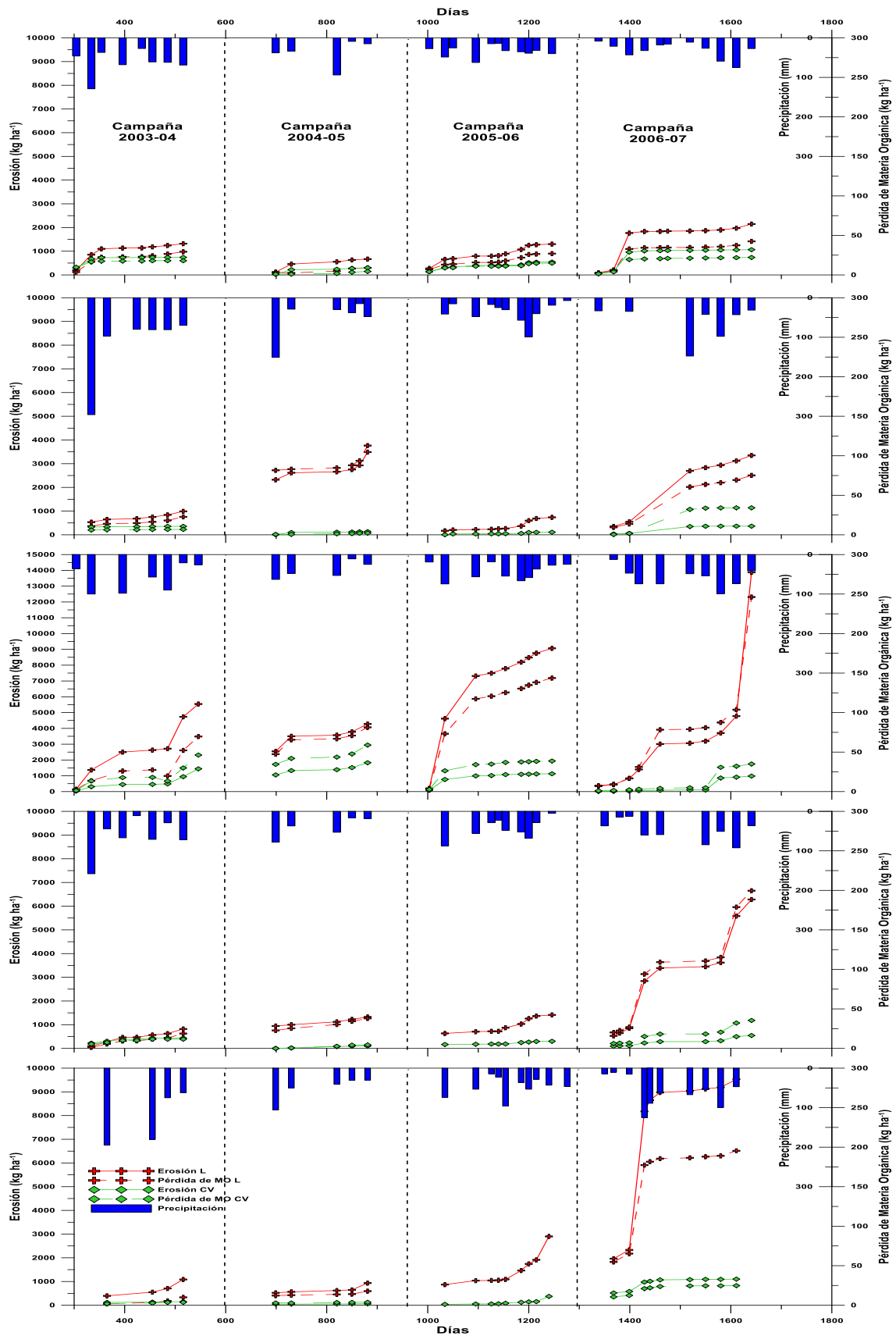


Figura 24. Pérdida de suelo y Materia orgánica asociada al sedimento de los diversos campos experimentales y años de muestreo. L: Laboreo; CV: Cubierta vegetal.

A pesar de este incremento en la compactación superficial que podría generar mayor erosión (Fullen, 1985), la protección aportada por los restos vegetales frente a la acción erosiva de las gotas de lluvia hizo que la pérdida de suelo disminuyese. En la figura 24 se muestra la erosión y pérdida de materia orgánica asociada al sedimento en las 4 campañas de estudio, para todos los campos experimentales y manejos. Se aprecia como el año en el que se registraron mayores pérdidas de suelo fue el cuarto, especialmente en el L, ya que en las CV la erosión fue pequeña en todas las campañas y campos. Se observa una relación positiva entre la pérdida de suelo y la salida de MO en ambos manejos, figura 25, por lo que los sistemas que reduzcan la erosión presumiblemente disminuirán la salida de C de los ecosistemas agrarios.

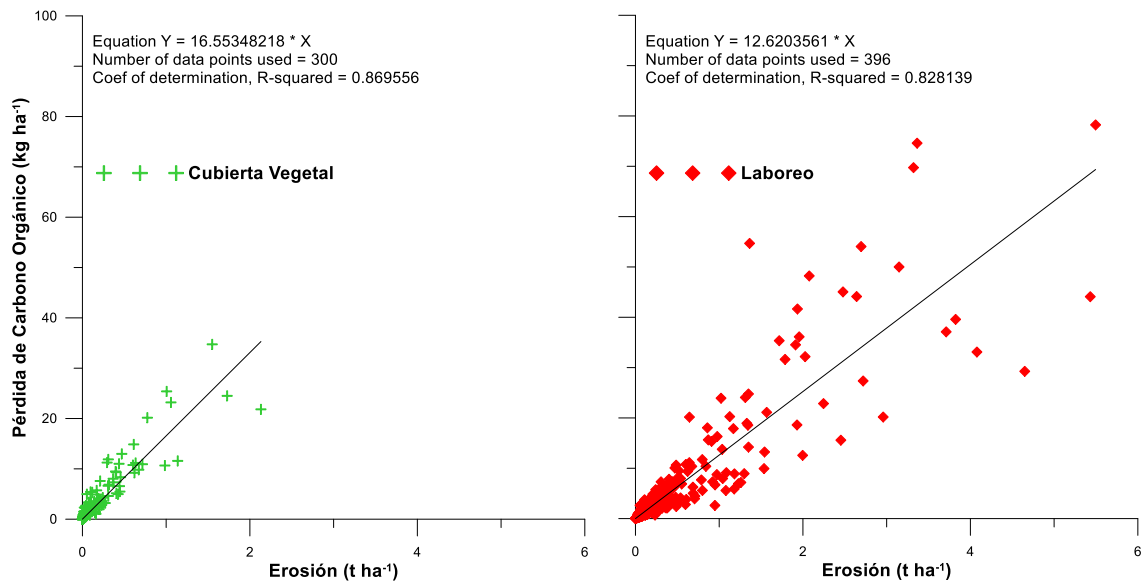


Figura 25. Correlaciones entre la erosión y la Pérdida de carbón orgánico absorbido en el sedimento para los diferentes campos experimentales y años de estudio.

En la tabla 6 se muestra la erosión y pérdida de MO media acumulada asociada al sedimento durante las 4 campañas y las reducciones que aportan los sistemas de conservación de suelo frente al laboreo. El campo con mayor pérdida de suelo y MO fue J2, concretamente $8,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $137 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ respectivamente, en los suelos labrados. Seguidamente H2 y S2 son los que mayor erosión registraron en L. Sin embargo, no sucedió lo mismo con la MO, debido a que el campo experimental S2

posee mayor concentración de este compuesto en superficie que H2, de ahí la mayor pérdida (figura 26).

En cuanto a la reducción de pérdida de suelo y MO se aprecia cómo es mayor en el primer indicador. Aunque cuanto más se disminuyó la erosión mayor fue la reducción de salida de MO del sistema.

Tabla 6. Pérdida media anual de suelo y Materia orgánica (MO) durante los cuatro años de estudios y sus porcentajes de reducción. Periodo 2003-07. CV: Cubierta vegetal; L: Laboreo.

		C3	Red (%)	C5	Red (%)	J2	Red (%)	S2	Red (%)	H2	Red (%)
Erosión (kg ha ⁻¹)	CV	616,6	51,7	219,4	89,5	1350,0	83,6	345,4	86,0	309,2	91,6
	L	1276,1		2079,3		8216,1		2461,0		3662,7	
Pérdida MO (kg ha ⁻¹)	CV	14,9	45,0	14,4	80,0	46,2	66,4	20,9	75,0	20,7	72,1
	L	27,1		71,9		137,5		83,4		74,4	

Los aportes de C propiciados por la presencia de restos vegetales en superficie y la menor salida de MO asociada al sedimento hicieron que la concentración de C en el suelo fuese mayor en los sistemas de CV. Como se aprecia en la figura 26, que muestra la variación espacial en profundidad del contenido de MO para los distintos campos. Así, en la primera profundidad muestreada (0-2 cm), en 4 de los 5 aparecieron diferencias estadísticamente significativas a favor de las CV. En todos los casos para los sistemas de conservación de suelo las concentraciones estuvieron por encima del 2% en los 5 primeros cm. Valor recomendado en esta región como mínimo para sistemas de producción integrados (Consejería de Agricultura y Pesca, 2002). Estos resultados son similares a los obtenidos por Castro et al. (2008) y Gómez et al. (2009) en olivares andaluces.

Conforme se descendió en el perfil, las diferencias en el contenido de este compuesto en los suelos sometidos a los distintos sistemas de manejo se atenuaron. De hecho, a partir de los 10 cm sólo se apreciaron diferencias estadísticamente significativas en uno de los campos (H2).

Por tanto, se produce un mayor incremento de MO en los sistemas de AC en las capas superficiales, al igual que encontraron otros autores como Jarecki y Lal (2005), mientras que en los suelos labrados el contenido de materia orgánica tiene una distribución más uniforme del perfil.

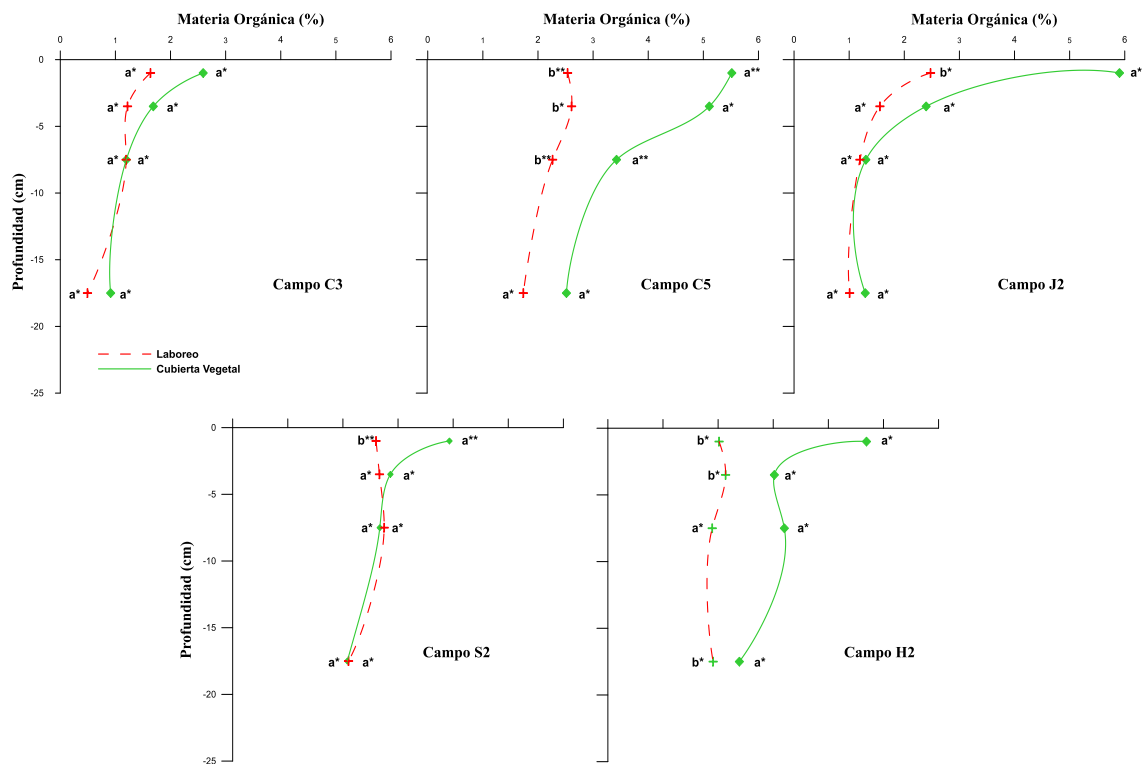


Figura 26. Distribución del contenido de materia orgánica (%) con la profundidad. Campaña de muestreo 2006-07. Letras diferentes indican diferencias significativas para el test de Tukey * $p \leq 0.05$ y ** $p \leq 0.01$.

En cuanto a la dispersión de los resultados, la tabla 7 resume la desviación estándar de los resultados de MO, en las 4 profundidades muestreadas y los 5 campos experimentales, medida en la campaña de muestreos 2006-07.

Tabla 7. Desviación estándar en los campos experimentales y profundidades muestreadas.

		Campaña 2006-07				
		0-2 cm	2-5 cm	5-10 cm	10-25 cm	0-25 cm
C3	CC	±0,68	±0,79	±0,82	±0,90	±0,76
	CT	±0,52	±0,47	±0,52	±0,56	± 0,25
C5	CC	±0,76	±1,09	±0,69	±0,97	±0,54
	CT	±0,51	±0,19	±0,65	±0,60	±0,47
J2	CC	±2,40	±1,11	±0,72	±0,84	±0,44
	CT	±0,45	±0,72	±0,13	±0,10	±0,11
S2	CC	±0,76	±0,40	±0,43	±0,60	±0,42
	CT	±0,65	±0,27	±0,59	±0,08	±0,12
H2	CC	±0,94	±0,20	±1,06	±0,11	±0,25
	CT	±0,28	±0,22	±0,12	±0,18	±0,12

Independientemente de la profundidad considerada, los valores más altos de desviación estándar se apreciaron en los datos medidos en suelos con CV. Las labores homogeneizaron el perfil y atenuaron las variaciones espaciales de sus componentes. Coincidiendo estos datos a los observados por Hernández et al. (2005) en condiciones climatológicas similares.

Para la totalidad del perfil muestreado (0-25 cm), en la mayoría de los campos existieron diferencias notables en el contenido de MO entre los dos sistemas de manejo. Apareciendo diferencias significativas a favor de los sistemas conservativos en 2 de ellos (C5 y H2), figura 27. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por otros autores en olivar (Hernández et al., 2005; Gómez et al., 2009; Ramos et al., 2010).

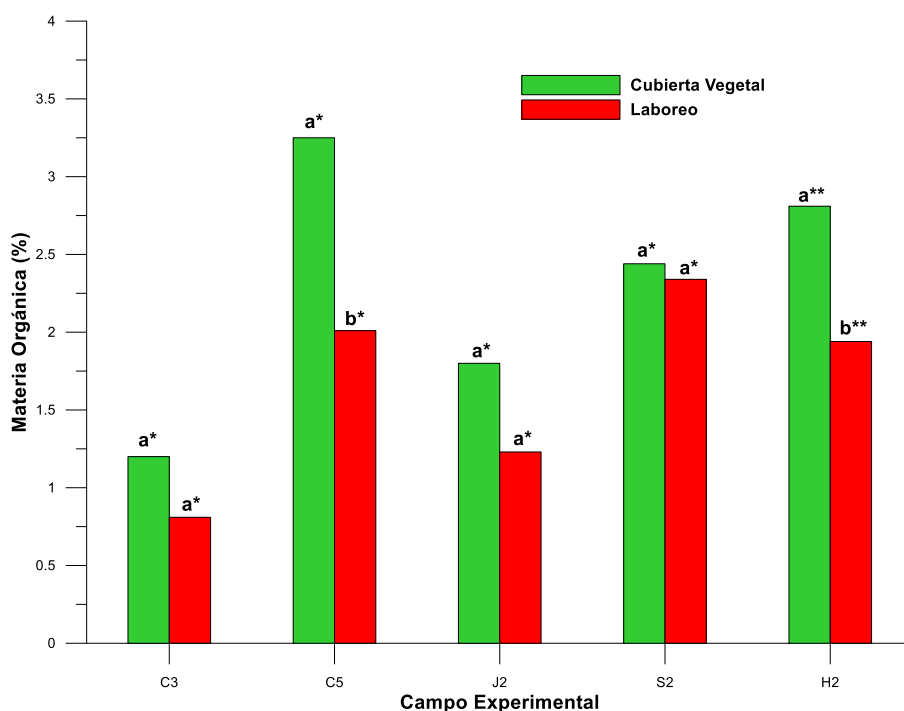


Figura 27. Comparativa entre sistemas de manejo del contenido de materia orgánica en los distintos campos experimentales para la totalidad del perfil muestreado (0-25 cm). Campaña de 2006-07. Letras diferentes indican diferencias significativas para * $p \leq 0.05$ y ** $p \leq 0.01$.

La capacidad de almacenar MO de los suelos depende principalmente de las condiciones climáticas y edafológicas (Miller et al., 1994), aunque en los terrenos agrícolas el sistema de manejo puede jugar un papel determinante (Hernanz et al., 2002), al igual que las condiciones locales de la propia finca. Algunos autores como

Arrouays et al. (2006) encontraron una correlación positiva entre el contenido de arcilla y la cantidad de MO del suelo.

En nuestro caso y considerando el horizonte de 0-25 cm, los valores más altos se aprecian en S2, H2 y C5, cuyos suelos presentan un porcentaje de arcilla inferior al estimado en C3 y J2 (tabla 4 y figura 27).

En estos casos, las condiciones climáticas que afectaron a la zona de estudio han tenido mayor importancia en la evolución de la MO del suelo que sus características edafológicas. Mención aparte merecen los suelos con cubierta vegetal de C5, que presentaron los mayores valores de MO en todas las profundidades consideradas, posiblemente debido a que las hierbas se controlaron mediante pastoreo, lo que aportó gran cantidad de C en forma de excrementos del ganado, elevando así aún más el contenido de MO. Estos resultados concuerdan con los observados por Quiroga et al. (2009). También se ha de tener en cuenta, que fue el campo que mayores precipitaciones registró, lo que favoreció la actividad de los microorganismos que descomponen los restos orgánicos.

Las menores concentraciones de MO en ambos sistemas de manejo de suelo se obtuvieron en el campo C3, debido a que se cultiva de manera ecológica, por lo que se incrementa el número de pases para controlar las hierbas en laboreo.

Además en ambos sistemas de manejo se aplicaba vinaza, fertilizante líquido orgánico proveniente de la fermentación de la uva, que para su aplicación se hace necesaria la roturación profunda y posterior inyección en el terreno. Reseñar que en los puntos de muestreo de MO no se aplicó vinaza, aunque si se realizaron las labores, para no alterar las mediciones del trabajo por el efecto distorsionador que este compuesto orgánico podía tener en la fijación de carbono atmosférico. Por tanto, el incremento del número de labores en el suelo y la profundidad de las mismas favoreció la rotura de los agregados y la oxidación de la MO que protegían (Trebugge y During, 1999).

La producción de biomasa, como se aprecia en la figura 28, arrojó resultados bien diferenciados. Aquellas cubiertas constituidas principalmente por hierbas de hoja ancha (C3, C5, S2) tuvieron una generación de biomasa media durante los 3 años de muestreo que osciló entre los 3,5 y 4,5 Mg ha⁻¹, valores similares a los obtenidos por Repullo et al. (2012) en condiciones similares. Las cubiertas formadas principalmente por

gramíneas produjeron mucha más masa vegetal, alrededor de 7 Mg ha⁻¹ en J2 y unos 9 Mg ha⁻¹ en H2. Estos valores son comparables a los 5-10 Mg ha⁻¹ de biomasa generada en viñedos californianos medidos por Bugg et al. (1996) y a los valores medios observados por San (1998) con diferentes tipos de cubierta, 1,5-11 Mg ha⁻¹.

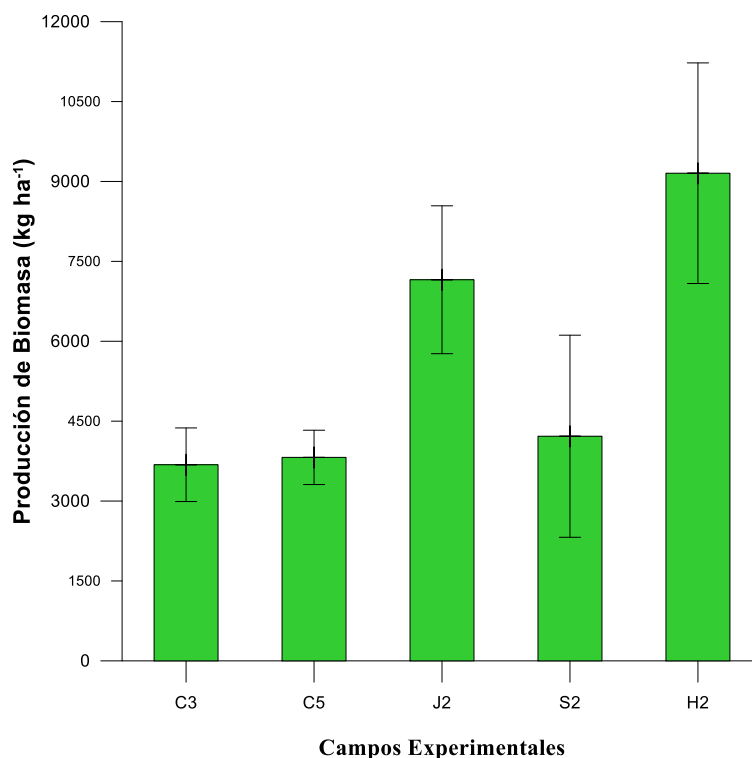


Figura 28. Producción media anual de biomasa y su desviación estándar en los diferentes campos experimentales.

Cabe reseñar que los campos con cubiertas de gramíneas (J2 y H2) presentan las mayores concentraciones superficiales de MO de los 5 campos estudiados, junto con C5 por los motivos expuestos anteriormente.

En la tabla 8 se muestra el CO₂ equivalente acumulado en el suelo al inicio del estudio y el existente a los 4 años en las distintas profundidades muestreadas y campos experimentales. También aparecen las diferencias entre los sistemas de manejo de suelo estudiados. Al inicio de la experiencia, la cantidad de este compuesto acumulada en el suelo fue similar para ambos sistemas de manejo y las diferencias observadas fueron siempre inferiores al 10%, con un promedio entre los 5 campos de 4,3%.

Tras los 4 años de estudio, para la totalidad del perfil muestreado se observó como para el caso de las CV en los 5 campos experimentales se produjo un incremento del contenido de CO₂ equivalente respecto al periodo de referencia (2003). Siendo este aumento medio de 15,9 Mg ha⁻¹año⁻¹. Para el L también se incrementó el efecto sumidero de este compuesto en 3 de los 5 campos. Aunque de manera global este aumento fue mucho menos acentuado, 3,6 Mg ha⁻¹año⁻¹.

Tabla 8. Fijación de CO₂ equivalente (Mg ha⁻¹) en las diversas profundidades muestreadas y campos experimentales. CV: Cubierta vegetal; L: Laboreo.

Campo	Manejo	2003-04		2006-07			Δ 0-25
		Profundidad (cm)					
		0-25	0-2	2-5	5-10	10-25	
C3	CV	82,74	16,32	15,98	18,91	42,72	11,19
	L	85,01	10,56	11,77	19,15	23,96	-19,58
	Diferencia	-2,27	5,76	4,21	-0,24	18,76	30,77
C5	CV	178,19	31,45	43,69	48,88	126,96	64,16
	L	186,00	15,57	24,01	34,80	81,24	-30,39
	Diferencia	-7,81	15,89	19,69	14,08	45,82	94,55
J2	CV	78,28	38,73	23,62	21,33	59,73	64,13
	L	79,88	16,93	15,95	21,24	46,11	19,58
	Diferencia	-1,60	21,80	7,67	0,09	13,62	44,55
S2	CV	127,80	25,80	28,15	43,80	95,64	65,59
	L	139,89	18,87	28,95	49,87	103,36	61,16
	Diferencia	-12,09	6,93	-0,80	-6,07	-7,72	4,43
H2	CV	127,80	33,42	32,27	56,99	117,85	112,52
	L	132,59	14,57	23,14	34,07	101,44	40,63
	Diferencia	-4,79	18,85	9,13	22,92	16,19	71,89
Media		13,85	7,98	6,16	17,33	49,24	
Media cm⁻¹		6,92	2,66	1,23	1,16	1,97	

La figura 29 muestra la desviación respecto a la media del incremento de CO₂ equivalente que sufren los diversos campos experimentales estudiados respecto al periodo de referencia (campaña 2003-04), para los sistemas de CV y L por separado y haciendo un estudio conjunto. En ella se aprecia como para los sistemas conservativos esa desviación es pequeña, salvo para C3 que se encuentra por debajo y para H2 por encima. En el caso del laboreo la situación cambia, encontrando una desviación mucho mayor. En los campos experimentales de C3 y C5 encontramos una desviación negativa (por debajo de la media), debido al manteniendo en estos campos de sistemas de laboreo más profundos y severos, con inversión de los perfiles del suelo. Sin embargo, en los

otros 3 campos se pasó de un laboreo intensivo a uno menos agresivo, con menor número de pases y sin volteo, de ahí esa desviación positiva (por encima de la media).

Al estudiar conjuntamente ambos sistemas de manejo, se observó como las cubiertas siempre presentaron desviaciones positivas respecto a la media, salvo C3. Pues en este sistema se labró para inyectar vinaza como se comentó anteriormente. En el laboreo todas las alternativas presentaron incrementos nulos o por debajo de 0 salvo S2 debido a la variación en los procesos de mineralización que las condiciones de encharcamiento, muy comunes en este campo, debieron de provocar (Castro et al., 2008).

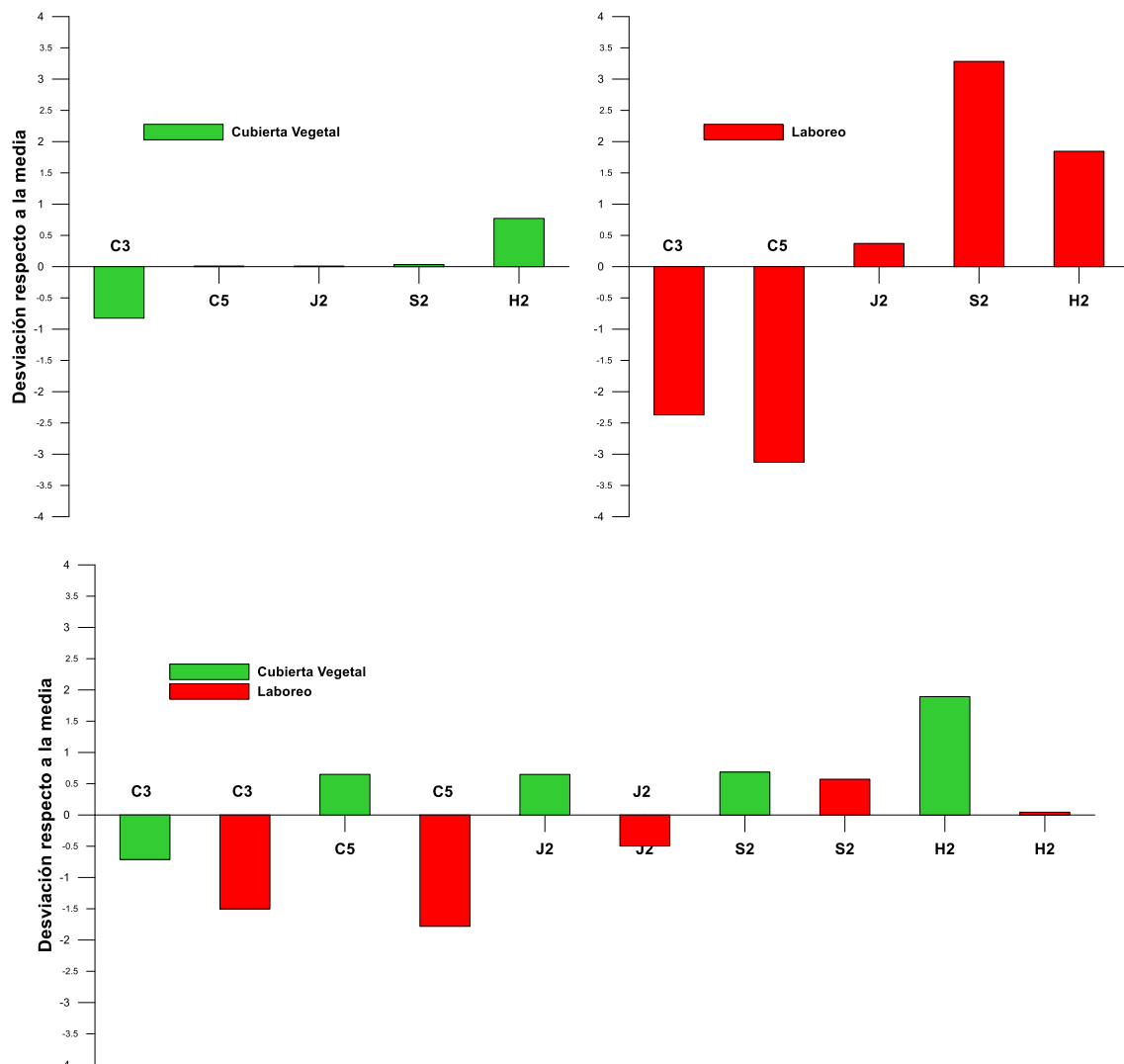


Figura 29. Desviación respecto a la media del incremento de carbono en los sistemas de cubiertas vegetales, laboreo convencional y ambos.

En cuanto a la ganancia de CO₂ equivalente que las cubiertas aportan frente al laboreo, se aprecia que durante los 4 años de duración del estudio los sistemas de conservación han aumentado en 1,97 Mg ha⁻¹ cm⁻¹ la fijación de este gas frente al L. Estos datos son más elevados que los obtenidos por Gómez et al. (2009), 1,23 Mg ha⁻¹ cm⁻¹ en un ensayo de 7 años de duración, ya que el máximo de efecto sumidero se alcanza el quinto año tras aplicar agricultura de conservación (West and Six, 2007, González-Sánchez et al., 2013), descendiendo a partir de ahí la velocidad de fijación.

Los valores obtenidos son ligeramente superiores a los indicados por Sombrero y De Benito (2010) para cultivos extensivos, 1,59 Mg ha⁻¹ cm⁻¹; aunque la profundidad muestreada por ellos era superior, 30 cm. También se encuentran muy por encima de los reflejados por Ordóñez et al. (2007), que obtuvieron un incremento de 0,75 Mg ha⁻¹ cm⁻¹. Debido a una aún mayor duración del estudio, 11 años, y profundidad muestreada, 52 cm.

5.4.CONCLUSIONES

El estudio demuestra la capacidad y efectividad de las cubiertas vegetales para conservar y mejorar la calidad del suelo, sin alterar la densidad aparente del mismo a pesar de la ausencia de laboreo. La materia orgánica experimentó para la profundidad muestreada, 0-25 cm, un incremento medio de un 38,1% respecto al laboreo, siendo este aumento mucho más acentuado en los 10 primeros centímetros de suelo, donde alcanza el 47,5%.

El sistema conservativo quintuplicó la capacidad de sumidero de carbono en referencia al laboreo, consiguiendo aumentar la fijación de CO₂ equivalente respecto al sistema convencional en 12,3 Mg ha⁻¹año⁻¹ para la totalidad de la profundidad prospectada.

Sin embargo, se ha de ser cautos con estas cifras ya que estudios demuestran como a partir del 5 año de aplicar técnicas de agricultura de conservación la velocidad de fijación se atenúa, incrementándose aún el efecto sumidero pero de manera más pausada.

CAPÍTULO 2

Analizar la reducción de la pérdida de carbono asociado al sedimento mediante la implantación de cubiertas vegetales como medida de mitigación del cambio climático

6. ANALIZAR LA REDUCCIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARBONO ASOCIADO AL SEDIMENTO MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE CUBIERTAS VEGETALES COMO MEDIDA DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

6.1. INTRODUCCIÓN

Los cultivos leñosos han sufrido un gran desarrollo en el arco mediterráneo (EUROSTAT, 2011), siendo el olivo (*Olea europea*) el que mayor expansión presenta en estas condiciones. Este árbol es en España donde ha alcanzado su mayor extensión, siendo un elemento vertebrador social y económico en muchas regiones del país, especialmente en el sur (Gómez-Limón et al., 2012). Andalucía cuenta con alrededor de un 60% de la superficie total de olivar en España, más de 2,5 millones de hectáreas (MAGRAMA, 2015), representando este cultivo un 25% de la producción agraria andaluza (Consejería Agricultura y Pesca, 2006).

La tipología de las plantaciones es muy diversa, aunque alrededor del 70 % son de secano, cultivadas en suelos relativamente pobres y con pendientes elevadas (Consejería de Agricultura y Pesca, 2015). Ello propicia que este cultivo sea especialmente sensible a los procesos de degradación de suelo, con la posible pérdida de rentabilidad que conlleva (de Graaff and Eppink, 1999) y el efecto negativo de este proceso sobre la economía de los productores (Gómez-Limón et al., 2012), que han visto incrementarse de manera muy significativa en los últimos años los costes de producción, mientras que decaen los precios de las producciones agrarias (EUROSTAT, 2011). Siendo el sector del aceite de oliva uno de los más afectados en los últimos años (POOLred, 2013).

La propia tipología de las plantaciones, la existencia de un clima mediterráneo con frecuentes episodios de lluvia intensos, la escasa cobertura de suelo proporcionada por el cultivo (Pastor, 2008), y que el laboreo es el sistema de manejo de suelo más utilizado por los agricultores (MAGRAMA, 2015), ocasionan unas elevadas pérdidas de suelo (Gómez et al., 2011; Taguas et al., 2011; Vanwalleghem et al., 2010), siendo la erosión especialmente importante en eventos de lluvia de gran intensidad, con tasas erosivas superiores a los 400 Mg ha⁻¹ en algunos aguaceros extremos (Vanwalleghem et

al., 2008), lo que convierte a este proceso en el mayor problema medioambiental de la olivicultura (García-Ruiz, 2010).

Diversos trabajos han demostrado la insostenibilidad ambiental de los procesos erosivos asociados a las producciones agrícolas basadas en el laboreo del terreno (Verheijen et al., 2009; Gómez et al., 2008; Montgomery, 2007). Sin embargo, no sólo se ha de tener en cuenta la pérdida de suelo, ya que asociado al sedimento se transporta una gran cantidad de CO (Márquez et al., 2013; Martínez-Mena et al., 2008), con un elevado potencial contaminante de la atmósfera y las aguas superficiales (Zhang et al., 2006). Se estima que las emisiones mundiales de CO₂ asociadas a la erosión se encuentran entre las 0,8-1,2 Gt año⁻¹ (Lal, 2003).

Los sistemas de agricultura de conservación en cultivos leñosos, CV, presentan importantes beneficios medioambientales frente al L, ya que mantienen el suelo inalterado y cubierto por restos vegetales (González-Sánchez et al., 2012). Son diversos los trabajos que han demostrado la efectividad de estas técnicas en el olivar para reducir la escorrentía y la pérdida de suelo (Gómez et al., 2009a; Ordóñez et al., 2007; Francia et al., 2006), mejorar el balance hídrico del cultivo (Alcántara et al., 2011; Durán-Zuazo et al., 2009), reducir la contaminación de aguas superficiales (Franklin et al., 2007; Ordóñez et al., 2007) e incrementar el CO en el suelo (Márquez et al., 2013; Carbonell et al., 2010; Moreno et al., 2009), entre otros.

Sin embargo, aún existen muchos interrogantes del papel que pueden jugar las CV en la salida de C en las explotaciones olivareras, debido entre otros factores al incremento en el contenido de CO de los suelos que se produce al descomponerse los restos de la CV (Martínez-Mena et al., 2012; Repullo et al., 2012; Mchunu et al., 2011; Jacinthe et al., 2004). Por consiguiente, mediante este trabajo se persigue evaluar: 1) la influencia que diversos factores edáficos y meteorológicos tienen en la pérdida de C asociada al sedimento y 2) cómo la implantación de CV influye en el control de las salidas de este elemento.

6.2. MATERIAL Y MÉTODOS

6.2.1. Condiciones medioambientales del área de estudio

La zona mediterránea correspondiente al sur de España, que aglutina la totalidad del estudio, corresponde a un régimen de humedad xérico, según las normas establecidas por la Soil Taxonomy (USDA, 1998). Con un clima caracterizado por un periodo frío y húmedo, con frecuentes episodios tormentosos de gran intensidad, que coincide con los meses otoñales e invernales, en el que se concentran el 80% de las precipitaciones, y otro muy cálido y seco, que corresponde con la primavera y el verano. El régimen de temperaturas es térmico. Estos hechos favorecen los procesos de pérdida de suelo y un escaso contenido de CO en el mismo (Hernanz et al., 2002).

6.2.2. Campos experimentales

El estudio se realizó durante cuatro campañas (2003-2007) en ocho campos experimentales distribuidos en diferentes comarcas olivareras andaluzas de secano, ver figura 30. Tres en la provincia de Córdoba (Campo 1, 2 y 3), uno en la provincia de Sevilla (Campo 4), dos en la provincia de Jaén (Campo 5 y 6) y dos en la provincia de Huelva (Campo 7 y 8).

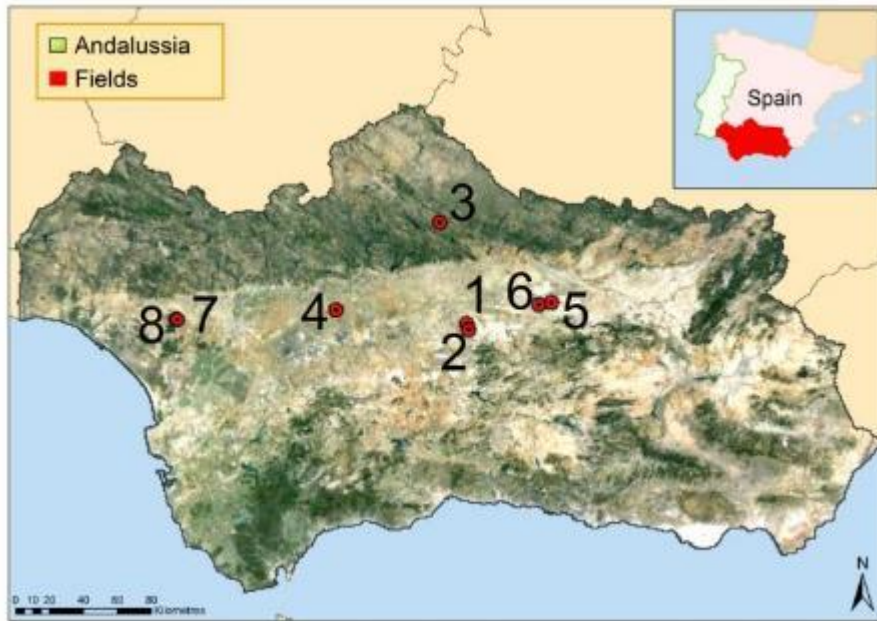


Figura 30. Mapa de la distribución de los campos experimentales en la región de Andalucía, Sur de España.

El conjunto de campos engloba los tipos de suelo más habituales de la región, tipologías de olivar y sus manejos más comunes bajo AC (ESYRCE, 2012a). Por tanto, representan de manera bastante fidedigna la realidad del olivar andaluz, obteniendo resultados muy cercanos a los reales. Sus características más relevantes aparecen descritas en la tabla 9, donde se observa como las CV más comunes son las espontaneas en sus diferentes alternativas y controles con desbroces mecánicos, siendo estos datos similares a los representativos de la región (ESYRCE, 2012b).

Tabla 9. Principales características de los campos experimentales.

Campo	Latitud	Longitud	Edad (años)	Marco (m ²)	Pendiente (%)	Cubierta ¹	Desbroce
1	37,63763	-4,48746	13	8x8	15,6	A	Mecánico
2	37,60667	-4,46990	19	7x7	21,0	C	Mecánico
3	38,14311	-4,78387	>60	Indefinido	21,7	A	Pastoreo
4	37,57577	-5,35950	11	6x8	6,2	D	Mecánico
5	37,80799	-4,03760	>70	10x10	7,6	F	Herbícida
6	37,83142	-3,95800	>70	12x12	18,7	E	Herbícida
7	37,35393	-6,39088	10	6x8	8,7	D	Mecánico
8	37,35367	-6,39346	10	6x8	9,7	B	Mecánico

El manejo de la cubierta fue distinto para cada finca, tabla 9, pues el agricultor lo realizó acorde a sus necesidades y tipología de hierbas. Por lo que la época y tipo de siega fue diferente para cada una de ellas, respondiendo a las prácticas reales de la zona en la que se encontraba. El laboreo en el interior de las trampas de los suelos manejados de forma convencional se efectuó acorde al estado de la vegetación y a las prácticas de la zona. Para ello se recurrió a una motoazada, trabajando el terreno hasta una profundidad de 20-25 cm, ver figura 31.



