

Tesis Doctoral

AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN CULTIVOS EXTENSIVOS DEL VALLE DEL GUADALQUIVIR: CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS A ESCALA DE PARCELA COMERCIAL Y ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DE MEJORA

AUTORA:
INMACULADA CARMONA MORENO

DIRECTORA:
HELENA GÓMEZ MACPHERSON



CÓRDOBA, 2015

TITULO: *AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN CULTIVOS EXTENSIVOS DEL VALLE DEL GUADALQUIVIR: CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS A ESCALA DE PARCELA COMERCIAL Y ANALISIS DE ESTRATEGIAS DE MEJORA*

AUTOR: *Inmaculada Carmona Moreno*

© Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 2015
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

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



Programa de Doctorado

Ingeniería Agraria, Alimentaria, Forestal y del Desarrollo Rural Sostenible

Línea de investigación: Agronomía y Agua

TESIS DOCTORAL

Agricultura de conservación en cultivos extensivos del Valle del Guadalquivir: caracterización de sistemas a escala de parcela comercial y análisis de estrategias de mejora.

Autora

Inmaculada Carmona Moreno

Directora

Dra. Helena Gómez Macpherson

Tutora

Dra. M^a Auxiliadora Soriano Jiménez

Realizada en el Departamento de Agronomía. Instituto de Agricultura Sostenible.



Córdoba, Noviembre 2015



TÍTULO DE LA TESIS:

Agricultura de Conservación en cultivos extensivos del Valle del Guadalquivir: Caracterización de sistemas a escala de parcela comercial y análisis de estrategias de mejora

DOCTORANDA:

Inmaculada Carmona Moreno

INFORME RAZONADO DEL/DE LOS DIRECTOR/ES DE LA TESIS

(se hará mención a la evolución y desarrollo de la tesis, así como a trabajos y publicaciones derivados de la misma).

La doctoranda ha realizado investigación original y de calidad de forma independiente, enfrentándose con éxito a la dificultad que supone la integración de distintas disciplinas en el análisis de sistemas de cultivos. Esta integración la ha llevado a trabajar con métodos muy distintos, desde el uso de sistemas de información geográfica para examinar estadísticas oficiales y el análisis en laboratorio de parámetros la calidad del suelo, a entrevistas extensas con agricultores y la organización de un grupo focal. La calidad del análisis, integración e interpretación de resultados queda reflejada en la publicación de un artículo en una de las revistas (ISI) más prestigiosas en su campo.

Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

Córdoba, 14 de octubre de 2015

Firma de la directora

Fdo.: Helena Gómez Macpherson

Tesis con indicios de calidad

Esta tesis cumple con los requisitos establecidos por la Universidad de Córdoba para su presentación como tesis con indicios de calidad, establecidos en el artículo 25.a de las actuales normas reguladoras de los estudios de doctorado. Como indicio de calidad de esta tesis se presenta un artículo publicado en una revista de difusión internacional, cuyo índice de impacto está incluido en el Journal Citation Reports

- **Carmona, I.**, Griffith, D.M., Soriano M.A., Murillo, J.M., Madejón, E., Gómez-Macpherson, H. 2015. What do farmers mean when they say they practice conservation agriculture? A comprehensive case study from southern Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 213:164-177.

Datos de 2014 (JCR): índice de impacto 3.402. Primer cuartil. Segunda revista más importante dentro del área de Agriculture Multidisciplinary.

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer a mi directora de tesis Helena Gómez. Gracias por dedicarme horas y horas de discusiones que aparentemente empezaban con una duda y acabábamos horas más tarde con la pizarra llena de ideas y comentarios. Ha sido un proceso difícil pero al final conseguimos que fuera divertido. En segundo lugar me gustaría agradecer a mi tutora de tesis M^a Auxiliadora Soriano por sus buenos comentarios al trabajo y por la ayuda con todos los interminables trámites que ha supuesto la realización de esta tesis. Y en tercer lugar a Itziar Aguirre. Aún recuerdo cuando empecé mis primeros pasos en la investigación en el despachito sin ventana de la EUITA. Parece que esa semilla de investigación que sembraste ha germinado y dado su fruto a través de esta tesis doctoral. Gracias a vosotras me llevo una maleta llena de conocimientos y experiencias que ya estoy usando en esta nueva etapa de mi vida investigadora en América Latina.

Agradecer la colaboración y paciencia de los agricultores que ha sido fundamental para la realización de este trabajo. Gracias por abrirme las puertas de vuestras parcelas y por compartir vuestros conocimientos. También agradecer al personal técnico del IAS, en especial a Manuel Salmoral por acompañarme a los largos muestreos y hacer que fueran divertidos, a Kiki por su disponibilidad para ayudar y porque me ha demostrado lo eficiente que es una mujer realizando tareas agrícolas y a Rafa Luque por sus innumerables consejos técnicos. A todos/as ellos/as muchas gracias, ya que sin vuestra colaboración desinteresada esta tesis no se habría realizado.

También agradecer a todo el personal de otras instituciones que de alguna u otra forma han apoyado la realización de esta tesis. Al Ministerio de Economía y Competitividad y a los fondos FEDER que a través de diferentes proyectos (AGL2010-22050, AGL2013-49062 y 201440E100) financiaron mi contrato para realizar esta tesis. A José Manuel, Engracia, Patri, Ignacio y en especial a Marcos del IRNAS por su ayuda con los análisis de suelo. A Juan José del IFAPA Rancho de la Merced por ayudarnos con los contactos y la logística y a Rodolfo por su colaboración en el grupo focal.

A mis compañeros/as del IAS: Clemente, María, Rocío, Daniel, Marcos, Manuel, Gema, Mariluz, Ceci, Estela, Ana, Pato, Álvaro, Omar, Carlos, Liz, Carmen, Marga, Carmen Ruz, Alberto, Yesi y Eva. No olvidaré los buenos momentos que he compartido durante estos años.

Y para terminar, agradecer a mi familia y a mis amigos/as de toda la vida todo el apoyo recibido durante este tiempo y especialmente a Dan por recordarme siempre cual es mi meta a seguir.

Indice

INDICE DE FIGURAS.....	I
INDICE DE TABLAS.....	III
RESUMEN.....	V
SUMMARY.....	VII
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 EL SECTOR DE LA AGRICULTURA ANDALUZA.....	1
1.1 DEGRADACIÓN DEL SUELO AGRÍCOLA.....	2
1.2 POLÍTICAS PÚBLICAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL SUELO.....	8
1.4 AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN.....	12
1.5 EFECTOS DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN LA CONSERVACIÓN DEL SUELO Y SOBRE ASPECTOS AGRONÓMICOS, ECONÓMICOS Y AMBIENTALES DE LOS SISTEMAS.....	16
1.6 ADOPCIÓN DE LA AC.....	21
1.6.1 <i>Adopción de la AC en España y Andalucía.....</i>	<i>21</i>
1.6.2 <i>Barreras para la adopción.....</i>	<i>22</i>
RESUMEN.....	26
1.7 OBJETIVOS.....	27
1.8 REFERENCIAS.....	28
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	37
2.1 ENFOQUE METODOLÓGICO Y FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
2.2 ÁREA DE ESTUDIO.....	39
2.3 REFERENCIAS.....	43
CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN CULTIVOS HERBÁCEOS EN ANDALUCÍA A PARTIR DE LOS DATOS USADOS PARA ELABORAR LAS ESTADÍSTICAS OFICIALES.....	45
3.1 INTRODUCCIÓN.....	45
3.2 METODOLOGÍA.....	47
3.3 RESULTADOS.....	50
3.3.1 <i>Duración media y rotaciones de cultivos de los sistemas de siembra directa en las parcelas de cultivos herbáceos incluidas en la ESYRCE.....</i>	<i>50</i>
3.3.2 <i>Cultivos herbáceos en parcelas de pendiente bajo técnicas de siembra directa (Submedida 12).....</i>	<i>51</i>
3.3.3 <i>Adquisición de las sembradoras de siembra directa en Andalucía según los datos del ROMA.....</i>	<i>52</i>

3.4 DISCUSIÓN	54
3.4.1 Adopción de la siembra directa.....	54
3.4.2 Rotaciones y duración media de los sistemas de siembra directa en cultivos herbáceos	55
3.4.3 Agricultura de Conservación vs. Siembra directa ¿Qué presentan las estadísticas? 56	
3.5 CONCLUSIONES.....	57
3.6 REFERENCIAS	58

CAPÍTULO 4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN CULTIVOS HERBÁCEOS DEL VALLE DEL GUADALQUIVIR

..... 61

4.1 INTRODUCCIÓN.....	61
4.2 METODOLOGÍA	62
4.2.1 Selección de agricultores	62
4.2.2 Encuestas.....	63
4.2.3 Grupo focal	64
4.3 RESULTADOS	66
4.3.1 Perfil del agricultor de Agricultura de Conservación	66
4.3.2 Motivaciones para adoptar la Agricultura de Conservación.....	68
4.3.3 Caracterización de las fincas de Agricultura de Conservación.....	68
4.3.4 Manejo de las fincas en Agricultura de Conservación	71
4.3.5 Factores que afectan a la adopción o no adopción de la Agricultura de Conservación y posibles estrategias de mejora	86
4.3.6 Necesidades de investigación en los sistemas de Agricultura de Conservación.....	91
4.4 CONCLUSIONES.....	92
4.5 REFERENCIAS	94

CAPÍTULO 5. BENEFICIOS Y LIMITACIONES AGRONÓMICAS, ENERGÉTICAS Y ECONÓMICAS DE LAS TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN A ESCALA COMERCIAL: ESTUDIO DE CASO DE LA ROTACIÓN TRIGO-GIRASOL EN SECANO..... 99

5.1 INTRODUCCIÓN.....	99
5.2 METODOLOGÍA	100
5.2.1 Selección de las parcelas y toma de datos	100
5.2.2 Balance económico	101
5.2.3 Balance energético.....	105
5.2.4 Muestras de suelo y de residuos.....	106