Figura 31. Pase de labor con motoazada dentro de la microparcela captura de escorrentía y sedimentos.

¹ **A:** Espontánea de gramíneas y hoja ancha a todo terreno; **B:** Espontánea de gramíneas y hoja ancha en bandas; **C:** Espontánea de hoja ancha a todo terreno; **D:** Espontánea hoja ancha en bandas; **E:** Sembrada de gramíneas en bandas; **F:** Restos de poda.

6.2.3. Diseño experimental y trabajo de campo

La pérdida de agua, suelo y C asociado al sedimento se midió mediante microparcels de captura de escorrentía y sedimento de 1 m² (1x1m). Cuya descripción detallada aparece en el capítulo anterior, ver figura 32. No se realizaron mediciones del CO asociado al agua de escorrentía al poderse considerar despreciables (Boix-Fayos et al., 2009; Martínez-Mena et al., 2008).



Figura 32. Pareja de microparcels, labrada (izquierda) y con cubierta vegetal (derecha).

La distribución fue en bloques al azar, con 3 pares de microparcels por campo experimental, con los dos tratamientos anteriormente descritos, CV y L. Tras cada evento de lluvia, se viajó a los distintos campos experimentales, midiendo la escorrentía generada en cada microparcels y tomando dos submuestras de 1,3 mm de volumen del agua y sedimentos contenidos en las mismas. Debido a la sedimentación producida en el bidón colector de agua y suelo, previamente a la toma de las submuestras se procedió a la agitación de los mismos con el fin de homogeneizar la distribución de sedimentos dentro del colector.



Figura 33. *Medición de escorrentía capturada por la microparcela y muestreo de la misma.*

Debido a la gran cantidad de sedimentos que quedaban depositados en la parte frontal de la trampa, en cada salida a campo se procedía a su limpieza y almacenaje en bolsa de plástico para sumarlos a los obtenidos en el agua de escorrentía, ver figura 34.



Figura 34. *Limpieza de la parte frontal de la microparcela, para obtención de sedimentos depositados.*

Coincidiendo con los muestreos de escorrentía y erosión se tomaron fotografías del interior de las trampas para evaluar el porcentaje de cobertura de suelo. Para ello se recurrió a un marco subdividido en 100 retículas cuadradas, ver figura 35. Para la toma

de imágenes se empleó una cámara digital (Nikon D80 con un objetivo 18-135 mm, 10.2 MP, 3872 x 2592). Las imágenes fueron tomadas con la ayuda de un bastidor que situaba la cámara en posición cenital a 1,5 m de altura. Las condiciones de adquisición de las imágenes fueron controladas, con el fin de reducir de manera notoria la carga para las siguientes etapas de procesamiento y obtener los mejores resultados. Por ello, las fotografías en campo se realizaron sin el uso del flash y se sombrearon de manera artificial para evitar la acción directa de los rayos solares.



Figura 35. Fotografía de microparcela de cubierta vegetal con marco reticulado.

Al inicio de la experiencia se procedió a muestrear los primeros 25 cm de suelo para caracterizar físico-químicamente los campos experimentales.

Para caracterizar los eventos de lluvia en cada campo experimental se recurrió a un medidor de precipitación (Hobo Event), que generaba pulsos eléctricos cada 0,2 mm aforados, y que eran almacenados por un sistema de adquisición de datos (Data Logger). Se consideró como evento de lluvia, aquel episodio con un periodo máximo sin precipitaciones por debajo de las seis horas, y con un mínimo de lluvia registrada de 10 mm (Ochoa, 2001).



Figura 36. Descarga de los datos almacenados por el medidor de precipitación.

6.2.4. Trabajo de laboratorio

El agua de escorrentía con los sedimentos, tras su decantación a fin de reducir el volumen a evaporar, se depositó en cápsulas de porcelana en una estufa de aire forzado a 110 °C, ver figura 37. Tras la pesada de los sedimentos secos, se obtuvo su concentración, la cual mediante extrapolación al volumen total de escorrentía, nos permitía conocer la erosión ocasionada en cada microparcela.



Figura 37. Muestras de escorrentía en cápsulas de porcelana para su secado en estufa.

Tras el secado de las muestras de sedimento, se pasaron por un tamiz de 2 mm. Posteriormente se analizó su contenido en CO siguiendo el método de Walkley y Black (1934) por oxidación con Dicromato de Posasio ($K_2Cr_2O_7$) en medio ácido.

6.2.5. Tratamiento de datos y análisis estadístico

La evaluación del porcentaje de cobertura se realizó mediante el método de estimación subjetiva por sectores (Agrela et al., 2003). Que consiste en estimar el porcentaje de cobertura en cada retícula en una escala del 0-5, obteniendo una matriz de valores cuya media indica el porcentaje de cobertura de la microparcela, ver figura 38.



Figura 38. Ejemplo de la evaluación por sectores de la fotografía situada a la derecha.

Los pulsos obtenidos por el medidor permitían caracterizar los eventos de lluvia en cantidad, intensidad y erosividad de los mismos, R ($MJ\ ha^{-1}\ mm\ h^{-1}$), que se obtuvo como el producto de la energía cinética del evento (E_{ck}) por la intensidad máxima de lluvia en 30 minutos (I_{30k} ; Renard et al., 1997), i.e:

$$R = E_{ck}I_{30k} \tag{1}$$

donde E_{ck} se expresa en $MJ\ ha^{-1}$ y I_{30k} en $mm\ h^{-1}$. Cada evento estaba formado por intervalos de lluvia, por lo que la energía cinética de la precipitación estaba compuesta

por la suma de la energía de cada intervalo de lluvia, ec_j , ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) por el total de la precipitación, i_j , (mm).

$$ec_j = 29x(1 - 0.72\exp\frac{-r}{20}) \quad (2)$$

$$E_{ck} = \sum ec_j i_j \Delta t \quad (3)$$

donde r es la intensidad de lluvia. I_{30k} se calculó por los datos aportados por el hietograma.

Para los diversos análisis estadísticos de los datos se recurrió al programa Statistix, versión 8, Tallahassee, USA. Se consideraron 3 factores: parcela, bloque y tratamiento. La comparación de medias entre estos factores se realizó mediante un test de Tukey con un grado de significación (p) $\leq 0,05$.

6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las propiedades físico-químicas de los suelos de los distintos campos experimentales, tabla 10, mostró como la mayoría de ellos se encontraban en terrenos alcalinos, salvo el 3 que era ligeramente ácido. Con unos contenidos de CO muy variables que oscilaron entre alrededor del 0,5% al 1,5%, y una concentración de carbonatos y texturas muy dispares también. Predominaron los suelos francos y arcillosos. Como se puede observar en la tabla 10, para este trabajo se consideró una variabilidad importante de propiedades de suelo, que engloba la mayoría de zonas en las que se enclava el olivar en esta región (ESYRCE, 2012a).

Tabla 10. Resumen de las características físico-químicas de los campos experimentales.

Campo	pH CaCl ₂	CO (%)	CO ₃ ⁻² (%)	Arena (%)	Arcilla (%)	Textura
1	8,1	0,65	78,6	21,3	32,9	Franco-Arcilloso
2	7,9	1,23	68,5	30,6	22,5	Franco-Arcilloso
3	6,6	1,54	8,5	37,6	5,2	Franco-Limoso
4	8,3	0,76	28,2	42,6	24,2	Franco
5	7,9	1,15	45,5	16,4	40,1	Arcilloso-Limosa
6	8,0	0,55	48,0	27,0	33,2	Franco-Arcilloso
7	7,9	0,84	18,5	35,4	22,8	Franco
8	8,1	0,89	20,1	28,4	29,8	Franco-Arcilloso

CO: Carbono orgánico

Las precipitaciones (PreP) y su erosividad (R) mostraron una importante variabilidad entre los diferentes campos experimentales y años, tabla 11. Las precipitaciones totales (Tot PreP) variaron de media desde los 337 mm del campo 1 a los 453 mm de los campos 7 y 8. Teniendo una precipitación media por evento (Av PreP) en la mayoría de las ocasiones de alrededor de 50 mm. Aunque con relativa frecuencia se registraron eventos de importante cuantía, siendo habituales precipitaciones máximas (Max PreP) que superaron los 100 mm. Las erosividades totales (Tot R), medias (Av R) y máximas (Max R) sufrieron una evolución similar, con gran variación entre fincas y años. Sus valores totales oscilaron entre los 211 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ del campo 1 y los 638 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ del 6, sin corresponderse este último con los campos que registraron

precipitaciones de mayor cuantía. Av R presentó una mayor variabilidad entre campos que las Av PreP, oscilando desde 24 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹, campos 1 y 2, a 88 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹, campos 7 y 8. En algunos casos se registraron eventos de extrema erosividad que superaron en alguna ocasión los 400 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹. Estos valores se aproximan a los medidos en estudios similares llevados a cabo en esta región (Durán-Zuazo et al., 2009; Francia-Martínez et al., 2006).

Tabla 11. Media y desviación de la precipitación (mm) y erosividad (MJ ha⁻¹ mm h⁻¹) de lluvia total, media y máxima durante las 4 campañas de estudio y campos experimentales.

Campo	Tot PreP	Av PreP	Max PreP	Tot R	Av R	Max R
1	337,3 ± 108,6	41,3 ± 14,4	90,2 ± 29,0	211,5 ± 113,7	24,3 ± 12,2	54,1 ± 32,2
2	404,0 ± 196,6	46,9 ± 23,5	88,2 ± 33,9	213,1 ± 118,8	24,4 ± 12,1	56,5 ± 28,9
3	448,1 ± 179,6	64,8 ± 35,7	161,1 ± 93,3	453,5 ± 357,3	68,8 ± 61,1	210,3 ± 174,3
4	388,2 ± 131,5	49,8 ± 10,7	104,0 ± 36,5	352,9 ± 214,2	50,3 ± 24,6	146,4 ± 92,7
5	383,5 ± 144,3	48,5 ± 13,1	77,4 ± 24,2	519,6 ± 414,6	58,9 ± 39,3	226,2 ± 258,7
6	397,3 ± 145,2	49,8 ± 8,4	84,2 ± 18,4	638,4 ± 591,6	73,2 ± 57,1	227,2 ± 258,0
7 & 8	453,2 ± 157,7	70,9 ± 38,3	130,6 ± 44,6	578,7 ± 260,3	88,2 ± 45,5	247,9 ± 88,2

PreP: precipitación; R: erosividad de lluvia; Tot: total; Av: media; Max: máxima

De los 214 muestreos realizados en los campos experimentales, el 6% de ellos registraron una precipitación superior a 100 mm, ocasionando unas pérdidas de escorrentía respecto a las totales que se correspondieron con el 26% para el L y 28% para las CV, tabla 12. En el caso de la pérdida de suelo y CO los porcentajes del L fueron superiores a los de las CV para este intervalo. Para el caso de la intensidad de lluvia, el 12 % del total de eventos, con una R > 100 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹, produjeron más del 30% del total de pérdidas de escorrentía en ambos sistemas de manejo de suelo. Sin embargo, en el L sólo estos 29 eventos ocasionaron un 46% del total de las pérdidas de suelo y 29% de CO. Para el caso de las CV, estos porcentajes fueron inferiores especialmente en el caso de las salidas de CO, donde estos aguaceros de gran intensidad sólo significaron un 12% del total de pérdidas, siendo los eventos de más escasa cuantía los que registraron mayores extracciones de este elemento.

Este último aspecto, está relacionado con la riqueza superficial de estos suelos en CO, ya que en uno de los campos (3) se registró tras los cuatro años de estudio un

incremento en los primeros 25 cm de suelo cercano al 60% más con las CV respecto al L. En cuatro de ellos (1, 2, 6 y 8) este incremento varió entre el 40 y 50%. Dos de ellos (4 y 5) sólo aumentaron su contenido alrededor del 5%. Por último, el campo 7 fue el único que mostró un descenso en el contenido de CO con las CV, siendo este tan sólo de un 9%.

Tabla 12. Distribución del porcentaje de pérdidas de escorrentía, erosión y salida de CO en función de las características de los eventos de lluvia.

		Escorrentía (%)		Erosión (%)		Pérdida CO (%)		Chubascos	
		L	CV	L	CV	L	CV	n	%
Precipitación(mm)	0-10	0	0	1	1	2	2	8	3
	10-30	8	7	10	18	14	27	63	26
	30-60	29	26	39	35	37	32	94	39
	60-100	37	39	24	28	26	24	61	25
	>100	26	28	26	18	21	15	15	6
R (MJ ha⁻¹ mm h⁻¹)	0-10	7	6	3	7	5	9	49	20
	10-30	28	28	21	29	29	34	82	34
	30-60	16	15	12	12	15	18	47	20
	60-100	18	19	18	24	22	27	34	14
	>100	31	32	46	28	29	12	29	12

L: Laboreo; CV: Cubierta vegetal; R: Erosividad; CO: Carbono orgánico

El incremento del contenido de CO en las parcelas con CV, ocasionó una mayor concentración de este elemento en el sedimento en los suelos con este manejo frente a los de L, decreciendo rápidamente ésta cuando aumentó la pérdida de suelo (figura 39). Estos resultados coinciden con los observados por Martínez-Mena et al. (2012) y Jacinthe et al. (2004), que encontraron una relación negativa entre la concentración de CO y la intensidad de la lluvia. En el caso del laboreo la concentración de C no varió significativamente con el aumento de la erosión.

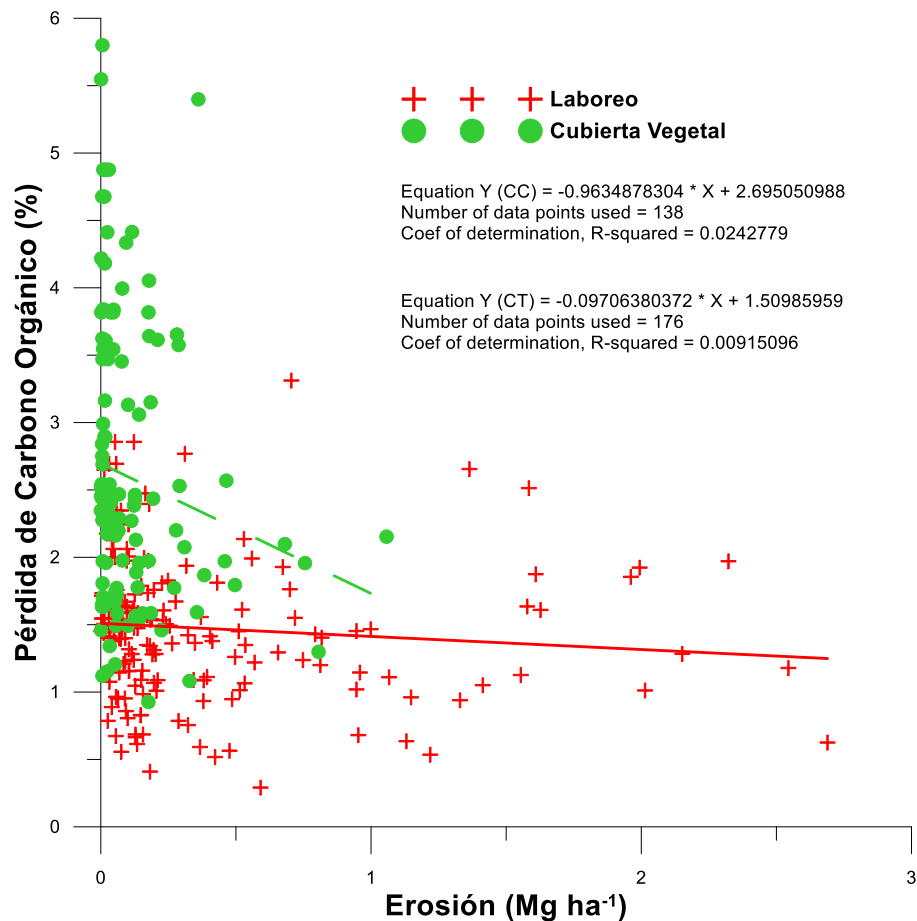


Figura 39. Concentración de Carbono orgánico asociado al sedimento en función de la pérdida de suelo.

La matriz de correlaciones, tabla 13, muestra como existe una fuerte relación positiva entre la salida de CO de las explotaciones y la Tot PreP, Tot R y Max R. Sobre estos parámetros propios de las precipitaciones no se puede actuar de manera directa, aunque como se muestra en la tabla 12, si protegemos el suelo con una CV las precipitaciones cuantiosas e intensas tienen una menor influencia en la pérdida de CO, suelo y agua que en aquellos sistemas en los que el suelo permanece desprotegido. Por otra parte, se aprecia como la salida de CO también estuvo fuertemente influenciada por el incremento de la erosión y esorrentía, y que estos tres parámetros estuvieron correlacionados negativamente con el porcentaje de cobertura de suelo. Estos resultados coinciden con otros estudios realizados en olivar bajo condiciones climáticas similares (Durán-Zuazo et al., 2009; Gómez et al., 2009 b; Martínez-Mena et al., 2008; Francia-Martínez et al., 2006).

Tabla 13. Matriz de correlaciones de los diversos indicadores muestreados.

	Pendiente	Arcilla	Limo	Arena	Cobertura	Erosión	Escorrentía	Pérdida CO	Tot PreP	Av PreP	Max PreP	Tot R	Av R	Max R
Pendiente	1	r = -0,456 P = 0,000	r = 0,687 P = 0,000	NS	NS	NS	r = 0,248 P = 0,048	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Arcilla		1	r = -0,574 P = 0,000	r = -0,755 P = 0,000	NS	NS	NS	NS	NS	NS	r = -0,458 P = 0,008	NS	NS	NS
Limo			1	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Arena				1	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cobertura					1	r = -0,470 P = 0,000	r = -0,354 P = 0,004	r = -0,477 P = 0,001	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Erosión						1	r = 0,638 P = 0,000	r = 0,925 P = 0,000	r = 0,483 P = 0,005	NS	NS	r = 0,632 P = 0,000	NS	r = 0,498 P = 0,004
Escorrentía							1	r = 0,644 P = 0,000	r = 0,678 P = 0,000	r = 0,380 P = 0,032	r = 0,322 P = 0,050	r = 0,475 P = 0,007	r = 0,399 P = 0,026	r = 0,399 P = 0,050
Pérdida CO								1	r = 0,559 P = 0,005	NS	NS	r = 0,694 P = 0,000	NS	r = 0,588 P = 0,003
TotPreP									1	r = 0,608 P = 0,000	r = 0,594 P = 0,000	r = 0,732 P = 0,000	r = 0,647 P = 0,000	r = 0,601 P = 0,0000
Av PreP										1	r = 0,871 P = 0,000	r = 0,430 P = 0,016	r = 0,815 P = 0,000	r = 0,438 P = 0,014
Max PreP											1	r = 0,425 P = 0,017	r = 0,740 P = 0,000	r = 0,443 P = 0,013
Tot R												1	r = 0,822 P = 0,000	r = 0,936 P = 0,000
Av R													1	r = 0,817 P = 0,000
Max R														1

PreP: precipitación; R: erosividad de lluvia; Tot: total; Av: media; Max: máxima

Por tanto, resulta previsible que los sistemas que aumenten la cobertura, reduzcan las pérdidas de suelo y agua, y por consiguiente las salidas de CO. La figura 40, muestra la cobertura media anual de cada campo experimental, y se aprecia como existen diferencias significativas entre sistemas de manejo, con mayor porcentaje de superficie cubierta en todos los suelos con CV. Los sistemas de conservación de suelo mantuvieron anualmente cubierto el terreno con más de un 45% en todas las ocasiones, con una media para los ocho campos experimentales del 65,7%. Mientras que el L siempre mantuvo una cobertura inferior al 30% salvo en el campo 4, que rondó el 35%. En este sistema de manejo de suelo se obtuvo una media anual de cobertura de los ocho campos experimentales del 22,4%.

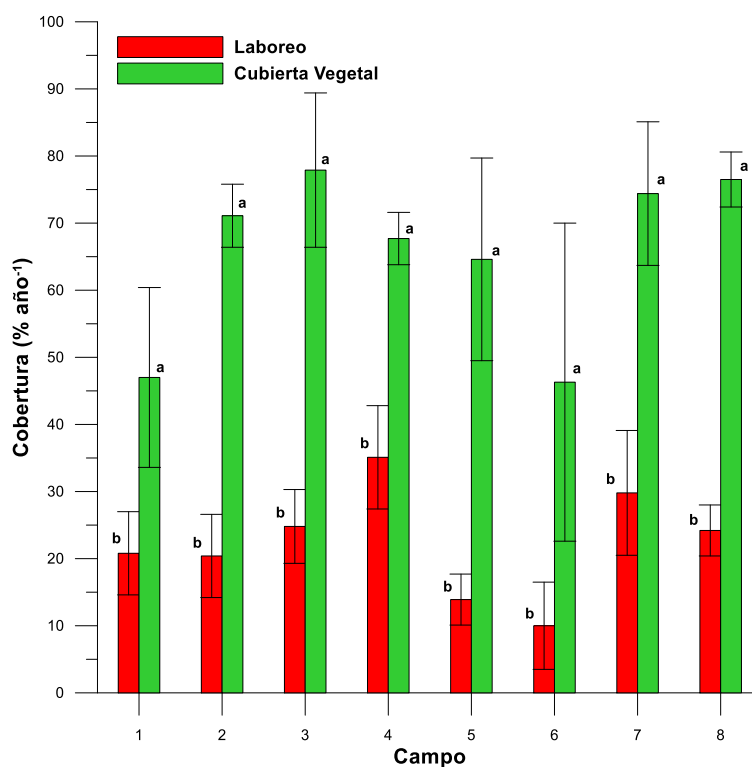


Figura 40. Porcentaje de cobertura medio durante los cuatro años de estudio para los distintos campos experimentales y sistemas de manejo.

Diversos trabajos consideran que un sistema de manejo de suelo se considera de conservación cuando mantiene el suelo cubierto por restos vegetales con al menos un 30 % de cobertura (FAO, 2000; González-Sánchez et al., 2012), ya que a partir de estos valores la pérdida de suelo decrece de manera significativa. La figura 41 muestra como

la erosión disminuyó de manera importante a partir de un 30% de cobertura de suelo, siendo muy baja para valores superiores al 60%. En esta figura se aprecia cómo sólo el 9,6 % de los 218 muestreos realizados en las CV presentaron valores de cobertura por debajo del 30%, y el 32,1 % por debajo del 60%. Para el L esta situación fue la inversa, pues el 73,9 % de todos los muestreos arrojaron una cobertura inferior al 30% y el 92,7% al 60%.

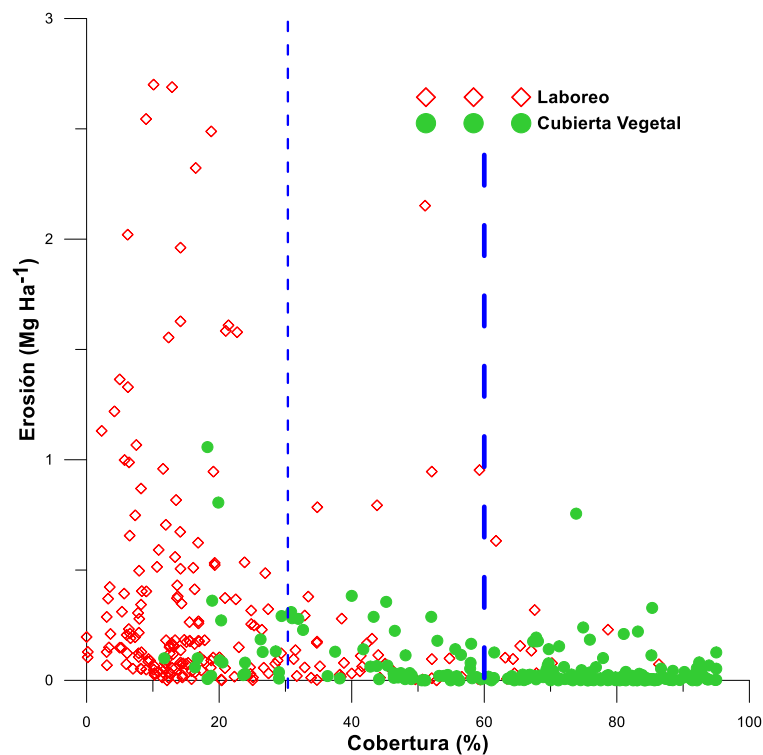


Figura 41. Erosión en función del porcentaje de cobertura de suelo.

Este aumento en el porcentaje cobertura propiciado por los sistemas de conservación produjo una disminución importante en la pérdida de suelo, agua y CO₂, tabla 14. La escorrentía se redujo anualmente de media un 37,6 %, presentando diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de los campos, salvo el 5, 7 y 8. Estos valores medios del estudio son inferiores a los medidos por Gómez et al. (2009b) en un olivar del sur de Andalucía (64,4 %), aunque superiores a los registrados por Gómez et al. (2011) en olivares distribuidos por distintos países europeos, 15,0%. La reducción registrada en la escorrentía se aproximó con la medida por Francia-Martínez et al. (2006) en otro olivar andaluz, 28,1%.

La erosión es la que mayor porcentaje de reducción mostró de estos tres indicadores, disminuyendo de media anualmente para las CV en un 85,6 %. Sólo los campos 1 y 4 no mostraron diferencias significativas aunque en ellos la pérdida anual de suelo se redujo de media en 51,6 % y 86,2 % respectivamente. Estos valores medios del trabajo son superiores a los obtenidos por Francia-Martínez et al. (2006) y Gómez et al. (2011), 59,5 y 62,4% respectivamente, y algo inferior a los obtenidos por Gómez et al. (2009b), 97,9%.

La salida de CO se redujo anualmente de media en un 76,4 %, mostrando diferencias estadísticamente significativas los campos: 2, 3, 5 y 6. Este valor medio está comprendido entre los resultados obtenidos por Gómez et al. (2001) a escala europea, 64,1%, y los resultados de Gómez et al. (2009b) a escala andaluza, 97,3%.

Tabla 14. Pérdidas anuales medias de suelo, escorrentía y CO.

Campo	Escorrentía (mm ha ⁻¹ año ⁻¹)		Erosión (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)		Pérdida CO (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)		n
	L	CV	L	CV	L	CV	
1	20,7 ± 2,8 a	15,9 ± 5,4 b	1,28 ± 0,7 a	0,62 ± 0,4 a	16,0 ± 9,7 a	8,8 ± 5,4 a	35
2	49,7 ± 30,1 a	18,7 ± 12,0 b	2,16 ± 1,7 a	0,41 ± 0,3 b	47,1 ± 21,1 a	11,8 ± 7,0 b	35
3	43,2 ± 13,2 a	21,5 ± 12,9 b	2,8 ± 1,4 a	0,23 ± 0,2 b	55,9 ± 11,2 a	14,8 ± 11,8 b	30
4	22,4 ± 22,7 a	12,2 ± 8,4 b	2,46 ± 2,6 a	0,34 ± 0,2 a	50,9 ± 58,1 a	12,2 ± 9,1 a	31
5	17,1 ± 9,9 a	18,7 ± 14,3 a	2,3 ± 1,5 a	0,44 ± 0,3 b	33,6 ± 28,2 a	9,8 ± 5,8 b	31
6	63,5 ± 18,8 a	30,6 ± 11,8 b	8,21 ± 4,3 a	1,35 ± 0,4 b	79,7 ± 56,5 a	19,4 ± 11,9 b	30
7	46,9 ± 28,5 a	33,2 ± 15,3 a	8,15 ± 8,1 a	0,66 ± 0,5 b	76,3 ± 92,9 a	12,1 ± 11,6 a	29
8	30,3 ± 25,2 a	32,5 ± 27,5 a	3,66 ± 4,0 a	0,3 ± 0,5 b	43,8 ± 61,7 a	6,2 ± 7,1 a	29
Media	36,7 a	22,9 b	3,79 a	0,54 b	50,4 a	11,9 b	

CO: Carbono orgánico; L: Laboreo, CV: Cubierta vegetal; n: número de salidas de muestreo en cada campo experimental

La figura 34 muestra los componentes principales de la salida CO de las explotaciones tanto para las CV, como para el L. En ella se muestra como en la pérdida de CO para el caso del L, figura 42A, se aprecian dos familias, apareciendo la cobertura del suelo de manera independiente. Una de ellas relaciona la salida de CO a la cuantía de la precipitación y a la escorrentía y una segunda dependiente de la erosividad del evento y la pérdida de suelo generada. Para las CV, de nuevo se aprecian dos familias y la cobertura de suelo independiente. En el caso de los sistemas de conservación de suelo, figura 42B, la salida de CO de las explotaciones se caracterizó por la cuantía y

erosividad del evento de lluvia, por una parte, y por la erosión y escorrentía generadas. Estos datos coinciden con los expuestos en la tabla 12 en los que se aprecia como los eventos de alta intensidad fueron más importantes para la pérdida de CO y suelo en el L, siendo los de alta cuantía (>60 mm) más representativos de la pérdida de agua por escorrentía. Para el caso de las CV la salida de CO se vio menos influenciada por las características del evento de lluvia.

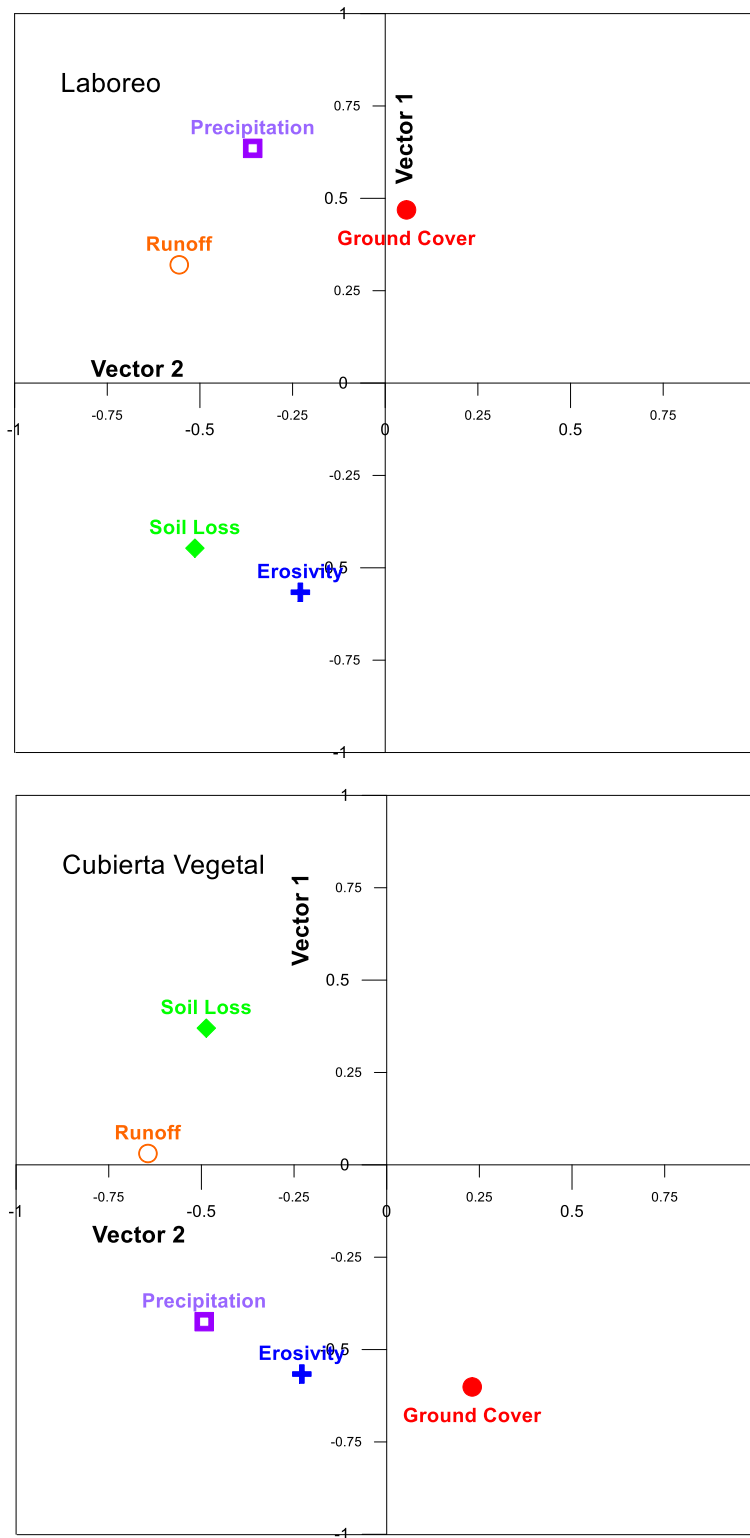


Figura 42. Componentes principales de la pérdida de Carbono orgánico para el Laboreo y la Cubierta vegetal.

6.4. CONCLUSIONES

En las condiciones de estudio las cubiertas vegetales se mostraron como un sistema muy eficaz para reducir la salida de carbono orgánico de las explotaciones olivareras, a pesar de aumentar la concentración de este elemento en el suelo.

Estas mejoras estuvieron directamente influenciadas por el aumento en la cobertura del suelo, que pasó de una media anual del 22,4% en el laboreo, al 65,7% para las cubiertas vegetales.

Esta mayor protección del terreno originó un descenso medio en la pérdida de agua por escorrentía del 37,6%, y en la de suelo del 85,6%. Estos hechos propiciaron que la salida de carbono orgánico de las explotaciones olivareras se redujera de media con la aplicación de cubiertas vegetales en un 76,4% respecto al laboreo, cambiando los parámetros de los que depende esta salida en función del manejo de suelo llevado a cabo.

CAPÍTULO 3

Estudiar la mejora del balance hídrico olivar mediante la
implantación de cubiertas vegetales como medida de adaptación
al cambio climático

7. ESTUDIAR LA MEJORA DEL BALANCE HÍDRICO OLIVAR MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE CUBIERTAS VEGETALES COMO MEDIDA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

7.1. INTRODUCCIÓN

Las cubiertas vegetales fueron introducidas en España como método de control de la erosión, que constituye uno de los mayores problemas agroambientales. Aunque la información sobre la pérdida de suelo en los olivares ha demostrado su efectividad como medida de control, (Gómez et al., 2009a; Ordóñez et al., 2007; Francia et al., 2006; Gómez, 2005; Espejo-Pérez *et al.* 2004), hay discrepancias entre algunas estimaciones (Wilkinson y McElroy, 2007). En cualquier caso, lo que es un hecho de carácter general en el mundo, son los estragos de la erosión, tanto en truncamiento de perfiles de suelo como en la dispersión de los sedimentos. La reducción de las labores mejoró parcialmente la condición de la planta al disminuir los daños a los sistemas radicales, pero al reducirse la velocidad de infiltración del agua en el suelo se generan mayores caudales de escorrentía superficial, y, con ellos, más pérdidas de suelo y dispersión de sedimentos en las respectivas cuencas. Por ello se recurre a la hierba, para que mantenga una protección prolongada del suelo sin llegar a ser una competidora con la planta cultivada, el olivo, por el aprovechamiento del agua y otros nutrientes (González-Sánchez et al., 2015). De esta forma al término de la estación de lluvias se siegan las plantas que crecen entre los árboles con el fin de que no compitan por la humedad del suelo con el olivo, con la esperanza de que rebroten al principio de la próxima estación de lluvias.

La cubierta vegetal puede ser la solución más eficaz para reducir la erosión y mejorar la fertilidad del suelo, (Blevins, 1986), pero ha de segarse en el momento preciso en que comienza la competición por los recursos, especialmente por el agua, principal factor limitante de la producción en la olivicultura de secano (Berengena, 1998), sistema productivo más común en Andalucía, ocupando un 82,5% de la superficie total cultivada con este árbol (Eslava-Galán, 2003). El conocimiento de tal momento es difícil pues varía con el tipo de cubierta, suelo, meteorología y vegetación arvense propios de cada año.

Por tanto, el mayor inconveniente que presenta este sistema de conservación, es que la transpiración de las plantas herbáceas de la cubierta empieza a ser elevada al llegar la primavera. Márquez (2006) observó durante dos años en diferentes tipos de cubiertas y lugares, cómo, a partir de finales de marzo y principios de abril, la transpiración de estas plantas llegaba a unos 5 y 7 mm diarios, dependiendo de la especie la humedad del suelo y del manejo de la cubierta, siega o no. El consumo de agua por la cubierta durante el periodo de la floración del olivo, puede disminuir apreciablemente la producción de aceite (Barranco et al., 2008).

Por ello, un manejo adecuado de la cubierta vegetal requiere determinar con precisión el momento en el que se ha de segar física, con desbrozadora o pastoreo, o químicamente, con herbicidas. De ahí la importancia que tiene el conocimiento de la evolución espacio-temporal de la humedad del suelo en olivares con cobertura vegetal.

Para determinar el momento óptimo de siega se puede recurrir a modelos que describan la evolución de la humedad del suelo en función de las características indicadas anteriormente. Sin embargo, a medida que el número de variables de entrada crece, más difícil resulta la aplicación práctica de estos. Por otra parte la variabilidad espacial de los procesos requiere un esfuerzo adicional para el usuario del modelo. Por ello, se ha elegido un modelo sencillo de los que reducen el suelo a un cubo en el que se resumen los rasgos más importantes de su comportamiento. Vanderlinden *et al.* (2005) adoptaron el modelo de Milly (1994) en el que el suelo no ejercía control alguno sobre la evaporación, excepto su propia disponibilidad de agua, para analizar el balance de agua a escala regional. Sin embargo, parece más conveniente incluir alguna resistencia a la evaporación en el suelo, aunque sea una sencilla proporción de la humedad que éste tiene en cada momento, como propusieron Thornthwaite y Mather en su esquema (Steenhuis y van der Molen, 1986). Las variables de entrada de este modelo son las intensidades respectivas de precipitación y evapotranspiración de referencia. El modelo requiere dos parámetros adicionales: el volumen máximo de agua que puede albergar el suelo y un coeficiente de reducción de la intensidad de evaporación de referencia.

Con este propósito se han muestreado sistemáticamente la humedad volumétrica de los suelos de diversos olivares, considerado la posición relativa del suelo con respecto al olivo, teniendo en cuenta el movimiento aparente del sol en los ciclos diurno y anual. Además, se realizó una exploración del uso de un modelo sencillo para describir la

evolución de la humedad en suelo de olivar bajo CV y L, contrastándolo con los datos de campo.

7.2.MATERIAL Y MÉTODOS

7.2.1. Características de los campos experimentales

Se muestrearon ocho parcelas experimentales distribuidas por Andalucía. Tres en la provincia de Córdoba (C3, Castro del Río; C4, Nueva Carteya y C5, Obejo), dos en Huelva (H1 y H2, Chucena), dos en Jaén (J1, Torredonjimeno y J2, Torredelcampo) y una en Sevilla (S2, La Campana). Existía gran variabilidad entre las diferentes fincas, tanto en el tipo de cubierta vegetal, como en el sistema de manejo de la misma por los respectivos propietarios.

- **C3**: olivar de regadío, de 15 años, a un solo pie y con un marco de plantación de 8x8 m². La pendiente media de la finca es del 15%, con textura franco-arcillosa en los primeros 20 cm, y un 1,09% de materia orgánica. Se trata de cultivo ecológico. Posee una cubierta vegetal espontánea de malas hierbas a todo terreno, con abundancia de gramíneas y presencia a principios de la primavera de jaramago (*Diploaxis virgata* (Cav.) DC.). Siega la cubierta vegetal mecánicamente, con uno o dos pases de desbrozadora de cadenas, realizando con posterioridad uno o dos pases de cultivador para eliminar el posible rebrote de la misma, inyectar la vinaza mediante éste y destruir las galerías de los topos, muy comunes en esta finca.
- **C4**: olivar de un solo pie, con un marco de 7x7 m² y 20 años de edad. La finca se distribuye por la solana de una zona de pendiente acusada y variable, de un 23,7% en la zona media hasta un 8,5% en la zona baja. Es un suelo franco, con bastante materia orgánica, 2,09%. Es también cultivo ecológico, con cubierta vegetal espontánea de malas hierbas a todo terreno, formada básicamente por gramíneas y dicotiledóneas el primer año y exclusivamente por dicotiledóneas el segundo, que se controlan mediante desbrozado mecánico con desbrozadora de cadenas.
- **C5**: situado en la sierra cordobesa, es un olivar viejo de un solo pie, con aprovechamiento ganadero. No tiene marco definido y el volumen de copa es reducido. La topografía es irregular con afloramientos rocosos y el suelo muy somero con textura franco limosa y materia orgánica elevada, 2,62%, debido al

ganado que ha pastado en él. Tiene una cubierta de gramíneas y leguminosas, que es desbrozada mediante pastoreo de ovino.

- **J1:** es un olivar a dos pies con más de cincuenta años y un marco de plantación de 10x10 m². La pendiente media es 7,6%, y posee una cubierta vegetal inerte a base de restos de poda. Las malas hierbas de la zona cubierta se tratan con glifosato (sal isopropilamina de N-(fosfometil) glicina).
- **J2:** está muy próxima a la J1. Es un olivar antiguo de dos pies, con un marco de 12x12 m² y una pendiente media del 18,6%. La cubierta establecida es sembrada con ballico (*Lolium rigidum L.*), que es segado químicamente mediante la aplicación de glifosato.
- **S2:** olivar joven (12 años) de un pie, con un marco de 8x6 m². Los olivos están plantados sobre caballones, para evitar problemas de encharcamiento. Son de la variedad gordal y están regados por goteo. Hay especies perennes entre las malas hierbas (malváceas, coniza (*Coniza bonariensis L.*)) y especies de primavera (tomatito (*Solanum nigrum L.*)).
- **H1 y H2:** están separadas entre sí tan sólo 220 m. La pendiente media en H1 es del 8,7% y en H2 es 9,7%. Es una plantación de olivar arbequino de 10 años, con un marco de 6x8 m². Ambas poseen cubiertas vegetales espontáneas de malas hierbas entre las calles de la plantación, prevaleciendo en la primera las malváceas y en la segunda algunas gramíneas y relojito (*Erodium malacoides L.*), que son eliminadas mediante desbroce mecánico, recurriendo a la siega química con glifosato, en el caso de existir rebrotes de las hierbas.

7.2.2. Trabajo de campo

Durante cuatro campañas se realizaron salidas periódicas a campo, en las que cada 4-5 semanas o tras cada evento de lluvia, se extrajeron muestras de suelo con una barrena Edelman (ver figura 43) para cada uno de los sistemas de manejo, CV y L, en los intervalos de humedad 0-0,05, 0,05-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4 y 0,4-0,6 m.



Figura 43. Extracción de muestras de suelo con barrena para medir humedad volumétrica.

Además de estos muestreos, en cada parcela se eligió un olivo representativo de la finca, realizando muestreos de humedad en tres zonas según se indica en la figura 44. Se tomaron dos muestreos en el centro de la calle (3, calle) dos justo donde terminaba la copa del árbol (2, perímetro) y otros dos junto al troco (1, bajo olivo). Las muestras de suelo se extrajeron con una barrena Edelman en los intervalos de humedad 0-0,05, 0,05-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6, 0,6-0,8 m.

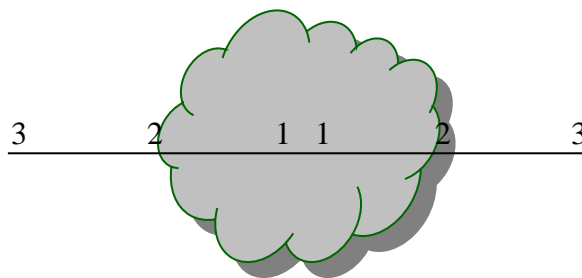


Fig. 44. Zonas de muestreo. 1. Junto al tronco (Bajo olivo). 2. Donde acaba la copa (Perímetro,). 3. Centro de la calle (Calle)

La exploración de los primeros 0,6 m del perfil pretende estimar la influencia de la posición del árbol con respecto a la trayectoria solar, en la variación espacio-temporal

de la humedad, así como la de las plantas de la cubierta, ya que esta zona es la más sombreada por la copa del olivo. Los muestreos más profundos, hasta 0,8 m pueden esclarecer la interacción entre el olivo y la cubierta en las tres zonas, calle, interior y perímetro de la copa. El aumento en la profundidad de muestreo se debe al mayor alcance de las raíces de ambas plantas.

Una vez recogidas las muestras, se guardaron en bolsas de plástico cerradas herméticamente y almacenaron en cámara frigorífica hasta medir su humedad volumétrica por pesada, desecación en estufa a 110 °C durante dos días, ver figura 45, y pesada en el laboratorio.



Figura 45. Muestras de suelo en estufa para el cálculo de su humedad volumétrica.

La densidad aparente se midió con cilindros huecos de acero inoxidable de 0,06 m de altura y 0,052 m de diámetro interior, como se comentó en el capítulo 1.

El grado de cobertura de suelo se midió por el método de Agrela (2003) con fotografías realizadas sobre una retícula de 1 m², como se ha comentado con anterioridad.

7.2.3. Trabajo de gabinete

El cálculo de la evolución espacio-temporal de la humedad se efectuó con el método de las diferencias relativas propuesto por Vachaud *et al.* (1985). Se disponía de muestreos en diferentes zonas circundantes al olivo, obteniendo un total de 10 puntos por ensayo (6 en la calle, puntos 1 a 6), 2 en el perímetro (7 y 10) y 2 bajo la copa (8 y 9)), como se aprecia en la figura 46, en la que también se muestra el ángulo α , que representa la posición del norte geográfico respecto a la línea imaginaria que une los puntos del 10 al 7, en el sentido contrario al giro de las agujas del reloj.

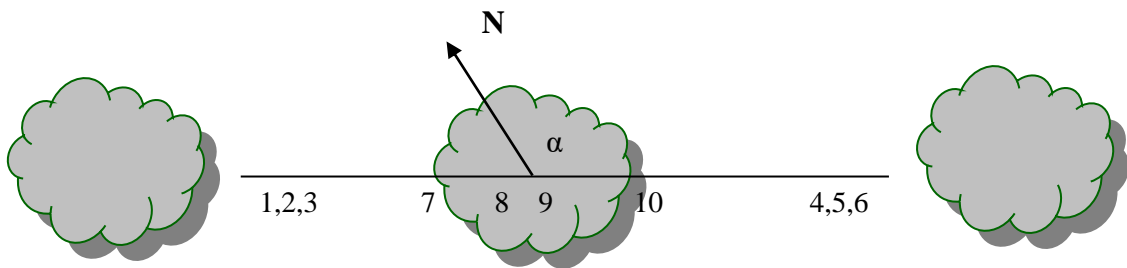


Figura 46. Valores asignados a los puntos de muestreo y ángulo α .

La estabilidad temporal fue definida por Vachaud *et al.* (1985) como el mantenimiento de unos parámetros de la distribución temporal de una propiedad del suelo. Para el análisis de la estabilidad temporal de las series de humedad del suelo se usaron la media y la desviación típica de la diferencia relativa δ_{ij} , en la que el índice j representa la variable tiempo, en este caso días, y la i el punto de muestreo.

La variable δ_{ij} es el valor normalizado de la desviación de los valores medidos de humedad, S_{ij} , con respecto a la media, S_j

$$S_j = n^{-1} \sum_{i=1}^n S_{ij} \quad (1)$$

$$\delta_{ij} = (S_{ij} - S_j) / S_j \quad (2)$$

La media de las desviaciones es δ_i

$$\delta_i = m^{-1} \sum_{j=1}^m \delta_{ij} \quad (3)$$

y su desviación típica σ_{δ_i} ,

$$\sigma_{\delta} = (m-1)^{-1} \sum_{j=1}^m (\delta_{ij} - \delta_j)^2 \quad (4)$$

El coeficiente del cultivo para el cálculo de la evapotranspiración, K_c , se estimó con el modelo de Ritchie (1972), que separa la transpiración de la evaporación desde la superficie del suelo.

$$K_c = 0.14 + 1.08 \cdot f_{sc} + \frac{13.3 - 5.2 \cdot f_{sc}}{IL \cdot ET_0} \quad (5)$$

siendo ET_0 la intensidad de la evapotranspiración de referencia, mmd^{-1} , IL la duración del intervalo entre lluvias en días, y f_{sc} la fracción de suelo cubierto.

Se tomaron los valores de precipitación y evapotranspiración de referencia diarias de las estaciones agroclimáticas de la Junta de Andalucía cercanas: Baena, para C3 y C4; Adamuz para la C5; Higuera de Arjona para J1 y J2; Lora del Río para S2 y la Palma del Condado para H1 y H2. La evapotranspiración en la parcela, ET , se obtiene aplicando la fórmula:

$$ET = K_c \cdot ET_0 \quad (6)$$

Esta expresión es válida mientras no aparezca estrés hídrico suficiente en la planta que restrinja el flujo de agua, lo que normalmente sucede cuando se ha agotado el 80% del agua extraíble del suelo. Por debajo de ese umbral el valor del coeficiente K_c desciende linealmente hasta alcanzar el valor 0 cuando se alcanza el punto de marchitez permanente del suelo (Villalobos *et al.* 2002).

Para estimar la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, se midieron las humedades correspondientes a unas componentes matriciales del potencial de -0,033 y -1.5 MPa, mediante el equipo de placas y membrana de presión (Dane y Hopmans, 2002).

El balance anual de agua en el suelo se aproximó con el modelo de Thorthwaite y Mather (Steenhuis y van der Molen, 1986), basado en una pérdida de agua por evaporación proporcional a la humedad presente en el suelo,

$$\frac{dS}{dt} = (EP - P) \frac{S}{S_{max}} \quad (7)$$

Donde EP es evapotranspiración potencial diaria, P es la precipitación diaria, S la humedad almacenada en el perfil del suelo y S_{max} su valor máximo o capacidad total.

De esta forma a medida que el suelo se deseca aumenta su resistencia a perder un mayor volumen de agua.

Las variables del modelo son la precipitación y la evapotranspiración diarias recogidas en las estaciones meteorológicas cercanas (Junta de Andalucía, 2006), y los datos de humedad registrados en los muestreos efectuados.

El valor de los parámetros del modelo, S_{max} y un coeficiente de cubeta (C_u), que reduce el valor medido de la evapotranspiración de referencia, se estimaron minimizando la función objetivo U , suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores de humedad medidos, S_{oi} , y estimados, S_{ci} , para el día i -ésimo, siendo n_o el número total de observaciones.

$$U = \sum_{i=1}^{n_o} (S_{oi} - S_{ci})^2 \quad (8)$$

Se usó el algoritmo de Rosenbrock (Press *et al.*, 1992, § 16.6) para minimizar la función objetivo. Como parámetro de la bondad del ajuste, se ha adoptado el valor de la eficiencia de Nash y Sutcliffe (Beven, 2000, § 7.3), E ,

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n_o} (S_{oi} - S_{ci})^2}{\sum_{i=1}^{n_o} (S_{oi} - \bar{S}_{oi})^2} \quad (9)$$

siendo \bar{S}_{oi} la media de las observaciones.

7.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 15 muestra la posición de los puntos muestreados para cada finca, resultante de ordenar la variable δ_{ij} de forma creciente respecto a la humedad en el horizonte 0-0,6 m y el ángulo α , formado por la línea de muestreo de puntos en el árbol con respecto al Norte. El contenido de agua aumenta de izquierda, posición primera, a derecha, posición décima.

Tabla 15. Posición de cada punto de muestreo con respecto a sus compañeros y ángulo α . Profundidad de muestreo 0-0,6 m.

Parcela	Posición										α
	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto	Sexto	Séptimo	Octavo	Noveno	Décimo	
C3	7	8	9	10	4	5	2	3	1	6	320°
C4	5	7	8	3	4	6	9	2	1	10	210°
C5	5	9	6	10	2	3	1	8	7	4	40°
J1	9	7	3	2	8	10	4	1	6	5	220°
J2	8	7	9	5	2	10	1	4	3	6	260°
S2	9	7	10	4	1	2	8	6	5	3	225°
H1	6	3	10	5	4	9	2	8	1	7	0°
H2	7	9	8	2	5	4	1	6	3	10	180°

Como se aprecia los puntos de bajo olivo (rojo) y perímetro (naranja), ocuparon en la mayoría de ocasiones las posiciones más secas para todo el conjunto de fincas excepto H1, C5 y C4. Para algunas fincas como C4, C5, H1, H2 y en menor medida J1 y J2 se observa que había un punto del perímetro (7 o 10) que es el más húmedo o se encuentra entre ellos. Que el punto más húmedo sea el 7 o el 10 depende del ángulo α , así los ángulos cercanos a 0 provocan que el punto más húmedo sea el 7, y los cercanos a 180 el 10. Esto demuestra que la insolación mayor en el borde meridional de la copa, reduce la humedad del suelo más que en el borde septentrional.

Por las limitaciones de espacio, y por la semejanza en los comportamientos, se expone sólo la variación temporal y espacial observada en las parcelas C4 y J1.

Las figura 47 muestra la posición que ocupa cada punto de muestreo para todas las profundidades y para el total del perfil muestreado. En el eje ordenadas se muestra la diferencia relativa media (δ_i) de cada punto con respecto a la media de humedad, siendo los puntos con diferencias relativas negativas zonas con humedad por debajo de la media, y los positivos los que superan ésta. El eje de abscisas representa la posición ocupada por cada punto de muestreo, siendo los primeros los más secos y los últimos los más húmedos. Por último, las barras de error de cada punto muestran la desviación típica de la diferencia relativa media σ_δ de éstos.

Como se aprecia, las mayores diferencias relativas medias se alcanzan en los primeros 0,05 m tomando valores entre -0,3 y 0,5 para C4 y de -0,2 y 0,2 para J1, disminuyendo esta diferencia de manera importante para la siguiente profundidad muestreada (0,05-0,1 m), manteniéndose entre -0,1 y 0,1 en ésta y las restantes profundidades. Situación parecida se aprecia con respecto a σ_δ , la cual presenta los valores más elevados en el horizonte más superficial, decreciendo en profundidad. Ello es consecuencia de las fluctuaciones atmosféricas, a escala diaria y anual. Parece que existe un claro amortiguamiento de los cambios de humedad en los horizontes más profundos. Los diferencias relativas obtenidas en superficie (entre -0,3 y 0,5 para C4 y de -0,2 y 0,2 para J1), son menores a los obtenidas por Gómez-Plaza et al. (2000) para condiciones mediterráneas (-0,6 a 0,7) y también a los resultados de Martínez-Fernández y Ceballos, (2003) (-0,5 y 0,8), en la cuenca del Duero (España). La diferencia relativa media para el resto de profundidades se acerca mucho a las obtenidas por Vachaud et al., (1985); Grayson y Western, (1998) y Van Pelt y Wierenga, (2001), siendo muy similar a los resultados obtenidos por Moreno et al., (1984) en olivar.

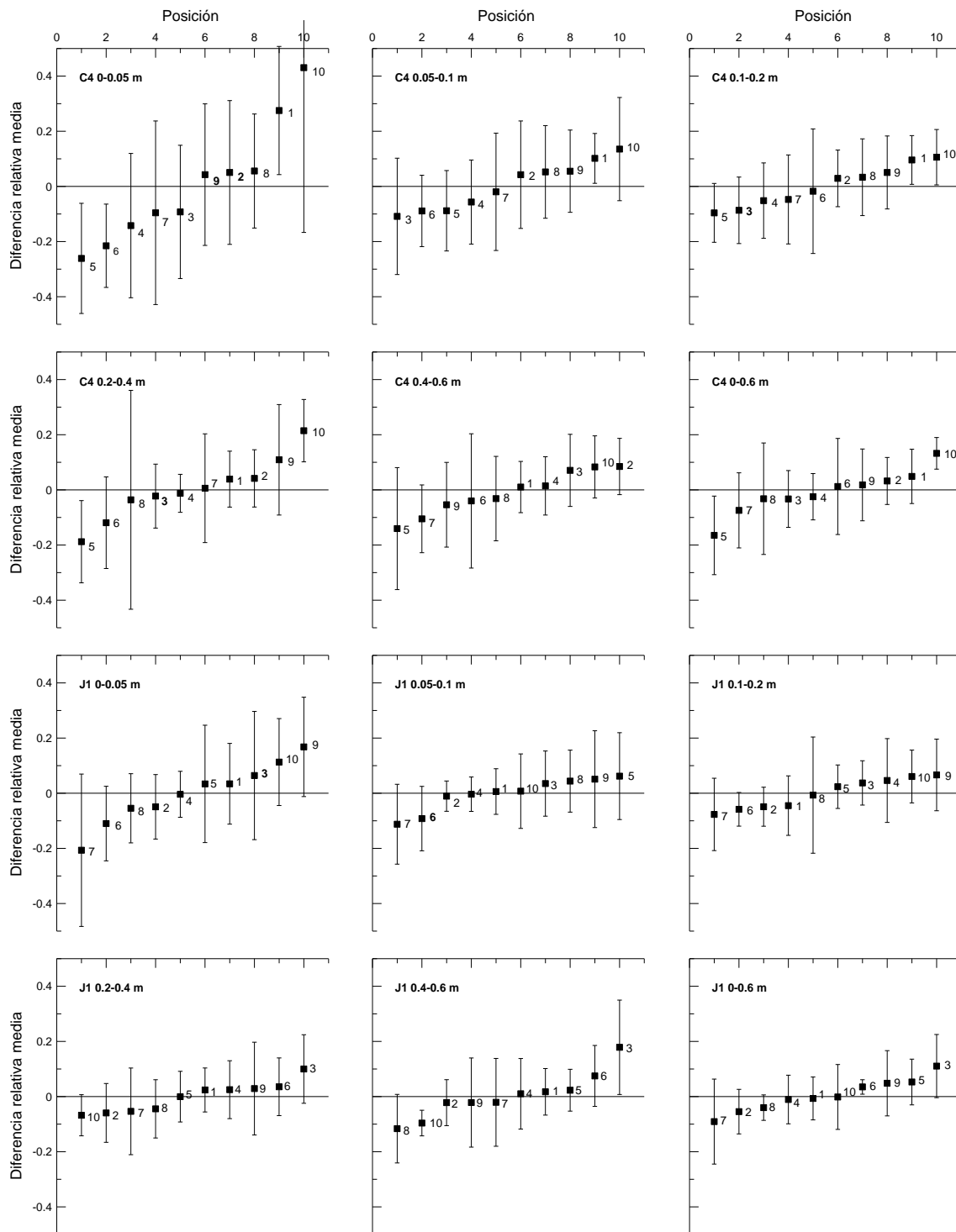


Figura 47. Posición de los distintos puntos de muestreo para las distintas profundidades y zonas estudiadas. Parcelas C4 y J1.

Además, los resultados muestran como el suelo bajo la copa del olivo solía tener menor humedad, debido a la absorción radical del agua, que el que estaba en la calle. Por ello, estos puntos ocupan las posiciones más a la izquierda de la tabla 15. Sin embargo, se aprecia, también que en el borde más septentrional de la copa había más humedad,

debido a que, por la trayectoria solar, dicho borde está sombreado durante la mayor parte del día, disminuyendo la intensidad de la evaporación de agua (Eagleson y Segarra, 1985). Estos resultados concuerdan con lo observado por Gómez *et al.* (2001), que concluyeron que la humedad era mayor en el centro de la calle que en las cercanías de los olivos, a pesar de que la velocidad de infiltración en esta zona era mayor que la de la calle (Vanderlinden *et al.* 1998), debido a la mayor porosidad del suelo. La parcela C3 es una excepción a esta observación porque sus olivos son más jóvenes, y, por tanto, con menor volumen de copa que en el resto de las parcelas.

En los muestreos más someros, no se observó una tendencia clara en la variación espacial de la humedad, aunque se apreciaba cómo el horizonte más superficial fue el que presentó unas mayores diferencias relativas, y, a la vez, poseía las mayores desviaciones típicas. Autores como Famiglietti *et al.*, (1998) consideran que la mayor estabilidad de la humedad se obtiene durante periodos secos, otros como Gómez-Plaza *et al.*, (2000) y Hupet y Vanclooster, (2002) consideran que la inestabilidad es mayor cuanto más seco esté el suelo.

Como se observa en la figura 48 la varianza en ambas fincas alcanzó valores mínimos para los periodos secos, aumentando su valor durante la recarga del suelo en y para periodos de secado. Esta situación se acerca bastante a la descrita por Martínez-Fernández *et al.*, (2003).

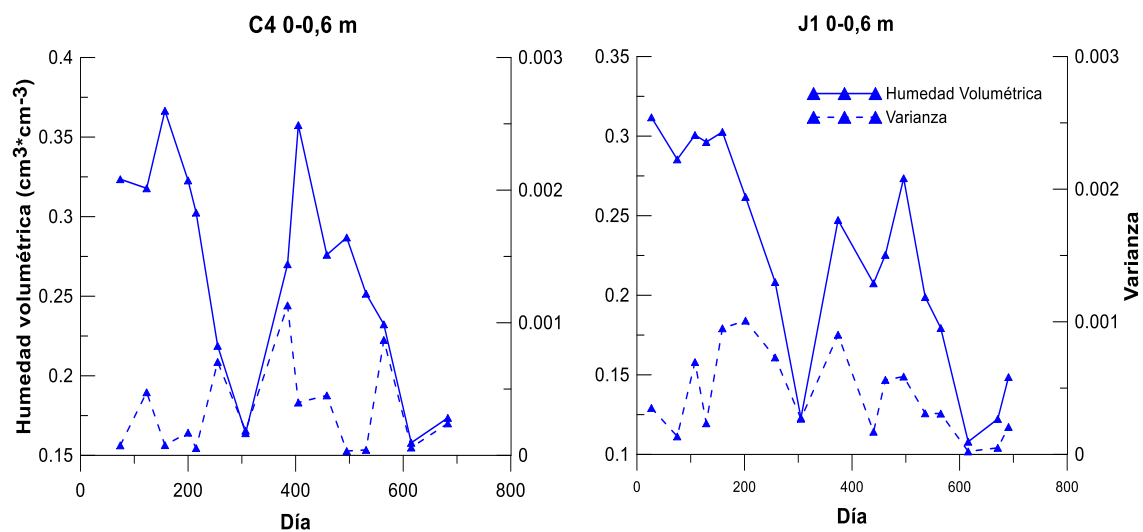


Figura 48. Variación temporal de la humedad volumétrica media y de la varianza. Parcelas C4 y J1.

La figura 49 muestra la evolución temporal de la humedad en las tres zonas de estudio, para las diferentes profundidades muestreadas en la parcela J1, y en la totalidad del perfil estudiado para J1, C4 y H2. Las parcelas restantes muestran unos resultados similares, (Márquez, 2006). Como se aprecia, la zona de la calle se encontró más húmeda, para la mayoría de los muestreos, en los horizontes más profundos por debajo de 0,4 m, al igual que ocurre en la totalidad del perfil para las fincas J1; C4 y H2, en las que la calle estaba más húmeda en todos los casos. Salvo en los meses de abril y mayo, como consecuencia de una mayor transpiración de las plantas de la cubierta, que se segaron más tarde.

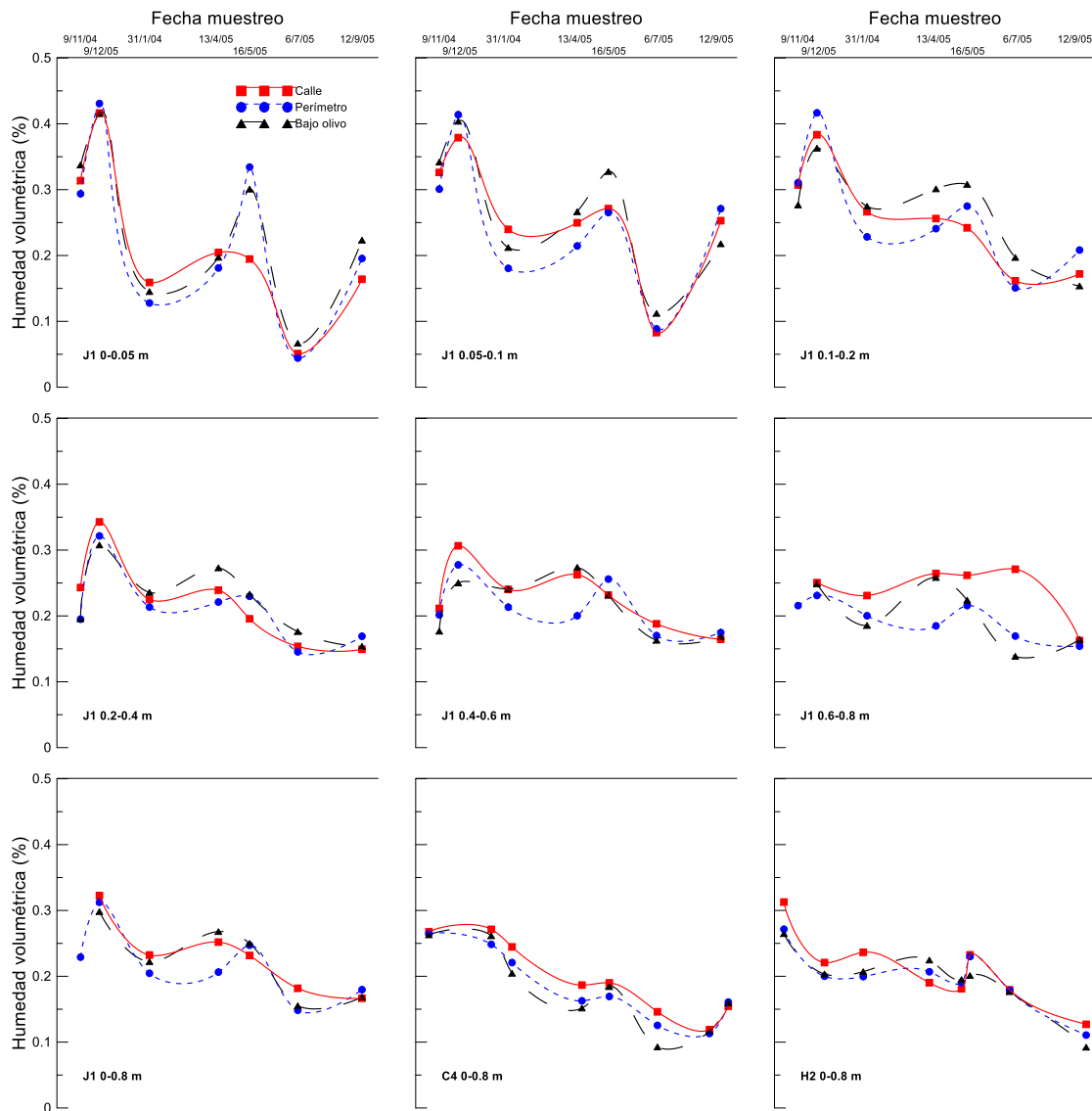


Figura 49. Evolución de la humedad volumétrica en la calle, perímetro y bajo olivo para las distintas profundidades muestreadas y la total. Parcelas J1, C4 y H2.

Relación entre la humedad volumétrica con cubierta y labrado.
 Periodo de muestreo de Junio de 2003 a Mayo de 2007

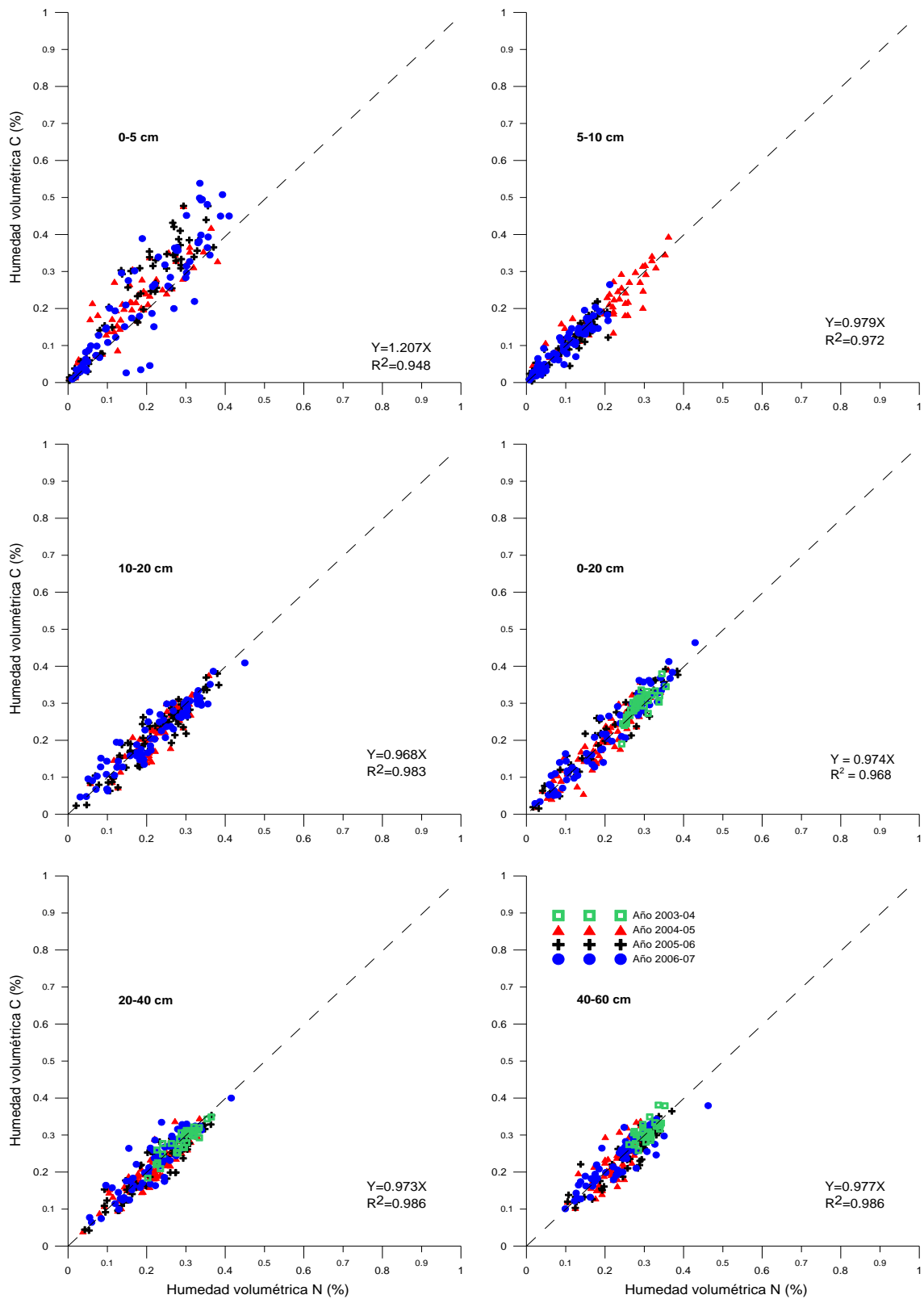


Figura 50. Relación entre la humedad volumétrica de la cubierta vegetal y el laboreo. Campañas 2003-04, 2004-05, 2005-06 y 2006-07. Conjunto de campos experimentales. Profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 0-20, 20-40, 40-60 cm.

Al realizar una regresión entre la humedad volumétrica existente en la zona labrada y en la cubierta, en el conjunto de las 8 fincas, se aprecia como de 0-5 cm la pendiente era de 1,21 para el conjunto de los 4 años, descendiendo a valores cercanos a 0,97 para el resto de las profundidades muestreadas. Si se observa la totalidad del perfil muestreado la pendiente se situó en valores prácticamente similares a 1, 0,995. Lo que demuestra que la cubierta aun siendo manejada de manera inadecuada, ya que se observó el retraso generalizado en la fecha de siega, mantuvo la misma humedad que el suelo labrado en tónicas generales.

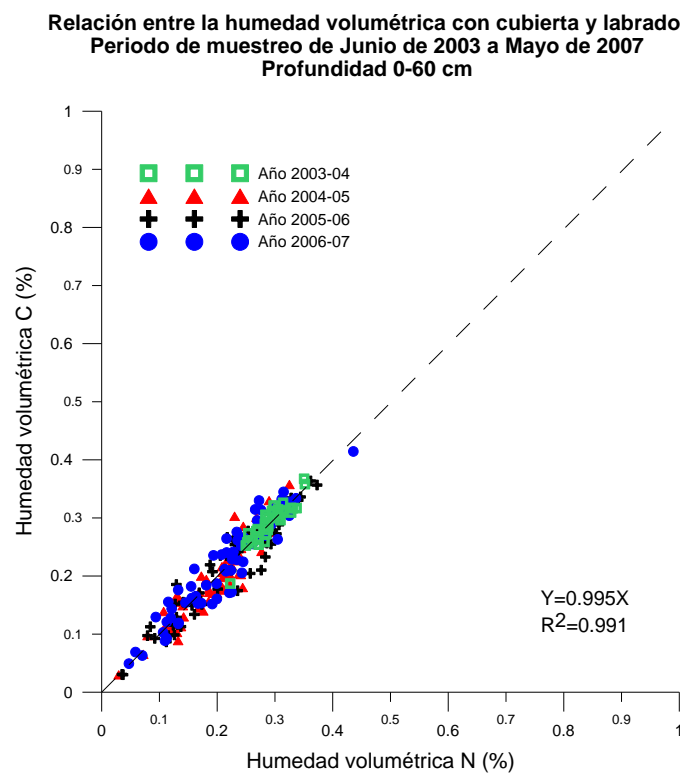


Figura 51. Relación entre la humedad volumétrica de la cubierta vegetal y el laboreo. Campañas 2003-04, 2004-05, 2005-06 y 2006-07. Conjunto de campos experimentales. Profundidad de 0 a 60 cm.

Los parámetros obtenidos al calcular el modelo, incluyendo la eficiencia E , aparecen en la tabla 16. S_{max} representa la humedad máxima capaz de almacenar el suelo, y Cu es el coeficiente de cubeta.

Tabla 16. Parámetros del modelo de Thornthwaite-Mather y marco de plantación, para el conjunto de parcelas de estudio.

Parcela	E		Smax		Cu		Marco
	CV	L	CV	L	CV	L	m ²
C3	0,664	0,639	0,175	0,175	0,232	0,189	8x8
C4	0,738	0,783	0,172	0,169	0,232	0,22	7x7
C5	0,86	0,877	0,098	0,098	0,544	0,453	indefinido
J1	0,798	0,811	0,195	0,181	0,364	0,328	10x10
J2	0,752	0,828	0,178	0,173	0,367	0,328	12x12
S2	0,604	0,613	0,171	0,191	0,202	0,213	8x6
H1	0,737	0,708	0,179	0,177	0,414	0,364	8x6
H2	0,733	0,744	0,183	0,188	0,358	0,362	8x6

CV: Cubierta vegetal; L: Laboreo.

El ajuste del modelo fue bastante bueno para ambos sistemas de manejo (CV y L), alcanzando eficiencias que van desde 0,60 como valor mínimo para S2 con CV y 0,88 para C5 bajo L.

Los bajos coeficientes de cubeta obtenidos al aplicar el modelo, son achacables a que los olivos al frenar las corrientes de aire y producir un sombreado de la superficie, provocan un descenso en la evapotranspiración de agua desde la superficie del suelo (Eagleson y Segarra, 1985). Estos fueron menores a los que se podrían obtener en una pradera, encontrándose todos por debajo de 0,5, menos el de C5 CV, que toma el valor de 0,544, olivar con mayores marcos de plantación y menos sombreado.

No existió una relación clara entre la fracciones texturales del suelo y el coeficiente de cubeta, figura 52, si bien destacó el elevado valor, 0,544, que corresponde al suelo más arenoso y menos arcilloso. El resto de los datos no mostraron relaciones claras, aunque corresponden a un intervalo similar de la fracción arcillosa.

Por tanto, este parámetro parece que estuvo más ligado a las condiciones meteorológicas y a las características geométricas de la parcela, como el marco de plantación o el volumen de la copa de los árboles, que a las características texturales.

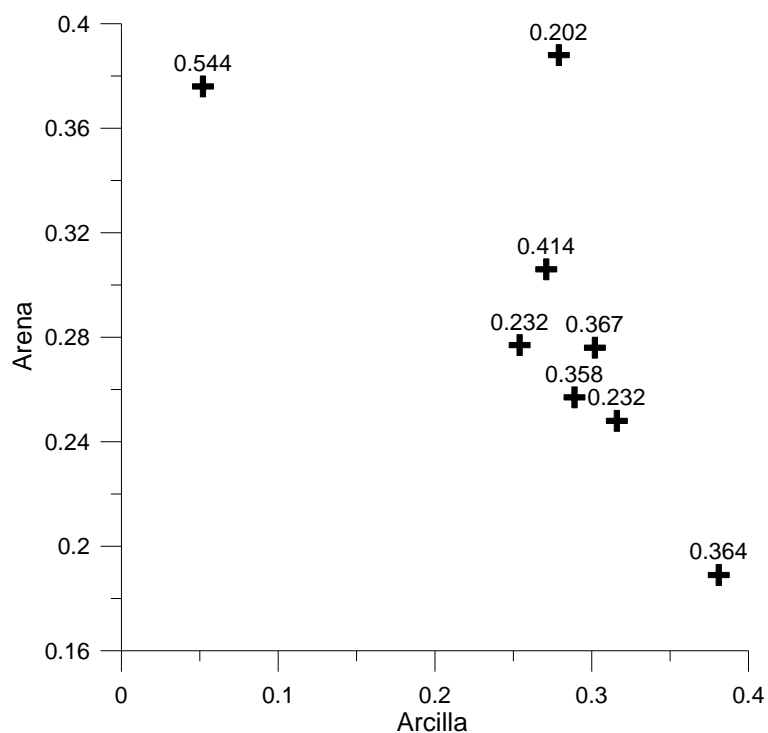


Figura 52. Coeficientes de cubeta para el conjunto de parcelas experimentales estudiadas en función de las fracciones de arcilla y arena del suelo.

Se aprecia que los valores de Cu en la zona cubierta fueron muy superiores a los del L, salvo para las parcelas S2 y H2 en los que los valores son similares. Esto se debe a que la cubierta viva transpiró agua para su desarrollo superando así al flujo de evaporación desde el suelo desnudo de los tratamientos labrados.

Los mayores valores del coeficiente de cubeta coinciden con los marcos de plantación superiores ya que el aumento del marco provocó que el efecto de sombreado inducido por los olivos sea menor, de ahí ese incremento de la evapotranspiración. El valor máximo Cu se estimó para la parcela de ensayo C5 debido al marco irregular de los olivos de esa finca y su pequeño volumen de copa.

Por el contrario en las parcelas H1 y H2 a pesar de no ser los que tenían un marco de plantación más amplio, obtuvo valores de Cu elevados, los máximos tras los de C5. Estos valores se pueden atribuir a la influencia marítima que provoca un aumento de la evapotranspiración debido a los constantes vientos cálidos durante el invierno.

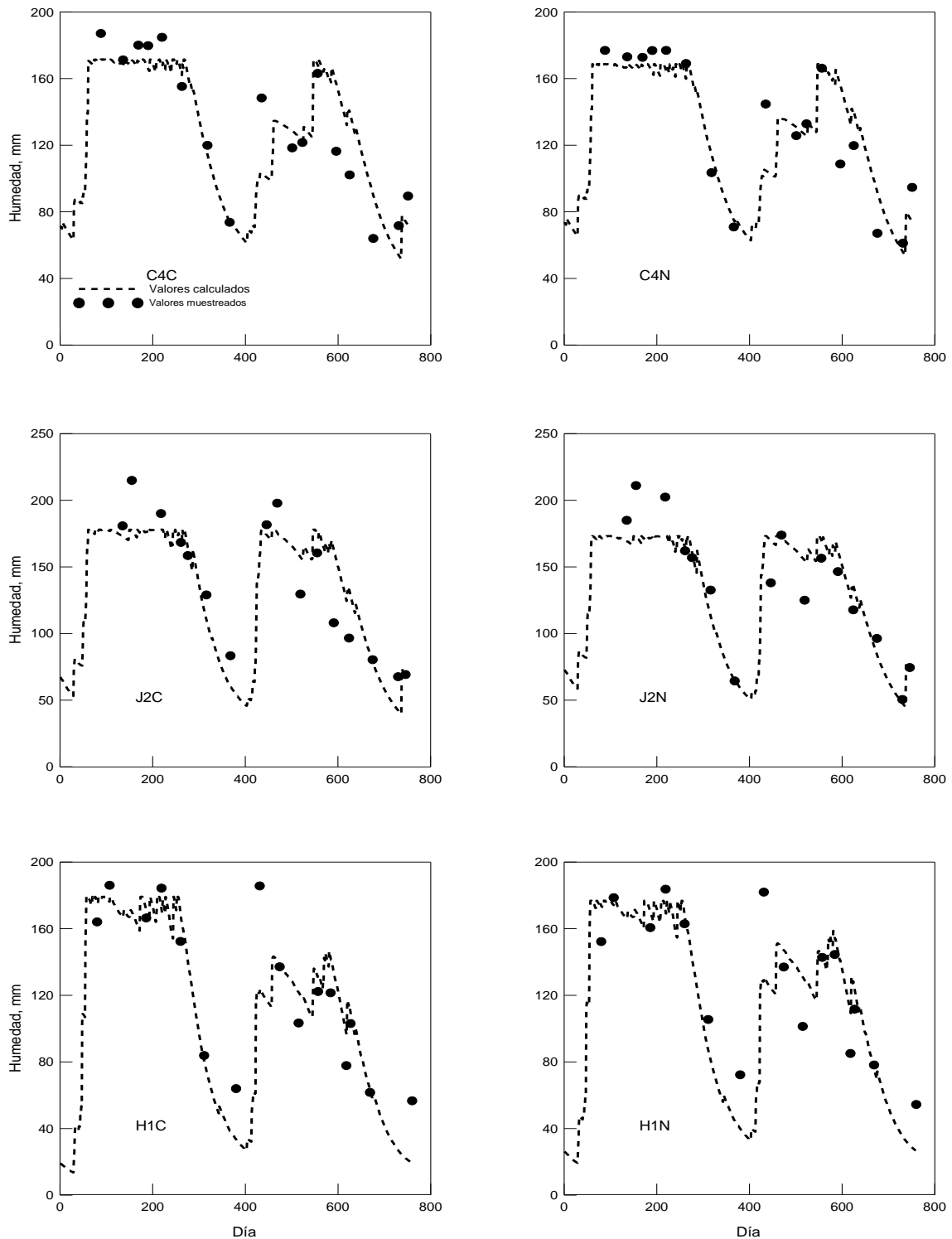


Figura 53. Datos observados y estimación del modelo de Thornthwaite-Mather para los procesos de carga y descarga del perfil del suelo. Parcelas H1 y H2. C: Cubierta vegetal y N: Laboreo.