5.2.5 <i>Análisis estadístico</i>	107
5.3 RESULTADOS	108
5.3.1 <i>Manejo agronómico</i>	108
5.3.2 <i>Rendimiento y residuos</i>	110
5.3.3 <i>Calidad del suelo</i>	112
5.3.4 <i>Balance económico</i>	113
5.3.5 <i>Eficiencia energética</i>	115
5.4 DISCUSIÓN	118
5.5 CONCLUSIONES.....	125
5.6 REFERENCIAS	127
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN GENERAL	133
6.1 ¿QUÉ TIPO DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN REALIZAN LOS AGRICULTORES ANDALUCES EN CULTIVOS HERBÁCEOS?.....	133
6.2 LIMITANTES PARA LA ADOPCIÓN Y MANEJO CONTINUADO DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN PARCELAS COMERCIALES	134
6.3 BENEFICIOS DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL VALLE DEL GUADALQUIVIR: ESTUDIO DE CASO DE LA ROTACIÓN TRIGO-GIRASOL.....	135
6.3.1 <i>Manejo de cultivo y calidad de suelo</i>	136
6.3.2 <i>Rendimiento y evaluación económica del cultivo</i>	137
6.3.3 <i>Eficiencia energética</i>	138
6.4 ESTANDARIZACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS PARA GENERAR LAS ESTADÍSTICAS EN AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN A NIVEL INTERNACIONAL.....	139
6.5 REFERENCIAS	140
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES	143
ANEXO I. Modelo de encuesta de agricultura de conservación en cultivos herbáceos.....	145
ANEXO II. Ficha de manejo histórico de datos utilizada en el estudio de caso.....	151

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Daños por erosión en una parcela de trigo con laboreo convencional (La Palma del Condado, Huelva; enero de 2014).....	4
Figura 1.2 Riesgo de erosión de suelo en los países de la Comunidad Europea.....	5
Figura 1.3 Porcentaje de superficie geográfica en las provincias andaluzas que presentan riesgos de erosión graves (100-200 t ha ⁻¹ año ⁻¹) y muy graves (>200 t ha ⁻¹ año ⁻¹).....	5
Figura 1.4 Mapa europeo de la estimación de la concentración de Carbono Orgánico en la capa superficial del suelo (0-20 cm).....	7
Figura 1.5 Medidas de la nueva PAC (2014-2020) que favorecen la conservación del suelo en cultivos herbáceos en Andalucía.....	13
Figura 1.6 Evolución de la superficie de siembra directa de cultivos herbáceos a nivel nacional y andaluz durante el período 2008-2014.....	22
Figura 2.1 Fases metodológicas para la realización de la investigación.....	38
Figura 2.2 Grietas verticales típicas de los suelos vertisoles de la campiña sur del Valle del Guadalquivir (Córdoba; julio de 2012).....	40
Figura 2.3 Localización geográfica de los municipios donde se encuentran las parcelas muestreadas para la encuesta (n= 41 parcelas en 26 municipios) y para el estudio de caso (n=20 en 5 municipios).....	40
Figura 3.1 Evolución de la superficie de cultivos herbáceos (cereales grano y forrajeros, girasol y maíz forrajero) en siembra directa, siembra con laboreo y parcelas sin información en Andalucía.....	47
Figura 3.2 Ejemplo de marco de muestreo para la Encuesta de Superficie y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE). Adaptado de MAGRAMA (2014a).....	49
Figura 3.3 Número de años no consecutivos de siembra directa por parcela, sin incluir barbechos, entre 2008-2013.....	51
Figura 3.4 Principales rotaciones identificadas en las parcelas que han presentado siembra directa durante cinco, cuatro y tres años consecutivos. C.forrajero=Cereal forrajero.....	52
Figura 3.5 Porcentaje de superficie de diferentes cultivos herbáceos inscritos en la Submedida 12 durante el período 2010-2013 en Andalucía en relación al total de la superficie inscrita.....	53
Figura 3.6 Principales empresas de maquinaria del mercado de sembradoras de siembra directa a nivel nacional durante el período 2007-2014.....	54
Figura 4.1 Parcelas de AC con residuos de cañotes de girasol (izquierda) y siembra directa de trigo sobre residuos de girasol (derecha) en la provincia de Huelva.....	63
Figura 4.2 Análisis de la transcripción literal del grupo focal: Extracto de la clasificación de problemas y soluciones relacionados con la maquinaria.....	65
Figura 4.3 Sembradora de siembra directa de monograno realizando una siembra de trigo sobre cañotes de girasol. a) Perspectiva trasera de la sembradora con los discos y b) detalle del dispositivo de aplicación de fertilizante líquido (Palma del Condado, Huelva; enero 2014) .	70
Figura 4.4 Cultivos presentes en las fincas incluidas en el estudio (n=30).....	71
Figura 4.5 Principales cultivos identificados en las diferentes parcelas (n=73) bajo sistemas de siembra directa y de mínimo laboreo.....	72
Figura 4.6 Frecuencia absoluta de las rotaciones de cultivo en sistemas de siembra directa y de mínimo laboreo identificadas en las fincas de los agricultores.....	73
Figura 4.7 Porcentajes de parcelas y tipo de rotación en AC de regadío (n= 10 parcelas).....	74
Figura 4.8 Parcela de siembra directa de trigo sobre residuo de girasol.....	76
Figura 4.9 Fertilizantes aplicados en cada parcela de trigo durante el abonado de fondo, de siembra y de cobertera.....	80
Figura 4.10. Porcentaje de cobertura de suelo con residuos del cultivo anterior justo antes de la siembra.....	86

Figura 4.11 Principales líneas de investigación a desarrollar para favorecer la adopción de AC en cultivos herbáceos (n=41 parcelas).	91
Figura 5.1 Diagrama de los flujos energéticos en un sistema agrícola de cultivos herbáceos. Las flechas verdes indican las entradas o salidas del sistema consideradas para el análisis. Las flechas negras discontinuas muestran flujos de energía existentes en el sistema pero que no han sido contabilizados en este estudio.....	106
Figura 5.2 Cronograma agronómico de la rotación trigo-girasol en sistemas de mínimo laboreo (LMin) y de laboreo convencional (LConv). El valor con asterisco (*) indica una labor superficial del suelo entre líneas de cultivo para eliminar las hierbas en postemergencia del cultivo (regabina)	110
Figura 5.3 Carbono Orgánico Total (g kg^{-1}) y actividad β -Glucosidasa ($\text{mg p-nitrophenol kg}^{-1}$ suelo), en los dos horizontes de suelo estudiados (0-10cm y 10-25 cm). Las parcelas están agrupadas según el último cultivo cosechado, profundidad y por el sistema de manejo	113
Figura 5.4 Entradas de energía (EE) (GJ ha^{-1}) correspondientes a a) Fertilizantes, b) Combustible diésel, c) Semillas, d) Uso de maquinaria y e) Herbicidas en los cultivos de trigo y girasol en sistemas de mínimo laboreo y laboreo convencional.....	116
Figura 5.5 Porcentaje de energía usada en las diferentes componentes de las entradas de energía (fertilización, combustible diésel, semillas, maquinaria y herbicidas) para cada cultivo y sistema de manejo: Mínimo Laboreo (LMin) y Laboreo Convencional (LConv).	117

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características y definiciones de diferentes sistemas de siembra según el estándar de conceptos creado por la Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos (ASAE, 2005).	15
Tabla 2.1 Extensión, pendiente media del terreno y superficie de cultivos agrícolas en las comarcas a las que pertenecen los municipios muestreados.	41
Tabla 2.2 Superficie y porcentaje de los dos principales cultivos herbáceos en secano y regadío en cada comarca agraria.....	42
Tabla 4.1 Número y tipo de labores realizadas para cada uno de los principales cultivos en sistemas de AC. Entre paréntesis el número de parcelas identificadas para cada cultivo.	75
Tabla 4.2 Densidad de semillas o de plantas y fechas de siembra de los principales cultivos.....	79
Tabla 4.3 Rendimientos medios, máximos y mínimos de los principales cultivos	85
Tabla 4.4 Principales beneficios de la AC según los agricultores entrevistados, para diferentes cultivos, con el porcentaje de parcelas (%) donde se ha observado ese beneficio y su valoración (V)(1=muy importante, 4= nada importante).....	87
Tabla 4.5 Problemas de la AC identificados por los agricultores en la encuesta para el trigo (T) y el girasol (G) y posibles estrategias propuestas por los participantes (P) del grupo focal para resolver cada problema. Porcentaje de fincas de cada cultivo que presentan ese problema (%) y la valoración del problema (V) definida por los agricultores (1=muy importante, 2=importante, 3=menos importante).....	88
Tabla 5.1 Precipitación media anual (Pm) y mensual en milímetros registradas en las estaciones meteorológicas más cercanas a cada localidad muestreada durante las cuatro campañas agrícolas estudiadas	102
Tabla 5.2 Precios medios para cada campaña de diésel y precios en origen de los granos de la cosecha	103
Tabla 5.3 Coeficientes económicos, energéticos y consumo de diésel medio utilizados para la comparación entre los sistemas de mínimo laboreo (LMin) y de laboreo convencional (LConv)	104
Tabla 5.4 Manejo agronómico de la rotación trigo-girasol en sistemas de mínimo laboreo (LMin) y de laboreo convencional (LConv). Los datos representan una estimación de un manejo medio de las cuatro campañas estudiadas para cada sistema y cultivo. Los valores con asterisco (*) indican una aplicación o uso ocasional.	109
Tabla 5.5 Resultados de los modelos mixtos seleccionados (efectos fijos: año, sistema de manejo (SM), profundidad; efectos aleatorios: zona, parcela) que explican la varianza en las variables de la agronomía del cultivo, calidad del suelo, balance económico y energético para la rotación trigo-girasol de secano.	111

Tabla 5.6 Biomasa de residuos de cultivo (g m ⁻²) y cobertura de suelo (%) con residuos del cultivo anterior antes de la siembra en mínimo laboreo (LMin) y laboreo convencional (LConv). Diferente letra entre columnas indica diferencias significativas entre sistemas de manejo. ..	111
Tabla 5.7 Textura de suelo y distribución del tamaño de partículas (% arcilla, limo y arena), en el horizonte del suelo (0-25 cm) muestreado en cada parcela. Las parcelas se han agrupado según el último cultivo cosechado, por la zona geográfica y por el sistema de manejo (LMin=mínimo laboreo; LConv=laboreo convencional	112
Tabla 5.8 Costes de producción (€ ha ⁻¹), ingresos del cultivo (€ ha ⁻¹), beneficio neto (€ ha ⁻¹) y productividad del cultivo (kg € ⁻¹) medio para la rotación trigo-girasol bajo los sistemas de mínimo laboreo (LMin) y laboreo convencional (LConv). Valores medios (M), máximos (max) y mínimos (min) registrados durante el período de estudio (2007-2011) se muestran para cada variable (n=20 parcelas x 4 años).....	114

RESUMEN

Numerosas instituciones a nivel mundial promueven la agricultura de conservación (AC) para conservar el suelo agrícola y, a su vez, ahorrar energía y reducir los costes de producción relacionados con el laboreo. A pesar de estos potenciales beneficios, la adopción de la AC en sistemas de cultivos herbáceos tanto a nivel europeo como español, ha sido limitada. El objetivo de este estudio ha sido evaluar, a escala comercial, los sistemas de AC en cultivos herbáceos en el Valle del Guadalquivir, identificando los limitantes a su adopción y recomendando posibles estrategias a desarrollar para mejorar aspectos agronómicos, socioeconómicos y energéticos.

A través de un enfoque multidisciplinar, en esta tesis se ha realizado: i) revisión de las estadísticas oficiales de cultivos herbáceos en AC a nivel andaluz para estudiar el grado de adopción, tipos de rotaciones y duración media de estos sistemas; ii) realización de una encuesta a los agricultores de AC para caracterizar aspectos socioeconómicos, prácticas agronómicas y percepciones sobre la AC; iii) comparación agronómica, económica y energética de un sistema de mínimo laboreo y otro sistema de laboreo convencional mediante un estudio de caso; y iv) identificación de estrategias de mejora para la AC en la región por un grupo focal integrado por actores claves del sector.

Los resultados obtenidos muestran que los agricultores de AC aplican selectivamente los componentes de la AC en función de los diferentes contextos locales. Aunque la mayoría de los investigadores definen la AC como un sistema que combina mínima alteración del suelo, mantenimiento de al menos un 30% del suelo cubierto y rotación de cultivos, en la práctica, muchos agricultores y algunas organizaciones equiparan la AC con la siembra directa de cereales sin tener en cuenta la cobertura del suelo o la rotación de cultivos.

Las estadísticas nacionales solo ofrecen información sobre la siembra directa, sin considerar la cobertura de residuos o la rotación de cultivos. La revisión de estas estadísticas detectó que solo un 13% de las parcelas monitorizadas no practicó ninguna labor de suelo durante al menos tres años consecutivos, y que las rotaciones más frecuentes en estas parcelas no labradas se basan en el monocultivo de cereales con barbechos.

Los resultados de la encuesta confirmaron que los agricultores hacen siembra directa del cereal pero labran antes de sembrar otros cultivos. Según la encuesta, la rotación más común de secano es trigo en siembra directa seguido de girasol en mínimo laboreo (50% de las parcelas). Esta rotación, estudiada en detalle en el estudio de caso no mostró los beneficios atribuidos a la AC en los estudios experimentales: no se observó una mejora de la calidad del suelo e incluso se penalizó el rendimiento en el cultivo del girasol. A nivel económico tampoco supuso una reducción significativa de los costes de producción, y en términos energéticos presentó una eficiencia energética similar a los sistemas de laboreo convencional. Las labores de suelo practicadas bianualmente para el girasol, la venta de los

residuos de trigo y el desuso de labores profundas de suelo en los sistemas de laboreo convencional podrían justificar la ausencia de beneficios en los sistemas de mínimo laboreo. En términos energéticos y para el cultivo del trigo, los fertilizantes representaron la mayor entrada de energía (68% TEI) en ambos sistemas, seguido por el consumo de diésel (12% y 19% en mínimo laboreo y laboreo convencional, respectivamente). Por ello, los esfuerzos para mejorar la eficiencia energética deberían focalizarse en estos insumos.

Las principales limitaciones para la adopción de la AC, identificados por los agricultores en la encuesta y en el grupo focal, fueron el control de arvenses y los problemas con la sembradora de siembra directa en suelos arcillosos con alto contenido de humedad. Además, el perfil socioeconómico de la mayoría de los agricultores de AC en la región indicó la existencia de posibles limitaciones económicas para la adopción de estos sistemas. Para superar todas estas limitaciones, es necesario desarrollar líneas de investigación participativas en colaboración con los agricultores y otras partes interesadas. Entre los retos de la AC destaca la necesidad de desarrollar maquinaria de siembra adaptada a suelos arcillosos con humedad, identificar cultivos alternativos al girasol que se adapten bien a los sistemas de AC, sensibilizar sobre la importancia de mantener una cubierta de residuos sobre el suelo, aumentar la eficiencia energética del sistema optimizando el uso de fertilizantes nitrogenados, y promover la AC entre los grupos de agricultores/as que pueden estar excluidos por falta de recursos económicos o de formación específica. El establecimiento de normativas internacionales que regulen la elaboración y análisis de las estadísticas de AC, permitiría a los investigadores e instituciones comparar información y compartir puntos de vista sobre las limitaciones de la AC y sus posibles estrategias de mejora.

SUMMARY

Conservation agriculture (CA), which is promoted worldwide to conserve soil, water and energy and to reduce production costs, has had limited success in Europe. The objectives of this study were to assess annual crop systems currently managed under CA in southern Spain, identify obstacles to CA adoption, and recommend strategies to overcome those obstacles. We employed the following methods: (i) examination of original government data used to monitor CA; (ii) survey of CA farmers to characterize their practices and perceptions; (iii) agronomic, economic and energy use comparison of minimum tillage (MT) and conventional tillage (CT); and (iv) a stakeholder focus group to identify strategies for improving CA. Farmers selectively implemented some components of CA while disregarding others as a strategy to adapt to local conditions. Although most researchers define CA as a system that combines minimum soil disturbance, maintenance of crop residues, and crop rotation, in practice most farmers and organizations equated CA with direct seeding of cereals without considering residues or crop rotation. Official national statistics did not include all of these CA components either. Examination of government data revealed that only 13% of monitored plots were not tilled consecutively. The most common CA system (50% of farms) was direct seeded wheat rotated with tilled sunflower. This system (classified as MT) and CT were not significantly different with regard to wheat yield, soil quality, net return or energy use in either crop, which was likely due to similar residues management, recurrent soil disturbance in MT, and disuse of moldboards in CT. In wheat, fertilizers represented the largest energy input (68% TEI) in both systems followed by diesel consumption (12% and 19% in MT and CT, respectively). To overcome the most important identified problems in CA, we highlight the need for collaborative research with farmers and other stakeholders to develop appropriate drill technology for spring crops, identify non-cereal crops that are better adapted to CA than sunflower, improve residues management, increase energy efficiency through better fertilizer management, and promote CA among farmer groups excluded by socioeconomic barriers. Finally, international standards to guide data collection and statistical analyses on all components of CA will enable researchers and institutions to compare information and find solutions to common problems.

*Capítulo 1***INTRODUCCIÓN GENERAL**

1.1 El Sector de la agricultura andaluza

Andalucía se encuentra situada al sur de España y ocupa el 17% de la superficie española (87 599 km²). En el año 2013 su población superaba los 8.4 millones de habitantes (96.1 habitantes km⁻²) de los cuales el 50.6% eran mujeres. Un tercio de los habitantes de Andalucía reside en zonas rurales y la actividad agraria es la principal fuente de empleo en la mitad de los municipios andaluces. La actividad agraria andaluza genera como media unas 260 000 UTA¹, aunque la tasa de desempleo en este sector en los últimos años ha ido aumentando hasta registrar un total de 155 175 parados en el año 2014 (MAGRAMA, 2013; INE, 2014). En términos económicos el sector agrario en Andalucía ha ido perdiendo importancia en los últimos años. Aun así, en 2013 el producto interior bruto agrario (PIB) representó aproximadamente un 4.5% del PIB total andaluz y el 26% del PIB agrario a nivel nacional (INE, 2014)

En 2014, la superficie de cultivos estimada a nivel nacional fue de casi 17 millones de hectáreas (Mha), de las que un 21% (3.5 Mha) se concentró en Andalucía. Los cultivos más representativos de la agricultura andaluza son el olivar, con una superficie de 1.55 Mha (60% de la superficie nacional), y los cultivos herbáceos, con 1.3 Mha (14%), seguidos de cítricos y otros frutales, con 298 603 ha (23%), y el cultivo de hortalizas, con 35 018 ha (17%) (MAGRAMA, 2014).

Los cereales de grano, principalmente el trigo representa un 33% del total de la superficie de herbáceos de Andalucía (1 313 965 ha), seguido en importancia por el girasol (23%), el algodón

¹ UTA: Unidad de Trabajo Agrario=240 jornales.

(6%), las leguminosas grano (4%) y los cultivos forrajeros (4%) (MAGRAMA, 2014). Casi el 80% de la superficie de cultivos herbáceos en Andalucía corresponde a secano, y solo 274 951 ha están registradas en regadío. Entre los cultivos herbáceos no hortícolas en regadío destacan los cereales grano y los cultivos industriales (42% y 37% de la superficie regada, respectivamente) (MAGRAMA, 2014). Por otro lado, la distribución geográfica de los cultivos herbáceos en Andalucía está muy centralizada en Andalucía Occidental, ya que el 77% de la superficie total de herbáceos se encuentra en las provincias de Cádiz, Córdoba y Sevilla.

La importancia económica de los cultivos herbáceos en Andalucía se ve reflejada en las estadísticas económicas publicadas por el anuario de estadística agraria (IEC, 2014). En 2014 el valor de la producción de la rama agraria andaluza (PRA) ascendió a los 10 938 millones de euros (M€), de los que un 5% corresponden al cultivo de cereales grano y un 4% a otros cultivos industriales. También es de destacar la importancia económica del total de los cultivos de regadío, que en 2013 representaron un 63% (6 193 M€) de la PRA frente al 22% (2 162 M€) de los cultivos de secano.

El sector agrario tiene gran importancia económica en Andalucía pero la agricultura conlleva algunos problemas ambientales no considerados en las estadísticas económicas presentadas aunque sean la base de la sostenibilidad de la agricultura (Pérez, 2012). Entre estos problemas ambientales destaca la degradación del suelo en los principales sistemas agrarios.

1.1 Degradación del suelo agrícola

La degradación del suelo afecta a un 33% de los suelos agrícolas a nivel mundial (FAO, 2015a). En el año 2006, la Comisión Europea, preocupada por la magnitud del problema, identificó una serie de amenazas relacionadas con la agricultura (erosión, compactación, pérdida de materia orgánica, contaminación, salinización y acidificación) que están favoreciendo este proceso de degradación del suelo (Louwagie et al., 2011). Algunas de estas amenazas como la erosión, la compactación y la pérdida de materia orgánica están directamente relacionadas con las prácticas de laboreo del suelo (Jones et al., 2012).