La figura 53 muestra el balance anual de agua estimado por el modelo Thornthwaite-Mather y los datos muestreados en las parcelas de ensayo C4, J2 y H1, encontrando unos resultados similares en el resto de las parcelas. Como se observa el modelo se ajustó bastante bien a los datos obtenidos mediante los muestreos de barrena y para

ambos sistemas de manejo de suelo: CV y L. A pesar de ello, durante el primer año el modelo infra estimó los valores de la humedad en el periodo lluvioso, debido al elevado número de chubascos caídos y la precipitación descargada en ellos, en todas las parcelas muestreadas. Durante el periodo de descarga del primer año el modelo realizó un ajuste muy cercano a los datos muestreados en la zona labrada para la mayoría de las fincas, excepto H1 y H2. En las parcelas con CV el modelo predijo valores inferiores a los medidos en todas las parcelas excepto C4, ya que el residuo seco sobre el suelo disminuyó la evaporación de agua en el mismo, situación que no estaba contemplada por el modelo.

Las parcelas H1 y H2 mostraron unos valores muy bajos de humedad en el periodo de descarga de ambos años y para la primera lluvia del segundo año de estudio pudiendo achacarse esta situación a la cercanía de estas parcelas a la costa, sometidas a la influencia marina que aporte mayor humedad durante el verano debido a vientos cálidos y húmedos.

En el segundo año en la parcela con cubierta vegetal J2 se observa un gran descenso de la humedad del suelo, que no está recogido por el modelo. Esta situación se debe a que las precipitaciones durante ese año fueron muy escasas, en torno a 200 mm, lo que provocó un pobre desarrollo de la cubierta vegetal y que se tomara la decisión de no segar ésta, creyendo que su transpiración sería escasa y no desecaría mucho el suelo. Para explorar este punto se han calculado las intensidades de evapotranspiración en ambos tratamientos usando la ecuación (2), como se muestra en la figura 54.

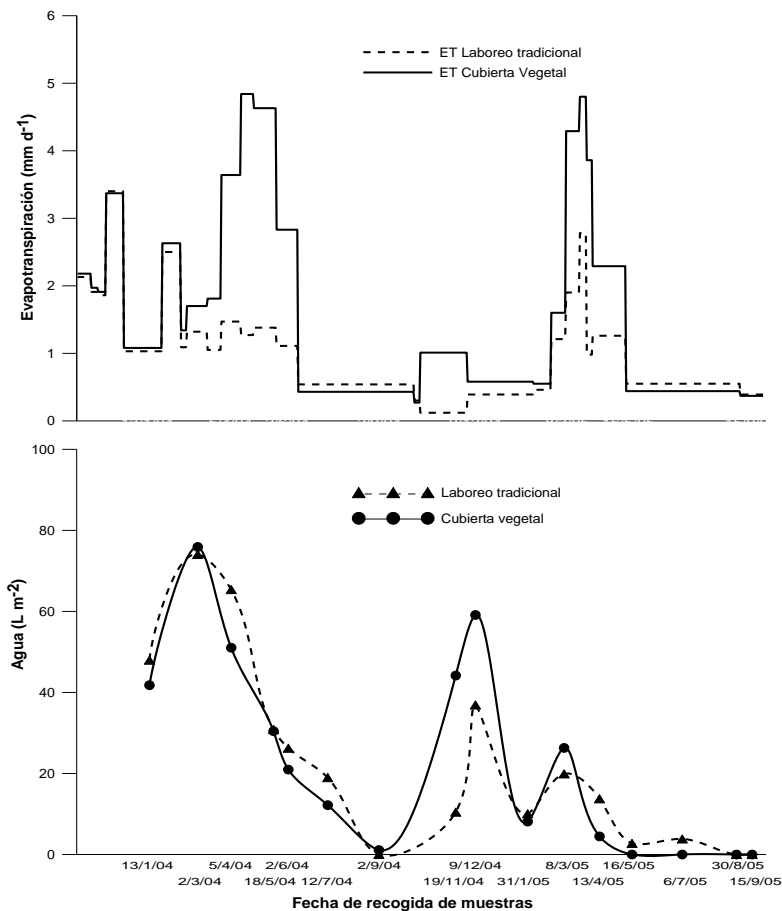


Figura 54. Evolución de la evapotranspiración y del contenido de agua disponible para la planta. Parcela J2.

Al no segar la cubierta, se produjo una gran evapotranspiración durante los meses de marzo y abril del año 2005, que unido a las escasas precipitaciones provocó un fuerte desecamiento del suelo que no estaba contemplado por el modelo, de ahí las diferencias que se observan entre los valores calculados y los muestreados para la primavera del año 2005 en la parcela J2 CV.

A pesar de esta situación, se aprecia, como el proceso de descarga en ambos sistemas de manejo de suelo, se produce de manera muy rápida ambos años, con unas pendientes de la curva cercanas a 1, debido a la gran evaporación de agua desde el suelo provocada por la súbita subida de temperaturas y el elevado número de horas de sol.

Esta situación genera que a partir de la fecha de comienzo de la descarga de agua del suelo, ésta esté controlada casi por completo por las condiciones atmosféricas, teniendo el sistema de manejo una escasa influencia en este declive de humedad. Lo que se ha de

intentar evitar es que la cubierta vegetal no consuma grandes cantidades de agua antes de que la pérdida de humedad esté regida por las condiciones atmosféricas, debiendo segar ésta en el momento en que se produzca esta situación.

7.4. CONCLUSIONES

La variación temporal y espacial de la humedad del suelo dependió, además de las causas propias del suelo, de la influencia que sobre él ejerce la planta, absorbiéndola y protegiéndolo de la insolación solar, según la posición relativa de ambos. Aunque esta influencia no produjo un patrón claro de variación, pues sus efectos fueron a veces contrapuestos, se observaron algunas tendencias.

La humedad superficial presentó la mayor variabilidad espacio-temporal. Al aumentar la profundidad las variaciones se amortiguaron. Considerando el perfil muestreado completo, el suelo de la calle mostró un mayor contenido de agua durante todo el año, salvo la primavera. En esta época la transpiración de las plantas herbáceas hizo disminuir la humedad del suelo, por lo que se aconseja su siega para evitar competir con el olivo por el agua del suelo.

El modelo de Thornthwaite y Mather permitió conocer el balance anual de humedad del suelo de forma sencilla, describiendo de manera efectiva, tanto en la zona labrada como en la cubierta, la evolución del contenido de agua a lo largo del año.

Además se ha observado como los procesos de descarga del perfil están fuertemente influenciados por las condiciones atmosféricas y escasamente por el sistema de manejo de suelo realizado. Mediante esta premisa se pretende conocer la correcta fecha de siega de las distintas cubiertas, ya que ésta se debería realizar en el momento en la que las hierbas empiecen a consumir grandes cantidades de agua del suelo y la descarga súbita del perfil como consecuencia de las condiciones atmosféricas no haya comenzado. Una vez que ocurren éstas, las pérdidas de agua imputables a la presencia de hierbas vivas serán casi nulas.

Estos resultados hacen pensar que el olivo puede competir favorablemente con las hierbas por el agua, siempre que el manejo sea el adecuado.

CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES

Los resultados expuestos en la presente memoria de Tesis Doctoral demuestran la efectividad de las cubiertas vegetales como sistema de manejo que no sólo mitiga los efectos adversos del cambio climático en la propia explotación y ayuda a adaptarse al olivar a las previsibles consecuencias de éste, sino que también mejora la sostenibilidad agro-ambiental del cultivo.

Pero sus bondades no sólo quedan restringidas a los agricultores que las implanten. Pues al conseguir mejorar el efecto sumidero de carbono del suelo y reducir las pérdidas de este elemento asociadas al sedimento, se consigue disminuir la concentración de Dióxido de Carbono atmosférico. Atendiendo a estas premisas se obtiene una herramienta eficaz para luchar contra el cambio climático a nivel suprarregional y que aporta importantes beneficios sociales y ambientales de forma globalizada.

Estas conclusiones generales se sustentan en las siguientes conclusiones particulares:

PRIMERA. Las cubiertas vegetales mejoraron la protección del terreno debido a la producción de biomasa generada por las hierbas, que durante los cuatro años de estudio fue de media de $5,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Este hecho además propició un incremento en el porcentaje de suelo cubierto, que pasó anualmente de media del 22,4 % para el laboreo, al 65,7 % para los sistemas de agricultura de conservación.

SEGUNDA. A pesar de la ausencia de labores en la zona cubierta, la densidad aparente del terreno no se vio afectada. En la cubierta vegetal se incrementó de media un 4 % en los primeros 5 cm de suelo, no registrándose variación de este indicador en horizontes más profundos.

TERCERA. Mantener el suelo más protegido y sin que aumentase su densidad aparente ocasionó una importante reducción en las pérdidas de agua y suelo de los olivares, que se vieron disminuidas para las cubiertas vegetales respecto al laboreo en un 37,6 % y 85,6 % respectivamente.

CUARTA. Las cubiertas vegetales propiciaron un incremento en la capacidad de sumidero de carbono del suelo. De media este elemento aumentó en los primeros 25 cm de suelo en un 38,1 % respecto al laboreo. Esta mayor concentración de carbono en el terreno ocasionó que los sistemas de agricultura de conservación consiguieran aumentar la fijación de CO₂ equivalente respecto al laboreo en 12,3 Mg ha⁻¹año⁻¹.

QUINTA. A pesar del incremento superficial del contenido de carbono orgánico propiciado por las cubiertas vegetales, la salida de este elemento de las explotaciones agrícolas se vio reducida de media en un 76,4 %, debido a la fuerte disminución de la erosión que los sistemas sostenibles propiciaron respecto al laboreo.

SEXTA. Se ha observado un retraso generalizado en la fecha de siega de las cubiertas vegetales por parte de los agricultores, lo que ocasionó un importante descenso de la humedad edáfica en primavera respecto al laboreo. Sin embargo, a pesar del deficiente control de las hierbas, el balance anual de agua se mantuvo igual para todo el periodo de estudio en los dos manejos estudiados. Manteniéndose el centro de la calle, donde coexisten las raíces del olivo y las hierbas, más húmeda que el contorno del olivo, donde sólo había raíces del árbol.

SÉPTIMA. Desde el punto de vista metodológico se aprecia como el modelo propuesto permitió conocer el balance anual de la humedad del suelo de forma sencilla. Describiendo de manera efectiva la evolución del contenido de agua a lo largo del año, tanto en la zona labrada como en la cubierta. Además, ha demostrado como los procesos de descarga de agua del perfil del suelo están fuertemente influenciados por las condiciones atmosféricas y escasamente por el sistema de manejo de suelo realizado.

OCTAVA. Atendiendo a la premisa anterior se podría conocer la fecha correcta de siega de las distintas cubiertas vegetales, ya que ésta se debería realizar en el momento en la que las hierbas empiecen a consumir grandes cantidades de agua del suelo y la descarga súbita del perfil, como consecuencia de las condiciones atmosféricas, no haya comenzado. Una vez que concurren estas circunstancias, las pérdidas de agua imputables a la presencia de hierbas vivas serán casi nulas.

CONCLUSIONS

9. CONCLUSIONS

The results presented in this Doctoral Thesis report demonstrate the effectiveness of the groundcovers as a soil management system that not only mitigates the adverse effects of climate change on the farm and helps to adapt to the olive grove to the foreseeable consequences of it. But also, improves the agro-environmental sustainability of the crop.

However, its benefits are not only restricted to farmers who implement them. Since the improvement of the carbon sink effect of the soil and the reduction of the losses of this element associated to the sediment produce a decrease of the concentration of atmospheric Carbon Dioxide. Given these premises, an effective tool for combating climate change at a supra-regional level is obtained, which provides important social and environmental benefits globally.

These general conclusions are based on the following particular conclusions:

FIRST. The groundcovers improved the soil protection owing to the biomass production generated by the weeds, which during the four years of study was on average of 5.6 Mg ha⁻¹ year⁻¹. This fact also led to an increase in the percentage of covered soil, which annually increased from an average of 22.4 % for tillage, to 65.7 % for conservation agriculture systems.

SECOND. Despite the absence of tillage in the covered zones, the apparent density of the ground was not affected. In the groundcovers, it increased on average of 4% in the first 5 cm of soil, not being registered variation of this indicator in deeper horizons.

THIRD. Keeping the soil more protected and without increasing its apparent density, caused a significant reduction in the losses of water and soil of the olive groves, which were diminished for the groundcovers in relation to tillage by 37.6% and 85.6%, respectively.

FOURTH. Groundcovers provided an increment in the soil carbon sink capacity. On average, this element increased in the first 25 cm of soil on 38.1 % with respect to tillage. This higher concentration of carbon in the ground caused that conservation agriculture systems increased the fixation of CO₂ equivalent respect to tillage in 12.3 Mg ha⁻¹ year⁻¹.

FIFTH. In spite of the superficial increase of the organic carbon content caused by the groundcovers, the output of this element of the farms was reduced on average of 76.4 %, due to the strong decrease of the soil erosion that the sustainable systems propitiated with respect to tillage.

SIXTH. A generalized delay in cover mowing by farmers had been observed. Which caused, for the conservative systems, an important decrease in soil moisture during the spring, compared to tillage. However, despite the deficient control of the weeds, the annual water balance of the crop remained the same during the whole study period, for the two soil management systems studied. Maintaining the center of the row, where the roots of olive and grass coexist, more humid than the contour of the olive tree, where there were only roots of the tree.

SEVENTH. From the methodological point of view, it can be seen how the proposed model allowed to know the annual water balance in a simple way. Effectively describing the evolution of the moisture content throughout the year, both in the tillage area and in the cover. In addition, it has demonstrated how the processes of discharge of water from the soil profile are strongly influenced by atmospheric conditions and scarcely by the soil management system carried out.

EIGHTH. Based on the previous premise, the correct date of mowing of the different groundcovers could be known. Since this operation should be carried out at the moment that herbs begin to consume large amounts of water from the soil and the sudden discharge of the profile, as a result of the atmospheric conditions, has not begun. Once these circumstances occur, water losses attributable to the presence of live herbs will be almost nil.

BIBLIOGRAFÍA

10. BIBLIOGRAFÍA

- Agrela, F., Gil, J.A., Giráldez, J.V., Ordóñez, R., González, P. 2003. Obtention of reference value in the measurement of the cover fraction in conservation agriculture, in: Cury, B., Canalli, L.B. (eds.) Proceedings II world congress on conservation agriculture. Brazil, Iguazu. pp: 44-47.
- Alcántara, C., Pujadas, A., Saavedra, M. 2011. Management of cruciferous cover crops by mowing for soil and water conservation in southern Spain. *Agricultural Water Management* .98, 1071-1080.
- Alvarez, R., Steinbach, H.S. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil & Tillage Research*. 104, 1-15.
- Arrouays, D., Saby, N., Walter, C., Lemerrier, B., Schvartz, C. 2006. Relationships between particle-size distribution and organic carbon in French arable topsoils. *Soil Use Management*. 22, 48-51.
- Ávila, E., Herrera, A., Tezara, W. 2014. Contribution of stem CO₂ fixation to whole-plant carbon balance in nonsucculent species. *Photosynthetica*. 52, 3-15.
- Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L. 2008. *El cultivo del olivo*. Mundi-Prensa eds. Madrid, España. 846pp.
- Berengena, J. 1998. Efectos del no laboreo sobre el contenido de agua en el suelo. En García, L. y González, P. (eds.). *Agricultura de Conservación. Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos*. AEAC/SV. Córdoba. 52-74.
- Beven, K.J. 2000. *Rainfall-runoff modelling. The Primer*, Wiley, Chichester.
- Birkás, M., Jolánkai, M., Gyuricza, C., Percze, A. 2004. Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. *Soil & Tillage Research*. 78, 185-196.
- Blevins, R.L. 1986. Idoneidad del suelo para el laboreo nulo. En: Philips, R.E. y Philips, S.H. *Agricultura sin laboreo. Principios y aplicaciones*. Bellaterra (eds.). Barcelona.

-
- Boix-Fayos, C., de Vente, J., Albaladejo, J., Martínez-Mena, M. 2009. Soil carbon erosion and stock as affected by land use changes at the catchment scale in Mediterranean ecosystems. *Agricultural Ecosystems and Environment*. 133, 75-85.
- Breyer, C., Koskinen, O., Blechinger, P. 2015. Profitable climate change mitigation: The case of greenhouse gas emission reduction benefits enabled by solar photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49, 610-628.
- Bronick, C.J., Lal, R. 2005. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio, USA. *Soil & Tillage Research*. 81, 239-252.
- Brundtland Report. 1987. World Commission on Environment and Development (WCED). *Our common future*. Oxford University Press eds. Oxford, UK. 300 pp.
- Bugg, R.L., McGourty, G., Sarrantonio, M., Lanini, W.T., Bartolucci, R. 1996. Comparison of 32 cover crops in an organic vineyard on the north coast of California. *Biological Agricultural Horticulturae*. 13, 63-81.
- Carbonell, R., Ordóñez, R., Rodríguez, A. 2010. Influence of olive mill waste application on the role of soil as a carbon source sink. *Climatic Change*. 102, 625-640.
- Carbonell-Bojollo, R., González-Sánchez, E.J., Veróz-González, O., Ordóñez-Fernández, R. 2011. Soil management systems and short term CO₂ emissions in a clayey soil in southern Spain. *Science of the Total Environment*. 409, 2929-2935.
- Carbonell-Bojollo, R., González-Sánchez, E.J., de Torres, M.R., Ordóñez-Fernández, R., Domínguez-Giménez, J., Basch, G. 2015. Soil organic carbon fractions under conventional and no-till management in a long-term study in southern Spain. *Soil Research*. 53, 113-124.
- Castro, J., Fernández-Ordoño, E., Rodríguez, C., Lallena, A.M. 2008. Effects of different olive-grove management systems on the organic carbon and nitrogen content of the soil in Jaén (Spain). *Soil & Tillage Research*. 98, 56-57.
- Ciscar, J.C., Iglesias, A., Feyen, L., Szabó, L., Van Regemorter, D., Amelung, B., Nicholls, R., Watkiss, P., Christensen, O.B., Dankers, R., Garrote, L., Goodess,

-
- C.M., Hunt, A., Moreno, A., Richards, J., Soria, A. 2011. Physical and economic consequences of climate change in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108, 2678-2683.
- Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. 2006. *El olivar andaluz*. Servicio de publicaciones y divulgación eds. Sevilla, España. 101 pp.
- Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. 2015. Estadísticas agrarias en: http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/export/sites/default/comun/galerias/galeriaDescargas/cap/servicioestadisticas/estadisticasagrarias/avances/PRES-ENTACIXN_AFORO_OLIVAR_2010-2011.pdf (accessed 09-02-2015).
- Daccache, A., Ciurana, J.S., Rodríguez-Díaz, J.A., Knox, J.W. 2014. Water and Energy footprint of irrigated agriculture in the Mediterranean region. *Environmental Research Letters*. 9, 1-12.
- Dane, J.H., Hopmans, J.W. 2002. 3.3. Water retention and storage. En Dane , J.H. y Topp, G.C., eds. *Methods of soil analysis, Part 4. Physical methods*, Soil Sci. Soc. Am. Book Ser. No. 5, Soil Science Society of America. Madison. USA.
- De Graaff, J., Eppink, L.A.A.J. 1999. Olive oil production and soil conservation in sothern Spain, in relation to EU subsidy policies. *Land Use Policy*. 16, 259-267.
- Denman, K.L., Brasseur, G., Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox, P.M., Dickinson, R.E., Hauglustaine, D., Heinze, C., Holland, E., Jacob, D., Lohmann, U., Ramachandran, S., Da Silva Dias, P.L., Wofsy, S.C., Zhang, X. 2007. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- Donatelli, M., Srivastava, A.K., Duveiller, G., Niemeyer, S. 2012. Estimating impact assessment and adaptation strategies under climate change scenarios for crops at EU27 scale. In: *International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs), 2012. International Congress on Environmental Modelling and Software, "Managing Resources of a Limited Planet: Pathways and Visions under*

-
- Uncertainty,” Sixth Biennial Meeting, 1-5 July 2012, Leipzig, Germany [Seppelt, R., Voinov, A.A., Lange, S., Bankamp, D. eds.]. International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs) Secretariat, Manno, Switzerland, pp.404-411.
- Durán-Zuazo, V.H., Rodríguez-Pleguezuelo, C.R., Arroyo-Panadero, L., Martínez-Raya, A., Francia-Martínez, J.R., Cárceles-Rodríguez, B. 2009. Soil conservation measures in rainfed olive orchards in South-Eastern Spain: Impacts of plant strips on soil water dynamics. *Pedosphere*. 19, 453-464.
- Eagleson, P.S., Segarra, R.I. 1985. Water-equilibrium of savanna vegetation systems. *Water Resources Research*. 21, 1483-1493.
- Environment Agency, 2002. *Agriculture and Natural Resources: Benefits, Costs and Potential Solutions*. Bristol, UK.
- Eslava-Galán, J. 2003. *El Olivar Andaluz*. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.
- Espejo-Pérez, A.J. 2004. *Análisis de la erosión y escorrentía en microcuencas*. Trabajo profesional fin de carrera. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba.
- Espejo-Pérez, A.J.; Rodríguez-Lizana, A; Giráldez, J.V., Ordóñez; R. 2005. Influencia de la cubierta vegetal en la pérdida de suelo en olivar ecológico. Congreso Internacional sobre agricultura de conservación. Córdoba, 345-350.
- ESYSRCE, 2012a. Encuesta sobre superficies y rendimientos de los cultivos. Análisis de las plantaciones de olivar en España. In: MAGRAMA (eds.), Madrid, Spain.
- ESYSRCE, 2012b. Encuesta sobre superficies y rendimientos de los cultivos. Análisis de las técnicas de mantenimiento de suelo y los métodos de siembra. In: MAGRAMA (eds.), Madrid, Spain.
- European Commission (EC) 2013. *An EU Strategy on Adaptation to Climate Change*. European Commission. Brussels, 16.4.2013, COM (2013) 216 Final, Brussels, Belgium.
- EUROSTAT, 2011. *Agriculture and fishery statistics. Main results- 2009-10*. European Union. Luxembourg.

-
- EUROSTAT. 2016. Agriculture, forestry and fishery statistics. 2015 Edition. European Union eds. Luxemburg. 206 pp.
- EUROSTAT. 2011. Agriculture, forestry and fishery statistics. Main results 2009-10. European Union eds. Luxemburg. 158 pp.
- Famiglietti, J.S., Rudnicki, J.W., Rodell, M. 1998. Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas. *Journal of Hydrology*. 210, 259-281.
- FAO. 2000. Manual on integrated soil management and conservation practices. FAO eds. Rome, Italy. pp 214.
- Fernández-Romero, M.L., Lozano-García, B., Parras-Alcantara, L., Collins, C.D., Clark, J.M. 2014. Effects of land management on different forms of soil carbon in olive groves in Mediterranean areas. *Land Degradation and Development*. DOI: 10.1002/ldr.2327.
- Francia, J.R., Durán, V.H., Martínez, A. 2006. Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain). *Science of Total Environment*. 358, 46-60.
- Franklin, D., Truman, C., Potter, T., Bosch, D., Strickland, T., Bednarz, D. 2007. Nitrogen and phosphorus runoff losses from variable and constant intensity rainfall simulations on loamy sand under conventional and strip tillage systems. *Journal of Environmental Quality*. 36, 846-854.
- Franzluebbers, A.J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil & Tillage Research*. 66, 95-106.
- Fullen, M.A. 1985. Compaction, hydrological processes and soil erosion on loamy soil sands in East Shropshire, England. *Soil & Tillage Research*. 6, 17-29.
- García-Ruiz, J.M. 2010. The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*. 81, 1-11.
- García-Ruiz, J.M., López-Moreno, J.I., Vicente-Serrano, S.M., Lasanta-Martínez, T., Baguería, S. 2011. Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth-Science Reviews* 105, 121-139.

-
- Gómez, J.A., Giráldez, J.V., Fereres, E. 2001. Análisis of infiltration and runoff in an olive orchard under no-till. *Soil Science Society of America Journal*. 65, 291-299.
- Gómez, J.A. 2005. Effects of soil management on soil physical properties and infiltration in olive orchards-implications for yield, in: Benites, J. (eds.), *Integrated soil and water management for orchard development*. FAO, Rome, pp. 65-70.
- Gómez, J.A., Giráldez, J.V., Fereres, E. 2005. Water erosion in olive orchards in Andalusia (Southern Spain): a review. *Geophysical Research Abstracts* 7, 08406 SRef-ID:1607-7962/gra/EGU05-A-08406.
- Gómez, J.A., Giráldez, J.V., Vanwalleghem, T. 2008. Comments on “Is soil in olive groves as bad as often claimed? *Geoderma*. 147, 93-95.
- Gómez, J.A., Sobrinho, T.A., Giráldez, J.V., Fereres, E. 2009a. Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. *Soil & Tillage Research*. 102, 5-13.
- Gómez, J.A., Guzmán, M.G., Giráldez, J.V., Fereres, E. 2009b. The influence of cover crops and tillage on water and sediment yield, and on nutrient, and organic matter losses in an olive orchard on a sandy loam soil. *Soil & Tillage Research*. 106, 137-144.
- Gómez, J.A., Llewellyn, C., Bash, G., Sutton, B., Dyson, J.S., Jones, C.A. 2011. The effects of cover crops and conventional tillage on soil and runoff loss in vineyards and olive groves in several Mediterranean countries. *Soil Use Manag.* 27, 502-514.
- Gómez-Limón, J.A., Arriaza, M. 2011. Evaluación de la Sostenibilidad de las Explotaciones de Olivar en Andalucía. *Analistas Económicos de Andalucía*, Málaga, España.
- Gómez-Limón, J.A., Picazo-Tadeo, A.J., Reig-Martínez, E. 2012. Eco-efficiency assessment of olive farms in Andalusia. *Land Use Policy*. 29, 395-406.
- Gómez-Plaza, A., Álvarez-Rogel, A., Albaladejo, J., Castillo, V.M. 2000. Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in a semi-arid environment. *Hydrology Procedures*. 14, 1261-1277.

-
- González-Sánchez, E.J., Ordóñez-Fernández, R., Carbonell-Bojollo, R., Veroz-González, O., Gil-Ribes, J.A. 2012. Meta-analysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture. *Soil & Tillage Research*. 122, 52-60.
- González-Sánchez, E.J., Veroz-González, O., Blanco-Roldan, G.L., Márquez-García, F., Carbonell-Bojollo, R. 2015. A renewed view of conservation agriculture and its evolution over the last decade in Spain. *Soil & Tillage Research*, under revision?? 146, 204-212.
- Grayson, R.B., Western, A.W. 1998. Towards areal estimation of soil water content from point measurements: Time and space stability of mean response. *Journal of Hydrology*. 207, 68-82.
- Hernández, A.J., Lacasta, C., Pastor, J. 2005. Effects of different management practices on soil conservation and water in a rainfed olive orchard. *Agric. Water Management*. 77, 232-248.
- Hernanz, J.L., Girón, V.S., Ceriesola, C. 1995. Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. *Soil & Tillage Research*. 35, 183-198.
- Hernanz, J.L., López, R., Navarrete, T., Sánchez-Girón, V. 2002. Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil & Tillage Research*. 66, 129-141.
- Holland, J.A. 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: review the evidence. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 103, 1-25.
- Huang, C., Zhang, M., Zou, J., Zhu, A.X., Chen, X., Mi, Y., Wang, Y., Yang, H., Li, Y. 2015. Changes in land use, climate and the environment during a period of rapid economic development in Jiangsu Province, China. *Science of the Total Environment*. 536: 173-181.
- Hupet, F., Vanclooster, M. 2002. Intraseasonal moisture variability within a small agricultural maize cropped field. *Journal of Hydrology*. 261, 86-101.

-
- Iglesias, A., Avis, K., Benzie, M., Fisher, P., Harley, M., Hodgson, N., Horrocks, L., Moneo, M., Webb, J. 2007. Adaptation to Climate Change in the Agricultural Sector. Report to European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development. ED05334. Issue Number 1. AGRI/2006-G4-05.
- Iglesias, A., Garrote, L., Diz, A., Schlickenrieder, J., Moneo, M. 2012. Water and people: assessing policy priorities for climate change adaptation in the Mediterranean. In: Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean [Navarra, A. and Tubiana, L. eds.]. Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 201- 233.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1990. Contribution of Working Groups I, II and III to the first assessment report of the intergovernmental panel on climate change. In: Core writing team eds. Cambridge, UK and New York, USA. 218 pp.
- IPCC. 1995. Contribution of Working Groups I, II and III to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. In: Core writing team eds. Cambridge, UK and New York, USA. 73 pp.
- IPCC. 2001. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. In: Watson, R. T. and the Core writing team eds. Cambridge, UK and New York, USA. 398 pp.
- IPCC. 2003. Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-Induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types [Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F. eds.]. The Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan. 32 pp.
- IPCC. 2007. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. In: Core writing team, Pachauri, R.K., Reisinger, A. eds. Geneva, Switzerland. 104 pp.
- IPCC. 2013a. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K.,

-
- Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex V., Midgley, P.M. eds. Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 1535 pp.
- IPCC. 2013b. Annex III: In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. eds. Cambridge, United Kingdom and New York, USA. pp. 1447–1466.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Core Writing Team, Pachauri, R.K., Meyer, L.A. eds. Geneva, Switzerland. 151 pp.
- International Olive Oil Council, 2014, Statistics available at: <http://www.internationaloliveoil.org> (accessed 09-02-15).
- Izaurrealde, C., Rosemberg, N., Lal, R. 2001. Mitigation of climatic change by soil carbon sequestration: Issues of science, monitoring, and degraded lands. *Advanced in Agronomy*. 70, 1-75.
- Jacinthe, P.A., Lal, R., Owens, L.B., Hothem, D.L., 2004. Transport of labile carbon in runoff as affected by land use and rainfall characteristics. *Soil Till Res*. 77, 111-123.
- Jarecki, M., Lal, R. 2005. Soil organic carbon sequestration rates in two long-term no till experiments in Ohio. *Soil Science*. 170, 280-291.
- Jones, R.J.A., Yli-Halla, M., Demetriades, A., Leifeld, J., Robert, M. 2004. Status and distribution of soil organic matter in Europe, in: Van-Camp, L., et al. (eds.), Reports of the technical working groups established under the thematic strategy for soil protection, Luxemburg, pp. 872.
- Kang, Y., Khan, S., Ma, X. 2009. *Progress in Natural Science. Materials*. 19, 1665-1674.
- Khakbazan, M., Mohr, R.M., Derksen, D.A., Monreal, M.A., Grant, C.A., Zentner, R.P., Moulin, A.P., McLaren, D.L., Irvine, R.B., Nagy, C.N. 2009. Effects of alternative management practices on the economics, energy and GHG emissions of a

-
- wheat-pea cropping system in the Canadian prairies. *Soil & Tillage Research*. 104, 30-38.
- Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R., Lahmar, R., Mrabet, R., Basch, G., González-Sánchez, E.J., Serraj, R. 2012. Conservation agriculture in the dry Mediterranean climate. *Field Crops Research*. 132, 7-17.
- Kjellström, E., Nikulin, G., Hansson, U., Strandberg, G., Ullerstig, A. 2011. 21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations. *Tellus A, Series A*, 63A, 24-40.
- Klein Tank, A.M.G., Wijngaard, J.B., Können, G.P., Böhm, R., Demarée, G., Gocheva, A., Mileta, M., Pashiardis, S., Hejkrlik, L., Kern-Hansen, C., Heino, R., Bessemoulin, P., Müller-Westermeier, G., Tzanakou, M., Szalai, S., Pálsdóttir, T., Fitzgerald, D., Rubin, S., Capaldo, M., Maugeri, M., Leitass, A., Bukantis, A., Aberfeld, R., Van Engelen, A.F.V., Forland, E., Miletus, M., Coelho, F., Mares, C., Razuvaev, V., Nieplova, E., Cegnar, T., Antonio López, J., Dahlström, B., Moberg, A., Kirchhofer, W., Ceylan, A., Pachaliuk, O., Alexander, L.V., Petrovic, P. 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology*. 22, 1441–1453.
- Kovats, R.S., Valentini, R., Bouwer, L.M., Georgopoulou, E., Jacob, D., Martin, E., Rounsevell, M., Soussana, J.F. 2014. In: *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: regional aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* [Barros, V.R., Field, C.B., Dokken, D.J., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L. eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, pp. 1267- 1326.
- Lal, R., Kimble, J.M. 1998. Soil conservation for mitigating the greenhouse effect, in: Blume et al. (eds.), *Towards sustainable land use, Vol I. Advances in Geocology*. Catena, Verlag, Reiskirchen, pp. 185-192.
- Lal, R. 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Environ Int*. 29, 437-450.

-
- Lal, R. 2004. Soil Carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*. 304, 1623-1627.
- Lal, R. 2014. Societal value of soil carbon. *Journal of soil and Water Conservation*. 69, 186-192.
- Machunu, C.N., Lorentz, S., Jewitt, G., Manson, A., Chaplot, V. 2011. No-Till Impact on Soil and Soil Organic Carbon Erosion under Crop Residue Scarcity in Africa. *Soil Science Society of America Journal*. 75, 1503-1512.
- Manning, M.R.M., Petit, D., Easterling, J., Murphy, A., Patwardhan, H.H., Rogner, R., Yohe, G. 2004. IPCC Workshop on Describing Scientific Uncertainties in Climate Change to Support Analysis of Risk of Options. Workshop Report. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 138 pp.
- Márquez-García, F. 2006. Evolución espacial y temporal de la humedad del suelo en parcelas de olivar bajo distintos sistemas de manejo. Trabajo profesional fin de carrera. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba.
- Márquez-García, F., Rodríguez-Lizana, A., Giráldez, J.V., Espejo-Pérez, A.J. 2006. Evolución de la humedad en el suelo en parcelas de olivar. *Vida Rural*. 236, 30-33.
- Márquez, F., Gil-Ribes, J., Ordóñez, R., Carrasco, E. Carbonell, R., 2009. Cubiertas vegetales en olivar. Una de las Posibilidades para cumplir con los compromisos de Kioto en Andalucía. *Proceedings XIV Feria internacional del aceite de oliva*. Jaen, España, pp.84-90.
- Márquez-García, F., González-Sánchez, E.J., Castro-García, S., Ordóñez-Fernández, R. 2013. Improvement of soil carbon sink by cover crops in olive orchards under semiarid conditions. Influence of the type of soil and weed. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 11, 335-346.
- Martínez-Mena, M., López, J, Almagro, M., Boix-Fayos, C., Albaladejo, J. 2008. Effect of water erosion and cultivation on the soil carbon stock in a semiarid area of South-East Spain. *Soil & Tillage Research*. 99, 119-129.

-
- Martínez-Mena, M., López, J., Almagro, M., Albaladejo, J., Castillo, V., Ortiz, R., Boix-Fayos, C. 2012. Organic carbon enrichment in sediments: Effects of rainfall characteristics under different land uses in a Mediterranean area. *Catena*. 94, 36-42.
- Mckibben, B. 2007. Carbon Crisis. National Geographic Society. 21-5, 2-7.
- Mikha, M.M., Rice, C.W., Milliken, G.A. 2005. Carbon and nitrogen mineralization as affected by drying and wetting cycles. *Soil Biological and Biochemistry*. 37, 339-347.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. Appendix D: Glossary. Ecosystems and Human Well-being: Current States and Trends. Findings of the Condition and Trends Working Group, Vol.1 In: Hassan, R., Scholes, R., Ash, N. eds. Island Press, Washington, DC, USA, pp. 893-900.
- Miller, J.O., Galbraith, J.M., Daniels, W.T. 1994. Soil organic carbon content in frigid southern Appalachian mountain soils. *Soil. Science*. 68, 194-203.
- Milly, P.C.D. 1994. Climate, soil water storage, and the average annual water balance. *Water Resources Research*. 30, 2143-2156.
- Ministerio de Medio Ambiente, (MMA). 2007. Nota sobre emisiones GEI por comunidades autónomas a partir del inventario español. Madrid. España.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, (MARM), .2010. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivo. Resultados nacionales y autonómicos 2009. <http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/encuestacultivos/resultados.htm>, (acceso 12-01-2015).
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2011a. Emisiones de GEI por comunidades autónomas a partir del inventario español serie 1990-2008. http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/atmosfera/emisiones/inventario.htm, (acceso 04-07-2015).
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2011b. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivo. Resultados nacionales y autonómicos 2010. <http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/encuestacultivos/resultados.htm>, (acceso 04-07-2011).

-
- MAGRAMA, 2015. Encuesta sobre superficies y rendimientos de los cultivos. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/>. (Acceso el 15-01-2016).
- Martínez-Fernández, J., Ceballos, A. 2003. Temporal stability of soil moisture in a large-field experiment in Spain. *Soil Science Society of America Journal*. 67, 1647-1656.
- Martínez-Fernández, J., Ceballos, A., Casado, S., Morán C. 2003. Estabilidad temporal de la humedad edáfica bajo diferentes condiciones ambientales mediterráneas y de usos de suelo. En: Alvarez-Benedí, J. y Marinero, P. (eds.). *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*. Vol. VI, 77-82.
- MMMR. 2010. El Clima en peligro. Una guía fácil del Cuarto Informe del IPCC. GRID-Arendal y el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España eds. Arendal, Noruega y Madrid, España. 60 pp.
- Moreno, F; Vauclin; M; Vachaud, G. y Martín-Aranda, J. 1984. Balance hídrico en un olivar con riego gota a gota. 1st Spanish Congress of Soil Science. Madrid. 13-26.
- Moreno, M., Garcia, S., Cañizares, R., Castro, J., Benítez, E. 2009. Rainfed olive farming in south-eastern Spain: Long-term effect of soil management on biological indicators of soil quality. *Agricultural Ecosystem and Environment*. 131, 333-339.
- Moreno, M.M., Lacasta, C., Meco, R., Moreno, C. 2011. Rainfed crop Energy balance of different farming systems and crop rotations in a semi-arid environment: Results of a long-term trial. *Soil & Tillage Research*. 114, 18-27.
- Montgomery, D.R. 2007. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the Unites States of America*. 104, 13268-13272.
- Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., Elgizouli, I., Emori, S., Erda, L., Hibbard, K., Jones, R., Kainuma, M., Kelleher, J., Lamarque, J.F., Manning, M., Matthews, B., Meehl, J., Meyer, L., Mitchell, J., Nakicenovic, N., O'Neill, B., Pichs, R., Riahi, K., Rose, S., Runci, P., Stouffer, R., van Vuuren, D., Weyant, J., Wilbanks, T., van Ypersele, J.P., Zurek, M. 2008. Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts and response strategies.