Desde los inicios de la agricultura el laboreo del suelo ha estado presente con los objetivos de preparar el lecho de siembra y de eliminar la flora arvense². Las técnicas tradicionales se basaban en el arado arrastrado por animales (tracción animal), el barbecho, el abonado con estiércol, y en algunas condiciones, el regadío. Con el tiempo, el manejo del suelo ha ido evolucionando

² Plantas asociadas a los cultivos, conocidas comúnmente como malas hierbas.

influenciado por las circunstancias ambientales, socioeconómicas e históricas de cada zona. Vanwalleghem et al. (2011) describen y clasifican el manejo histórico del suelo en un olivar de Andalucía oriental durante ocho períodos históricos desde 1752 hasta la actualidad. Antes de 1950 muchos de los aperos actuales ya eran utilizados, como la grada, disponible desde mediados del siglo XIX, o la vertedera, desde finales del mismo siglo. Su uso, sin embargo, estaba limitado por la potencia de la tracción animal, y se trabajaba con poca anchura de trabajo y sin profundizar demasiado.

La introducción del tractor supuso la posibilidad de realizar un mayor número de labores por año y a mayor profundidad. Los tractores y muchos aperos, como las gradas, subsoladores, cultivadores, se fueron perfeccionando. Simultáneamente al desarrollo de esta tecnología, la convicción de la necesidad de labrar el suelo minuciosamente para poder obtener una buena cosecha iba calando entre los agricultores (García Torres y González Fernández, 1997) y quedó recogida en la cultura popular a través de los refranes, como por ejemplo:

“Labra la tierra lo más que puedas, que ella te pagará en buena moneda”

“Doce fanegas bien labradas, son más que veinte arañadas”

“Si no quieres bien labrar, abstente de cultivar”

“Labra junto y profundiza que esto el fruto garantiza”

La intensificación del laboreo agrícola y la percepción popular de la necesidad del laboreo, han generado una serie de efectos medioambientales negativos, directamente relacionados con la pérdida (erosión) y la degradación física y biológica (compactación, pérdida de materia orgánica) del suelo agrícola.

Erosión

La erosión se define como la pérdida de suelo por la acción de agentes externos como el agua o el viento (Kirkby and Morgan, 1980). A nivel europeo, los mayores riesgos de pérdida de suelo se asocian a fenómenos naturales, como las precipitaciones intensas, y de tipo antropogénico, como el laboreo profundo con arado de vertedera (Prager et al., 2011). El laboreo del suelo reduce la densidad aparente del suelo a corto plazo, y aumenta la mineralización de la materia orgánica, lo que reduce la estabilidad de los agregados del suelo con el paso del tiempo. Todos estos efectos en conjunto favorecen la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica y eólica (Bronick and Lal, 2005) (Figura 1.1).

En la Unión Europea (UE-27), aproximadamente 1.3 millones de km² presentan pérdidas de suelo relacionadas con la erosión hídrica y, de esta superficie, aproximadamente un 20% registra

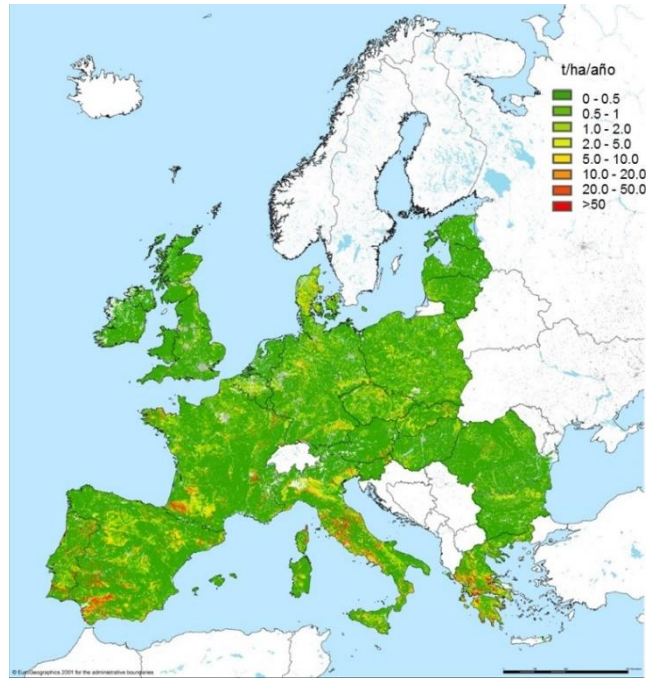
pérdidas de suelo anuales de más de 10 t ha^{-1} (Jones et al., 2012). Esta pérdida de suelo supone una amenaza grave, especialmente para los países del Mediterráneo (Figura 1.2). Los períodos de sequía, junto con la irregular distribución de las lluvias y los episodios de torrencialidad, característicos del clima mediterráneo, son los principales factores ambientales que aumentan la vulnerabilidad de estos suelos a la erosión (De la Rosa, 2008).

En Andalucía, el riesgo de erosión del suelo es muy alto (Figura 1.3) y, según el Inventario Nacional de Erosión de Suelos español, cada año se pierden como media unas 23.8 t ha^{-1} de suelo (INES, 2014). Málaga es la provincia que mayor riesgo de erosión presenta, con casi el 90% de su superficie con riesgos de erosión graves o muy graves. Almería, Cádiz, Córdoba, Granada y Sevilla presentan riesgos de erosión graves ($100\text{-}200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) o muy graves ($>200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en alrededor del 50% de su superficie. El Valle del Guadalquivir, ocupado por olivar y cultivos herbáceos presentan los riesgos de erosión más altos del país (Figura 1.2; 1.3).

Además, existen otras consecuencias ambientales indirectamente relacionadas con la erosión del suelo como el arrastre de sedimentos, la contaminación del agua con fertilizantes y fitosanitarios y la pérdida de biodiversidad del suelo (De la Rosa, 2008). En muchas ocasiones, la erosión del suelo está directamente relacionada con otros procesos que también favorecen la degradación del suelo, como la compactación del suelo o la pérdida de materia orgánica (Prager et al., 2011).

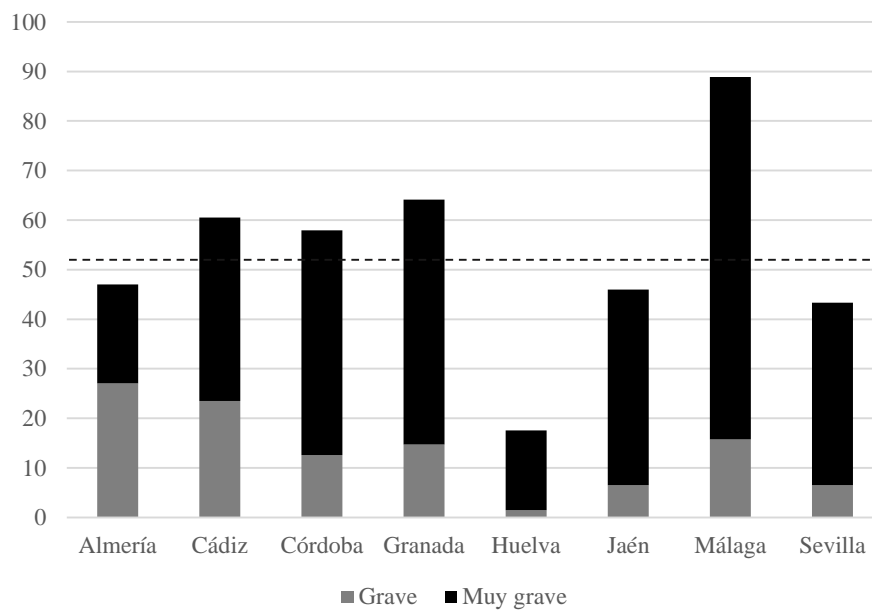


Figura 1.1. Daños por erosión en una parcela de trigo con laboreo convencional (La Palma del Condado, Huelva; enero de 2014).



Fuente: Proyecto PESERA (2004)³

Figura 1.2 Riesgo de erosión de suelo en los países de la Comunidad Europea.



Fuente: INES (2014).

Figura 1.3 Porcentaje de superficie geográfica en las provincias andaluzas que presentan riesgos de erosión graves ($100-200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y muy graves ($>200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

³Pan European Soil Erosion Risk Assessment (http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/pesera/pesera_download.html).

Compactación

La compactación del suelo es uno de los principales problemas relacionados con la degradación física del suelo causada por el laboreo y el uso de maquinaria agrícola. La compactación del suelo es un proceso por el cual se reduce la porosidad del suelo, principalmente el espacio ocupado por los macroporos (Soane et al., 1980). Demasiado tráfico de maquinaria o de pisoteo de animales, el uso de maquinaria pesada o labores en condiciones de suelo húmedo son las principales causas relacionadas con el manejo agrícola que pueden influir en la compactación del suelo. El grado de compactación va a depender del tipo de suelo y su contenido en humedad y del peso de la maquinaria. Un suelo compactado puede afectar a la germinación y emergencia de los cultivos e impide el crecimiento del sistema radical, afectando a la absorción de agua y nutrientes y al crecimiento aéreo del cultivo, además de afectar a la actividad microbiana del suelo por las condiciones de menor aireación, y de reducir la infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo (De la Rosa, 2008). Más de un tercio de los suelos europeos, entre ellos los del Valle del Guadalquivir, presentan un riesgo alto o muy alto a la compactación natural (Van-Camp et al., 2004) por lo que es importante identificar actividades agrarias que minimicen el problema.

Pérdida de materia orgánica

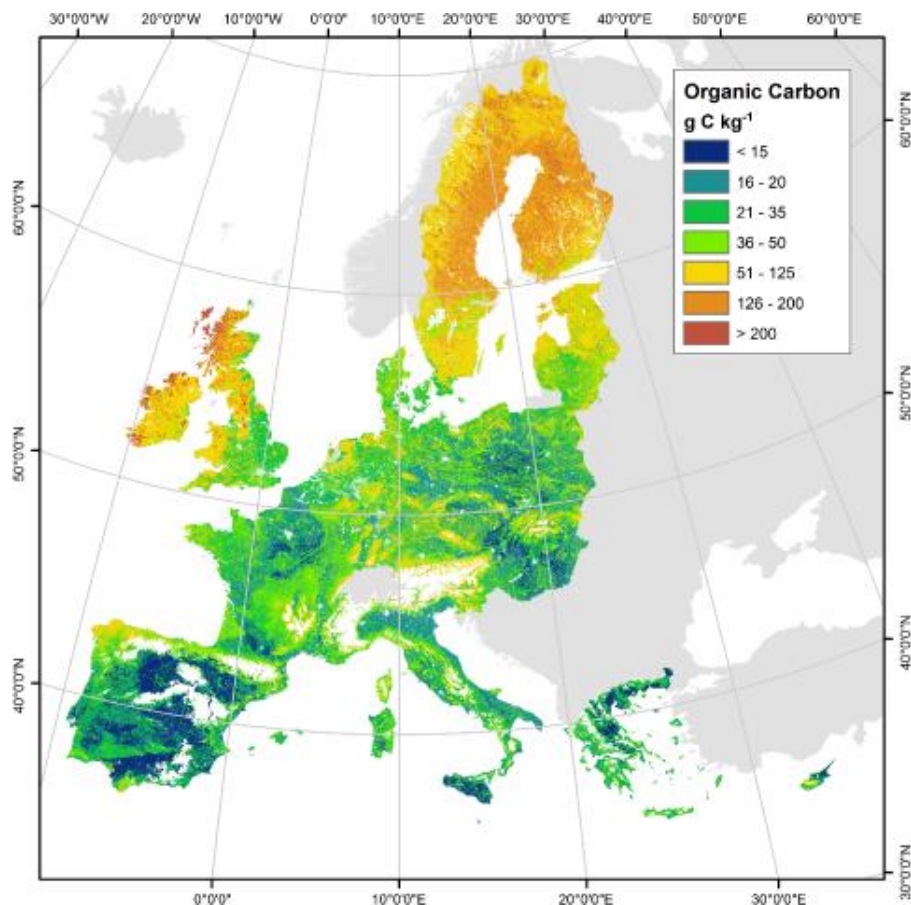
La materia orgánica (MO) se genera a partir de los residuos vegetales y animales que se encuentran en el suelo. La fracción estable de la MO se conoce como humus y el principal componente de la MO es el carbono orgánico (C). Los suelos agrícolas representan uno de los mayores depósitos de carbono del planeta, por lo que están considerados como sumideros de carbono. Se ha estimado que los suelos europeos contienen alrededor de 75 billones de toneladas de carbono, lo que representa el 7% de las reservas de carbono a nivel mundial (IPCC, 2000). Entre otras funciones, el C mejora la estructura y la estabilidad de los agregados del suelo, aumenta la capacidad de retención de agua y favorece la biodiversidad del suelo (Milne et al., 2015).

La degradación del suelo como consecuencia de la pérdida de C y MO se ve favorecida por la erosión del suelo y por la intensificación de la agricultura. Como consecuencia del laboreo, se acelera la mineralización de la materia orgánica y por tanto se contribuye a la reducción del carbono orgánico (Cid et al., 2014; Melero et al., 2008). De acuerdo con los datos presentados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), la pérdida histórica de carbono de los suelos agrícolas fue de 50 Pg⁴ C en el último medio siglo, lo cual representa un tercio de la

⁴ Pg = 10¹⁵ g = Gt = 10⁹ toneladas métricas.

pérdida total del suelo y la vegetación (IPCC, 2000). En el área del Mediterráneo, la pérdida de carbono orgánico es especialmente preocupante, porque concentra bastantes áreas con menos de 15 g C kg^{-1} en la superficie del suelo (Figura 1.4). La pérdida del carbono orgánico del suelo libera dióxido de carbono a la atmósfera, que es uno de los gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global. Por tanto, cualquier estrategia que favorezca un aumento del carbono orgánico en los suelos agrícolas podría ayudar a compensar parte de las emisiones de CO_2 a la atmósfera, y con ello mitigar los efectos del cambio climático (Stokmann et al., 2013).

La degradación del suelo también tiene consecuencias económicas para la sociedad (Jones et al., 2012). Según una estimación realizada por la Comisión Europea, la degradación del suelo en la UE-25 está generando un coste de 38 billones de euros anuales, de los que entre 0.7-14 billones son consecuencia directa de la erosión, y entre 3.4-5.6 billones por la pérdida de materia orgánica (EC, 2006).



Fuente: Brogniez et al. (2005).

Figura 1.4 Mapa europeo de la estimación de la concentración de Carbono Orgánico en la capa superficial del suelo (0-20 cm).

Ante la magnitud de este problema y debido a que el suelo es un recurso no renovable esencial para asegurar la seguridad alimentaria del planeta, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha declarado el año 2015 como el año Internacional de los Suelos (FAO, 2015a). Entre otros objetivos, durante dicho año se pretende aumentar la conciencia de la sociedad y de los responsables políticos sobre el impacto ambiental, social y económico que puede tener la degradación del suelo. Paralelamente a la sensibilización, también se resalta la necesidad de generar políticas públicas que apoyen medidas eficaces para la conservación del suelo.

1.2 Políticas públicas para la conservación del suelo

El problema de la degradación del suelo no es solo un problema ambiental sino que debe considerarse como un problema institucional que necesita ser abordado desde una perspectiva multidisciplinar (Prager et al., 2011). Para la conservación del suelo es necesario mejorar el conocimiento sobre el estado de la degradación de los suelos y paralelamente favorecer políticas públicas que favorezcan su conservación (FAO, 2015a).

La iniciativa más importante para la conservación de suelos a nivel europeo ha sido la Estrategia Temática para la Protección del Suelo⁵. Como resultado de esta iniciativa, se presentó en 2006 una propuesta de Directiva Marco del Suelo⁶ específica para la conservación del suelo, parecida a la existente actualmente para la conservación del agua. Desafortunadamente, en 2014 fue rechazada por la Comisión⁷ alegando que podría dar lugar a duplicidades con otras legislaciones (ambiental y agraria) ya existentes. Sin embargo, esta Estrategia ha creado una mayor sensibilización y ha servido de base para el desarrollo de otras medidas relacionadas con la conservación del suelo como, por ejemplo:

- **Sensibilización:** se ha creado el Centro Europeo de Datos de Suelo (ESDAC) que se encarga de generar información periódica sobre la degradación del suelo dentro de la Unión Europea. Toda la información obtenida es pública y está disponible a través del Portal Europeo de Suelos: <http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/>.
- **Integración con otras políticas:** a pesar de que la conservación de los suelos agrícolas no es todavía un objetivo específico dentro de la legislación de la Unión Europea, algunos aspectos de la conservación de suelo sí han sido incorporados directa o indirectamente en otro tipo de políticas medioambientales o agrarias (Louwagie et al., 2011).

⁵ Thematic Strategy for Soil Protection (COM (2002) 179).

⁶ COM (2006) 232 (22.9.2006).

⁷ OJ C 163 (28.5.2014).

- **Investigación:** durante la última década la Comunidad Europea ha financiado diferentes proyectos de investigación (SoCo⁸, SCAPE⁹, LUCAS¹⁰, PESERA³, REACTION¹¹, MEDRAP¹², MEDACTION¹³, KASSA¹⁴, CATCH-C¹⁵) cuyos objetivos se pueden resumir en tres aspectos: 1) mejorar el conocimiento del estado de los suelos europeos; 2) estudiar el impacto de diferentes prácticas agrícolas sobre la degradación del suelo; y, 3) evaluar el efecto de diferentes políticas ambientales y agrícolas sobre la conservación del suelo.

Actualmente en Europa la conservación del suelo es indirectamente contemplada por algunas de las Directivas Ambientales y a través de la Política Agraria Comunitaria (PAC). Un análisis detallado de las políticas públicas europeas que plantean la conservación del suelo entre sus objetivos se puede encontrar en los resultados de los proyectos de investigación SoCo⁸ y CATCH-C¹⁵.

Louwagie et al. (2011) presentan una visión global de las políticas de la Unión Europea que pueden favorecer la conservación del suelo. Tanto la Directiva de aves¹⁶ como la Directiva de hábitats¹⁷ ejercen un efecto positivo para frenar los procesos de degradación del suelo directamente relacionados con el laboreo (erosión, compactación y disminución de materia orgánica). La Directiva de nitratos¹⁸ favorece indirectamente la reducción de la erosión y la compactación del suelo, mientras que otras directivas como la de aguas¹⁹ y la de lodos de depuración²⁰ incorporan medidas contra la erosión y la pérdida de materia orgánica,

⁸ Sustainable Agriculture and Soil Conservation through simplified conservation techniques (<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/projects/SOCO/>).

⁹ Soil Conservation and Protection Strategies for Europe (http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eusoils_docs/other/SCAPEbook.pdf).

¹⁰ Land Use/Cover Area frame Statistical Survey (<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/projects/LUCAS/>).

¹¹ Restoration Actions to Combat Desertification in the Northern Mediterranean (http://cordis.europa.eu/project/rcn/67958_en.html).

¹² Concerted Action to Support the Northern Mediterranean Regional Action Programme to Combat Desertification (http://cordis.europa.eu/project/rcn/56950_en.html).

¹³ Policies for Land Use to Combat Desertification (http://cordis.europa.eu/project/rcn/56947_en.html).

¹⁴ Knowledge Assessment and Sharing on Sustainable Agriculture (<http://kassa.cirad.fr/>).

¹⁵ Compatibility of Agricultural Management Practices and Types of Farming in the EU to enhance Climate Change Mitigation and Soil Health (<http://www.catch-c.eu/>).

¹⁶ Council Directive 79/409/EEC (2-04-1979). Conservation of wild birds (OJ EC L 103, 25 April 1979, p.1) Art. 3 (1) y (2)(b), 4 (1), (2) y (4), 5(a), (b) y (d).

¹⁷ Council Directive 92/43/EEC (21-05-1992). Conservation of natural habitats and of wild fauna and flora (OJ EC L 206, 22 July 1992, p.7) Art. 6, 13 (1)(a).

¹⁸ Council Directive 91/676/EEC (12-12-1991). Protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources (OJ EC L 375, 31 December 1991, p.1) Art. 4 and 5.

¹⁹ Council Directive 80/68/EEC (17-12-1979). Protection of groundwater against pollution caused by certain dangerous substances (OJ EC L 20, 26 January 1980, p.43) Art. 4 and 5.

²⁰ Council Directive 86/278/EEC (12-06-1986). Protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture (OJ EC L 181, 4 July 1986, p.6) Art. 3.

respectivamente. A nivel nacional²¹ y andaluz²², también se han implementado estas directivas que indirectamente van a ejercer un efecto positivo para la conservación del suelo. Adicionalmente, otras medidas legislativas comunitarias sobre energía y servicios energéticos²³ también influyen indirectamente en la conservación del suelo. Estas medidas han sido plasmadas a nivel nacional en el Segundo Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética (2011-2020)²⁴, con un claro apoyo económico a las prácticas agrícolas que reducen el consumo de energía a través de una reducción del laboreo y que favorecen el secuestro de carbono en el suelo agrícola.