-
- IPCC Expert Meeting Report, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland, 132 pp.
- Moss, R., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., Wilbanks, T.J. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*. 463, 747–756.
- Nassi o Di Nasso, N., Bosco, S., Di Bene, C., Coli, A., Mazzoncini, M., Bonari, E. 2011. Energy efficiency in long-term Mediterranean cropping systems with different management intensities. *Energy*. 36, 1924-1930.
- Newton, A.C., Johnson, S.N., Gregory, P.J. 2011. Implications of climate change for diseases, crop yields and food security. *Euphytica*. 179, 3-18.
- Oades, J.M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma*. 56, 377-400.
- Ochoa, C.E. 2001. Caracterización de las condiciones erosivas en Andalucía. Trabajo profesional de fin de carrera. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba. España.
- Olesen, J.E., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J., Micale, F. 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy* 34, 96-112.
- Omar-Ferraro, D. 2012. Energy use in cropping systems: A regional long-term exploratory analysis of energy allocation and efficiency in the Inland Pampa (Argentina). *Energy*, 44. 490-497.
- Ordóñez, R., González, P., Giráldez, J.V., Perea, F. 2007a. Soil properties and crop yields after 21 years of direct drilling trials in southern Spain. *Soil & Tillage Research*. 94, 47-54.
- Ordóñez, R., Rodríguez-Lizana, A., Espejo, A.J., González, P., Saavedra, M. 2007b. Soil and available phosphorus losses in ecological olive groves. *European Journal of Agronomy*. 27, 144-153.

-
- Ovando, P., Caparrós, A. 2009. Land use and carbon mitigation in Europe: a survey of the potentials of different alternatives. *Energy Policy*. 37, 992-1003.
- Pastor, M. 2004. Sistemas de manejo de suelo, in: Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L. (eds.), *El cultivo del olivo*. Mundi Prensa, Madrid, España, pp. 231-285
- Paul, E., Follet, S.W., Leavitt, A., Halvorson, G.A., Peterson, G.A., Lyon, D.J. 1997. Radio carbon dating for determination of soil organic carbon pool sizes and dynamics. *Soil Science Society of America Journal*. 61, 1058-1067.
- Peterhansel, C., Offermann, S. 2012. Re-engineering of carbon fixation in plants-challenges for plant biotechnology to improve yields in a high-CO₂ world. *Current Opinion in Biotechnology*. 23, 204-208.
- POOLred, 2013. Sistemas de información de precios en origen del aceite de oliva. <http://www.oliva.net/poolred/default.aspx>. (acceso 06 February 2015).
- Popp, A., Lotze-Campen, H., Bodirsky, B. 2010. Food consumption, diet shifts and associated non-CO₂ greenhouse gases from agricultural production. *Global Environmental Change*. 20, 451-462.
- Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.M., Flannery, B.P. 1992. *Numerical recipes*, 2^a ed. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- Pulleman, M.M., Six, J., Van Breemen, N., Jongman, A.G. 2005. Soil organic matter distribution and microaggregate characteristic as affected by agricultural management and earthworm activity. *European Journal of Soil Science*. 56, 453-467.
- Pyke, C.R., Andelman, S.J. 2007. Land use and land cover tools for climate adaptation. *Climatic Change*. 80, 239-251.
- Quiroga, A., Fernández, R., Noellemeyer, E. 2009. Grazing effect on soil properties in conventional and no-till systems. *Soil & Tillage Research*. 105, 164-170.
- Ramos, M.E., Benítez, E., García, P.A., Robles, A.B. 2010. Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: Effects on soil quality. *App. Soil Eco*. 44, 6-14.

-
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised soil loss equation (RUSLE). USDA. Washington.
- Repullo, M.A., Carbonell-Bojollo, R., Alcantara-Braña, C., Rodríguez-Lizana, A., Ordóñez-Fernández, R. 2012. Carbon sequestration potential of residues of different types of cover crops in olive groves under Mediterranean climate. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 10, 649-661.
- Ritchie, J.T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resources Research*. 8, 1024-1213.
- Rodríguez-Díaz, J.A., Camacho-Poyato, E., Blanco-Pérez, M. 2011. Evaluation of water and Energy use in pressurized irrigation networks in southern Spain. *Journal of irrigation and drainage engineering*. 10, 644-650.
- Rogaard, L., de Porcellinis, A.J., Jacobsen, J.H. 2012. Bioengineering of carbón fixation, biofuels, and biocheicals in cyanobacteria and plants. *Journal of Biotechnology*. 162, 134-147.
- SAN. 1998. Managing cover crops profitably, 2nd ed. Sustainable agriculture network. Handbook series book 3, San, Beltsville.
- Sánchez-Girón, V., Serrano, A., Suárez, M., Hernánz, J.L., Navarrete, L. 2007. Economics of reduce tillage for cereal and legume production on rainfed farm enterprises of different sizes in semiarid conditions. *Soil & Tillage Research*. 95, 149-160.
- Sartori, L., Basso, B., Bertocco, M., Oliviero, G. 2005. Energy use and economic evaluation of a three year crop rotation for conservation and organic farming in NE Italy. *Biosystems Engineering*, 91. 245-256.
- Savary, S., Nelson, A., Sparks, A.H., Willocquet, L., Hodson, D., Duveiller, E., Mahuku, G., Padgham, J., Forbes, G., Pande, S., Sharma, S., Garret, K.A., Yuen, J., Djurle, A. 2011. International agricultural research tackling the effects of global and climate changes on plants diseases in the developing world. *Plant Disease*. 95, 1204-1212.

-
- Savé, R., De Herralde, F., Aranda, X. Pla, E., Pascual, D., Funes, I., Biel, C. 2012. Potential changes in irrigation requirements and phenology of maize, apple trees and alfalfa under global change conditions in Fluvià watershed during XXIst century: results from a modeling approximation to watershed-level water balance. *Agricultural Water Management*. 114, 78-87.
- Smith, P., Andrén, O., Karlsson, T., Perälä, P., Regina, K., Rousenvells, M., Van Wesemaels, B. 2005. Carbon sequestration potential in European croplands has been overestimated. *Global Change Biology*. 11, 2153-2163.
- Sombrero, A., De Benito, A. 2010. Carbon accumulation in soil. Ten-year study of conservation tillage and crop rotation in a semi-arid area of Castile-Leon, Spain. *Soil & Tillage Research*. 107, 64-70.
- Sparks, D.L. 1996. *Methods of soils analysis. Part 3, chemical methods*. Soil Sci. Soc. Am., Wisconsin, USA.
- Sperow, M., Eve, M., Paustian, K. 2003. Potential soil C sequestration on U.S. agricultural soils. *Climatic Change*. 57, 319-339.
- Sousa, P.M., Trigo, R.M., Aizpurua, P., Nieto, R., Gimeno, L., Garcia-Herrera, R. 2011. Trends and extremes of drought indices throughout the 20th century in the Mediterranean. *Natural Hazards and Earth System Science*. 11, 33-51.
- Srinivasarao, Ch., Lal, R., Kundu, S., Prasad Babu, M.B.B., Venkateswarlu, B., Singh, A. 2014. Soil carbon sequestration in rainfed production systems in the semiarid tropics of India. *Science of the Total Environment*. 487, 587-603.
- Steenhuis, T.S., van der Molen, H.W. 1986. The Thornthwaite-Mather procedure as a simple engineering method to predict recharge, *Journal of Hydrology*. 84, 221-229.
- Supit, I., Van Diepen, C.A., De Wit, A.J.W., Kabat, P., Baruth, B., Ludwig, F. 2010. Recent changes in the climatic yield potential of various crops in Europe. *Agricultural Systems*. 103, 683-694.
- Taguas, E.V., Moral, C., Ayuso, J.L., Pérez, R., Gómez, J.A. 2011. Modeling the spatial distribution of water erosion within a Spanish olive orchard microcatchment using SEED model. *Geomorphology*. 133, 47-56.

-
- Torn, M.S., Trumbore, S.E., Chadwick, O.A., Vitousek, P.M., Hendricks, D.M. 1997. Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. *Nature*. 389, 170-173.
- Triplet, G.B., Dick, W.A. 2008. No-Tillage crop production: A revolution in agriculture! *Agronomy Journal*. 100, 153-165.
- United States Department of Agriculture (USDA). 1998. Keys to soil taxonomy. Soil Survey Staff (eds.), *Agriculture Handbook*. Washington DC, USA.
- United Nations Framework Convention on Climatic Change (UNFCCC). 1992. Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Naciones Unidas. GE.05-62301. New York, USA. 50 pp.
- UNEP, 2006. Greenhouse gases and climate change. *Global Environment Outlook 3*. Disponible en: <http://www.unep.org/geo/geo3/english/368.htm> (Acceso el 22-04-2015).
- UNFCCC. 2013. Reporting and accounting of LULUCF activities under the Kyoto Protocol. Bonn, Germany.
- Vachaud, G., Passerat de Silans, A., Balabanis, P., Vauclin, M. 1985. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. *Soil Science Society of America Journal*. 49, 822-828.
- Van Pelt, R.S., Wierenga, P.J. 2001. Temporal stability of spatially measured soil matric potential probability density function. *Soil Science Society of America Journal*. 65, 668-677.
- Vanderlinden, K., Gabriels, D., Giráldez, J.V. 1998. Evaluation of infiltration measurements under olive trees in Córdoba. *Soil & Tillage Research*. 48, 303-315.
- Vanderlinden, K., Giráldez, J.V., Van Meirvenne, M. 2005. Soil Water-Holding Capacity Assessment in Terms of the Average Annual Water Balance in Southern Spain, *Vadose Zone Journal*. 4, 317-328.
- Vanwalleghem, T., Giraldez, J.V. 2008. Midiendo fuera de las parcelas de erosión: Importancia de erosión por cárcavas y regueros en cuencas de olivar, in: López, J.A., Rubio, J.C., Martín, M., (eds.), *Proceedings VII Simposio del agua en Andalucía*. Jaén, España, pp. 211-217.

-
- Vanwallegem, T., Laguna, A., Giráldez, J.V., Jiménez-Hornero, F.J. 2010. Applying a simple methodology to assess historical soil erosion in olive orchards. *Geomorphology*. 114, 294-302.
- Verheijen, F.G.A., Jones, R.J.A., Rickson, R.J., Smith, C.J. 2009. Tolerable versus actual erosion rates in Europe. *Earth-Science Rev.* 94, 23-28.
- Villalobos, F.J., Mateos, L., Orgaz, F., Fereres, E. 2002. Evapotranspiración y necesidades hídricas. En: Mundi-Prensa (eds.). *Fitotecnia: Bases y tecnologías de la producción agrícola*. Universidad de Córdoba e Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC). Madrid. 10, 105-124.
- Walkley A., Black I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic titration method. *Soil Science*. 34:29-38.
- West, T.O., Six, J. 2007. Considering the influence of sequestration duration and carbon saturation on estimates of soil carbon capacity. *Climatic Change*. 80, 25-41.
- Wilkinson, B.H., McElroy, B.J. 2007. The impact of humans on continental erosion and sedimentation. *GSA Bulletin*; 119, 140-156.
- Zentner, R.P. Lafond, G.P., Derksen, D.A., Nagy, C.N., Wall, D.D., May, W.E. 2004. Effects of tillage method and crop rotation on non-renewable energy use efficiency for a thin Black Chernozem in the Canadian prairies. *Soil & Tillage Research*, 77. 125-136.
- Zhang, J.H., Quine, T.A., Ni, S.J., Ge, F.L. 2006. Stocks and dynamics of SOC in relation to soil redistribution by water and tillage erosion. *Global Change Biology*. 12, 1834-1841.

PROCCIÓN CIENTÍFICA DE
LA TESIS DOCTORAL

11. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DE LA TESIS DOCTORAL

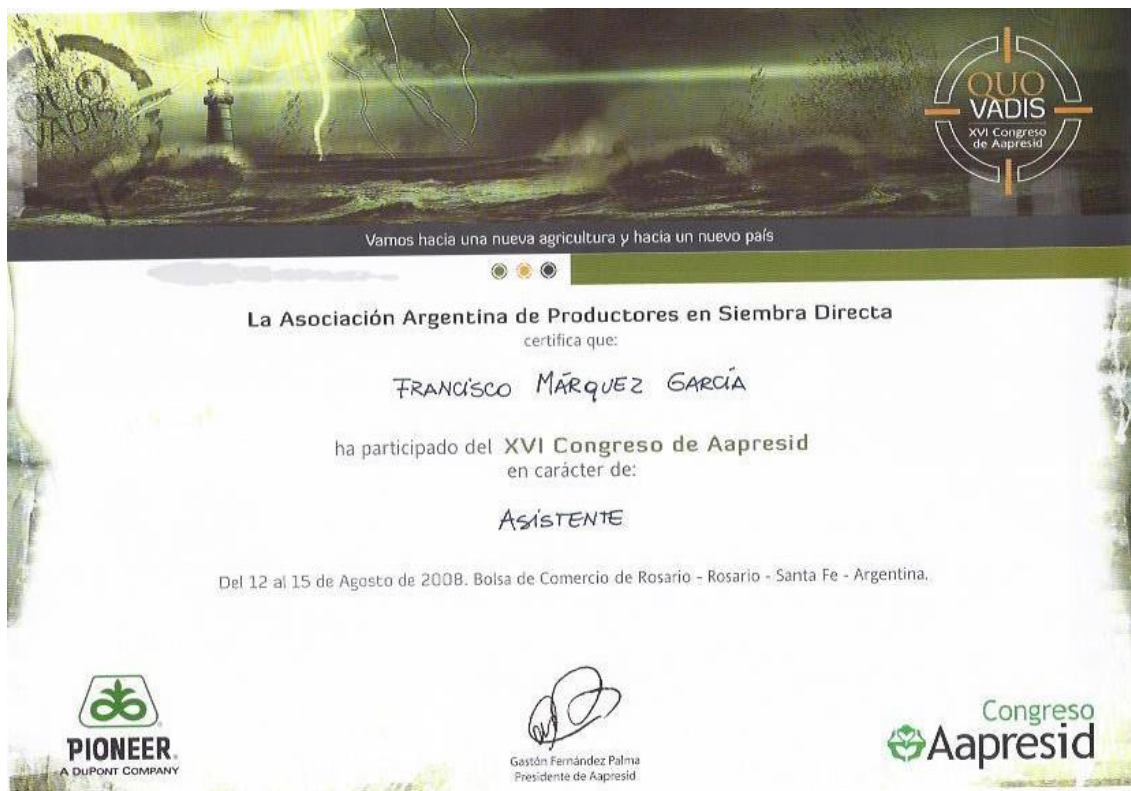
11.1. INDICIOS DE CALIDAD DE LA TESIS DOCTORAL

11.1.1. Estancias internacionales de la Tesis Doctoral

- Estancia internacional con la Asociación Argentina de Productores en siembra Directa (AAPRESID). Duración: 35 días. Periodo: 23/07/2008 al 26/08/2008. Tutor. Gastón Fernández Palma.

Argentina es el país con mayor porcentaje de agricultura bajo agricultura de conservación a nivel mundial. Durante este periodo de más de un mes se llevaron a cabo más de 15 visitas en distintas explotaciones agrarias de 6 estados diferentes recibiendo una formación, por parte de agricultores y técnicos, en siembra directa en cultivos extensivos. Durante el último periodo de la estancia asistí al congreso internacional organizado por AAPRESID específico de sistemas agrarias bajo agricultura de conservación.





- Estancia internacional en la Faculty of Bioscience Engineering de la Katholieke Universiteit of Leuven. Duración: 92 días. Periodo: 01/06/2013 al 31/08/2013. Tutor: Prof. Wouter Saeys.

La facultad de BioCiencias de la KU Leuven es un referente a nivel mundial en análisis de imágenes y desarrollo de modelos matemáticos en agricultura. Durante esta estancia se ha llevado a cabo en análisis hyperspectral de imágenes de distintas hierbas presentes en el olivar y hojas de olivo, desarrollando un modelo que permita discernir entre hojas del cultivo y malas hierbas con el fin de poder realizar tratamientos sitioespecíficos con herbicida en las calles del olivar.



TEACHING AND LEARNING DEPARTMENT
INTERNATIONAL ADMISSIONS AND MOBILITY
NAAMSESTRAAT 63 BOX 5410
3000 LEUVEN, BELGIUM



Mr. Francisco Márquez-García
Doctor Flemming 5-2-1
14004 Córdoba
Spain

REFERENCE TOELVIs / SESU
REFERENCE ID 0437945 / Contract 000000040926
LEUVEN 2013-03-06

LETTER OF INVITATION
Visiting Scholar - Short stay
Márquez-García Francisco, Spain, 1981-02-11

Dear Mr. Márquez-García,

We are pleased to inform you that you have been accepted as a Visiting Scholar to the KU Leuven.

You are invited as Visiting Scholar from 2013-06-01 to 2013-08-31 at the Faculty of Bioscience Engineering to study “Hyper- and Multispectral Imaging in the field”. Your promoter will be Prof. Wouter Saeys.

Please read the instructions in the annex letter carefully, especially items nr 4 and 5 about registration and insurance.

We look forward to having you among our scholars and wish you an enriching study period.

Yours sincerely,

Mrs. Marie-Thérèse DELODDERE
Head of International Admissions

Copy: Prof. Dr. Wouter Saeys

MARIE-THERESE DELODDERE, HEAD INTERNATIONAL ADMISSIONS
TEL. + 32 16 32 40 25 FAX +32 16 32 37 73
tres.deloddere@kuleuven.be
www.kuleuven.be/english



11.1.2. Publicaciones científicas de la Tesis Doctoral

- Márquez-García, F., González-Sánchez, E.J., Castro-García, S., Ordóñez-Fernández, R. 2013. Improvement of soil carbon sink by cover crops in olive orchards under semiarid conditions. Influence of the type of soil and weed. Spanish Journal of Agricultural Research. 11, 335-346. Número citas 9. Factor impacto año publicación (2013): 0,51. Posición: 38/56; Q3. Factor impacto año envío (2012): 0,66. Posición: 28/57. Q2. Factor impacto medio últimos 5 años: 0,67. Posición: 30/56; Q2.

Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA)
Available online at www.inia.es/sjra
<http://dx.doi.org/10.54244/sjra.2013112-3358>

Spanish Journal of Agricultural Research 2013 11(2), 335-346
ISSN: 1695-9711-X
eISSN: 2171-6202

Improvement of soil carbon sink by cover crops in olive orchards under semiarid conditions. Influence of the type of soil and weed

F. Marquez-Garcia^{1,2*}, E. J. Gonzalez-Sanchez^{1,2}, S. Castro-Garcia¹
and R. Ordoñez-Fernandez

¹ Departamento de Ingeniería Rural. ETSIAM. Universidad de Córdoba. Ed. Leonardo Da Vinci. Campus de Rabanales. Ctra. Nacional IV, km 396. 14014 Córdoba, Spain

² Asociación Española de Agricultura de Conservación. Suelos Vivos (AEAC.SV).

Centro IFAPA Alameda del Obispo. Avda. Menéndez Pidal, s/n. 14004 Córdoba, Spain

³ Área de Producción Ecológica y Recursos Naturales. Centro IFAPA Alameda del Obispo. Apdo. 3092. 14080 Córdoba, Spain

Abstract

The olive tree is one of the most important crops in Spain, and the main one in the region of Andalusia. Most orchards are rain-fed, with high slopes where conventional tillage (CT) is the primary soil management system used. These conditions lead to high erosion and a significant transport of organic carbon (OC). Moreover, soil tillage accelerates the oxidation of the OC. Cover crops (CC) are the conservation agriculture (CA) approach for woody crops. They are grown in-between tree rows to protect the soil against water erosion and their organic residues also help to increase the soil carbon (C) sink. Soil and OC losses associated to the sediment were measured over four seasons (2003-07) using micro-plots for the collection of runoff and sediment in five experimental fields located in rain-fed olive orchards in Andalusia. Two soil management systems were followed, CC and CT. Furthermore, the changes in soil C in both systems were analyzed at a depth of 0-25 cm. CC reduced erosion by 80.5%, and also OC transport by 67.7%. In addition, CC increased soil C sink by 12.3 Mg ha⁻¹ year⁻¹ of carbon dioxide (CO₂) equivalent, with respect to CT. Cover crops in rainfed olive orchards in a Mediterranean climate could be an environmental friendly and profitable system for reducing erosion and increasing the soil C sink. However, C fixing rate is not regular, being very high for the initial years after shifting from CT to CC and gradually decreasing over time.

Additional key words: carbon fixation; climate change; conservation agriculture; soil protection; woody crops.

Introduction

Olive trees (*Olea europaea* L.) are native to the Mediterranean basin; however, it is in Spain where they have reached their greatest development and implantation (Civantos, 2008). In many Spanish regions, this tree is almost the only crop. In Andalusia, olive orchards cover a surface area that exceeds 1.5 million hectares, 60.2% of Spain's total growing area (MARM, 2010). Andalusia produces 39% of the world's olive oil and 24% of the world's table olives (IOOC, 2011). The crop represents 25% of Andalusia's agricultural production (CoAP, 2003). Most plantations are rain-fed,

occupying 74.5% of the total olive cultivated area in Andalusia (CoAP, 2003) and are normally grown on relatively poor soils with steep slopes. Approximately 12% of the olive trees in Andalusia are planted on slopes greater than 25%, and 24% to 46% of the trees are on hills with an inclination between 15-25% and 5-15%, respectively. Only 18% are found on slopes of less than 5% (CoAP, 2003). These facts, together with a Mediterranean climate with lengthy periods of drought followed by frequent torrential storms, result in high soil losses as intensive tillage is the most common soil management system (Pastor, 2004; Gómez, 2005; Vanwalleghem *et al.*, 2010). During high intensity

* Corresponding author: fmarquez@agriculturadconservacion.org
Received: 01-10-12. Accepted: 10-05-13.

Abbreviations used: C (carbon); CA (conservation agriculture); CT (conventional tillage); OC (organic carbon); OM (organic matter); SOC (soil organic carbon).

events, these losses can cause erosion rates higher than 400 Mg ha⁻¹ (Vanwalleghem & Giraldez, 2008).

Although soil loss associated tillage is the greatest environmental problem of rain-fed olive farming, nowadays, the loss of soil organic carbon (SOC) associated with ploughing is considered a serious threat. Indeed, not only for the continuity of crop production, as it reduces soil fertility, but also for the environment, as a result of high CO₂ emissions (Kassam et al., 2012).

Several consequences of with soil tillage cause a decrease in SOC content due to organic matter (OM) mineralization. These are: aeration of the soil profile, breaking up, depletion and instability of the aggregates, increase in the proportion of macropores to micropores and severe reduction of the contribution of organic residue (Lal & Kimble, 1998; Jones et al., 2004; Bronick & Lal, 2005; Pulleman et al., 2005). These effects significantly reduce soil fertility and productivity and increase CO₂ emissions into the atmosphere, through SOC oxidation. Moreover, global CO₂ releases associated with erosion are estimated to be between 0.8 and 1.2 Gt year⁻¹ (Lal, 2003).

OM is basically composed of carbon (C) and is widely recognized as a stabilizing compound of the soil structure and a nutrient reservoir for plants (Carbonell et al., 2010). During the second half of the 20th century, the intensification of agricultural systems, especially soil tillage, caused an important decrease in SOC (Izaurrealde et al., 2001; Sperow et al., 2003; Triplett & Dick, 2008). The global amount of C accumulated in the soil was estimated to be around 2,500 Gt, with 62% found in the SOC and the rest as inorganic C. This reserve is double the amount found in the atmosphere (760 Gt) and 2.8 times that of the biotic mass (560 Gt). Inadequate practices are estimated to had been responsible for the loss of between 55 and 78 Gt of C from the soil, which corresponds with its potential capacity as a C sink. However, the real capacity to store C in the soil was found to be between 50% and 66% of its potential capacity (Lal, 2004).

C sequestration requires the transfer of atmospheric C to storage in such a way that it is not immediately re-emitted. Given that the average degradation time of OM in the soil is in the order of centuries, even millenniums (Paul et al., 1997; Torn et al., 1997), increasing SOC using appropriate soil management practices is an interesting option, since the strategy for sequestering C in the soil is economically and environmentally efficient.

Conservation agriculture (CA) in woody crops accumulates C in the soil for several reasons. The first

is to reduce output of OM adsorbed to sediment by decreasing water erosion (Gómez et al., 2005; Francia et al., 2006; Ordóñez et al., 2007a). The second to increase OM content by contributing a great amount of plant residue (Moreno et al., 2009). The third is to reduce the mineralization of OM by not aerating the soil (Oades, 1993; Franzluebbers, 2002).

In spite of the foregoing advantages, there are still many questions regarding the role that soil management systems could play in atmospheric C sequestration (Smith et al., 2005; Pyke & Andelman, 2007; Ovando & Caparrós, 2009). The objective of this study is to quantify the efficiency of cover crops (CC) as a method for improving soil capacity as a C sink in rain-fed olive orchards under semiarid conditions in Southern Spain.

Material and methods

Experimental fields

The study was conducted over four seasons (2003-07) in five experimental fields distributed in different rain-fed olive regions in Andalusia: two in the province of Córdoba (Fields 1 & 2), and one in the province of Jaén (Field 3), Seville (Field 4) and Huelva (Field 5). The fields include most soil types and olive growing systems and the most common practices under CA. Therefore, they represent the reality of olive production in Andalusia, obtaining results that are very close to real values, when extrapolating the data to the total crop in this region. Table 1 presents the most relevant characteristics of the fields. During the first year of study, samples were taken from all fields to determine the physico-chemical characterization of the first 60 cm of soil. Table 2 provides a summary of the results. Differences were observed in the textures of the experimental fields and especially in the organic carbon (OC) content, which was influenced by the granulometric composition of the soil, the weather and the different tillage systems used by the olive grower.

Experimental design and treatments

In each field, three plots under CA were established in the cover of the orchard and the tillage plots were established in areas designed for this purpose. In order to calculate the temporal evolution of the SOC, three

Table 1. Main characteristics of the experimental fields

	Field 1	Field 2	Field 3	Field 4	Field 5
Province	Cordoba	Cordoba	Jaen	Seville	Huelva
Frame (m ²)	8×8	Undefined	12×12	8×6	6×8
Age (years)	12	> 60	> 70	10	9
CC*	Spontaneous	Spontaneous	Sown	Spontaneous	Spontaneous
CC control	Mowing + tillage	Grazing	Herbicide	Weed trimmer	Weed trimmer
Slope (%)	15.6	21.6	18.6	6.2	8.7
Soil type	Calcic Haplosercept	Ruptic-Lithic Xerothent	Calcic Haplosercept	Typic Calcixercept	Typic Haplosercept
Coordinates	37° 38' 18" N 4° 46' 01" W	38° 08' 26" N 4° 46' 01" W	37° 49' 42" N 3° 57' 36" W	37° 34' 38" N 5° 21' 37" W	37° 21' 14" N 6° 23' 42" W

* CC: cover crops.

pairs of sub-plots (6 m²) were selected for each soil management system, conventional tillage (CT) and CC, in every experimental field. The sub-plots were distributed in a completely randomized block design. So as to ensure accurate results, runoff diverters were installed in the tillage plots to prevent entry of water and sediment that came from the CC. Three micro-plots (1 m²) were selected in each experimental field, for collecting runoff and sediment, and measuring soil loss and OC adsorbed in the sediment, as was described in detail by Rodriguez-Lizana *et al.* (2005). The micro-plots were distributed in a completely randomized block design.

After every rainfall event, two sub-samples of water and sediment were taken from each micro-plot field in a 1.3 L container. Prior to taking of sub-samples, the runoff and sediment collected in the containers were shaken to ensure a homogeneous distribution of sediment. The CC were managed differently in each farmer's field, so timing and type of cover control were different, depending on their local practices, as Table 1 shows. Tillage inside the micro-plots under CT was performed according to the vegetative state of the grass and the local practices in the area under study. In order to perform this task, a rotary tiller was used to plough the soil to a depth of 20–25 cm.

Table 2. Main physico-chemical characteristics of the experimental fields

Field	Depth (cm)	pH	OC* (%)	CO ₂ ² (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture
1	0–20	8.09	0.65	78.6	21.3	45.8	32.9	Clayey-loam
	20–40	8.26	0.51	78.6	25.9	45.8	28.3	Clayey-loam
	40–60	8.25	0.76	67.0	27.1	39.2	33.7	Clayey-loam
2	0–20	6.61	1.54	8.5	37.6	57.6	5.2	Silty-loam
	20–40	6.61	0.94	0.4	34.2	60.1	5.7	Silty-loam
	40–60	6.66	0.55	0.4	47.4	47.5	5.1	Sandy-loam
3	0–20	7.98	0.55	48.0	27.0	39.8	33.2	Clayey-loam
	20–40	7.89	0.69	44.8	25.3	43.9	30.8	Clayey-loam
	40–60	8.08	0.35	49.6	30.4	43.1	26.5	Loamy
4	0–20	8.29	0.88	28.2	42.6	33.2	24.2	Loamy
	20–40	8.21	1.21	28.1	36.2	32.8	31.2	Clayey-loam
	40–60	8.23	1.06	34.2	37.6	34.9	28.3	Clayey-loam
5	0–20	8.05	0.89	20.1	28.4	41.8	29.8	Clayey-loam
	20–40	8.09	0.79	20.9	27.4	43.1	29.3	Clayey-loam
	40–60	8.25	0.55	33.4	24.7	47.6	27.7	Clayey

* OC: organic carbon.

At the beginning of the experiment and after 4-years of study, a comparative balance of SOC was carried out for both soil management systems. As the surface layers show the most significant changes after the first years of CC implementation (Jarecki & Lal, 2005); samples were taken at the depths of 0-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm and 10-25 cm. Each sample was composed of 3 sub-samplings from each sub-plot. At the same time, bulk density of the soil was calculated at two depths (top 0-6 cm and 19-25 cm) in each soil management system and experimental field, using a hollow stainless steel cylinder (height 60 mm, diameter 52 mm, volume 127.423 cm³). In addition, prior to mowing the CC, the amount of biomass generated was calculated by taking annual samples in four replications from an area of 0.25 m². This task was only performed in CA fields, as CT eliminates the soil cover due to plough passes.

Climate conditions of the study area

The study area corresponds to a xeric moisture regime, according to Soil Taxonomy (USDA, 1998). The climate is characterized by a cold and humid period that coincides with the autumn and winter, when 80% of the rainfall occurs; and a very hot and dry period during the spring and summer. The temperature regime is thermic. Table 3 shows that temperatures were more homogeneous than rainfall, which recorded differences of more than 200 mm year⁻¹ in some of the experimental fields with respect to the mean total precipitation.

Laboratory analysis

Runoff water with sediment lost were oven-dried at 110°C to obtain sediment dry weight, after which the

concentration of sediment was calculated by extrapolating the total runoff volume. Dried soil and sediment were sieved through a 2 mm sieve, and then fine earth was used to determine SOC content using the oxidation method proposed by Walkley & Black (1934). After ascertaining the SOC content of each soil, using Eq [1], the amount of CO₂ equivalent can be calculated using Eq [2]:

$$OC (Mg ha^{-1}) = \quad [1]$$

$$= OC (g kg^{-1}) \cdot \rho_s (Mg m^{-3}) \cdot D (m) \cdot 10,000 (m^2 ha^{-1}) \cdot 1 kg/1,000 g$$

$$CO_2 (Mg ha^{-1}) = OC (Mg ha^{-1}) \cdot 3.67 \quad [2]$$

where OC: soil organic carbon, ρ_s : soil bulk density, D: soil depth, and CO₂: carbon dioxide.

The plant residue was washed with distilled water to eliminate impurities and then was dried for two days in a forced-air oven at 65°C to obtain the dry weight.

Statistical analysis

Version 8 of the program Statistix was used for the statistical analysis of the data. Three factors were considered: plot, block and treatment. The comparison of means between these factors was performed using the Tukey test.

Results and discussion

Presumably, CA systems would produce an increase in the bulk density of the soil due to absence of tillage and the effects of repeated machinery traffic. However, Fig. 1 does not show important differences in the soil bulk density for CC and CT systems, as also observed Alvarez & Steinbach (2009). Soils under CA registered

Table 3. Average temperatures (°C) and precipitation (mm) and their standard deviation from 2003 to 2007

Field		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
1	Temp	7.4±1.0	8.6±1.6	11.9±0.7	14.4±1.4	18.0±1.5	24.5±1.6	27.4±0.4	26.8±0.6	22.5±0.6	16.9±1.7	11.5±1.2	8.0±0.3	—
	Rain	41±34	79±21	71±40	40±31	53±41	5±5	2±3	2±4	29±11	95±30	37±37	47±30	300±120
2	Temp	6.7±1.1	7.1±1.4	10.1±0.9	12.4±1.1	18.8±2.1	23.0±1.8	26.2±0.5	25.5±0.8	21.9±1.6	15.5±1.2	10.5±1.2	6.9±0.3	—
	Rain	36±26	57±22	60±36	60±14	52±36	4.4±2.4	0±0	8±14	36±27	146±97	54±43	53±28	365±177
3	Temp	8.0±1.0	9.3±1.7	12.7±1.0	15.6±1.4	20.4±2.2	26.1±1.7	29.0±0.4	28.3±0.8	24.1±0.7	18.3±1.0	12.4±1.2	8.7±0.3	—
	Rain	21±21	63±21	34±32	52±36	45±42	8±9	1±1	8±10	21±13	72±32	38±32	34±21	406±119
4	Temp	8.9±1.4	10.1±1.8	13.5±0.6	16.3±0.7	20.6±1.7	25.2±1.3	27.4±0.8	27.0±0.7	23.8±0.8	18.6±0.6	13.2±1.3	9.5±0.4	—
	Rain	40±46	68±36	46±30	33±16	63±55	2±3	0±0	14±18	34±24	79±73	52±43	57±42	301±138
5	Temp	10.1±0.9	10.9±1.1	13.6±0.7	15.6±0.9	19.4±1.5	23.5±1.7	26.0±0.8	25.7±1.1	22.7±0.6	18.6±0.6	14.8±0.8	10.9±0.5	—
	Rain	50±50	82±70	57±40	42±31	36±39	11±20	0±0	17±33	10±22	117±72	59±47	46±33	335±212

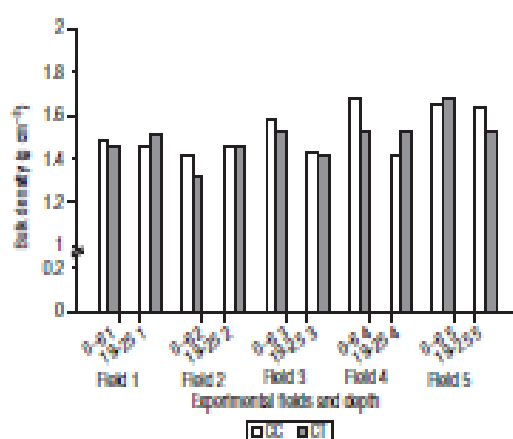


Figure 1. Bulk density of the different experimental fields and depths sampled. Sampling season: 2003-04.

slightly higher bulk density values on the surface (0-6 cm). In all experimental fields, average bulk density increased by 4% with the CC system, whereas bulk density was distributed more homogeneously under the CT system. This result coincides with those published by Birkás *et al.* (2004), who observed that CA displayed a compaction peak at a depth of 3-5 cm. This compaction could increase erosion processes, as Fullen (1985) observed, but the plant protection reduced soil erosion in CC.

Fig. 2 shows the relationship between soil loss and OC loss adsorbed to the sediment during the four seasons of the study for all the experimental fields and treatments. A positive relationship can be observed between soil loss and OC output in both management

systems. The results showed that for CC, erosion was always below 2 Mg ha^{-1} and OC losses less than 40 kg ha^{-1} , with an R^2 of 0.87. Meanwhile, for CT erosion ($<6 \text{ Mg ha}^{-1}$) and OC losses ($<80 \text{ kg ha}^{-1}$) were higher than in CC, also with a high R^2 of 0.83. It is worth highlighting the huge erosion and OM losses measured with some rainfall events under the CT system, which is very common in this region and these crops (Martínez-Mena *et al.*, 2012).

Table 4 shows the average annual accumulated erosion and OC loss over four seasons, as well as the decrease caused by CA compared to CT. In general, the CC system reduced soil and OC loss, whereas the CT system increased them in all experimental fields. Relative to the CT system, the fields that recorded most erosion were normally the fields with the greatest OC loss *i.e.*, Field 3, with $8.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ and $80.9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ respectively, followed by Field 5 (with $3.66 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ and $43.73 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) and Field 4 (with $2.46 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ and $49.04 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$). Nevertheless, this did not happen with the OC in Fields 4 and 5, because the Field 4 had a greater OC concentration on the surface than Field 5 in the CT system (Fig. 3). With regard to the CC system, Field 5 contributed the largest reduction in soil loss *i.e.*, 91.6% in comparison to the CT system, followed by 89.5%, 86.0%, and 83.6% for Fields 2, 4 and 3, respectively; while the lowest reduction in soil loss was 51.7% observed in Field 1. On the other hand, Field 2 displayed the highest reduction in OC loss *i.e.*, 80% in comparison to CT system, followed by 75.0%, 72.1%, and 66.4% for Fields 4, 5 and 3, respectively. The lowest reduction in OC loss was 45.0%, observed in Field 1. In general, the average reduction in OC output and

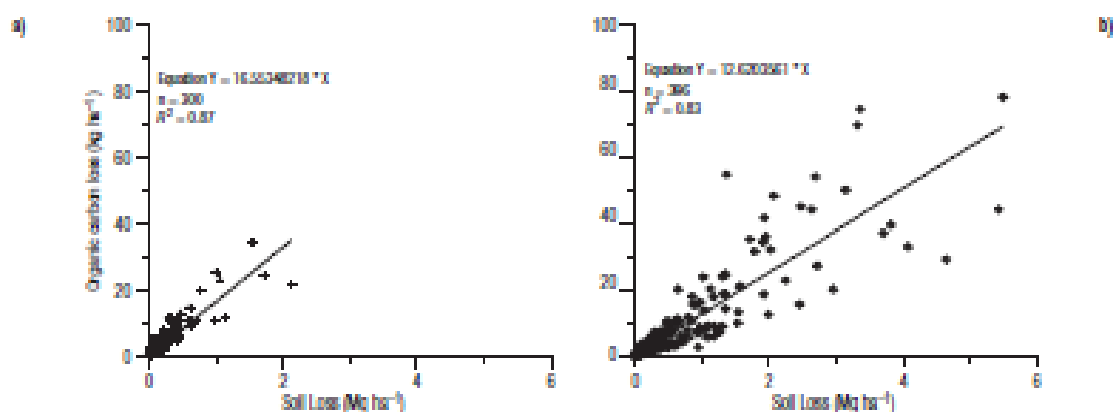


Figure 2. Correlation between soil loss and organic carbon (OC) loss adsorbed to sediment for the whole experimental fields and study period (2003-07): (a) cover crops (CC), (b) conventional tillage (CT).

Table 4. Average annual soil and organic carbon (OC) losses and their reduction percentages from 2003 to 2007

		Field 1	Field 2	Field 3	Field 4	Field 5
Soil loss (kg ha ⁻¹)	CC ^a	616.60	219.35	1,350.00	345.44	309.21
	CT ^b	1,276.14	2,079.29	8,216.13	2,461.01	3,662.70
	Reduction (%)	51.7	89.5	83.6	86.0	91.6
OC loss (kg ha ⁻¹)	CC	8.78	8.47	24.19	12.28	12.19
	CT	15.95	42.27	80.91	49.04	43.76
	Reduction (%)	45.0	80.0	66.4	75.0	72.1

^a CC: cover crop. ^b CT: conventional tillage.

erosion in the five fields was 67.7% and 80.4% respectively; this reduction was less than that observed by Gómez *et al.* (2011) under similar conditions, especially for the OC (95.2%), and slightly lower for erosion (97.4%). With regard to erosion and OC loss, the higher the reduction in erosion, the greater the reduction in OC output from the system.