Algunas de estas políticas ambientales de obligado cumplimiento se han integrado dentro de la PAC²⁵ con el objetivo de premiar aquellas prácticas agrarias que eviten la pérdida de biodiversidad y la degradación de recursos naturales como el suelo. La PAC surgió en 1957 a partir del Tratado de Roma con una vocación productivista y de modernización de la agricultura europea, donde las ayudas estaban vinculadas a la producción (ayudas acopladas). En respuesta a la creciente preocupación de la sociedad europea por la conservación de los recursos naturales y del medio rural, la PAC ha ido introduciendo diferentes reformas relacionadas con la seguridad alimentaria, el respeto al medio ambiente y la calidad de vida en el entorno rural. En sucesivas reformas de la PAC se han ido desacoplando las ayudas directas de la producción y se ha reconocido la multifuncionalidad de los sistemas agrícolas.

Pero sin duda fue a partir del año 2003 cuando la conservación del suelo comenzó a formar parte de la PAC, a través de la incorporación de las medidas de condicionalidad²⁶. Los agricultores comenzaron a recibir una parte de las ayudas directas (Pilar 1) solo si cumplían con una serie de requisitos legales de gestión en materia de medio ambiente (RLG) y con unas medidas

²¹ Real Decreto 261/1996 de 16 de febrero sobre la protección de aguas y Real Decreto 849/1986 de 11 de abril, por el que se aprueba el Régimen de Dominio Público Hidráulico. Decreto 261/1998 de 15 de diciembre de declaración de zonas vulnerables en su ámbito territorial. Decreto 36/2008 de 5 de febrero por el que se designan las zonas vulnerables. Real Decreto 1310/1990 de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario y Orden AAA/1072/2013 de 7 de junio sobre la utilización de lodos. Real Decreto 1311/2012 sobre el uso sostenible de los Productos Fitosanitarios.

²² Ley 9/2010 de 30 de Julio de Aguas para Andalucía. Orden de 18 de noviembre de 2008 zonas vulnerables a nitratos y su segunda corrección. Orden de 7 de julio de 2009 modificación de las zonas vulnerables. Orden de 22 de noviembre de 1993, por la que se desarrolla en el ámbito de Andalucía sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario. Orden de 22 de noviembre de 1993, por la que se desarrolla en el ámbito de Andalucía sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario.

²³ Directiva 2006/32/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.

²⁴ Segundo Plan de Ahorro y de Eficiencia Energética (2011-2020). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11905_PAEE_2011_2020_Anexo_A2011_A_9c717362.pdf.

²⁵ En el marco del proceso Cardiff se estableció un enfoque transversal de la política medioambiental para su integración en todas las políticas comunitarias. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=URISERV:l28075>.

²⁶ Council Regulation (EC) No 1782/2003 (29-09-2003). Common rules for direct support schemes under the common agricultural policy and establishing certain support schemes for farmers and amending Regulations (EEC) No 2019/93, (EC) No 1452/2001, (EC) No 1453/2001, (EC) No 1454/2001, (EC) 1868/94, (EC) No 1251/1999, (EC) No 1254/1999, (EC) No 1673/2000, (EEC) No 2358/71 and (EC) No 2529/2001-Title II, Chapter 1, Article 3.

obligatorias que favorecen las buenas condiciones agrarias y medioambientales de la tierra (BCAM)²⁷.

Además de los pagos directos de la PAC, los agricultores también podían recibir una ayuda extra del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) si cumplían con otras medidas agroambientales de carácter voluntario. El Programa de Desarrollo Rural Nacional (PDRN) 2007-2013 estaba compuesto, por un lado, por el Plan Estratégico Nacional, donde se planteaban los objetivos y estrategias de la política de desarrollo rural de ese período en coherencia con las directrices europeas y, por otro lado, por el Marco Nacional, que definía las medidas horizontales y los elementos comunes para todos los programas regionales. Cada Comunidad Autónoma definió su programa de desarrollo rural regional en función de las características de su región. Dentro de las Ayudas Medioambientales del PDRN, solo nueve Comunidades Autónomas (Andalucía, Aragón, Asturias, Cataluña, Castilla-León, Comunidad Valenciana, Galicia, La Rioja y País Vasco) presentaron medidas que implicaban prácticas para la conservación de suelo (IDAE, 2009). En Andalucía, las ayudas agroambientales directamente relacionadas con la conservación del suelo en los sistemas de cultivos herbáceos fueron: la producción integrada de arroz (Submedida 5), de algodón (Medida 13), de alfalfa (Submedida 13) y de remolacha de siembra otoñal (Submedida 16), la agricultura ecológica (Submedida 3) y la agricultura de conservación en cultivos herbáceos de pendiente (Submedida 12).

Recientemente acaba de ser aprobada la PAC²⁸ para el período 2014-2020. Esta nueva PAC claramente favorece a los sistemas agrarios que realicen un uso responsable de los recursos naturales para la producción de alimentos de calidad. Para ello, esta nueva reforma plantea retos económicos (seguridad alimentaria, menor productividad de los cultivos, volatilidad de los precios y crisis económicas), medioambientales (calidad del agua y del aire, evitar la degradación del suelo, mejora y conservación de hábitats y de biodiversidad y reducción de gases de efecto invernadero) y territoriales (diversificar la agricultura europea y revalorizar las áreas rurales). En este nuevo marco normativo de la PAC, medidas como la condicionalidad no solo se han mantenido sino que incluso se han reforzado con nuevas medidas de obligado cumplimiento como las llamadas “pagos verdes o greening”. Los pagos verdes por hectárea son de obligado cumplimiento (excepto para cultivos leñosos) y representan el 30% del total de los pagos directos.

Aunque la nueva PAC (2014-2020) incorpora medidas para favorecer la conservación del suelo, en la práctica, es posible que estas políticas tengan un impacto limitado pues solo se alcanzó un acuerdo de mínimos entre los diferentes estados miembros, lo que implica que gran parte de la

²⁷ Regulation (EU) No 1306/2013.

²⁸ Regulation (EU) No 1307/2013 of the European Parliament and of the Council (17-12-2013) establishing rules for direct payments to farmers under support schemes within the framework of the common agricultural policy and repealing Council Regulation (EC) No 637/2008 and Council Regulation (EC) No 73/2009.

responsabilidad de la aplicación de estas medidas va a depender de las decisiones y prioridades de cada país (Turpin et al., 2015). En España, el modelo de la PAC fue elaborado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y del Medio Ambiente junto con las Comunidades Autónomas. En el marco de la nueva PAC²⁹ y con las especificaciones a nivel nacional³⁰, Andalucía ha comenzado a aplicar una serie de medidas relacionadas con la conservación del suelo en cultivos herbáceos (Figura 1.5).

Con estas recientes normativas europeas se está favoreciendo a los sistemas agrarios que realicen un uso responsable de los recursos naturales para la producción de alimentos de calidad. Modelos más sustentables de agricultura, como la Agricultura de Conservación de Suelos o la Agricultura Orgánica, están siendo recomendados por las recientes políticas agrarias y ambientales europeas para favorecer la conservación de los recursos naturales y evitar la degradación del suelo, sin dejar de optimizar la producción y la economía de los agroecosistemas.

1.4 Agricultura de conservación

La Agricultura de Conservación (AC) está siendo promovida a nivel mundial por centros de investigación y otros organismos internacionales como una alternativa a la agricultura convencional para conservar los recursos de agua y suelo dentro de los agroecosistemas. Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), la AC se basa en la combinación de tres elementos: 1) minimizar la alteración del suelo; 2) maximizar la cubierta vegetal del suelo con otros cultivos, pastos o residuos del cultivo anterior (aproximadamente un 30% de la superficie del suelo cubierta); y, 3) favorecer la actividad biológica del suelo a través de rotaciones de cultivos, (FAO, 2013). Recientemente, en el contexto del África subsahariana algunos autores han generado un debate sobre si la AC debería de incorporar un cuarto principio que según Vanlauwe et al. (2014a, b) se basaría en la necesidad de la aplicación de fertilizantes, y para Lal (2015) en la mejora de la fertilidad del suelo a través de un manejo integrado de la fertilización³¹.

²⁹ Reglamento UE No 1305/2013; UE No 1306/2013. UE No 1307/2013.

³⁰ Real Decreto 1075/2014 Pagos directos y Desarrollo Rural. Real Decreto 1078/2014 Condicionalidad.

³¹ Manejo Integrado de la Fertilización o Integrated Nutrient Management (INM) definido por Lal (2015) se basa en el uso racional de fertilizantes químicos y orgánicos o de otros métodos como los módulos de rizobium o las micorrizas para favorecer un buen crecimiento del cultivo y la transformación bioquímica del carbono orgánico en materia orgánica o humus.

(A) Condicionalidad I: Buenas condiciones agrarias y medioambientales (BCAM)

BCAM 1: Franjas de protección en los márgenes de los ríos (Norma 7,8,9)

No labrar con volteo (entre cosecha al 1 de septiembre)

Restricciones de uso de fertilizantes nitrogenados

BCAM 2: Cumplimiento de los procesos de autorización del uso de agua para riego (Norma 10)

BCAM 3: Protección de las aguas subterráneas contra la contaminación (Norma 11,12)

BCAM 4: Cobertura mínima del suelo (Norma 13, 16,17)

Cultivo de barbecho con mínimo laboreo o con cubierta vegetal

BCAM 5: Gestión mínima de la tierra que refleje las condiciones específicas locales para limitar la erosión (Norma 18)

En parcelas >15% de pendiente, no labrar con volteo en la dirección de la máxima pendiente

BCAM 6: Mantenimiento del nivel de materia orgánica en el suelo mediante prácticas adecuadas (Norma 20, 21)

No quemar rastrojos, excepto para el cultivo del arroz

(B) Condicionalidad II: Requisitos Legales de Gestión en materia de medio ambiente (RLG)

RLG 1: Directiva 91/676/CEE del Consejo (12/12/1991) sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias. Artículos 4 y 5 (Requisito 1,3,4,5,6)

RLG 2: Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (30/11/2009) relativa a la conservación de las aves silvestres. Artículos 3.1, 3.2b, 4.1,4.2,4.4 (Requisito 22, 24)

RLG 3: Directiva 92/43/CEE del Consejo (21/05/1992) sobre la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. A nivel nacional Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Aplicable en Zonas Red Natura 2000. (Requisito 25,26)

(C) Pagos verdes

- Obligatorios para todo los cultivos excepto para cultivos permanentes (viñedo, olivar, cítricos y frutales) y para cultivos en producción ecológica. Se basan en tres medidas:
 - 1) Diversificación de cultivos
 - 2) Mantenimiento de pastos permanentes: entendiéndose que aquellos pastos permanentes medioambientalmente sensibles no se podrán convertir, labrar ni efectuar labores más allá de las necesarias para su mantenimiento
 - 3) Superficies de interés ecológico (SIE): Se consideran SIE: a) las tierras de barbecho; b) cultivos fijadores de nitrógeno (1 ha computa como 0,7 ha); c) superficies forestadas (Reglamentos 1257/1999, 1698/2005, 1305/2013) y d) superficies de agrosilvicultura que reciban o hayan recibido ayudas (Reglamentos 1698/2005 y 1305/2013)
- En la práctica, los pagos verdes se podrían resumir en función del tamaño de la finca:
 - <10 ha: No es obligatoria ninguna práctica
 - 10-15 ha: obligatorio diversificar (2 cultivos)
 - 15-30 ha: obligatorio diversificar (2 cultivos) y disponer de un 5% de SIE
 - >30 ha: obligatorio diversificar (3 cultivos) y disponer de un 5% de SIE

Figura 1.5 Medidas de la nueva PAC (2014-2020) que favorecen la conservación del suelo en cultivos herbáceos en Andalucía.

Por el contrario, otros autores son contrarios a este cuarto principio (Sommer et al., 2014) justificando su posición en cuatro puntos: 1) argumentan que se está generando una confusión de terminología entre lo que significa un principio y una práctica para alcanzar ese principio; 2) los fertilizantes son una práctica necesaria en cualquier tipo de agricultura que se practique en el África Subsahariana, por tanto no se puede considerar como un principio específicamente relacionado con la AC; 3) existen otros limitantes igual o más importantes que la fertilización como la escasez de residuos o la falta de maquinaria; y, 4) dado que los tres principios de AC mejoran la fertilidad del suelo se podría considerar que la aplicación de los tres principios equivaldría al cuarto principio propuesto. Por otro lado, un grupo numeroso de investigadores expertos en AC, reunidos por el CGIAR, elaboró y firmó la Declaración de Nebraska (Stevenson et al., 2014) para exponer que los agricultores rara vez adoptan el paquete de los tres elementos identificados por FAO por razones agronómicas, económicas y sociales, y que la CA debe abrirse a un abanico más amplio de prácticas que permitan una intensificación sostenible del sistema. Al margen de este debate y la definición de AC más usada y promovida por las asociaciones de AC a nivel europeo es la proporcionada por FAO (2013).

Tanto la Asociación Europea de AC (ECAAF) como la Asociación Española de AC y Suelos Vivos (AEAC/SV) resaltan la importancia de implementar simultáneamente los tres elementos de la AC para poder obtener los beneficios agronómicos, económicos y medioambientales que estas prácticas pueden aportar. Respecto a los sistemas de laboreo convencional, la práctica de no laboreo sin mantenimiento de una cubierta viva o de residuos puede generar pérdidas en el rendimiento (Lundy et al., 2015; Pittelkow et al., 2015a,b), el deterioro de la calidad del suelo (Erenstein, 2002; López et al., 2012; Palm et al., 2014) y el aumento de los riesgos de erosión (Boulal et al., 2011). Del mismo modo, cuando no se realizan rotaciones en los sistemas de no laboreo aumenta la probabilidad de pérdidas de rendimientos (Lundy et al., 2015) y de problemas en el control de arvenses (Nichols et al., 2015). No obstante, otros autores argumentan que la AC no debe ser tan estricta en su definición y que debe ser flexible para adaptar sus principios a los diferentes contextos de los agricultores, por ejemplo considerando la posibilidad de un laboreo esporádico no profundo cuando sea necesario (Dang et al., 2015a,b, Kirkegaard et al., 2014).

Por otro lado, existen numerosos conceptos bajo la bandera de la AC y se hace necesario la clara definición de prácticas y estandarización de conceptos para evitar confusiones al comparar estudios o dialogar (Brouder and Gómez-Macpherson, 2014; Derpsch et al., 2014; Lal, 2015). Con esta idea, en 2005, la Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos elaboró una guía que recoge la definición de diferentes sistemas de preparación del suelo para la siembra (Tabla 1.1). Esta guía incluye el concepto de laboreo de conservación, de no-laboreo y de siembra directa, los tres relacionados con la AC pero menos restrictivos al no considerar la rotación de cultivos, y en el caso de la siembra directa, ni los residuos.

Tabla 1.1 Características y definiciones de diferentes sistemas de siembra según el estándar de conceptos creado por la Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos (ASAE, 2005).

Técnica	Laboreo	Cubierta de Residuos	Rotación	Definición
Laboreo convencional (LConv)	Sí	No	No	Operaciones de laboreo tradicionalmente realizadas para preparar el lecho de siembra de un cultivo en un área geográfica
Mínimo Laboreo (LMin)	Sí	No	No	El menor laboreo necesario para la producción del cultivo para cumplir con los requisitos de labranza de cada suelo
Laboreo Reducido	Sí	Sí	No	Cualquier sistema de laboreo o de siembra que mantiene entre un 15-30% de cubierta de residuos después de la siembra o que mantiene una biomasa de residuos (560-1100 kg ha ⁻¹) durante las épocas de mayor riesgo de erosión. También puede entenderse como un sistema que emplea menos labores de suelo que el laboreo convencional
Laboreo de Conservación (LC)	Sí/No	Sí	No	Cualquier sistema de laboreo o de siembra que mantiene como mínimo un 30% de cubierta de residuos después de la siembra para reducir la erosión hídrica o donde existe riesgo de erosión eólica. Además mantiene al menos 1100 kg ha ⁻¹ de biomasa de residuos en superficie durante los períodos críticos de erosión
No Laboreo (NL)	No	Sí	No	Sistema de cultivo donde se siembra sin realizar ninguna labor o con un laboreo mínimo solo en la línea de siembra. La alteración del suelo solo se realiza para fertilizar, sembrar o retirar residuos de la línea de siembra y siempre sin mover más de un tercio del ancho de la línea de siembra. Los residuos de cultivo se mantienen sobre la superficie durante todo el año.
Siembra Directa (SD)	No	No	No	Como NL pero no tiene en consideración los residuos.

Es frecuente encontrar en la bibliografía el uso de los términos Laboreo de Conservación (LC), No Laboreo (NL), Siembra Directa (SD) y Agricultura de Conservación (AC) como sinónimos creando mucha confusión. Además, esta confusión se agrava por la ausencia de información descriptiva sobre el manejo del sistema en mucha de la bibliografía publicada sobre AC (Brouder and Gómez-Macpherson, 2014; Derpsch et al., 2014; Pittelkow et al., 2015b). Por ejemplo, es común que los estudios no incorporen información sobre cobertura y manejo de residuos,

profundidad del laboreo, fertilización nitrogenada o sobre las precipitaciones durante el estudio. La imposibilidad de saber cómo se han implementado los tratamientos de un estudio dificulta la identificación del sistema estudiado y por tanto la comparación de estudios.

1.5 Efectos de la Agricultura de Conservación en la conservación del suelo y sobre aspectos agronómicos, económicos y ambientales de los sistemas

En apartados anteriores se ha definido la AC y se ha descrito su papel dentro de las políticas públicas para la conservación del suelo. En este apartado se profundiza sobre los efectos de la AC observados en cuanto a la conservación del suelo, la productividad y rentabilidad de los sistemas agrícolas así como efectos sobre aspectos ambientales como eficiencia energética y secuestro de carbono.

Conservación del suelo

En Europa, los elementos primordiales de la AC (no laboreo, cubierta de suelo y rotaciones) están siendo incorporados en diferentes políticas ambientales y agrícolas por su capacidad de frenar procesos de degradación del suelo como la erosión, la compactación y la disminución de materia orgánica (ver apartado 1.3). Soane et al. (2012) revisaron los estudios europeos sobre la AC y mostraron que la aplicación en conjunto de los tres elementos de la AC favorece la conservación y calidad del suelo. En el área del Mediterráneo, diversos estudios han señalado el potencial de la AC para mejorar la calidad y reducir la erosión del suelo (Álvaro-Fuentes et al., 2008; López-Bellido et al., 2010; López-Garrido et al., 2011; Madejón et al., 2009; Mrabet et al., 2001). En Andalucía, otros ensayos realizados en fincas experimentales han mostrado un aumento del carbono orgánico y de la infiltración del agua en el suelo y menores tasas de erosión, en cultivos en secano (López-Bellido et al., 2010; López-Garrido et al., 2011; Melero et al., 2011a, b) y en regadío (Boulal et al., 2010, 2011; Panettieri et al., 2013).

Estas mejoras de la calidad del suelo asociadas a la AC, a consecuencia de la reducción del laboreo y del establecimiento de una cubierta vegetal, también favorecen la conservación de la biodiversidad del suelo (Soane et al., 2012). Estudios en climas mediterráneos han mostrado como, en comparación con los sistemas de laboreo convencional, la práctica de no laboreo favorece la abundancia de artrópodos y de lombrices (Erroussi et al., 2011; Pelosi et al., 2014) y presenta mayores niveles de biomasa microbiana y de actividades enzimáticas, tanto en secano como en regadío (Madejón et al., 2009, Melero et al., 2011b, Panettieri et al., 2013). En Andalucía,

un ensayo de manejos de suelo en secano impuestos en un campo en AC durante 8 años (sin labrar) mostró cómo una labor de vertedera redujo el carbono y el nitrógeno en la biomasa microbiana (19% y 44% respectivamente) y la actividad enzimática del suelo (37% de la deshidrogenasa y 51% de la β -Glucosidasa) en los primeros cinco centímetros del suelo (Melero et al., 2011a).

La conservación de suelo es importante para evitar problemas medioambientales graves a largo plazo. A corto plazo, los sistemas de AC son sistemas agrícolas y tienen que ser viables en términos agronómicos y económicos a escala comercial.

Productividad de los cultivos

Existe una extensa bibliografía donde se presentan estudios que comparan los rendimientos de cultivos en sistemas con distinto manejo de suelos, en general, sistemas de no laboreo frente a sistemas de laboreo convencional. En la mayoría de los estudios el laboreo convencional incluye una labor de volteo del suelo con vertedera o con grada (>25 cm). Recientemente, Pittelkow et al. (2015b) hicieron un meta-análisis en el que compararon los rendimientos de 50 cultivos bajo técnicas de no laboreo en 63 países, encontrando que globalmente la práctica de no laboreo reduce los rendimientos un 5.1%. Aunque estos efectos negativos sobre el rendimiento disminuyen con el tiempo (tras 3-4 años para cereales y leguminosas y 5-10 años para otros cultivos, sin contar al maíz), en pocos estudios llegaron a un efecto positivo en el rendimiento. Las condiciones más favorables se dieron en los sistemas de secano de climas templados con condiciones de escasez de agua. Similares resultados fueron obtenidos por Van de Putte et al. (2010) que mostraron en su revisión que en condiciones europeas la práctica de AC puede reducir como media un 4.5% los rendimientos respecto a los sistemas de laboreo. En ambos trabajos se sugiere que a pesar de estas diferencias, los rendimientos en AC son altamente variables en función de otro tipo de factores como tipo de laboreo, textura, fertilización, rotación y manejo de residuos. A diferencia de estos estudios, a nivel español en cultivos herbáceos no se ha observado una penalización del rendimiento en los sistemas de no laboreo (Boulal et al., 2012; Hernanz et al., 2014; Moreno et al., 1997; Madejón et al., 2009; Ordoñez et al., 2007; Sánchez-Girón et al., 2007).