C inputs favored by the presence of plant residues on the surface and the lower output of OC associated

with sediment, made greater OC concentration in the soil in the conservative system. As observed in Fig. 3, which shows the variation in OC content versus depth, in the top layer sampled (0-2 cm), 4 out of 5 fields showed statistically significant differences in favor of CC. Concentrations in OC were above 1.2% in the first 5 cm in all cases, which is the amount recommended in Andalusia as the minimum value for integrated production systems (BOJA, 2002). These results are simi-

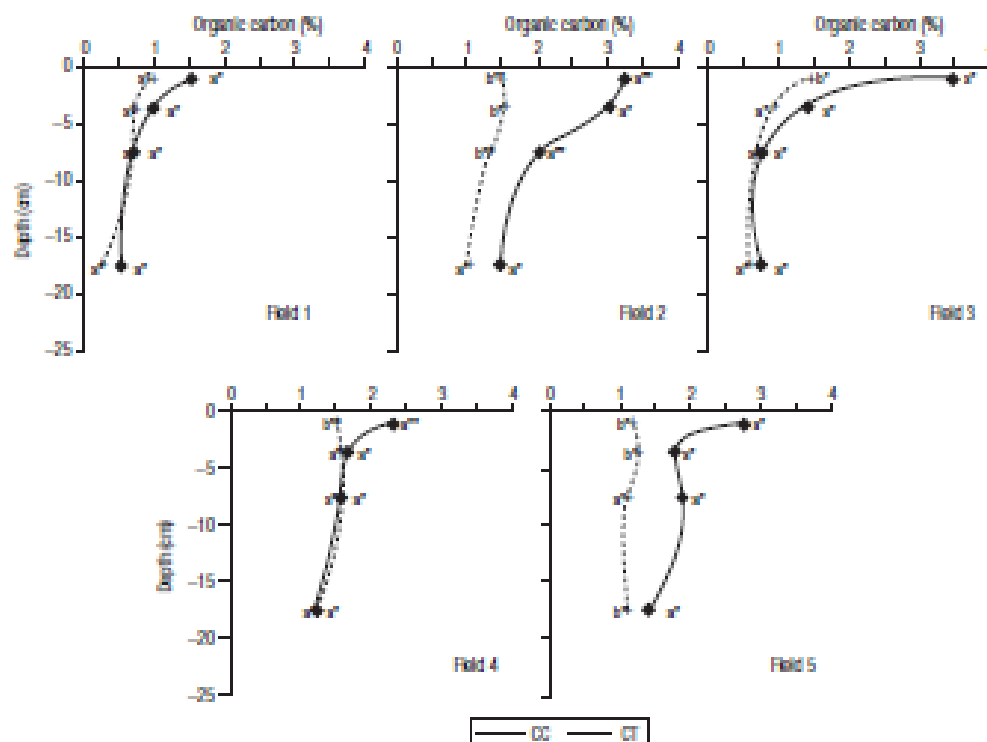


Figure 3. Spatial variation of the OC content (%) versus depth for the 2006-2007 sampling season. Different letters indicate significant differences with the Tukey test for * $p \leq 0.05$ and ** $p \leq 0.01$.

Table 5. Standard deviation of the organic carbon concentration in the soil for the experimental fields and depths sampled

Field		Season 2006-07				
		0-2 cm	2-5 cm	5-10 cm	10-25 cm	0-25 cm
1	CC*	±0.68	±0.79	±0.82	±0.90	±0.76
	CT*	±0.52	±0.47	±0.52	±0.56	±0.25
2	CC	±0.76	±1.09	±0.69	±0.97	±0.54
	CT	±0.51	±0.19	±0.65	±0.60	±0.47
3	CC	±2.40	±1.11	±0.72	±0.84	±0.44
	CT	±0.45	±0.72	±0.13	±0.10	±0.11
4	CC	±0.76	±0.40	±0.43	±0.60	±0.42
	CT	±0.65	±0.27	±0.59	±0.08	±0.12
5	CC	±0.94	±0.20	±1.06	±0.11	±0.25
	CT	±0.28	±0.22	±0.12	±0.18	±0.12

* CC: cover crop. * CT: conventional tillage.

lar to those obtained by Castro *et al.* (2008) and Gómez *et al.* (2009) for olive groves in Andalusia.

As profile depth increased, differences in the content of SOC decreased. In fact, below 10 cm, statistically significant differences were observed in only one of the fields (5), because the amount of debris contributed by the roots of the plants may not be as great as the canopy, and it is distributed over a larger area. Therefore, the top layer experienced a greater and faster increase in OC not only in olive orchards, but also in different arable crops (Jarecki & Lal, 2005; Ordóñez *et al.*, 2007b).

As regard the dispersion of the results, Table 5 summarizes the standard deviation of OC at the four depths for the five experimental fields during the 2006-2007 sampling season. Regardless of soil depth, the highest standard deviation values were observed in the soils using the CC system. Ploughing homogenized the profile and lessened the spatial variations of its components. These data coincide with those observed by Hernández *et al.* (2005) under similar climatological conditions.

For the total profile sampled (0-25 cm), most of the fields showed important differences in OC content between CC and CT. Fig. 4 shows two fields (2 and 5) demonstrating significant differences in favor of CC. These results coincide with those obtained by other authors for olive groves (Hernández *et al.*, 2005; Gómez *et al.*, 2009; Ramos *et al.*, 2010).

Soil capacity to store OC primarily depends on climatic and edaphological conditions (Miller *et al.*, 1994); however, the soil management system can play a decisive

role in agricultural land (Hernanz *et al.*, 2002), as well as the local conditions of the farm itself. Some authors, such as Arrouays *et al.* (2006), found a positive correlation between clay content and the amount of SOC. In our study, and considering the 0-25 cm layer, the highest values of OC were observed in Fields 2, 5 and 4, whose soils registered a lower percentage of clay than that estimated for Fields 1 and 3 (Table 2 and Fig. 4). In these cases, the climatic conditions affecting the study area could have been more important in the evolution of SOC than its edaphological characteristics. The soils with CC in Field 2 warrant a special mention, recording higher OC values for all of the depths sam-

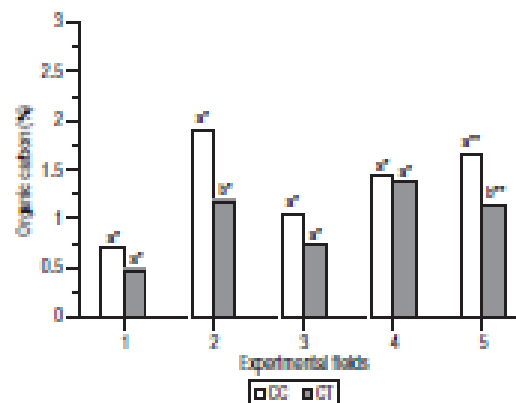


Figure 4. Variation in OC content between the different experimental fields for the total profile sampled (0-25 cm) for the 2006-2007 sampling season. Different letters indicate significant differences with the Tukey test for * $p \leq 0.05$ and ** $p \leq 0.01$.

pled, possibly due to the fact that the cover was controlled by grazing, which contributed a large amount of C in the form of livestock excrement, further raising OC content. These results coincide with those observed by Quiroga *et al.* (2009). It must also be taken into account that this field registered the bigger precipitation, favoring the activity of microorganisms, which decompose the organic residue. The lowest OC concentrations under both soil management systems were obtained in Field 1. This farm was run under organic farming, increasing the number of tillage passes over the soil to control the grass in CT. In addition, both management systems used the application of vinasse, a liquid organic fertilizer, which is a product of grape fermentation. Application required deep ploughing and subsequent injection into the soil. It should be pointed out that vinasse was not applied at the OC sampling points, in order to prevent any alteration to the values caused by the distorting effect of vinasse application on C fixation. However, a tillage pass was made. Therefore, the increase in soil tillage and tillage depth favored the breaking down of aggregates and the oxidation of the OC that they protected in both systems (Trebrügge & Düring, 1999).

The production of biomass, as shown in Fig. 5, produced very different results. The average biomass production of the CC primarily consisting of broadleaf weeds (Fields 1, 2 and 4) ranged between 3.5 and 4.5 Mg ha⁻¹ during the three sampling years. The CC primarily made up of *gramineae* produced much more plant mass, approximately 7 Mg ha⁻¹ in Field 3 and 9 Mg ha⁻¹ in Field 5. These values are comparable to the 5-10 Mg ha⁻¹ biomass produced in vineyards in Cali-

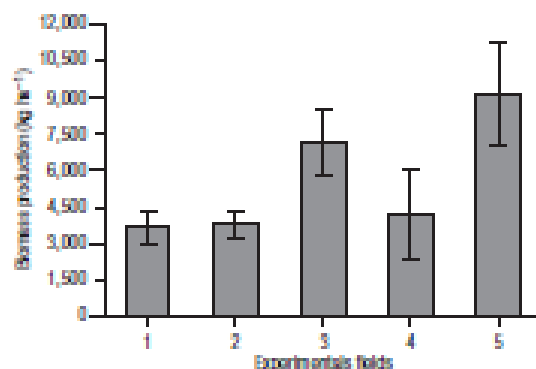


Figure 5. Average annual biomass production and its standard deviation for the different experimental fields. Sampling seasons: 2003 to 2007.

fornia measured by Bugg *et al.* (1996) and the mean values observed by SAN (1998) for different types of cover, 1.5-11 Mg ha⁻¹. It is worth highlighting that the fields with *gramineae* CC (3 and 5) display the highest surface concentrations of OC of all five fields studied, together with Field 2, for the previously mentioned reasons.

Table 6 shows the CO₂ equivalent accumulated in the soil at the start of the study and the CO₂ equivalent after four years for the different depths sampled and experimental fields. Differences were also observed between the soil management systems studied. At the start of the experiment, the amount of CO₂ equivalent accumulated in the soil was similar for both management systems and the differences observed were less than 10%, except for Field 4, where it was 12.09%, with a mean of 5.71% between the five fields. For the total profile sampled, after four years in the five experimental fields, CC increased CO₂ equivalent content with respect to the reference period (2003) in all the experimental fields, with an average value of 15.88 Mg ha⁻¹ year⁻¹. CT increased the sink effect of this compound in three of the five fields. However, overall, a lower increase of 3.57 Mg ha⁻¹ year⁻¹ was obtained. These values are higher than those measured by González-Sánchez *et al.* (2012), in similar conditions (1.54 Mg ha⁻¹ year⁻¹). The reason could be related to a shorter period in our case (4 year respect 10 year). In addition, in our study the cover crops formed with grass constituted the largest C sink, unlike in González-Sánchez *et al.* (2012), where this alternative produced the worst results.

Fig. 6 shows the deviation respect to the mean of the average increase of CO₂ equivalent observed in the different experimental fields compared to the reference period (2003-04 seasons), for CC and CT, studied individually and collectively. It shows how the deviation is small for CC. Field 1 was slightly below the mean, and Field 5 was slightly above it. In the case of tillage, the situation changes, exhibiting a much greater deviation. Experimental Fields 1 and 2 displayed a negative deviation (below the mean), since these fields underwent deeper and harsher tillage, with inversion of the soil profiles. However, less aggressive tillage was used in the other three fields, with less tillage trips and no overturning, resulting in a positive deviation (above the mean). Studying both management systems together revealed how CC always registered positive deviations with respect to the mean, except in Field 1; as this system was tilled to inject vinasse as previously explained.

Table 6. CO₂ equivalent fixation (Mg ha⁻¹) for the different depths sampled and experimental fields

Field	System	2003-04		2006-07			Δ 0-25 cm
		0-25 cm	0-2 cm	2-5 cm	5-10 cm	10-25 cm	
1	CC*	82.74	16.32	15.98	18.91	42.72	11.19
	CT*	85.01	10.56	11.77	19.15	23.96	-19.58
	Difference	-2.27	5.76	4.21	-0.24	18.76	30.77
2	CC	178.19	31.45	43.69	48.88	126.96	64.16
	CT	186.00	15.57	24.01	34.80	81.24	-30.39
	Difference	-7.81	15.89	19.69	14.08	45.82	94.55
3	CC	78.28	38.73	23.62	21.33	59.73	64.13
	CT	79.88	16.93	15.95	21.24	46.11	19.58
	Difference	-1.60	21.80	7.67	0.09	13.62	44.55
4	CC	127.80	25.80	28.15	43.80	95.64	65.59
	CT	139.89	18.87	28.95	49.87	103.36	61.16
	Difference	-12.09	6.93	-0.80	-6.07	-7.72	4.43
5	CC	127.80	33.42	32.27	56.99	117.85	112.52
	CT	132.59	14.57	23.14	34.07	101.44	40.63
	Difference	-4.79	18.85	9.13	22.92	16.19	71.89
Average		-5.71	13.85	7.98	6.16	17.33	49.24
Average cm ⁻¹		-0.23	6.92	2.66	1.23	1.16	1.97

* CC: cover crop. * CT: conventional tillage. *Δ: Increase of CO₂ equivalent respect to the reference period (2003-04).

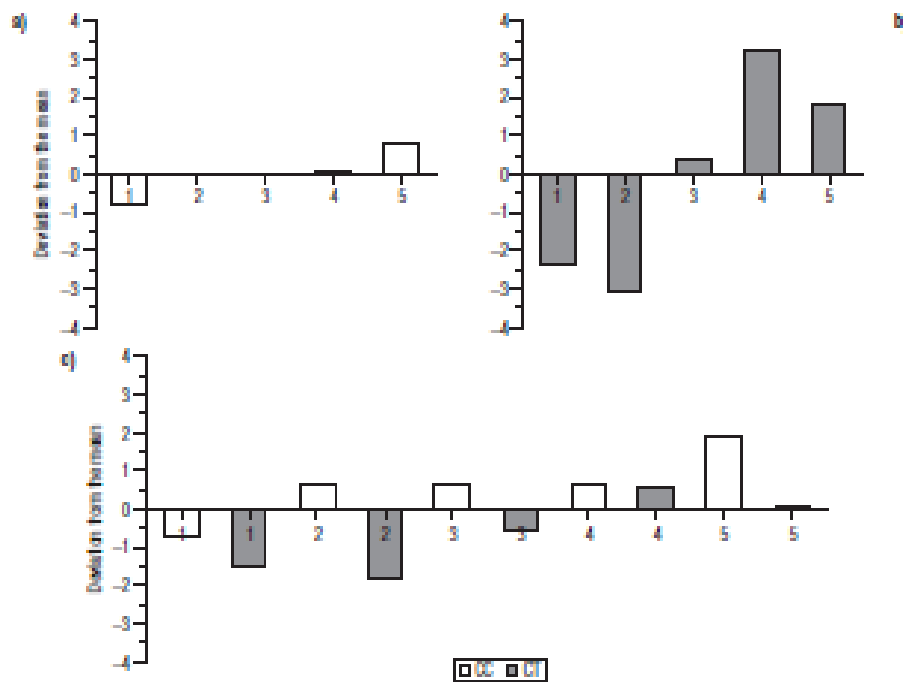


Figure 6. Deviation with respect to the mean of C increase in (a) cover crops (CC) and (b) conventional tillage (CT), individually and (c) collectively. Sampling season: 2006-07.

Under CT, all of the alternatives recorded zero or negative increases, except Field 4, due to the variation in the mineralization processes caused by flooded conditions, very common in this field (Castro *et al.*, 2008). In relation to the increase in CO₂ equivalent provided by the CC compared to CT during the four years of study, it was observed that conservation systems increased the content of this compound by 1.97 Mg ha⁻¹ cm⁻¹ compared to CT. These data were higher than those obtained by Gómez *et al.* (2009) in a seven-year experiment (1.23 Mg ha⁻¹ cm⁻¹), as like other author had found that the maximum sink effect is reached during the fifth year after the application of CA (West & Six, 2007), with the fixation speed decreasing since this period. The values obtained were slightly greater than those indicated by Sombrero & De Benito (2010) for extensive crops (1.59 Mg ha⁻¹ cm⁻¹), although they took samples at greater depth (30 cm). The values are also much higher than those reported by Ordóñez *et al.* (2007b), who obtained an increase of 0.75 Mg ha⁻¹ cm⁻¹, due to a longer study duration, 11 years, and depth sampled, 52 cm.

This study shows the capacity and effectiveness of CC in the conservation and improvement of soil quality. Under our experimental conditions, erosion decreased by an average of 80.5% and OC loss adsorbed to sediment decreased by 67.7%. In addition, the depth sampled, 0-25 cm, experienced a mean increase in OC of 38.1% with respect to tillage, with a more marked increase in the first 10 cm of soil, where it reached 47.5%. The CC formed with grass obtained the best results in regarding to increasing the C sink.

CC increased the sink capacity of C fivefold compared to CT, achieving an increase in CO₂ equivalent fixation with respect to the conventional system of 12.3 Mg ha⁻¹ year⁻¹ for the total depth sampled. According to the MARM (2011a), the CO₂ equivalent emissions in Andalusia for the year 2008 were 58,188 Gg, exceeding the maximum permissible value by 15,819 Gg required to fulfill the commitments made by this region in reference to the Kyoto protocol (MAGRAMA, 2012). According to the data obtained and taking into account the actual CC area of 518,659 ha (MARM, 2011b) in Andalusian olive groves, these soil conservation systems could annually fix 40.4% of the total gases needed to fulfill the commitments made.

However, we should be cautious with these figures, as other studies show how after a few years of practicing CA the fixation rate diminishes, while the sink effect continues to increase, albeit at a slower rate.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the support given by the project "Cubiertas vegetales de crucíferas y gramíneas y su manejo como sistema de conservación y mejora de la calidad del suelo y de las aguas de escorrentía en el olivar andaluz" RMN-03205 financed by Junta de Andalucía. Furthermore, part of the information presented in this paper was obtained thanks to project RTA2010-00026-CO2 financed by INIA in the framework of the "Subprograma Nacional de Recursos y Tecnologías Agrarias en Cooperación con las Comunidades Autónomas" and co-financed by the European Union through FEDER funds.

References

- Álvarez R, Steinbach HS, 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil Till Res* 104: 1-13.
- Arrouays D, Saby N, Walter C, Lemerrier B, Schwartz C, 2006. Relationships between particle-size distribution and organic carbon in French arable topsoils. *Soil Use Manage* 22: 48-51.
- Birkás M, Jolánkai M, Gyuricza C, Percze A, 2004. Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. *Soil Till Res* 78: 185-196.
- BOJA, 2002. Junta de Andalucía, Boletín Oficial de la Junta de Andalucía 88: 14359.
- Bronick CJ, Lal R, 2005. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio, USA. *Soil Till Res* 81: 239-252.
- Bugg RL, McGourty G, Sarrantonio M, Lanini WT, Bartolucci R, 1996. Comparison of 32 cover crops in an organic vineyard on the north coast of California. *Biol Agric Hortic* 13: 63-81.
- Carbonell R, Ordóñez R, Rodríguez A, 2010. Influence of olive mill waste application on the role of soil as a carbon source sink. *Climatic Change* 102: 625-640.
- Castro J, Fernández-Ordoño E, Rodríguez C, Lallena AM, 2008. Effects of different olive-grove management systems on the organic carbon and nitrogen content of the soil in Jaén (Spain). *Soil Till Res* 98: 56-57.
- Civantos L, 2008. La olivicultura en el mundo y en España. In: *El cultivo del olivo* (Mundi-Prensa eds). Madrid, Spain. pp: 17-36.
- CoAP, 2003. *El olivar andaluz*. Servicio de Publicaciones, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla, Spain.
- Francia JR, Durán VH, Martínez A, 2006. Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain). *Sci Total Env* 338: 46-60.

- Franzuebbers AJ, 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till Res* 66: 93-106.
- Fullen MA, 1985. Compaction, hydrological processes and soil erosion on loamy soil sands in East Shropshire, England. *Soil Till Res* 6: 17-29.
- Gómez JA, 2005. Effects of soil management on soil physical properties and infiltration in olive orchards-implications for yield. In: *Integrated soil and water management for orchard development* (Benites J, ed). FAO, Rome. pp: 63-70.
- Gómez JA, Giráldez JV, Fereres E, 2005. Water erosion in olive orchards in Andalusia (Southern Spain): a review. *Geophysical Research Abstracts* 7, 08406 SRef-ID: 1607-7962/gru/EGLJ05-A-08406.
- Gómez JA, Sobrinho TA, Giráldez JV, Fereres E, 2009. Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. *Soil Till Res* 102: 5-13.
- Gómez JA, Llewellyn C, Basch G, Sutton PB, Dyson JS, Jones CA, 2011. The effects of cover crops and conventional tillage on soil and run off loss in vineyards and olive groves in several Mediterranean countries. *Soil Use Manage* 27: 502-514.
- González-Sánchez EJ, Ordóñez-Fernández R, Carbonell-Bojollo R, Veroz-González O, Gil-Ribes JA, 2012. Meta-analysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture. *Soil Till Res* 122: 52-60.
- Hernández AJ, Lacasta C, Pasto J, 2005. Effects of different management practices on soil conservation and water in a rainfed olive orchard. *Agr Water Manage* 77: 232-248.
- Hernanz JL, López R, Navarrete T, Sánchez-Girón V, 2002. Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil Till Res* 66: 129-141.
- IOOC, 2011. World olive and table olive figures. Available in <http://www.internationaloliveoil.org>. [09 February 2012].
- Izaurralde C, Rosemborg N, Lal R, 2001. Mitigation of climatic change by soil carbon sequestration: Issues of science, monitoring, and degraded lands. *Adv Agron* 70: 61-75.
- Jarecki M, Lal R, 2005. Soil organic carbon sequestration rates in two long-term no till experiments in Ohio. *Soil Sci* 170: 280-291.
- Jones RJA, Yli-Halla M, Demetriades A, Leffeld J, Robert M, 2004. Status and distribution of soil organic matter in Europe. In: *Reports of the technical working groups established under the thematic strategy for soil protection* (Van-Camp L *et al.*, eds). European Environment Agency, EC, Luxemburg. 872 pp.
- Kassam A, Friedrich T, Derpsch R, Lahmar R, Mrabet R, Basch G, González-Sánchez EJ, Serraj R, 2012. Conservation agriculture in the dry Mediterranean climate. *Field Crop Res* 132: 7-17.
- Lal R, 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Environ Int* 29: 437-450.
- Lal R, 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623-1627.
- Lal R, Kimble JM, 1998. Soil conservation for mitigating the greenhouse effect. In: *Towards sustainable land use. Vol 1. Advances in Geoecology* (Blume *et al.*, eds). Catena Verlag, Reiskirchen. pp: 185-192.
- MAGRAMA, 2012. Emisiones GEI por comunidades autónomas a partir del inventario español serie 1990-2010. Available in http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sel-resumen_emisiones_gei_por_ccaa_serie_1990-2010_tcm7-1739.pdf [6 of May 2013].
- MARM, 2010. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivo. Resultados nacionales y autonómicos 2009. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid. Available in <http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/encuestacultivos/resultados.htm> [12 January 2012].
- MARM, 2011a. Emisiones de GEI por comunidades autónomas a partir del inventario español, serie 1990-2008. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid. Available in http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/atmosfera/emisiones/inventario.htm [4 July 2012].
- MARM, 2011b. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivo. Resultados nacionales y autonómicos 2010. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid. Available in <http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/encuestacultivos/resultados.htm>. [4 July 2012].
- Martínez-Mena M, López J, Almagro M, Albaladejo J, Castillo V, Ortiz R, Boix-Fayos C, 2012. Organic carbon enrichment in sediments: effects of rainfall characteristics under different land uses in a Mediterranean area. *Catena* 94: 36-42.
- Miller JO, Galbraith JM, Daniels WT, 1994. Soil organic carbon content in frigid southern Appalachian mountain soils. *Soil Sci Soc Am J* 68: 194-203.
- Moreno M, García S, Cañizares R, Castro J, Benítez E, 2009. Rainfed olive farming in south-eastern Spain: long-term effect of soil management on biological indicators of soil quality. *Agric Ecosyst Environ* 131: 333-339.
- Oades JM, 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56: 377-400.
- Ordóñez R, Rodríguez-Lizana A, Espejo AJ, González P, Saavedra M, 2007a. Soil and available phosphorus losses in ecological olive groves. *Eur J Agron* 27: 144-153.
- Ordóñez R, González P, Giráldez JV, Perea F, 2007b. Soil properties and crop yields after 21 years of direct drilling trials in southern Spain. *Soil Till Res* 94: 47-54.
- Ovando P, Caparrós A, 2009. Land use and carbon mitigation in Europe: a survey of the potentials of different alternatives. *Energy Policy* 37: 992-1003.
- Pastor M, 2004. Sistemas de manejo de suelo. In: *El cultivo del olivo* (Barranco D, Fernández-Escobar R, Rallo L, eds). Mundi Prensa, Madrid. pp: 231-285.
- Paul E, Pollet SW, Leavitt A, Halvorson GA, Peterson GA, Lyon DJ, 1997. Radio carbon dating for determination of soil organic carbon pool sizes and dynamics. *Soil Sci Soc Am J* 61: 1058-1067.
- Pulleman MM, Six J, Van Breemen N, Jongman AG, 2005. Soil organic matter distribution and microaggregate

- characteristic as affected by agricultural management and earthworm activity. *Eur J Soil Sci* 56: 453–467.
- Pyke CR, Andelman SJ, 2007. Land use and land cover tools for climate adaptation. *Climatic Change* 80: 239–251.
- Quiroga A, Fernández R, Noellemeier E, 2009. Grazing effect on soil properties in conventional and no-till systems. *Soil Till Res* 103: 164–170.
- Ramos ME, Benítez E, García PA, Robles AB, 2010. Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: effects on soil quality. *Appl Soil Ecol* 44: 6–14.
- Rodríguez-Lizana A, Ordóñez R, Espejo-Pérez AJ, González P, Giráldez JV, 2005. Estudio de la influencia de la cobertura vegetal viva en olivar en la contaminación de las aguas de escorrentía por nitratos. *Proc VII Jornadas de Investigación en la zona no saturada del suelo ZNS'05. La Coruña, Spain*. pp: 81–86.
- SAN, 1998. *Managing cover crops profitably*, 2nd ed. Sustainable agriculture network. Handbook series book 3. San, Beltsville, MD, USA.
- Smith P, Andrén O, Karlsson T, Perälli P, Regina K, Rousenvells M, Van Wesemael B, 2005. Carbon sequestration potential in European croplands has been overestimated. *Global Change Biol* 11: 2153–2163.
- Sombrero A, De Benito A, 2010. Carbon accumulation in soil. Ten-year study of conservation tillage and crop rotation in a semi-arid area of Castile-Leon, Spain. *Soil Till Res* 107: 64–70.
- Sperow M, Eve M, Paustian K, 2003. Potential soil C sequestration on US agricultural soils. *Climatic Change* 57: 319–339.
- Torn MS, Trumbore SE, Chadwick OA, Vitousek PM, Hendricks DM, 1997. Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. *Nature* 389: 170–173.
- Trebrügge F, Düring R, 1999. Reducing tillage intensity – a review of results from a long-term study in Germany. *Soil Till Res* 53: 15–28.
- Triplet GB, Dick WA, 2008. No-tillage crop production: a revolution in agriculture! *Agron J* 100: 153–165.
- USDA, 1998. *Keys to soil taxonomy*. Soil Survey Staff (eds), Agriculture Handbook. Washington DC, USA.
- Vanwallegghem T, Giráldez JV, 2008. Midiendo fuera de las parcelas de erosión: importancia de erosión por cárcavas y regueros en cuencas de olivar. VII Simposio del Agua en Andalucía. Jaén (Spain). pp: 211–217.
- Vanwallegghem T, Laguna A, Giráldez JV, Jiménez-Hornero FJ, 2010. Applying a simple methodology to assess historical soil erosion in olive orchards. *Geomorphology* 114: 294–302.
- Walkley A, Black IA, 1934. An examination of Degjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic titration method. *Soil Sci* 34: 29–38.
- West TC, Six J, 2007. Considering the influence of sequestration duration and carbon saturation on estimates of soil carbon capacity. *Climatic Change* 80: 25–41.

-
- Márquez-García, F., Gil-Ribes, J.A.; González-Sánchez, E.J., Ordóñez-Fernández, R. 2017 (en revisión. Rejection with resubmission). Influence of cover crops and conventional tillage in organic carbon output in mediterranean olive orchards. Soil & Tillage Research. Factor impacto año publicación (2016): 3,40. Posición: 6/34; Q1.

1 **INFLUENCE OF COVER CROPS AND CONVENTIONAL TILLAGE IN**
2 **ORGANIC CARBON OUTPUT IN MEDITERRANEAN OLIVE ORCHARDS**

3 F. Márquez-García^{a*}, J.A. Gil-Ribes^a, E.J. González-Sánchez^b, R. Ordóñez-Fernández^c

4 ^aDepartment of Rural Engineering, University of Córdoba. Av. Medina Azahara 5. 14071
5 Córdoba, Spain.

6 ^bAsociación Española de Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEAC.SV), Centro
7 IFAPA Alameda del Obispo, Av. Menéndez Pidal s/n. 14004. Córdoba, Spain.

8 ^cÁrea de Producción Ecológica y Recursos Naturales, Centro IFAPA Alameda del Obispo,
9 Apdo. 3092, 14080 Córdoba, Spain.

10 *corresponding author. email: fmarquez@agriculturadeconservacion.org – Phone: + 34 957
11 212689 – Fax: +34 957 422168

12

13

14 **1 Introduction**

15 Woody crops have been extensively developed in the Mediterranean Arc
16 (EUROSTAT, 2011), with the olive tree (*Olea europaea*) the most widely spread under
17 these conditions. This tree grows most widely in Spain, and it is the social and
18 economic backbone of many regions in the country, especially those in the south
19 (Gómez-Limón et al., 2012). Andalusia has about 60% of the total olive groves in
20 Spain, with over 2.5 million hectares (MAGRAMA, 2012), and this crop accounts for
21 25% of agricultural production in Andalusia (Regional Ministry of Agriculture and
22 Fisheries, 2006).

23 The typology of these plantations is very diverse, although 74.5% are grown on
24 rainfed land, in relatively poor soil and on steep slopes (Regional Ministry of
25 Agriculture and Fisheries, 2006). This makes the crop particularly sensitive to soil
26 degradation processes, with the possible loss of profitability that erosion produces (de
27 Graaff & Eppink, 1999) and the negative effect that these processes have on the
28 economic well-being of producers (Gómez -Limon et al., 2012), whose production costs
29 have increased very significantly in recent years, whilst at the same time, the prices of
30 agricultural products have fallen (Eurostat, 2011). The olive oil sector has been one of
31 the hardest hit in recent years (POOLred, 2013).

32 The specific typology of the plantations, the Mediterranean climate with its
33 frequent episodes of intense rain, the scarce soil cover provided by the crop (Shepherd,
34 2008), and the fact that tillage is the soil management system most used by farmers
35 (MAGRAMA, 2012) all cause high levels of soil loss (Gomez et al., 2011, Taguas et al.,
36 2011, Vanwalleghem et al., 2010). Erosion is a particularly serious issue in times of
37 heavy rain, with erosion rates above 400 Mg ha⁻¹ in extreme downpours (Vanwalleghem
38 et al. 2008), which makes this process the biggest environmental problem faced by the
39 olive growing sector (García -Ruiz, 2010).

40 Several studies have shown the environmentally unsustainable nature of erosion
41 that is associated with agricultural production based on land tillage (Verbeijea et al.,
42 2009, Gómez et al., 2008, Montgomery, 2007). However, it is not only soil loss that has
43 to be taken into account, as, together with sediment, a large amount of organic carbon
44 (OC) is transported (Marquez et al., 2013, Martínez-Mena et al., 2008), which has a
45 high potential to pollute the atmosphere and surface waters (Zhang et al., 2006). It has
46 been estimated that global emissions of carbon dioxide (CO₂) associated with erosion
47 lie between 0.8-1.2 Gt y⁻¹ (Lal, 2003). Moreover, these losses of carbon (C) associated

48 with erosive processes in the UK alone have an average annual cost of around €120
49 million, of which 95% comes from agriculture (Environment Agency, 2002).

50 The conservation agriculture systems used in woody crops, cover crops (CC),
51 have significant environmental benefits compared to conventional tillage (CT), as it
52 keeps the ground undisturbed and covered by plant debris (Gonzalez-Sanchez et al.,
53 2012). Several studies have shown the effectiveness of these techniques in olive groves
54 to reduce runoff and soil loss (Gomez et al., 2009a, Ordoñez et al., 2007, Francia et al.,
55 2006), to improve the hydrological balance of crops (Alcantara et al., 2011, Durán-
56 Znazo et al., 2009), to reduce surface water pollution (Franklin et al., 2007, Ordoñez et
57 al., 2007) and to increase the amount of OC in soil (Marquez et al., 2013, Carbonell et
58 al., 2010, Moreno et al., 2009), amongst others.

59 However, there are still many questions about the role that CC play in the output
60 of C in olive farms, due, amongst other factors, to the increase of OC content in soil that
61 occurs when the remains of the CC decompose (Martínez -Meana et al., 2012, Repullo et
62 al., 2012, Mcnam et al., 2011, Jacinthe et al., 2004). Accordingly, this study aims to
63 evaluate: 1) the influence of differing soil and meteorological factors on the loss of C
64 associated with sediment and 2) how the implementation of CC affects the control of
65 the output of this element.

66

67 2 Material and Methods:

68 2.1 Environmental conditions in the study area

69 The Mediterranean area in the south of Spain, which is covered by the entire study, has
70 a xeric moisture regime, as per the USDA soil taxonomy classification (USDA, 1998).

71 The climate of the region is characterized by a cool and wet period, with frequent
72 episodes of very intense thunderstorms, during the autumn and winter months, that
73 account for 80% of rainfall, followed by a very warm and dry period, during the spring
74 and summer. The temperature regime is thermic. These facts encourage soil loss
75 processes and the low OC content of the soil (Hernanz et al., 2002).

76 2.2 Experimental Fields

77 The study was conducted over four seasons (2003-2007) in eight experimental fields
78 located in different Andalusian rainfed olive-grove districts (see Figure 1). Three are
79 located in the province of Cordoba (Fields 1, 2 and 3), one is in Seville (Field 4), two
80 are in the province of Jaen (Fields 5 and 6) and two in the province of Huelva (Fields 7
81 and 8).



82

83 Figure 1 Distribution of the experimental fields in the region of Andalusia, Southern Spain

84 The set of fields includes the most common soil types in the region, as well as
85 the types of olive grove and their most common conservation agriculture management
86 methods (ESYRCE, 2012a). Therefore, they are a fairly representative example of the

87 reality of Andalusian olive groves, with results that are very close to the real ones. The
 88 main characteristics of the fields are given in Table 1, which shows that the most
 89 common types of CC are spontaneous in their various forms and that they are controlled
 90 by mechanical means. This data is similar to that representative of the region (ESYRCE,
 91 2012b).

92
 93 **Table 1** Main characteristics of the experimental fields

Field	Latitude	Longitude	Age (years)	Size (m ²)	Slope (%)	Cover type ¹	Cover control
1	37.63763	-4.48746	13	6x8	13.6	A	Mowing
2	37.60667	-4.46990	19	7x7	21.0	C	Mowing
3	38.14311	-4.78387	>60	Undefined	21.7	A	Grazing
4	37.57377	-3.38950	11	6x8	6.2	D	Mowing
5	37.80799	-4.03760	>70	10x10	7.6	F	Herbicide
6	37.83142	-3.99800	>70	12x12	18.7	E	Herbicide
7	37.35393	-6.39088	10	6x8	8.7	D	Mowing
8	37.35367	-6.39346	10	6x8	9.7	H	Mowing

94

95 The management of the CC was different for each farm, (see Table 1), as each
 96 farmer carried this out according to his own needs and the type of weeds. Thus the time
 97 and type of control was different for each of them, following to the actual practice in the
 98 specific area. Tillage of the soil inside the micro-plots managed in a conventional way
 99 was conducted according to the state of the vegetation and as per the typical practice in
 100 the area. To do so, a mechanised tiller was used, working the soil to a depth of 20-25
 101 cm.

102 2.3 Experimental design and field work

103 The loss of water, soil and OC with the sediment was measured using 1 m²
 104 (1x1m) micro-plots to capture runoff and sediment. Their detailed description is given
 105 in Rodríguez- Lizana et al. (2007). Measurements of OC associated with runoff water

¹ A: Grass and broadleaf weed across the plot; B: Grass and broadleaf weed in strips; C: Broadleaf weed across the plot; D: Broadleaf weed in strips; E: Grass weed in strips; F: Pruning remains.

106 were not carried out, as this was considered negligible (Boix-Fayos et al., 2009,
107 Martínez-Meza et al., 2008).

108 Distribution was in random blocks, there were 3 pairs of micro-plots per
109 experimental field, and the two treatments described above, CC and CT, were used.
110 After each rain event, the experimental fields were inspected. The runoff generated in
111 each micro-plot was measured and two subsamples, 1.3 mm of volume, of the total
112 amount of water and sediment contained in them were taken. Due to the sedimentation
113 produced in the soil and water collecting container, before subsamples were taken, the
114 containers were shaken to mix up the sediment in them in a uniform manner.

115 At the same time as the sampling of runoff and erosion was carried out,
116 photographs were taken of the inside of the traps to assess the percentage of ground
117 cover. To do so, a frame divided into 100 grid squares was used. A digital camera
118 (Nikon D80 with 18-135 mm lens, 10.2 MP, 3872 x 2592) was used to take the
119 photographs. The images were taken with the help of an A-frame that placed the camera
120 in the zenith position 1.5 m above the ground. The conditions for the taking of the
121 pictures were controlled, to markedly reduce the work required in the future processing
122 steps and to ensure best results. Therefore, photographs were taken in the field without a
123 flash, and artificial shading was utilised to prevent direct sunlight.

124 At the beginning of the experiment, samples were taken of the top 25 cm of soil
125 to determine the physical and chemical characteristics of the experimental fields. Also
126 at the beginning, and during the four year duration of the study, samples were taken of
127 the OC content of the soil, in both management systems. The top 25 cm of soil was used
128 for the samples, as the surface layers show the most noticeable changes after the first
129 few years of CC implementation (Jarecki and Lal, 2005) and they are also the layers that

130 are directly exposed to erosion and nutrient transport. To do so, three pairs of 6 m² sub-
131 plots (3x2m) were set up per soil management system and experimental field. These
132 were distributed in random blocks. In each field, the three parcels under the
133 conservation agriculture system were set up on the vegetation of the farm itself, and the
134 tilled plots on areas prepared for that purpose. In these tilled plots, runoff diverters were
135 placed to prevent runoff water from the vegetation covering that was rich in OC and
136 could distort the results. Composite samples of three sub-samplings per each 6 m² plot
137 were taken.

138 To characterize the rainfall events in each experimental field, a precipitation
139 meter (Hobo Event) was used, which generated electrical pulses for every 0.2 mm, and
140 this data was stored by a data logging system. A rainfall event was determined as an
141 episode in time with a maximum period without rainfall of less than six hours, and with
142 a minimum registered rainfall level of at least 10 mm (Ochoa, 2001).

143 2.4 Laboratory work

144 The runoff water with the sediments was initially decanted to reduce the volume
145 to be evaporated, and then placed in porcelain capsules in a forced air oven at 110°C.
146 Once the dried sediment was weighed, its concentration was determined, which, by
147 extrapolation to the total runoff volume, allowed us to determine the erosion that took
148 place in each micro-plot.

149 Once the sediment samples were dried, they were passed through a 2 mm sieve.
150 Thereafter the OC content was analyzed using the Walkley and Black method (1934) by
151 oxidation with K₂Cr₂O₇ in acid.

152 2.5 Data processing and statistical analysis

153 The evaluation of the percentage of cover was carried out following the
154 subjective evaluation per sector method (Agrisola et al., 2003). This consists of estimating
155 the percentage of cover in each grid on a scale of 0-5, obtaining an array of values
156 whose average gives the percentage of cover of the micro-plot.

157 The pulses obtained by the rainfall meter allow the rainfall events to be
158 classified in terms of quantity, intensity, and erosivity, R ($\text{MJ ha}^{-1} \text{mm h}^{-1}$), which was
159 obtained as the product of the kinetic energy of the event (E_{ck}) with the maximum
160 rainfall intensity in 30 minutes (I_{30k} ; Renard et al., 1997), that is:

$$161 \quad R = E_{ck} I_{30k} \quad (1)$$

162 where E_{ck} is expressed in MJ ha^{-1} and I_{30k} in mm h^{-1} . Each event consisted of
163 intervals of rain, such that the kinetic energy of the precipitation was made up of the
164 sum of the energy of each rain interval ec_j , ($\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) by the total precipitation, t_j ,
165 (mm).

$$166 \quad ec_j = 29r(1 - 0.72 \exp^{-\frac{r}{10}}) \quad (2)$$

$$167 \quad E_{ck} = \sum ec_j t_j \Delta t \quad (3)$$

168 where r is the intensity of rain. I_{30k} is calculated by the data provided by the
169 hyetograph.

170 For the various statistical data analyses, the Statistix v8.3 program was used.
171 Three factors were considered: plot, block and treatment. Comparison of the averages of
172 these factors was carried out using Tukey's range test.

173

174 3. Results and discussion

175 The analysis of the physical and chemical properties of the soil from the different
 176 experimental fields (see Table 2) showed how most of them were on alkaline land,
 177 except for Field 3, which was slightly acid. The soil's OC content was highly variable,
 178 ranging from about 0.5% to 1.5%, and the concentration of carbonates and textures was
 179 also very different. Clayey and loamy soil was predominant. As can be seen in Table 2,
 180 a wide variety of types of soil were analysed, which encompassed the majority of the
 181 areas where olive groves are found in the region. (ESYRCE, 2012a).

182 **Table 2** Summary of the physical-chemical characteristics of the experimental fields

Field	pH CaCl ₂	OC (%)	CO ₃ ²⁻ (%)	Sand (%)	Clay (%)	Texture
1	8.1	0.65	78.6	21.3	32.9	Loamy-Clayey
2	7.9	1.23	68.5	30.6	22.5	Loamy-Clayey
3	6.6	1.54	8.5	37.6	5.2	Loamy-Silty
4	8.3	0.76	28.2	42.6	24.2	Loamy
5	7.9	1.15	45.5	16.4	40.1	Clayey-Silty
6	8.0	0.55	48.0	27.0	33.2	Loamy-Clayey
7	7.9	0.84	18.5	35.4	22.8	Loamy
8	8.1	0.89	20.1	28.4	29.8	Loamy-Clayey

183 OC: Organic carbon

184 Precipitation (PreP) and its intensity (R) showed significant variability between
 185 the experimental fields and years (see Table 3). Total precipitation (Tot PreP) ranged in
 186 average from 337 mm in Field 1 to 453 mm in Fields 7 and 8, with an average rainfall
 187 per event (Av PreP) in most cases of about 50 mm. However, events with large
 188 quantities of rainfall were relatively frequent, with a maximum precipitation (Max PreP)
 189 in excess of 100 mm quite usual. Total erosivity (Tot R), average erosivity (Av R) and
 190 maximum erosivity (Max R) followed similar trends, with a large variation between
 191 farms and years. Their total values ranged between 211 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ in Field 1 and
 192 638 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ in Field 6. Field 6 was not one of the fields where the highest level
 193 of precipitation was measured. Av R was more variable between fields than Av PreP,
 194 ranging from 24 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹, in Fields 1 and 2, to 88 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ in Fields 7 y 8.

195 In some cases extreme erosivity events occurred that exceeded 400 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹.
 196 These values are close to those measured in similar studies conducted in this region
 197 (Durán-Zuazo et al., 2009.; Francia-Martínez et al., 2006).

198 **Table 3** Average and deviation of precipitation (mm) and erosivity (MJ ha⁻¹ mm h⁻¹) of total, average and
 199 maximum rainfall, during 4 study seasons

Field	Tot PrecP	Av PrecP	Max PrecP	Tot R	Av R	Max R
1	337.3 ± 108.6	41.3 ± 14.4	90.2 ± 29.0	211.5 ± 113.7	24.3 ± 12.2	54.1 ± 32.2
2	404.0 ± 196.6	46.9 ± 23.3	88.2 ± 33.9	213.1 ± 118.8	24.4 ± 12.1	56.3 ± 28.9
3	448.1 ± 179.6	64.8 ± 35.7	161.1 ± 93.3	453.5 ± 357.3	68.8 ± 61.1	210.3 ± 174.3
4	388.2 ± 131.3	49.8 ± 10.7	104.0 ± 36.3	332.9 ± 214.2	50.3 ± 24.6	146.4 ± 92.7
5	383.5 ± 144.3	48.5 ± 13.1	77.4 ± 24.2	519.6 ± 414.6	58.9 ± 39.3	226.2 ± 258.7
6	397.3 ± 145.2	49.8 ± 8.4	84.2 ± 18.4	638.4 ± 591.6	73.2 ± 57.1	227.2 ± 258.0
7 & 8	453.2 ± 157.7	70.9 ± 38.3	130.6 ± 44.6	578.7 ± 280.3	88.2 ± 45.5	247.9 ± 88.2

200 PrecP: precipitation; R: rain erosivity; Tot: total; Av: average; Max: maximum

201 Of the 214 samples taken in the experimental fields, 6 % of them registered
 202 rainfall greater than 100 mm, causing runoff losses with respect to the total that
 203 amounted to 26 % for CT and 28 % for CC (see Table 4). In the case of the OC and soil
 204 loss, the percentage of CT was higher than that of the CC for this interval. In the case of
 205 rainfall intensity, 12 % of all events with an R=100 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ produced over 30 %
 206 of total runoff losses in both soil management systems. However, for CT, just 29 events
 207 caused 46 % of the total soil loss, and 29 % of OC loss. In the case of CC, these
 208 percentages were lower, especially in the OC output, where these intensive downpours
 209 only accounted for 12 % of total losses. Here, the events with less amounts of rain were
 210 those where higher losses of this element were recorded.

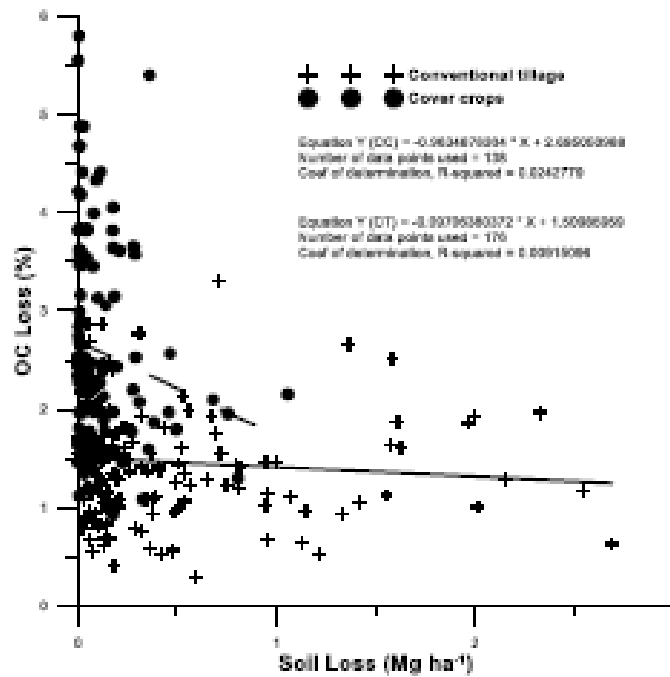
211 This last aspect is related to the surface richness of the soil in OC, since, in one of
 212 the fields (Field 3) an increase in the first 25 cm of soil was recorded after the four years
 213 of study, which ranged above 60 % for CC than compared to CT. In four cases (Fields
 214 1, 2, 6 and 8) this increase ranged from 40 to 50 %. Two of fields (Fields 4 and 5)
 215 increased their content only around 5 %. Finally, Field 7 was the only one that showed a

216 decrease in the content of OC with CC, and this was only by -9 %. The increase in the
 217 OC content in the plots with the CC caused a greater concentration of this element in
 218 the sediment in the soils where this management system was used, as compared to CT,
 219 which decreased rapidly when soil loss increased (Figure 2). These results agree with
 220 those recorded by Martínez-Mena et al. (2012) and Jacinto et al. (2004), who found a
 221 negative relationship between OC concentration and rain intensity. In the case of tilling,
 222 OC concentration did not vary significantly with the increase in erosion.

223 **Table 4** Distribution of the runoff and erosion loss and OC output percentages, as a function of the
 224 characteristics of rainfall events

	Runoff (%)		Soil Loss (%)		OC Loss (%)		Rain events		
	CT	CC	CT	CC	CT	CC	N	%	
Rainfall (mm)	0-10	0	0	1	1	2	2	8	3
	10-30	8	7	10	18	14	27	63	26
	30-60	29	26	39	33	37	32	94	39
	60-100	37	39	24	28	26	24	61	25
	>100	26	28	26	18	21	15	15	6
R (MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹)	0-10	7	6	3	7	3	9	49	20
	10-30	28	28	21	29	29	34	82	34
	30-60	16	13	12	12	15	18	47	20
	60-100	18	19	18	24	22	27	34	14
	>100	31	32	46	28	29	12	29	12

225 R: Erosivity, OC: Organic carbon



226

227 Figure 2 Concentration of OC associated with sediment, as a function of soil loss.

228 The correlation matrix (see Table 5) shows that there is a strong positive
 229 relationship between the OC output in farms and Tot PreP, Tot R and Max R. With
 230 these specific parameters of rainfall it is not possible to take direct action, although, as
 231 shown in Table 4, if the ground is protected by CC, heavy and intense rainfall has a
 232 lower influence on OC, soil and water loss than in those systems where the soil remains
 233 unprotected. Moreover, it can be seen how OC output was also strongly influenced by
 234 increased erosion and runoff, and that these three parameters were negatively correlated
 235 with the percentage of soil cover. These results agree with other studies in olive groves,
 236 under similar climatic conditions (Duran-Zuazo et al., 2009; Gómez et al., 2009 b,
 237 Martínez-Mena et al., 2008; Francia-Martínez et al., 2006).

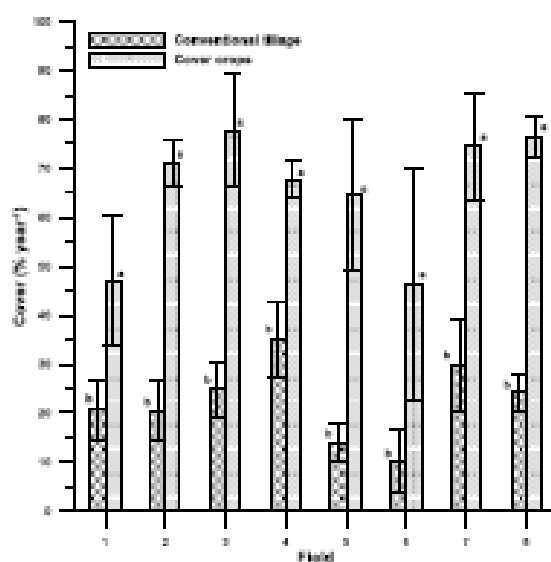
238 **Table 5** Correlation matrix of the various sampled indicators

	Slope	Clay	Silt	Sand	Cover	Soil loss	Runoff	OC loss	Tot PreP	Av PreP	Max PreP	Tot R	Av R	Max R	
Slope	1	$r = -0.456$ $P = 0.000$	$r = 0.687$ $P = 0.000$	NS	NS	NS	$r = 0.588$ $P = 0.048$	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Clay		1	$r = -0.574$ $P = 0.000$	$r = -0.755$ $P = 0.000$	NS	NS	NS	NS	NS	NS	$r = -0.458$ $P = 0.008$	NS	NS	NS	NS
Silt			1	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Sand				1	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cover					1	$r = -0.470$ $P = 0.000$	$r = -0.354$ $P = 0.004$	$r = -0.477$ $P = 0.001$	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Soil loss						1	$r = 0.638$ $P = 0.000$	$r = 0.925$ $P = 0.000$	$r = 0.483$ $P = 0.005$	NS	NS	$r = 0.632$ $P = 0.000$	NS	$r = 0.498$ $P = 0.004$	
Runoff							1	$r = 0.644$ $P = 0.000$	$r = 0.678$ $P = 0.000$	$r = 0.380$ $P = 0.032$	$r = 0.322$ $P = 0.050$	$r = 0.475$ $P = 0.007$	$r = 0.399$ $P = 0.026$	$r = 0.399$ $P = 0.050$	
OC loss								1	$r = 0.559$ $P = 0.005$	NS	NS	$r = 0.694$ $P = 0.000$	NS	$r = 0.588$ $P = 0.003$	
TotPreP									1	$r = 0.608$ $P = 0.000$	$r = 0.594$ $P = 0.000$	$r = 0.732$ $P = 0.000$	$r = 0.647$ $P = 0.000$	$r = 0.601$ $P = 0.000$	
Av PreP										1	$r = 0.871$ $P = 0.000$	$r = 0.430$ $P = 0.016$	$r = 0.815$ $P = 0.000$	$r = 0.438$ $P = 0.014$	
Max PreP											1	$r = 0.425$ $P = 0.017$	$r = 0.740$ $P = 0.000$	$r = 0.443$ $P = 0.013$	
Tot R												1	$r = 0.822$ $P = 0.000$	$r = 0.596$ $P = 0.000$	
Av R													1	$r = 0.817$ $P = 0.000$	
Max R														1	

239

240

241 Therefore, it is to be expected that systems that increase soil cover reduce soil
 242 and water losses, and therefore OC output. Figure 3 shows the average annual cover of
 243 each experimental field, and shows how significant differences between the
 244 management systems exist, with a higher percentage of covered area on all the soil with
 245 OC. The soil conservation systems maintained the ground annually covered at more
 246 than 45 % in all cases, with an average for the eight experimental fields of 65.7 %.
 247 Conversely, CT always maintained a cover below 30 % except in Field 4, where it was
 248 around 35 %. In this system an annual average cover of 22.4 % was obtained in the
 249 eight experimental fields.



250

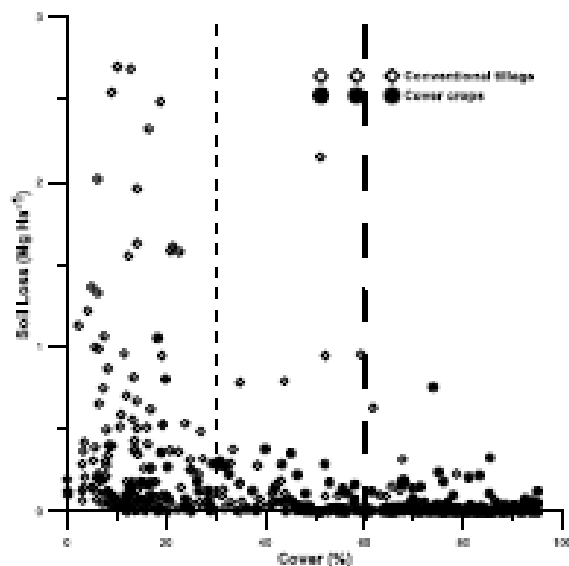
251 Figure 3 Percentage of cover for the different experimental fields and management systems.

252

253 Several studies claim that a soil management system can be considered as
 254 conservational when the soil is protected with plant residues with at least 30% cover
 255 (FAO, 2000; Gonzalez-Sanchez et al., 2012), as, beyond these values, soil loss
 256 decreases significantly. Figure 4 shows how erosion decreases significantly with soil

14

257 cover above 30 %, and it is very low for values above 60 %. This figure shows how
 258 only 9.6 % of the 218 samples taken in OC had cover values below 30 %, with 32.1 %
 259 below 60 %. For CT this situation was reversed, with 73.9 % of all samples with cover
 260 below 30 % and 92.7 % below 60 %.



261

262 Figure 4 Erosion as a function of ground cover (%)

263 This increase in the percentage of soil cover caused by soil conservation systems
 264 resulted in a large reduction in the soil, water and OC loss (see Table 6). Runoff was
 265 reduced annually by an average of 37.6 %, with statistically significant differences in
 266 the majority of fields except Fields 5, 7 and 8. These average values are less than those
 267 measured by Gomez et al. (2009b) in an olive grove in southern Andalusia (64.4%), but
 268 higher than those reported by Gomez et al. (2011) in olive groves scattered across
 269 different European countries (15.0 %). The reduction in the recorded runoff was equal
 270 to the measurements carried out by Francia-Martinez et al. (2006) in another Andalusian
 271 olive groves (28.1 %).

272 Of the three indicators, erosion showed the highest reduction percentage, with an
 273 annual average decrease for CC of 85.6 %. Only Fields 1 and 4 showed no significant
 274 differences, although the annual soil loss in them was reduced on average by 51.6 %
 275 and 86.2 % respectively. These average values in the study are higher than those
 276 obtained by Francia-Martinez et al. (2006) and Gomez et al. (2011) by 59.5 % and 62.4
 277 % respectively, and slightly lower than those obtained by Gómez et al. (2009b), 97.9 %.

278 Annually, OC output was reduced on average by 76.4 %, with Fields 2, 3, 5 and 6
 279 showing a statistically significant difference. This average value is situated between the
 280 results obtained by Gomez et al. (2011) at European level (64.1 %) and the results
 281 obtained by Gómez et al. (2009b) in Andalusia (97.3 %).

282 Table 6 Annual average soil, runoff and OC loss

Field	Runoff (mm ha ⁻¹ y ⁻¹)		Soil Loss (Mg ha ⁻¹ y ⁻¹)		OC Loss (kg ha ⁻¹ y ⁻¹)		n
	CT	CC	CT	CC	CT	CC	
1	20.7 ± 2.8 a	15.9 ± 5.4 b	1.28 ± 0.7 a	0.62 ± 0.4 a	16.0 ± 9.7 a	8.8 ± 5.4 a	35
2	49.7 ± 30.1 a	18.7 ± 12.0 b	2.16 ± 1.7 a	0.41 ± 0.3 b	47.1 ± 21.1 a	11.8 ± 7.0 b	35
3	43.2 ± 13.2 a	21.3 ± 12.9 b	2.8 ± 1.4 a	0.23 ± 0.2 b	55.9 ± 11.2 a	14.8 ± 11.8 b	30
4	22.4 ± 22.7 a	12.2 ± 8.4 b	2.46 ± 2.6 a	0.34 ± 0.2 a	50.9 ± 58.1 a	12.2 ± 9.1 a	31
5	17.1 ± 9.9 a	18.7 ± 14.3 a	2.3 ± 1.5 a	0.44 ± 0.3 b	33.6 ± 28.2 a	9.8 ± 5.8 b	31
6	63.5 ± 18.8 a	30.6 ± 11.8 b	8.21 ± 4.3 a	1.35 ± 0.4 b	79.7 ± 56.5 a	19.4 ± 11.9 b	30
7	46.9 ± 28.5 a	33.2 ± 15.3 a	8.15 ± 8.1 a	0.66 ± 0.5 b	76.3 ± 92.9 a	12.1 ± 11.6 a	29
8	30.3 ± 25.2 a	32.5 ± 27.5 a	3.66 ± 4.0 a	0.3 ± 0.3 b	43.8 ± 61.7 a	6.2 ± 7.1 a	29
Average	36.7 a	22.9 b	3.79 a	0.54 b	50.4 a	11.9 b	

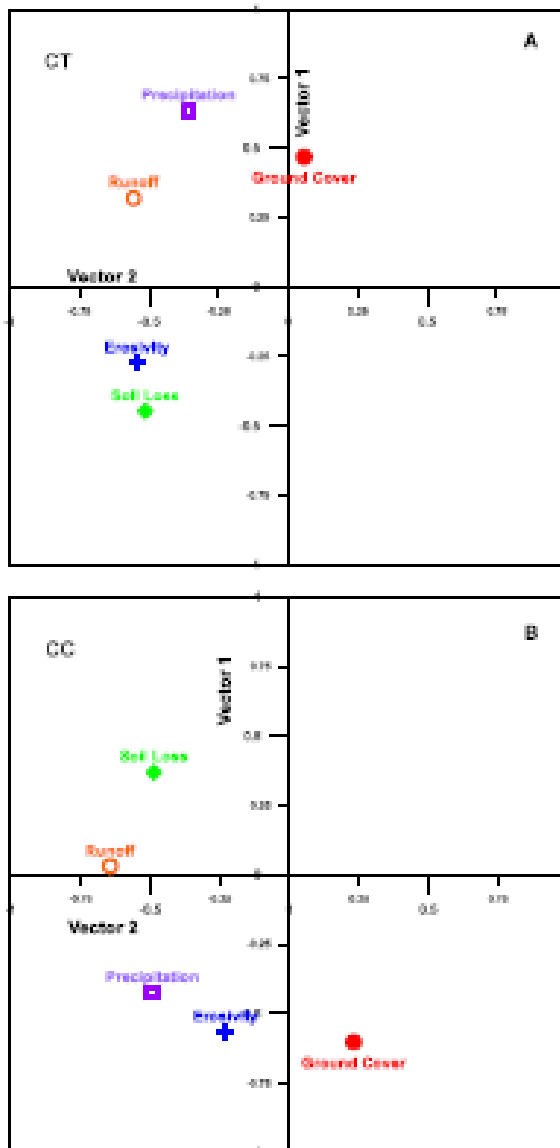
283 n: number of sampling days in each experimental field

284 Figure 3 shows the main components of the OC output for the farms for CC and
 285 CT. It shows how OC loss, in the CT case, (figure 3A) two families can be seen, with
 286 the soil cover appearing independently. One of them links OC output to the amount of
 287 precipitation and runoff, and the second to erosivity of the rainfall event and the
 288 generated soil loss. For the CC, two families again can be seen, as well as the
 289 independent soil cover. In the case of soil conservation systems, the OC output from
 290 farms was characterized, on the one hand, by the amount and the erosivity of the rainfall

291 event, and on the other, by the generated erosion and runoff. This data coincides with
292 that shown in Table 4, which shows how the high-intensity events were more important
293 for CO and soil loss in CT. The high amount precipitation (> 60 mm) were more
294 representative of the water loss by runoff. In the case of CC, OC output was less
295 influenced by the characteristics of the rainfall event and more dependent of the soil and
296 water loss.

297

298



299

300 Figure 5 Main components of OC loss for CT (A) y CC (B)

301

302 **4 Conclusions:**

303 Under the study conditions, CC was shown to be a very effective system to reduce
304 OC output in olive grove farms, despite increasing the concentration of this element in
305 the soil. These improvements were directly influenced by increased soil cover, which
306 varied from an annual average of 22.4 % for CT to 63.7 % for CC. This in created
307 ground protection resulted in an average decrease in water loss by runoff of 37.6 %, and
308 in soil loss of 83.6 %. With the application of CC, these facts caused OC output in olive
309 grove farms to be reduced by an average of 76.4 %, as compared to CT.

310 5 Acknowledgements

311 The authors would like to acknowledge the support given by the project
312 *RTA2010-00026-C02 "Análisis y optimización de los sistemas de mecanización de*
313 *cubiertas vegetales de leguminosas en agricultura ecológica"* financed by INIA in the
314 framework of the " *Subprograma Nacional de Recursos y Tecnologías Agrarias en*
315 *Cooperación con las Comunidades Autónomas* " as part of the National Plan for
316 Technological Research, Development and Innovation (I+D+i) and co-financed by the
317 European Union through FEDER Funds.
318

319 6 Bibliography

- 320 Agrela, F., Gil, J.A., Giraldez, J.V., Ordoñez, R., Gonzalez, P., 2003. Obtention of
321 reference value in the measurement of the cover fraction in conservation
322 agriculture, in: Cury, B., Canalli, L.B. (Eds.) Proceedings II world congress on
323 conservation agriculture. Brazil, Iguazu. pp: 44-47.
- 324 Alcantara, C., Pujadas, A., Sazvedra, M. 2011. Management of cruciferous cover crops
325 by mowing for soil and water conservation in southern Spain. *Agric Water*
326 *Manage.*98, 1071-1080.

-
- 327 Boix-Fayos, C., de Vente, J., Albaladejo, J., Martínez-Mena, M. 2009. Soil carbon
328 erosion and stock as affected by land use changes at the catchment scale in
329 Mediterranean ecosystems. *Agric Ecosyst Environ.* 133, 75-85.
- 330 Carbonell, R., Ordóñez, R., Rodríguez, A., 2010. Influence of olive mill waste
331 application on the role of soil as a carbon source sink. *Climatic Change.* 102, 625-
332 640.
- 333 De Graaff, J., Eppink, L.A.A.J., 1999. Olive oil production and soil conservation in
334 sothern Spain, in relation to EU subsidy policies. *Land Use Policy.* 16, 259-267.
- 335 Durán-Zuazo, V.H., Rodríguez-Plagüezuelo, C.R., Arroyo-Panadero, L., Martínez-
336 Raya, A., Francia-Martínez, J.R., Carceles-Rodríguez, B., 2009. Soil conservation
337 measures in rainfed olive orchards in South-Eastern Spain: Impacts of plant strips
338 on soil water dynamics. *Pedosphere.* 19, 453-464.
- 339 Environment Agency, 2002. *Agriculture and Natural Resources: Benefits, Costs and*
340 *Potential Solutions.* Bristol, UK.
- 341 ESYSRCE, 2012a. Encuesta sobre superficies y rendimientos de los cultivos. Análisis
342 de las plantaciones de olivar en España. In: MAGRAMA (Eds.), Madrid, Spain.
- 343 ESYSRCE, 2012b. Encuesta sobre superficies y rendimientos de los cultivos. Análisis
344 de las técnicas de mantenimiento de suelo y los métodos de siembra. In:
345 MAGRAMA (Eds.), Madrid, Spain.
- 346 EUROSTAT, 2011. *Agriculture and fishery statistics. Main results- 2009-10.* European
347 Union, Luxembourg.

-
- 348 FAO, 2000. *Manual on integrated soil management and conservation practices*. Rome,
349 FAO.
- 350 Francia, J.R., Durán, V.H., Martínez, A., 2006. Environmental impact from
351 mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain).
352 *Sci Total Env.* 338, 46-60.
- 353 Franklin, D., Truman, C., Potter, T., Bosch, D., Strickland, T., Bednarz, D. 2007.
354 Nitrogen and phosphorus runoff losses from variable and constant intensity
355 rainfall simulations on loamy sand under conventional and strip tillage systems. *J*
356 *Environ Qual.* 36, 846-854.
- 357 Garcia-Ruiz, J.M. 2010. The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review.
358 *Catena* 81, 1-11.
- 359 Gonzalez-Sánchez, E.J., Ordoñez-Fernández, R., Carbonell-Bojollo, R., Varoz-
360 Gonzalez, O., Gil-Ribes, J.A., 2012. Meta-analysis on atmospheric carbon capture
361 in Spain through the use of conservation agriculture. *Soil Till Res.* 122, 52-60.
- 362 Gómez, J.A., Llewellyn, C., Bash, G., Sutton, B., Dyson, J.S., Jones, C.A. 2011. The
363 effects of cover crops and conventional tillage on soil and runoff loss in vineyards
364 and olive groves in several Mediterranean countries. *Soil Use Manag.* 27, 502-
365 514.
- 366 Gómez, J.A., Sobrinho, T.A., Giraldez, J.V., Ferreres, E., 2009a. Soil management
367 effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain.
368 *Soil Till Res.* 102, 5-13.

369 Gómez, J.A., Guzmán, M.G., Giraldez, J.V., Ferreres, E., 2009b. The influence of cover
370 crops and tillage on water and sediment yield, and on nutrient, and organic matter
371 losses in an olive orchard on a sandy loam soil. *Soil Till Res.* 106, 137-144.

372 Gómez, J.A., Giraldez, J.V., Vanwallegghem, T., 2008. Comments on "Is soil in olive
373 groves as bad as often claimed? *Geoderma.* 147, 93-95.

374 Gómez-Limón, J.A., Picazo-Tadeo, A.J., Raig-Martínez, E., 2012. Eco-efficiency
375 assessment of olive farms in Andalusia. *Land Use Policy.* 29, 395-406.

376 Hernanz, J.L., López, R., Navarrete, T., Sánchez-Girón, V., 2002. Long-term effects of
377 tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon
378 stratification in semiarid central Spain. *Soil Till Res.* 66, 129-141.

379 Jacintha, P.A., Lal, R., Owens, L.B., Hotham, D.L., 2004. Transport of labile carbon in
380 runoff as affected by land use and rainfall characteristics. *Soil Till Res.* 77, 111-
381 123.

382 Jarecki, M., Lal, R., 2005. Soil organic carbon sequestration rates in two long-term no
383 till experiments in Ohio. *Soil Sci.* 170, 280-291.

384 Lal, R., 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Environ Int.* 29, 437-450.

385 MAGRAMA, 2013. Encuesta sobre superficies y rendimientos de los cultivos. En:
386 [http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-](http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agricolas/agricultura/esyrce/)
387 [agricolas/agricultura/esyrce/](http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agricolas/agricultura/esyrce/). Viewed 06 February 2013.

388 Machum, C.N., Lorentz, S., Jewitt, G., Manson, A., Chaplot, V. 2011. No-Till Impact
389 on Soil and Soil Organic Carbon Erosion under Crop Residue Scarcity in Africa.
390 *Soil Sci Soc Am J.* 75, 1503-1512.

391 Marquez-Garcia, F., Gonzalez-Sanchez, E.J., Castro-Garcia, S., Ordoñez-Fernandez, R.
392 2013. Improvement of soil carbon sink by cover crops in olive orchards under
393 semiarid conditions. Influence of the type of soil and weed. *Span J Agric Res.* 11,
394 333-346.

395 Martínez-Mena, M., López, J., Almagro, M., Albaladejo, J., Castillo, V., Ortiz, R.,
396 Boix-Fayos, C. 2012. Organic carbon enrichment in sediments: Effects of rainfall
397 characteristics under different land uses in a Mediterranean area. *Catena.* 94, 36-
398 42.

399 Martínez-Mena, M., López, J., Almagro, M., Boix-Fayos, C., Albaladejo, J. 2008. Effect
400 of water erosion and cultivation on the soil carbon stock in a semiarid area of
401 South-East Spain. *Soil Till Res.* 99, 119-129.

402 Montgomery, D.R. 2007. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the*
403 *National Academy of Sciences of the United States of America.* 104, 13268-
404 13272.

405 Moreno, M., Garcia, S., Calizares, R., Castro, J., Bautas, E., 2009. Rainfed olive
406 farming in south-eastern Spain: Long-term effect of soil management on
407 biological indicators of soil quality. *Agric Ecosyst Environ.* 131, 333-339.

408 Ochoa, C.E., 2001. Caracterización de las condiciones erosivas en Andalucía. Trabajo
409 profesional de fin de carrera. Departamento de Agronomía. Universidad de
410 Córdoba, España.

411 Ordoñez, R., Rodríguez-Lizana, A., Espejo, A.J., González, P., Saavedra, M., 2007. Soil
412 and available phosphorus losses in ecological olive groves. *Eur J Agron.* 27, 144-
413 153.

-
- 414 Pastor, M., 2008. Sistemas de manejo de suelo, in: Barranco, D., Fernandez-Escobar,
415 R., Rallo, L. (Eds.), El cultivo del olivo. Madrid, Spain, pp. 19-35.
- 416 POOLred, 2013. Sistemas de información de precios en origen del aceite de oliva.
417 <http://www.oliva.net/poolred/default.aspx>. Viewed 06 February 2013.
- 418 Regional Ministry of Agriculture and Fisheries. 2006. El olivar andaluz. In: Servicio de
419 publicaciones y divulgación (Eds.), Sevilla, Spain.
- 420 Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C., 1997.
421 Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised
422 soil loss equation (RUSLE). USDA. Washington.
- 423 Repullo, M.A., Carbonell-Bojollo, R., Alcantara-Braña, C., Rodriguez-Lizana, A.,
424 Ordóñez-Fernández, R., 2012. Carbon sequestration potential of residues of
425 different types of cover crops in olive groves under Mediterranean climate. Span
426 J Agric Res. 10, 649-661.
- 427 Rodriguez-Lizana, A., Ordóñez, R., Espejo-Pérez, A.J., Gonzalez-Fernández, P., 2007.
428 Plant cover and control of diffuse pollution from P in olive groves. Water Air Soil
429 Poll. 181, 17-34.
- 430 Taguas, E.V., Moral, C., Ayuso, J.L., Pérez, R., Gómez, J.A., 2011. Modeling the
431 spatial distribution of water erosion within a Spanish olive orchard microcatchment
432 using SEED model. Geomorphology. 133, 47-56.
- 433 United States Department of Agriculture (USDA), 1998. Keys to soil taxonomy. Soil
434 Survey Staff (Eds.), Agriculture Handbook. Washington DC, USA.

-
- 435 Vanwallegem, T., Giraldez, J.V., 2008. Midiendo fuera de las parcelas de erosión:
436 Importancia de erosión por cárcavas y regueros en cuencas de olivar. In: López,
437 J.A., Rubio, J.C., Martín, M. (Eds.), VII Simposio del agua en Andalucía. Jaén.
438 Spain. 211-217.
- 439 Vanwallegem, T., Laguna, A., Giraldez, J.V., Jiménez-Hornero, F.J., 2010. Applying a
440 simple methodology to assess historical soil erosion in olive orchards.
441 *Geomorphology*. 114, 294-302.
- 442 Verheijes, F.G.A., Jones, R.J.A., Rickson, R.J., Smith, C.J., 2009. Tolerable versus
443 actual erosion rates in Europe. *Earth-Sci Rev.* 94, 23-28.
- 444 Walkley A, Black IA, 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil
445 organic matter and proposed modification of the chromic titration method. *Soil Sc.*
446 34:29-38.
- 447 Zhang, J.H., Quine, T.A., Ni, S.J., Ge, F.L., 2006. Stocks and dynamics of SOC in
448 relation to soil redistribution by water and tillage erosion. *Global Change Biol.* 12,
449 1834-1841.

11.2. OTRAS PUBLICACIONES CIENTÍFICAS

1. **Título:** Assessing local uncertainty of soil protection in an olive grove area with pruning residues cover: a geostatistical cosimulation approach

Revista: Land Degradation and Development

Año: 2017

Volumen:

Número:

Página inicial:

Página final:

Autores: Rodríguez-Lizana, Antonio; Pereira, Maria João; Ribeiro, Manuel Castro; Soares, Amílcar; Marquez-Garcia, Francisco; Ramos, Alzira;

Índice de impacto (ISI): 9.787

Índice de impacto (SCImago): 2,06

Cuartil (SCImago): Q1

2. **Título:** A renewed view of conservation agriculture and its evolution over the last decade in Spain

Revista: Soil & Tillage Research

Año: 2015

Volumen: Volume 146

Número: B

Página inicial: 204

Página final: 212

Autores: Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Veroz-Gonzalez, Oscar; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Marquez-Garcia, Francisco; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria

Índice de impacto (ISI): 2,709

Índice de impacto (SCImago): 1,303

Cuartil (SCImago): Q1

3. **Título:** Estimation of soil coverage of chopped pruning residues in olive orchards by image analysis

Revista: Spanish Journal of Agricultural Research

Año: 2013

Volumen: 11

Número: 3

Página inicial: 626

Página final: 634

Autores: Jimenez-Jimenez, Francisco; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Marquez-Garcia, Francisco; Castro-García, Sergio; Agüera-Vega, Juan

Índice de impacto (ISI): 0.514

Índice de impacto (SCImago): 0,339

Cuartil (SCImago): Q2

4. **Título:** Conservation agriculture and precision agriculture as a method to reduce energy consumption in agricultural systems

Revista: Journal of Agricultural Machinery Science

Año: 2011

Volumen: 7

Número: 3

Página inicial: 277

Página final: 282

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sanchez, Emilio Jesus; Agüera-Vega, Juan; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Gil-Ribes, Jesús A.

Índice de impacto (ISI):

Índice de impacto (SCImago):

Cuartil (SCImago):

11.3. ARTÍCULOS DE DIFUSIÓN. Ojo faltan de los últimos años

1. **Título:** Proyecto Life + Climagri, estrategias de mitigación y adaptación de cambio climático

Revista: Vida Rural

Año: 2016

Número: 423

Página inicial: 38

Página final: 44

Autores: Veroz-Gonzalez, Oscar; Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Holgado-Cabrera, Antonio; Lorite-Torres, Ignacio; Santos-Rufo, Cristina Maria; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Triviño-Tarradas, Paula

2. **Título:** Huella de carbono de cultivos de secano y regadío bajo laboreo comparado con siembra directa y ayuda al guiado

Revista: Tierras de Castilla y León: Agricultura

Año: 2016

Número: 243

Página inicial: 34

Página final: 38

Autores: Gil-Ribes, Jesús A.; Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Agüera-Vega, Juan; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo

3. **Título:** Maquinaria y equipos para agricultura de conservación en cultivos leñosos

Revista: Vida Rural

Año: 2015

Número: 405

Página inicial: 32

Página final: 36

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gil-Ribes, Jesús A.

4. **Título:** Influencia de las cubiertas vegetales sobre la mitigación del cambio climático en olivar

Revista: grandes cultivos

Año: 2015

Número: 2

Página inicial: 22

Página final: 26

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus

5. **Título:** Desarrollo de nuevos prototipos para la aplicación de productos fitosanitarios y manejo de cubiertas en olivar

Revista: Agricultura: Revista Agropecuaria

Año: 2015

Número: 989

Página inicial: 12

Página final: 25

Autores: Gil-Ribes, Jesús A.; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Miranda-Fuentes, Antonio; Cuenca, Andrés; Marquez-Garcia, Francisco

6. **Título:** Introducción a las cubiertas vegetales en cultivos leñosos

Revista: Agricultura de Conservación

Año: 2015

Número: 31

Página inicial: 16

Página final: 23

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gil-Ribes, Jesús A.

7. **Título:** Proyecto LIFE + Agricarbon: Resultados en la reducción de emisiones de CO₂ en sistemas de siembra directa y Agricultura de Precisión

Revista: Tierras de Castilla y León: Agricultura

Año: 2014

Número: 219

Página inicial: 40

Página final: 44

Autores: Gil-Ribes, Jesús A.; Agüera-Vega, Juan; Marquez-Garcia, Francisco; Veroz-Gonzalez, Oscar; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Castro-García, Sergio; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus

8. **Título:** Life+Agricarbon en cifras: 4 años mitigando el cambio climático con Agricultura de Conservación

Revista: Agricultura de Conservación

Año: 2014

Número: 27

Página inicial: 16

Página final: 27

Autores: Gil-Ribes, Jesús A.; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Agüera-Vega, Juan; Veroz-Gonzalez, Oscar; Marquez-García, Francisco; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Triviño-Tarradas, Paula; Holgado-Cabrera, Antonio; Castro-García, Sergio; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo

9. **Título:** Situación actual de la agricultura de conservación en España

Revista: Interempresas

Año: 2014

Número: 1114

Página inicial: 44

Página final: 50

Autores: Veroz-Gonzalez, Oscar; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gómez-Ariza, Manuel Ramon; Marquez-Garcia, Francisco

10. **Título:** Avances de los resultados alcanzados en el proyecto Life + Agricarbon

Revista: Agricultura de Conservación

Año: 2013

Número: 24

Página inicial: 14

Página final: 20

Autores: Veroz-Gonzalez, Oscar; Gil-Ribes, Jesús A.; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Agüera-Vega, Juan; Marquez-Garcia, Francisco; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Castro-García, Sergio

11. **Título:** Proyecto Life+Agricarbon, agricultura sostenible en la aritmética del carbono

Revista: Vida Rural

Año: 2013

Número: 365

Página inicial: 21

Página final: 26

Autores: Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Agüera-Vega, Juan; Marquez-Garcia, Francisco; Veroz-Gonzalez, Oscar; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Castro-García, Sergio; Triviño, Paula; Triviño-Tarradas, Paula

12. **Título:** Análisis de la siembra directa en España y algunas claves para Castilla y León

Revista: Tierras de Castilla y León Ganadería

Año: 2013

Número: 207

Página inicial: 6

Página final: 9

Autores: Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Veroz-Gonzalez, Oscar; Marquez-Garcia, Francisco; Gómez-Ariza, Manuel Ramón

13. **Título:** Tipos de sembradoras directas y recomendaciones de uso para una correcta implantación del cultivo

Revista: Vida Rural

Año: 2013

Número: 365

Página inicial: 42

Página final: 45

Autores: Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Marquez-Garcia, Francisco; Gil-Ribes, Jesús A.

14. **Título:** Consumos energéticos en sistemas de agricultura de conservación y de precisión en cultivos herbáceos

Revista: Vida Rural

Año: 2012

Número: 339

Página inicial: 68

Página final: 74

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gil-Ribes, Jesús A.; Agüera-Vega, Juan; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Gil-Ribes, Jesús A.

-
15. **Título:** Evaluación de diferentes estrategias de fertilización en SD: efecto sobre la producción y el contenido de nitrógeno en el suelo
Revista: Agricultura de Conservación
Año: 2012
Número: 21
Página inicial: 11
Página final: 14
Autores: Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria
16. **Título:** Evaluación de la producción y el contenido de nitrógeno del suelo de diferentes estrategias de fertilización en cereales en siembra directa
Revista: Tierras de Castilla y León: Agricultura
Año: 2012
Número: 196
Página inicial: 36
Página final: 45
Autores: Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gil-Ribes, Jesús A.; Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus
17. **Título:** Incremento del sumidero de carbono en el suelo de olivares de secano mediante la implantación de cubiertas vegetales
Revista: Agricultura de Conservación
Año: 2012
Número: 22
Página inicial: 11
Página final: 16
Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gonzalez-Sanchez, Emilio Jesus; Gil-Ribes, Jesús A.
18. **Título:** Innovación en maquinaria para la poda y el tratamiento de restos de poda
Revista: Vida Rural
Año: 2012
Número: 355
Página inicial: 24
Página final: 30
Autores: Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Jimenez-Jimenez, Francisco; Marquez-Garcia, Francisco
19. **Título:** Mejora de la eficiencia energética y económica de las explotaciones agrarias de secano con la implantación de tecnologías de agricultura de conservación y de precisión
Revista: Tierras de Castilla y León Ganadería
Año: 2012
Número: 197
Página inicial: 70
Página final: 77
Autores: Gil-Ribes, Jesús A.; Marquez-Garcia, Francisco; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Agüera-Vega, Juan

20. **Título:** Operaciones mecanizadas en cultivos extensivos de secano como sistema de evaluación del ahorro energético con tecnologías de AC y de precisión.

Revista: Agricultura de Conservación

Año: 2011

Número: 18

Página inicial: 16

Página final: 22

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Agüera-Vega, Juan; Gil-Ribes, Jesús A.; Gonzalez-Sánchez, Emilio J; Blanco, Gregorio L.

21. **Título:** Disminución de la contaminación de acuíferos y mejora de la eficiencia del abonado mediante la aplicación de nuevos fertilizantes en siembra directa.

Revista: Tierras de Castilla y León Ganadería

Año: 2010

Número: 171

Página inicial: 42

Página final: 48

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gil-Ribes, Jesús A.; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus

22. **Título:** Sistemas agrarios sostenibles. El caso de la siembra directa

Revista: Vida Rural

Año: 2010

Número: 312

Página inicial: 24

Página final: 27

Autores: Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Marquez-Garcia, Francisco; Veroz-Gonzalez, Oscar

23. **Título:** Mejora de la productividad y calidad de trigo en siembra directa bajo diferentes tesis de abonado.

Revista: Agricultura de Conservación

Año: 2009

Número: 12

Página inicial: 18

Página final: 22

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Perez-, J.J; Gómez-Ariza, Manuel Ramón

24. **Título:** Disminución de la pérdida de abono mediante la aplicación de nuevos fertilizantes en siembra directa

Revista: Vida Rural

Año: 2009

Número: 297

Página inicial: 26

Página final: 30

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gil-Ribes, Jesús A.; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Veroz-Gonzalez, Oscar

-
25. **Título:** Freno al cambio climático a través de las cubiertas vegetales
Revista: Agricultura de Conservación
Año: 2009
Número: 11
Página inicial: 24
Página final: 32
Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Veroz-Gonzalez, Oscar
26. **Título:** Sembradoras directas, el motor de la agricultura de conservación
Revista: Vida Rural
Año: 2009
Número: 297
Página inicial: 38
Página final: 42
Autores: Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Holgado-Cabrera, Antonio; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Marquez-Garcia, Francisco; Veroz-Gonzalez, Oscar
27. **Título:** Aspectos legislativos de interés para la implantación de prácticas de agricultura de conservación
Revista: Tierras de Castilla y León: Agricultura
Año: 2009
Número: 160
Página inicial: 72
Página final: 78
Autores: Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Veroz-Gonzalez, Oscar; Marquez-Garcia, Francisco; Gómez-Ariza, Manuel Ramón
28. **Título:** La agricultura de conservación, el camino a seguir hacia la sostenibilidad
Revista: Vida Rural
Año: 2009
Número: 297
Página inicial: 21
Página final: 24
Autores: Veroz-Gonzalez, Oscar; González-Sánchez, Emilio; Gómez-Ariza, Manuel; Marquez-Garcia, Francisco
29. **Título:** Agricultura de conservación y su papel en la economía sostenible
Revista: Agricultura: Revista Agropecuaria
Año: 2009
Número: 922
Página inicial: 704
Página final: 707
Autores: Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gil-Ribes, Jesús A.; Marquez-Garcia, Francisco; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Veroz-Gonzalez, Oscar; Arnal-Atarés, P.
30. **Título:** Mejora de la calidad del agua gracias a la aplicación de agricultura de conservación en olivar
Revista: Agricultura de Conservación

Año: 2008

Número: 10

Página inicial: 28

Página final: 34

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus

31. **Título:** Mejora de la calidad del agua gracias a la aplicación de agricultura de conservación

Revista: Vida Rural

Año: 2008

Número: 276

Página inicial: 50

Página final: 54

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus

32. **Título:** Agricultura de conservación en el siglo XXI

Revista: Vida Rural

Año: 2008

Número: 277

Página inicial: 25

Página final: 28

Autores: Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Marquez-Garcia, Francisco

33. **Título:** Análisis de la evolución de la agricultura de conservación en el siglo XXI

Revista: Agricultura de Conservación

Año: 2008

Número: 10

Página inicial: 24

Página final: 27

Autores: Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Marquez-Garcia, Francisco

34. **Título:** Beneficios agroambientales y económicos de los sistemas de conservación de suelo

Revista: Tierras de Castilla y León: Agricultura

Año: 2008

Número: 149

Página inicial: 26

Página final: 31

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gil-Ribes, Jesús A.; Veroz-Gonzalez, Oscar

35. **Título:** Agricultura de conservación, un nuevo concepto para una sociedad medioambientalmente sostenible

Revista: Interempresas Agricultura y Ganadería

Año: 2008

Número:

Página inicial: 16

Página final: 18

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus

36. **Título:** La agricultura de conservación. evolución en España y en el mundo

Revista: Tierras de Castilla y León: Agricultura

Año: 2008

Número: 149

Página inicial: 18

Página final: 24

Autores: Veroz-Gonzalez, Oscar; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Marquez-Garcia, Francisco

37. **Título:** La agricultura de conservación se presenta como un sistema de manejo de suelo eficaz para reducir la contaminación por nitratos de los acuíferos subterráneos

Revista: Agricultura de Conservación

Año: 2008

Número: 9

Página inicial: 32

Página final: 34

Autores: Marquez-Garcia, Francisco

38. **Título:** Comparación de sistemas de manejo de suelo en olivar en ensayos de simulación de lluvia

Revista: Agricultura de Conservación

Año: 2007

Número: 8

Página inicial: 20

Página final: 22

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus.

39. **Título:** Experiencias bajo técnicas de agricultura de conservación en la chimenea

Revista: Agricultura de Conservación

Año: 2007

Número: 6

Página inicial: 34

Página final: 36

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus

40. **Título:** Sinergias entre la agricultura de conservación y el medio ambiente

Revista: Tierras de Castilla y León Ganadería

Año: 2007

Número: 137

Página inicial: 50

Página final: 56

Autores: Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Marquez-Garcia, Francisco; Espejo-Pérez, Antonio J.

-
41. **Título:** Ensayos de fertilización nitrogenada con fraccionamiento temprano en trigo bajo siembra directa
Revista: Vida Rural
Año: 2007
Número: 251
Página inicial: 36
Página final: 38
Autores: Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Marquez-Garcia, Francisco
42. **Título:** Palencia será el 20-S centro mundial de la agricultura de conservación
Revista: Tierras de Castilla y León Ganadería
Año: 2007
Número: 137
Página inicial: 14
Página final: 18
Autores: Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Marquez-Garcia, Francisco
43. **Título:** Incremento de la disponibilidad de agua mediante agricultura de conservación
Revista: Agricultura de Conservación
Año: 2007
Número: 5
Página inicial: 24
Página final: 26
Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Rodríguez-Lizana, Antonio; Ordoñez-Fernández, Rafaela
44. **Título:** Evolución de la humedad en el suelo en parcelas de olivar
Revista: Vida Rural
Año: 2006
Número: 236
Página inicial: 30
Página final: 33
Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Rodríguez-Lizana, Antonio; Giráldez-Cervera, Juan Vicente; Espejo-Perez, Antonio Jesus
45. **Título:** Aumentos de la biodiversidad en suelos de olivar
Revista: Vida Rural
Año: 2006
Número: 236
Página inicial: 46
Página final: 50
Autores: Espejo-Perez, Antonio Jesus; Marquez-Garcia, Francisco; Rodríguez-Lizana, Antonio

11.4. LIBROS

- Título:** Implantación de cultivos bajo agricultura de conservación y precisión
Lugar: Córdoba. España
Editorial: Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos
Año: 2013
Nº de páginas: 39
ISBN: 9788469594551
Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela
- Título:** Ahorro y eficiencia energética en agricultura de conservación.
Lugar: Madrid. España
Editorial: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
Año: 2012
Nº de páginas: 118
ISBN: M-32551-2012
Autores: Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus
- Título:** Técnicas agrarias sostenibles mitigadoras del cambio climático. La agricultura de precisión
Lugar: Córdoba. España
Editorial: Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos
Año: 2012
Nº de páginas: 32
ISBN: 978-84-695-6406-6
Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Agüera-Vega, Juan
- Título:** Agricultura de Conservación
Lugar: Córdoba. España
Editorial: Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos
Año: 2011
Nº de páginas: 136
ISBN: 978-84-615-7286-1
Autores: Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Marquez-Garcia, Francisco; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Veroz-Gonzalez, Oscar; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria
- Título:** Introducción a la agricultura de conservación. La sinergia entre agricultura y medio ambiente
Lugar: Córdoba. España
Editorial: Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos
Año: 2009
Nº de páginas: 23
ISBN: 84-930144-7

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Carrasco-Segovia, Elena

6. **Título:** Cubiertas vegetales. una solución para mejorar la fertilidad del suelo y preservar el medio ambiente

Lugar: Córdoba. España

Editorial: Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos

Año: 2008

Nª de páginas: 20

ISBN: 978-84-930144-6-9

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gil-Ribes, Jesús A.

7. **Título:** Calidad de las aguas y agricultura de conservación

Lugar: Córdoba. España

Editorial: Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos

Año: 2008

Nª de páginas: 23

ISBN: 978-84-930144-5-

Autores: Marquez-Garcia, Francisco

11.5. PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS

1. **Título de la aportación:** Improvement of the soil organic carbon sink using cover crops in rainfed olive orchards in semiarid climate

Nombre del congreso:

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito:

Año:

Lugar:

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Veroz-Gonzalez, Oscar; Gil-Ribes, Jesús A.

2. **Título de la aportación:** influence of the type of pruning chopper and its velocity in the fuel consumption and the quality of the chopped pruning residues in olive orchards

Nombre del congreso:

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito:

Año:

Lugar:

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Jimenez-Jimenez, Francisco; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Castro-García, Sergio; Gil-Ribes, Jesús A.

3. **Título de la aportación:** Remote monitoring of crop operations as a method to study the contribution of no till and precision agriculture in the reduction of CO₂ emissions with respect to conventional tillage in rainfed arable crops

Nombre del congreso:

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito:

Año:

Lugar:

Autores: Agüera-Vega, Juan; Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sanchez, Emilio Jesus; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Gil-Ribes, Jesús A.

4. **Título de la aportación:** Gramineous, cruciferous and leguminous as cover crop in olive grove to reduce erosion and soil organic carbon loss

Nombre del congreso:

Tipo de evento: Poster en Congreso

Ámbito:

Año:

Lugar:

Autores: Repullo Ruibérriz, Miguel Angel; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Marquez-Garcia, Francisco; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; González-Fernández, Pedro

5. **Título de la aportación:** Optimization of the chopping of the pruning residues in olive orchards as a method to reduce carbon dioxide emissions

Nombre del congreso:

Tipo de evento: Poster en Congreso

Ámbito: Internacional

Año:

Lugar:

Autores: Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Marquez-Garcia, Francisco; Castro-García, Sergio; Gil-Ribes, Jesús A.

6. **Título de la aportación:** Increasing soil organic carbon fixation by using cover crops in olive orchards

Nombre del congreso:

Tipo de evento: Poster en Congreso

Ámbito: Internacional

Año:

Lugar:

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Ordoñez-Fernández, Rafaela

7. **Título de la aportación:** Optimization of the chopping of the pruning residues in olive orchards as a method to save money and carbon dioxide

Nombre del congreso:

Tipo de evento: Poster en Congreso

Ámbito:

Año:

Lugar:

Autores: Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Marquez-Garcia, Francisco; Jimenez-Jimenez, Francisco; Castro-García, Sergio

8. **Título de la aportación:** Building a model based on hyperspectral images as a first step to make site-specific distribution of herbicides in olive production

Nombre del congreso:

Tipo de evento: Poster en Congreso

Ámbito: Internacional

Año:

Lugar:

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Agüera-Vega, Juan; Gil-Ribes, Jesús A.

9. **Título de la aportación:** Role of the cover crops in the soil organic carbon output reduction in olive orchards

Nombre del congreso:

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año:

Lugar:

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Gil-Ribes, Jesús A.

10. **Título de la aportación:** Reduction of carbon dioxide emissions and agricultural costs by applying no till & guide assistance in arable crops in southern Spain

Nombre del congreso:

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año:

Lugar:

Autores: Agüera-Vega, Juan; Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sanchez, Emilio Jesus; Gil-Ribes, Jesús A.

11. **Título de la aportación:** Joint implementation of stochastic simulations and a residue decomposition model to evaluate soil protection: a case study in a traditional olive grove

Nombre del congreso: 11th International Conference on Geostatistics for Environmental Application (2016)

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 05/07/2016 - 08/07/2016

Lugar: Lisbon, Portugal

Autores: Rodríguez-Lizana, Antonio; Ribeiro, Manuel; Soares, Amilcar; Marquez-Garcia, Francisco; Ramos, Alzira; Gil-Ribes, Jesús A.; Pereira, María João

12. **Título de la aportación:** Carbon footprint of rainfed and irrigated crops under tillage compared to no till & guide assistance

Nombre del congreso: CIGR-AgEng 2016

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 28/06/2016 - 30/06/2016

Lugar: Aarhus, Denmark

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gil-Ribes, Jesús A.; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus

13. **Título de la aportación:** Manejo racional de fertilizantes en cereal. Interrelaciones con la productividad y medio ambiente

Nombre del congreso: IV Jornadas Nacionales de Transferencia en Cereales de Invierno

Tipo de evento: Comunicación en Jornada

Ámbito: Nacional

Año: 24/05/2016 - 25/05/2016

Lugar: Albadalejito. Guadalajara

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gil-Ribes, Jesús A.

14. **Título de la aportación:** Influencia del tipo de cultivo y de su manejo en el consumo energético en cultivos herbáceos de secano

Nombre del congreso: VIII Congreso Ibérico de Agroingeniería

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Europea

Año: 01/06/2015 - 03/06/2015

Lugar: Orihuela - Alicante - España

Autores: Gil-Ribes, Jesús A.; Marquez-Garcia, Francisco; Agüera-Vega, Juan; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus

15. **Título de la aportación:** Implantación de cubiertas vegetales como sistema para controlar las pérdidas de agua, suelo y carbono en olivar

Nombre del congreso: XVII Simposio Científico-Técnico de Expoliva 2015

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 06/05/2015 - 08/05/2015

Lugar: JAÉN (ESPAÑA)

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gonzalez-Sanchez, Emilio Jesus

16. **Título de la aportación:** Influencia del tipo de cultivo y de su manejo sobre las emisiones de CO₂ asociadas a las operaciones agrícolas en climas semiáridos en secano

Nombre del congreso: IV Workshop REMEDIA 2015

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Nacional

Año: 23/03/2015 - 25/03/2015

Lugar: Universidad Complutense de Madrid

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gil-Ribes, Jesús A.; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Agüera-Vega, Juan; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus

17. **Título de la aportación:** Reduction of the operational times and crop costs by applying No Till and Guide Assistance in rainfed arable crops in Southern Spain

Nombre del congreso: International Conference of Agricultural Engineering

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 06/10/2014 - 09/10/2014

Lugar: ZURICH. SWITZERLAND.

Autores: Gil-Ribes, Jesús A.; Marquez-Garcia, Francisco; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Agüera-Vega, Juan

18. **Título de la aportación:** Influencia de las cubiertas vegetales y el laboreo convencional en la salida de carbono orgánico en olivar

Nombre del congreso: III Workshop de la Red científica de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector agroforestal

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Europea

Año: 10/04/2014 - 11/04/2014

Lugar: Valencia. España

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Gil-Ribes, Jesús A.

19. **Título de la aportación:** Evaluación de las emisiones de CO₂ relativas al consumo de combustible de las operaciones mecanizadas del olivar

Nombre del congreso: III Workshop de la Red científica de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector agroforestal

Tipo de evento: Poster en Congreso

Ámbito: Europea

Año: 10/04/2014 - 11/04/2014

Lugar: Valencia. España

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Agüera-Vega, Juan; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Castro-García, Sergio; Gil-Ribes, Jesús A.

20. **Título de la aportación:** Life+ Agricarbon. Sustainable Agriculture in Carbon

Arithmetics

Nombre del congreso: European Conference Green Carbon: Making Sustainable Agriculture Real

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 01/04/2014

Lugar: Bruselas. Bélgica

Autores: Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gil-Ribes, Jesús A.; Agüera-Vega, Juan; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Veroz-Gonzalez, Oscar; Marquez-Garcia, Francisco; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Triviño-Tarradas, Paula; Holgado-Cabrera, Antonio; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Castro-García, Sergio

21. **Título de la aportación:** Agricultura sostenible en la aritmética del carbono

Nombre del congreso: VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 26/08/2013 - 29/08/2013

Lugar:

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Agüera-Vega, Juan; Veroz-Gonzalez, Oscar; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Castro-García, Sergio

22. **Título de la aportación:** Remote monitoring of CO₂ emission save of no till and precision agriculture, with respect to conventional tillage

Nombre del congreso: 9th European Conference on Precision Agriculture

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 07/07/2013 - 11/07/2013

Lugar: Lleida. España

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Agüera-Vega, Juan; Gil-Ribes, Jesús A.; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo

23. **Título de la aportación:** In-field spatial grain-legume yield variability under no-till and conventional tillage

Nombre del congreso: 9th European Conference on Precision Agriculture

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 07/07/2013 - 11/07/2013

Lugar: Lleida. España

Autores: Agüera-Vega, Juan; Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sanchez, Emilio Jesus; Pérez-Ruiz, Manuel; Gil-Ribes, Jesús A.

24. **Título de la aportación:** Recycling crop residues of arable crops as a method to reduce the CO₂ emission in the cropping operations, and improve the yield and water balance

Nombre del congreso: RAMIRAN 2013 15th INTERNATIONAL CONFERENCE

Tipo de evento: Poster en Congreso

Ámbito: Internacional

Año: 03/06/2013

Lugar: Versailles, France

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gil-Ribes, Jesús A.; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Agüera-Vega, Juan

25. **Título de la aportación:** Influence of the type of pruning chopper and its velocity in the fuel consumption and the quality of the chopped pruning residues in olive orchards

Nombre del congreso: RAMIRAN 2013 15th INTERNATIONAL CONFERENCE

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 03/06/2013

Lugar: Versailles, France

Autores: Gil-Ribes, Jesús A.; Marquez-Garcia, Francisco; Jimenez-Jimenez, Francisco; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo

26. **Título de la aportación:** Remote Monitoring of Operations in Conservation plus Precision Agriculture, Respect Conventional Tillage as a Method to Study the Reduction of Greenhouse Gasses Emission

Nombre del congreso: International conference of agricultural engineering

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional.

Año: 08/07/2012 - 12/07/2012

Lugar: Valencia. España

Autores: Gil-Ribes, Jesús A.; Agüera-Vega, Juan; Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo

27. **Título de la aportación:** Análisis de las reducciones de emisiones de CO₂ en sistemas de agricultura de conservación y de precisión a partir de los consumos energéticos

Nombre del congreso: I Workshop sobre mitigación de emisión de gases de efecto invernadero provenientes del sector agroforestal

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 08/03/2012 - 09/03/2012

Lugar: Bilbao. España

Autores: Gil-Ribes, Jesús A.; Agüera-Vega, Juan; Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo

28. **Título de la aportación:** Agricultura sostenible en la aritmética del carbono: el proyecto life + agricarbon

Nombre del congreso: I Workshop sobre mitigación de emisión de gases de efecto invernadero provenientes del sector agroforestal

Tipo de evento: Poster en Taller de trabajo

Ámbito: Internacional

Año: 2012

Lugar: Bilbao. España

Autores: Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Veroz-Gonzalez, Oscar; Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Marquez-Garcia, Francisco; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria

-
29. **Título de la aportación:** Conservation agriculture and precision agriculture as a method to reduce energy consumption in agricultural systems
Nombre del congreso: 11th International congress on mechanization and energy in agriculture
Tipo de evento: Comunicación en congreso
Ámbito: Internacional
Año: 21/09/2011 - 23/09/2011
Lugar: Estambul. Turkia
Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Agüera-Vega, Juan; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Gil-Ribes, Jesús A.
30. **Título de la aportación:** Caracterización de las operaciones mecanizadas como sistema de evaluación del ahorro energético con tecnologías de agricultura de conservación y de precisión
Nombre del congreso: VI Congreso Ibérico de Agroingeniería
Tipo de evento: Comunicación en congreso
Ámbito: Internacional
Año: 05/09/2011 - 07/09/2011
Lugar: Evora. Portugal
Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Agüera-Vega, Juan; Gil-Ribes, Jesús A.; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo
31. **Título de la aportación:** Aplicaciones tecnológicas para el desarrollo de un olivar rentable y sostenible
Nombre del congreso: III Jornadas Nacionales del grupo de olivicultura de la SECH
Tipo de evento: Comunicación en Jornada
Ámbito: Nacional
Año: 2011
Lugar: Sevilla. España
Autores: Gil-Ribes, Jesús A.; Agüera-Vega, Juan; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo; Castro-García, Sergio; Pérez-Ruiz, Manuel; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Marquez-Garcia, Francisco; Gamarra-Diezma, Juan Luis; Rodríguez-Lizana, Antonio; Muñoz-Tejada, Rafael; Jimenez-Jimenez, Francisco; Román-Vázquez, Julio; Sola-Guirado, Rafael Ruben
32. **Título de la aportación:** Implantación de cubiertas vegetales en el olivar como sistema de conservación y mejora del suelo
Nombre del congreso: European congress on conservation agriculture
Tipo de evento: Comunicación en congreso
Ámbito: Internacional
Año: 04/10/2010 - 07/10/2010
Lugar: Madrid. España
Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gil-Ribes, Jesús A.; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Veroz-Gonzalez, Oscar
33. **Título de la aportación:** Implantación de cubiertas vegetales en el olivar como sistema de conservación y mejora del agua
Nombre del congreso: European congress on conservation agriculture
Tipo de evento: Comunicación en congreso
Ámbito: Internacional

Año: 04/10/2010 - 07/10/2010

Lugar: Madrid. España

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gil-Ribes, Jesús A.; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gómez-Ariza, Manuel Ramón

34. **Título de la aportación:** Life+agricarbon agricultura sostenible en la aritmética del carbono

Nombre del congreso: European congress on conservation agriculture

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 04/10/2010 - 07/10/2010

Lugar: Madrid. España

Autores: Gonzalez-Sanchez, Emilio Jesus; Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Veroz-Gonzalez, Oscar; Marquez-Garcia, Francisco; Gómez-Ariza, Manuel

35. **Título de la aportación:** Influencias de las cubiertas vegetales en la compactación en olivar

Nombre del congreso: European congress on conservation agriculture

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 04/10/2010 - 07/10/2010

Lugar: Madrid. España

Autores: Román-Vázquez, Julio; Gil-Ribes, Jesús A.; Agüera-Vega, Juan; Marquez-Garcia, Francisco

36. **Título de la aportación:** Cover crops in olive orchards. a possibility to meet Kyoto commitments

Nombre del congreso: Internacional conference on agriculture engineering

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 06/09/2010 - 08/09/2010

Lugar: Clermont Ferrand. Francia

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Blanco-Roldán, Gregorio Lorenzo

37. **Título de la aportación:** Improving quality and productivity of wheat using different types of fertilizers in conservation agriculture

Nombre del congreso: 18th Symposium of the international scientific centre of fertilizers

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 08/11/2009 - 12/11/2009

Lugar: ROMA. ITALIA

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gómez-Ariza, Manuel Ramón

38. **Título de la aportación:** New fertilizers and soil nitrogen content in No Tillage

Nombre del congreso: 18th Symposium of the international scientific centre of fertilizers

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 08/11/2009 - 12/11/2009

Lugar: ROMA. ITALIA

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Gil-Ribes, Jesús A.; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Veroz-Gonzalez, Oscar

39. **Título de la aportación:** Cubiertas vegetales en el olivar. una de las posibilidades para cumplir con los compromisos de Kioto en Andalucía.

Nombre del congreso: Simposium científico-técnico Expoliva

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 01/01/2009 -

Lugar: JAEN, ESPAÑA

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Carrasco-Segovia, Elena; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria

40. **Título de la aportación:** Preserving european environment though conservation agriculture

Nombre del congreso: World congress on conservation agriculture

Tipo de evento: Poster en Congreso

Ámbito: Internacional

Año: 01/01/2009 -

Lugar: NUEVA DELHI, INDIA

Autores: Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Marquez-Garcia, Francisco; Gil-Ribes, Jesús A.; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Veroz-Gonzalez, Oscar

41. **Título de la aportación:** Reduction of water, soil and carbon loss due to the application of direct drilling in cereal crops

Nombre del congreso: World congress on conservation agriculture

Tipo de evento: Poster en Congreso

Ámbito: Internacional

Año: 01/01/2009 -

Lugar: NUEVA DELHI, INDIA

Autores: Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Repullo-,M.Á.; Marquez-Garcia, Francisco

42. **Título de la aportación:** Evolution of residue decomposition in a dryland rotation in southern Spain

Nombre del congreso: World congress on conservation agriculture

Tipo de evento: Poster en Congreso

Ámbito: Internacional

Año: 01/01/2009 -

Lugar: NUEVA DELHI, INDIA

Autores: Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Repullo-,M.Á.; Marquez-Garcia, Francisco

43. **Título de la aportación:** Reduction in water pollution due to establishment of plant covers in southern Spanish olive groves

Nombre del congreso: World congress on conservation agriculture

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 01/01/2009 -

Lugar: NUEVA DELHI, INDIA

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gil-Ribes, Jesús A.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus

44. **Título de la aportación:** Sistemas de cubierta vegetal y laboreo en el manejo de suelo en olivar. ensayos de simulación

Nombre del congreso: Simposium científico-técnico Expoliva

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 01/01/2009 -

Lugar: JAEN, ESPAÑA

Autores: Repullo-,M.Á.; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Carbonell-,Rosa; González-, P; Marquez-Garcia, Francisco

45. **Título de la aportación:** Estudio del efecto de la enmienda con alperujo sobre el estado nutritivo de los árboles y su papel como fuente de carbono en el suelo.

Nombre del congreso: Simposium científico-técnico Expoliva

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 01/01/2009 -

Lugar: JAEN, ESPAÑA

Autores: Carbonell-Bojollo, Rosa Maria; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Marquez-Garcia, Francisco; González-, P

46. **Título de la aportación:** Reducing agri-environmental problems through conservation agriculture

Nombre del congreso: EUROSOIL CONGRESS

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 25/08/2008 - 29/08/2008

Lugar: VIENA, AUSTRIA

Autores: Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Marquez-Garcia, Francisco

47. **Título de la aportación:** Eficiencia de las cubiertas vegetales como método de conservación de suelo y agua en olivar

Nombre del congreso: VII Simposio del agua en Andalucía. Agua y cultura

Tipo de evento: Ponencia en Congreso

Ámbito: Nacional

Año: 28/05/2008 - 31/05/2008

Lugar: Baeza. España

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Giráldez-Cervera, Juan Vicente; Repullo, Miguel; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Espejo-Perez, Antonio Jesus; Rodríguez-Lizana, Antonio

48. **Título de la aportación:** Cubiertas vegetales vs laboreo. diferencias entre las cubiertas entre cubiertas sembradas segadas químicamente y cubiertas espontáneas segadas mecánicamente

Nombre del congreso: III CONGRESO IBÉRICO DE LA CIENCIA DEL SUELO

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 01/01/2008 -

Lugar: ÉVORA. Portugal.

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gil-Ribes, Jesús A.; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus

49. **Título de la aportación:** Mejora del balance de nitrógeno en el suelo en olivares bajo agricultura de conservación

Nombre del congreso: III CONGRESO IBÉRICO DE LA CIENCIA DEL SUELO

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 01/01/2008 -

Lugar: ÉVORA. Portugal

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Ordoñez-Fernández, Rafaela; Carbonell-Bojollo, Rosa Maria

50. **Título de la aportación:** Un análisis sencillo para describir la influencia de diferentes sistemas de manejo de suelo sobre la evolución de la humedad en parcelas de olivar

Nombre del congreso: VIII Jornadas de investigación de la zona no saturada del suelo

Tipo de evento: Ponencia en Congreso

Ámbito: Nacional

Año: 14/11/2007 - 16/11/2007

Lugar: Córdoba. España

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Giráldez-Cervera, Juan Vicente; Rodríguez-Lizana, Antonio; Ordoñez-Fernández, Rafaela

51. **Título de la aportación:** Influencia de la planta en la variación espacio-temporal de la humedad del suelo en olivares cultivados con cubiertas vegetales

Nombre del congreso: VIII Jornadas de investigación en la zona no saturada del suelo

Tipo de evento: Poster en Congreso

Ámbito: Nacional

Año: 14/11/2007 - 16/11/2007

Lugar: CÓRDOBA, ESPAÑA

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Giráldez-Cervera, Juan Vicente; Rodríguez-Lizana, Antonio; Ordoñez-Fernández, Rafaela

52. **Título de la aportación:** Environmental benefits of conservation agriculture for conservation agriculture

Nombre del congreso: I Congreso europeo sobre agricultura y medio ambiente

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Internacional

Año: 01/01/2007 -

Lugar: Sevilla. España

Autores: Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Marquez-Garcia, Francisco

53. **Título de la aportación:** Influencia del sistema de manejo de suelo en la variación espacial y temporal de la humedad del suelo en cultivos de olivar

Nombre del congreso: I Congreso europeo sobre agricultura y medio ambiente

Tipo de evento: Comunicación en congreso

Ámbito: Nacional

Año: 2007

Lugar: Sevilla. España.

Autores: Marquez-Garcia, Francisco; Gómez-Ariza, Manuel Ramón; Gonzalez-Sánchez, Emilio Jesus; Giráldez-Cervera, Juan Vicente

11.6. ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN

1. **Nombre:** Machinery used in Conservation Agriculture: no-tillage seeders
Nombre del evento: Cultivating Productive Soil and Clean Water: How Soil Management Can Reduce water contamination risks, Contribute to Best Use of Our Products, and Meet Grower Needs
Fecha: 10/05/2016 - 13/05/2016
Lugar de celebración: Universidad de Córdoba
Ámbito: Internacional

2. **Nombre:** Fertilización racional
Nombre del evento: Feria Internacional de Maquinaria Agrícola
Fecha: 09/02/2016 - 09/02/2016
Lugar de celebración: - Zaragoza, España
Ámbito: Internacional

3. **Nombre:** Equipos para la aplicación sitio-específica de insumos en cultivos extensivos de secano
Nombre del evento: Jornada Técnica. Técnicas agrarias sostenibles en el marco del proyecto Life + Agricarbon
Fecha del evento: 27/11/2014
Lugar de celebración: Córdoba. España
Ámbito: Nacional

4. **Nombre:** Experiencias en la Finca Rabanales con prácticas agrarias mitigadoras del cambio climático
Nombre del evento: Jornada Técnica. Prácticas Agrarias Mitigadoras del Cambio Climático
Fecha: 27/11/2014 - 27/11/2014
Lugar de celebración: Córdoba. España
Ámbito: Autonómica

5. **Nombre:** Agricultura de conservación
Nombre del evento: Plan de formación IAAP 2014: Sostenibilidad en la gestión de los sistemas agrícolas
Fecha: 09/10/2014
Lugar de celebración: Córdoba. España
Ámbito: Autonómica

6. **Nombre:** Manejo de Cubiertas vegetales en olivar en pendiente
Nombre del evento: Formación continua y participativa en agricultura ecológica
Fecha: 27/05/2014 - 11/09/2014
Lugar de celebración: Mengibar. Jaen
Ámbito: Autonómica

7. **Nombre:** Agricultura de Conservación
Nombre del evento: Jornada Universitaria. Transición hacia la soberanía alimentaria. Retos y oportunidades de la agricultura en la Europa del siglo XXI
Fecha: 09/04/2014
Lugar de celebración: Sevilla. España

Ámbito: Europea

8. **Nombre:** Equipos para la aplicación sitio-específica de insumos en cultivos extensivos de secano

Nombre del evento: Seminario técnico sobre agricultura sostenible en el marco del proyecto Life + Agricarbon

Fecha: 29/11/2013

Lugar de celebración: Córdoba

Ámbito: Nacional

9. **Nombre:** Equipos para la aplicación sitio-específica de insumos en cultivos extensivos de secano

Nombre del evento: Curso sobre agricultura sostenible. Experiencias en el bajo Guadalquivir

Fecha: 07/11/2013

Lugar de celebración: Las Cabezas de San Juan. Sevilla

Ámbito: Autonómico

10. **Nombre:** Real-Time weed detection for site-specific spraying in olive orchards

Nombre del evento: Biophotonics Group. Department of Biosystems. KU Leuven

Fecha: 19/08/2013

Lugar de celebración: KU Leuven. Bélgica.

Ámbito: Internacional

11. **Nombre:** Nuevas estrategias de fertilización. Distribución Variable

Nombre del evento: Agricultura Sostenible: Experiencias Prácticas en el Valle del Guadalquivir

Fecha: 18/01/2013

Lugar de celebración: CARMONA. SEVILLA

Ámbito: Autonómico

12. **Nombre:** Estrategias de fertilización en siembra directa. Sistemas de dosificación variable

Nombre del evento: Jornada técnica sobre cultivos herbáceos extensivos de secano

Fecha: 18/10/2012

Lugar de celebración: Lebrija. Sevilla

Ámbito: Nacional

13. **Nombre:** Agricultura de Conservación y Abonado: Dosis, tipos y fechas de aplicación

Nombre del evento: Jornadas sobre laboreo mínimo y siembra directa en cereales

Fecha: 17/10/2012

Lugar de celebración: ALHAMA DE GRANADA

Ámbito: Autonómico

14. **Nombre:** Agricultura de conservación y abonado. Dosis, tipos y fechas de aplicación

Nombre del evento: Jornada sobre cereales

Fecha: 16/10/2012

Lugar de celebración: Jerez. Cádiz

Ámbito: Nacional

15. **Nombre:** Manejo de malas hierbas, plagas y enfermedades

Nombre del evento: Curso sobre mecanización y tecnificación rural sostenible

Fecha: 02/11/2011

Lugar de celebración: MONTORO. CÓRDOBA

Ámbito: Nacional

16. **Nombre:** Beneficios agroambientales de la agricultura de conservación

Nombre del evento: Jornadas sobre manejo de suelo en olivar

Fecha: 01/07/2011

Lugar de celebración: ALHAMA DE GRANADA

Ámbito: Autonómico

17. **Nombre:** La conservación de suelos desde la experiencia práctica

Nombre del evento: Jornadas de conservación de suelos y lucha contra la erosión

Fecha: 06/06/2011

Lugar de celebración: Nueva Carteya. Córdoba

Ámbito: Local

18. **Nombre:** Beneficios agroambientales de la agricultura de conservación

Nombre del evento: Jornada Modelos experimentales olivar adhesionado

Fecha: 02/06/2011

Lugar de celebración: Cabra. Córdoba

Ámbito: Autonómico

19. **Nombre:** La conservación de suelos desde la experiencia práctica

Nombre del evento: Jornadas de conservación de suelos y lucha contra la erosión

Fecha: 31/05/2011

Lugar de celebración: Valenzuela. Córdoba

Ámbito: Local

20. **Nombre:** Beneficios agroambientales de la agricultura de conservación

Nombre del evento: Jornada Modelos experimentales olivar adhesionado

Fecha: 26/05/2011

Lugar de celebración: Carcabuey. Córdoba

Ámbito: Autonómico

21. **Nombre:** La conservación de suelos desde la experiencia práctica

Nombre del evento: Jornadas de conservación de suelos y lucha contra la erosión

Fecha: 23/05/2011

Lugar de celebración: Castro del Río. Córdoba

Ámbito: Autonómico

22. **Nombre:** La agricultura de conservación como mejorante del suelo

Nombre del evento: Curso: Agricultura de conservación, gestión de suelo agrícolas en Aragón

Fecha: 15/12/2009

Lugar de celebración: Zaragoza. España

Ámbito: Nacional

-
23. **Nombre:** Agricultura de conservación en Andalucía
Nombre del evento: Jornada sobre control de enfermedades en cereales
Fecha: 20/05/2009
Lugar de celebración: Campillos. Málaga
Ámbito: Autonómico
24. **Nombre:** Cubiertas vegetales en olivar
Nombre del evento: Seminario Científico-Técnico sobre cubiertas vegetales y eficiencia energética en cultivos leñosos
Fecha: 05/05/2009
Lugar de celebración: Mora. Toledo
Ámbito: Nacional
25. **Nombre:** Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Conservación
Nombre del congreso: Jornadas sobre ahorro y eficiencia energética en agricultura
Fecha: 27/11/2008
Lugar de celebración: Los palacios. Sevilla
Ámbito: Nacional
26. **Nombre:** Agricultura de Conservación
Nombre del evento: Jornada Técnica de Agricultura de Conservación y medidas agroambientales
Fecha: 02/10/2008
Lugar de celebración: CARMONA. SEVILLA
Ámbito: Autonómico
27. **Nombre:** Ponencia Maquinaria, ahorro de energía y regulación de equipos
Nombre del evento: Jornada de campo: Agricultura de conservación, eficiencia energética.
Fecha: 23/09/2008
Lugar de celebración: Escobar de Polendos. Segovia
Ámbito: Nacional
28. **Nombre:** Maquinaria, ahorro de energía y regulación de equipos
Nombre del evento: Jornada de campo sobre agricultura de conservación y ahorro de energía
Fecha del congreso: 18/09/2008
Lugar de celebración: La Milana. Soria
Ámbito: Nacional
29. **Nombre:** Agricultura de conservación en cultivos leñosos. Mejora del balance de nitrógeno en el suelo con cubiertas vegetales
Nombre del evento: Curso sobre agricultura de conservación
Fecha: 09/07/2008
Lugar de celebración: Palma del río. Cordoba
Ámbito: Autonómico
30. **Nombre:** Beneficios agroambientales y económicos de los sistemas de conservación de suelo

Nombre del evento: Seminario sobre agricultura de conservación, eficiencia energética y medio ambiente

Fecha: 26/06/2008

Lugar de celebración: Los Palacios. Sevilla

Ámbito: Autonómica

31. **Nombre:** Agricultura de conservación. Una opción viable y necesaria. Ayudas agroambientales.

Nombre del evento: Jornada de campo: Agricultura de conservación, eficiencia energética y medio ambiente.

Fecha: 19/06/2008

Lugar de celebración: Las Cabezas de San Juan. Sevilla

Rol: Invitado/a

Ámbito: Autonómica

32. **Nombre:** Agricultura de conservación en olivar. Una opción viable y necesaria

Nombre del evento: Jornada de campo: Agricultura de conservación, eficiencia energética y medio ambiente en olivar.

Fecha: 30/04/2008

Lugar de celebración: Torredelcampo. Jaen

Ámbito: Autonómico

33. **Nombre:** Agricultura de conservación en cultivos extensivos

Nombre del evento: Cultivos extensivos de cereales de invierno

Fecha: 16/11/2007

Lugar de celebración: Alcalá del Río. Sevilla

Ámbito: Autonómico

34. **Nombre:** Cubiertas vegetales en olivar. Aspectos técnicos de manejo, cualidades y tipos

Nombre del evento: Jornada aplicación de la condicionalidad en la comunidad autónoma de Andalucía

Fecha: 30/10/2007

Lugar de celebración: UTRERA. SEVILLA

Ámbito: Autonómico

35. **Nombre:** Evolución de la humedad edáfica en los sistemas de manejo de suelo

Nombre del evento: Introducción a las cubiertas vegetales en olivar

Fecha: 03/07/2007 - 05/07/2007

Lugar de celebración: PRIEGO DE CÓRDOBA. CÓRDOBA.

Ámbito: Autonómico

36. **Nombre:** Introducción a los sistemas de agricultura de conservación. Estudio de la evolución de la humedad en olivar

Nombre del evento: Manejo de suelo sostenible en olivar

Fecha: 12/06/2007

Lugar de celebración: Doña Mencía. Córdoba

Ámbito: Autonómico

37. **Nombre:** Ensayos de agricultura de conservación en cereales de invierno.

Evolución del nitrógeno en el suelo

Nombre del evento: Jornadas técnicas y de campo sobre agricultura de conservación

Fecha: 31/05/2007 - 01/06/2007

Lugar de celebración: Lebrija. Sevilla

Rol: Invitado/a

Ámbito: Autonómico

38. **Nombre:** Introducción a la agricultura de conservación

Nombre del evento: Curso sobre agricultura de conservación

Fecha: 12/05/2007

Lugar de celebración: Córdoba

Ámbito: Autonómico

39. **Nombre:** Ponencia Mecanización en sistemas de agricultura de conservación

Nombre del evento: Jornada andaluza sobre agricultura de conservación

Fecha: 14/11/2006

Lugar de celebración: Osuna. Sevilla

Ámbito: Autonómico

40. **Nombre:** Evolución de la humedad bajo diferentes manejos de suelo en olivar

Nombre del evento: Manejo de cubiertas vegetales en olivar

Fecha: 07/11/2006 - 09/11/2006

Lugar de celebración: Torredonjimeno. Jaén

Ámbito: Autonómico

41. **Nombre:** Influencia del sistema de manejo en el contenido de agua del suelo

Nombre del evento: Técnicas de agricultura de conservación en el olivar

Fecha: 19/06/2006 - 22/06/2006

Lugar de celebración: IFAPA Los Palacios. Sevilla

Ámbito: Autonómica

42. **Nombre:** Evolución de la humedad del suelo en olivares con cubierta vegetal y laboreo convencional

Nombre del evento: Agricultura de conservación en la finca La Chimenea

Fecha: 12/06/2006 - 16/06/2006

Lugar de celebración: Instituto Madrileño para el desarrollo rural y agrario. Madrid. España

Ámbito: Nacional