Para algunos autores, mantener los residuos y rotar los cultivos podría disminuir la penalización del rendimiento asociada al no laboreo (Pittelkow et al., 2015b), aunque con las combinaciones no-laboreo+cubierta de residuos o no-laboreo+rotación de cultivos también se podrían minimizar las pérdidas de rendimiento asociadas al no laboreo (Derpsch et al., 2014; Lundy et al., 2015; Pittelkow et al., 2015a; Van de Putte et al., 2010).

Diferentes limitantes agronómicos y socioeconómicos han sido sugeridos por otros autores para justificar los menores rendimientos de los cultivos en los sistemas de AC. Por ejemplo, Holland (2004) y Cid et al. (2014) aducen que los posibles problemas de compactación derivados de la práctica continuada de no laboreo podrían causar pérdidas de rendimiento en los sistemas de no laboreo. La práctica de un mínimo laboreo esporádico podría solucionar aliviar este problema (Dang et al., 2015b; Van de Putte et al., 2010). Otros factores como la falta de formación especializada en las técnicas de AC, maquinaria de siembra directa no adecuada, mal control de las arvenses o de las plagas, inadecuada planificación de la fertilización nitrogenada o la no incorporación de leguminosas en la rotación, también pueden estar favoreciendo una penalización de los rendimientos en los sistemas de no laboreo (Derpsch et al., 2014).

Rentabilidad económica

Los beneficios económicos de los sistemas de AC van a depender en gran medida de las condiciones agroclimáticas, del sistema de manejo practicado y del tipo de cultivo (Herruzo, 1997), de los costes, además de la influencia que pueda tener la volatilidad de los precios del mercado (Nail et al., 2007). En España algunos estudios han mostrado menores gastos de maquinaria y combustible en los sistemas de no laboreo que en los convencionales (Hernanz et al., 2014; Sánchez Girón et al., 2007), aunque es importante destacar la necesidad de una mayor inversión inicial en la compra de maquinaria para la siembra directa y en tratamientos herbicidas, incluyendo dentro de este gasto el precio de la labor de aplicación del herbicida y el coste del producto (Sánchez-Girón et al., 2007). En ausencia de políticas públicas que apoyen a la AC, los gastos iniciales de adquisición de nueva maquinaria para la siembra o las posibles pérdidas en el rendimiento de los cultivos en los primeros años de adopción del sistema son más fácilmente asumibles por los grandes agricultores (Andersson and D'Souza, 2014; Bolliger et al., 2006; Baumgart-Getz et al., 2012; Rodríguez-Entrena and Arriaza 2013). En España, el tamaño de finca óptimo para maximizar la rentabilidad en los sistemas de no laboreo en cultivos herbáceos se ha estimado en unas 400 ha de tierra arable (Sánchez-Girón et al., 2007).

Los análisis económicos aplicados a la AC en España son relativamente escasos y mayoritariamente se basan en datos obtenidos en parcelas experimentales que después son extrapoladas a escala comercial (Sánchez-Girón et al., 2007). La falta de estudios en fincas comerciales hace que no sea posible afirmar que la AC es más rentable económicamente que el laboreo convencional en cultivos herbáceos, aunque ciertos aspectos del balance económico, como la reducción de los costes generados por el laboreo y el consumo de combustible, sí indicarían una mayor rentabilidad del sistema de AC. De hecho, estos ahorros a corto plazo representan una de las principales motivaciones de los agricultores para haber adoptado técnicas de AC (Soane et al., 2012).

Eficiencia energética

En el apartado 1.3 se describió como algunas directivas medioambientales europeas están incorporando medidas dentro de la PAC para favorecer un modelo de agricultura más sostenible, principalmente para la conservación del suelo, del agua y del hábitat. También se han agregado otras medidas para la eficiencia energética y la reducción de gases de efecto invernadero (GEIs) a las ya existentes en materia de medioambiente desde la aprobación dentro del horizonte normativo europeo del Paquete Clima y Energía (Climate and Energy Package³²). En España, el gobierno ha aplicado este Paquete de Clima y Energía a través de diferentes planes y estrategias relacionadas con la agricultura (OECC, 2015). Entre las medidas propuestas para reducir las emisiones de GEIs dentro del sector agrícola, se mencionan prácticas utilizadas en AC como la siembra directa y la cubierta de residuos (OECC, 2014). Paralelamente, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) del Ministerio de Industria, Energía y Turismo ha publicado diferentes estudios sobre ahorro y eficiencia energética en la agricultura: un documento sobre ahorro y eficiencia energética en la agricultura (IDAE, 2006), otro sobre consumos energéticos en las operaciones agrícolas (Boto et al., 2005) y dos específicos de AC (IDAE, 2009, 2012).

Desde hace décadas los investigadores estiman balances energéticos en los sistemas agrícolas para explorar mejoras de su eficiencia energética. Los primeros trabajos con balances energéticos en la agricultura aparecieron a finales de la década de 1960 y fueron realizados por Odum (1967). Posteriormente este tema fue ampliamente estudiado por Pimentel (1973, 1980, 2008), Leach (1976) y Jones (1989). En estos estudios los autores señalaban que los factores más importantes que explican la pérdida de eficiencia energética en los sistemas agrícolas son la fabricación de los fertilizantes químicos (entre el 55-65% de la energía total consumida), el regadío y el consumo directo del combustible diésel con la maquinaria.

En comparación con la agricultura convencional, la AC presenta potencialmente mayor eficiencia energética por la reducción o eliminación del laboreo y el ahorro derivado de combustible (Arrúe et al., 2013; Hernanz et al., 2014; IDAE, 2009; Moreno et al., 2011). Por esta razón, los sistemas de AC han recibido un importante apoyo económico a nivel nacional a través del Segundo Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética (2011-2020)³³. Sin embargo, varios trabajos indican que la reducción en la fertilización química puede tener un mayor impacto en la eficiencia

³² Para más información visitar la página de Acción por el Clima de la Comisión Europea http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/index_en.htm.

³³ Segundo Plan de Ahorro y de Eficiencia Energética (2011-2020). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11905_PAEE_2011_2020._Anexo._A2011_A_9c717362.pdf

energética de los sistemas agrícolas que el ahorro de combustible y maquinaria (Hernanz et al., 2014; Moreno et al., 2011; Pimentel et al., 2008). El nitrógeno es el fertilizante más utilizado en España, aproximadamente el doble que el fósforo y el potasio. Su fabricación se basa en la síntesis química del amoníaco, proceso que requiere un elevado coste energético, alrededor de seis veces superior al proceso de fabricación de los fertilizantes de fósforo y nueve veces superior al de los fertilizantes potásicos. A pesar del elevado consumo energético de los fertilizantes nitrogenados, el Segundo Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética (2011-2020) no incluye ninguna medida para mejorar la eficiencia energética relacionada con la fertilización. Por el contrario, la reducción del uso de fertilizantes sí fue considerada entre las medidas para reducir las emisiones agrícolas (principalmente NO_2) en la Estrategia Española de cambio climático y energía limpia³⁴.

Reducción de emisiones de GEIs y secuestro de carbono

La Convención Marco del Cambio Climático de las Naciones Unidas adoptó a finales del año 1997 el Protocolo de Kioto. Según este acuerdo, los países industrializados y de economías en transición (países del Anexo B) que lo firmaron están obligados a limitar las emisiones de los seis gases de efecto invernadero (dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y gases fluorados (HFCs, PFCs y SF_6)). En el año 2013, el sector agrícola español fue responsable de un 12% (38,361 kilotoneladas de CO_2 -eq) de las emisiones de GEIs, principalmente de CH_4 y N_2O (MAGRAMA, 2015). Recientemente, en el marco normativo del Paquete Clima y Energía europeo, los países comunitarios se comprometieron a reducir un 20% las emisiones de GEIs respecto a los niveles de 1990. Para ello, España está implementando una serie de políticas comunitarias²³ (ver apartado 1.3) algunas de las cuales incluyen prácticas utilizadas por la agricultura de conservación.

La AC presenta un doble beneficio medioambiental al mitigar las emisiones de CO_2 del suelo a la atmósfera y al aumentar el secuestro de carbono en los suelos (Lal, 2010) si bien este último aspecto está cuestionado por otros autores (Baker et al., 2007; Gattinger et al., 2011; Palm et al., 2014). La mayoría de trabajos en condiciones mediterráneas señalan un aumento de carbono orgánico en los suelos bajo sistemas de AC aunque las tasas de secuestro de CO_2 están muy influenciadas por las condiciones climáticas (Álvaro-Fuentes and Cantero-Martínez, 2010). Por el contrario, los críticos indican que los sistemas de AC presentan mayores concentraciones de carbono orgánico en el estrato superficial del suelo (0-0.2 m) pero que no existe una evidencia clara cuando se consideran mayores profundidades de suelo (1-2 m) o cuando se corrige por la densidad aparente.

³⁴<http://www.magrama.gob.es/es/cambioclimatico/publicaciones/documentacion/estrategia-espanola-de-lucha-contrael-cambio-climatico/>

Otros autores defienden que un aumento de carbono orgánico en el suelo bajo AC no significa necesariamente que se está mitigando los efectos del cambio climático porque la cantidad de carbono que almacena un suelo no es infinita, el proceso de acumulación de carbono puede ser reversible (por ejemplo si tras varios años de no laboreo se realiza una labor de suelo) y, aunque el secuestro de carbono sea importante, la reducción de las emisiones de NO₂ asociadas con la fabricación y uso de fertilizantes podrían presentar un mayor efecto para la mitigación del efecto del cambio climático (Powlson et al., 2011). Algunos autores consideran que no es realista la promoción del no laboreo en las políticas públicas dirigidas a mitigar los efectos del cambio climático (Neufeldt et al., 2015).

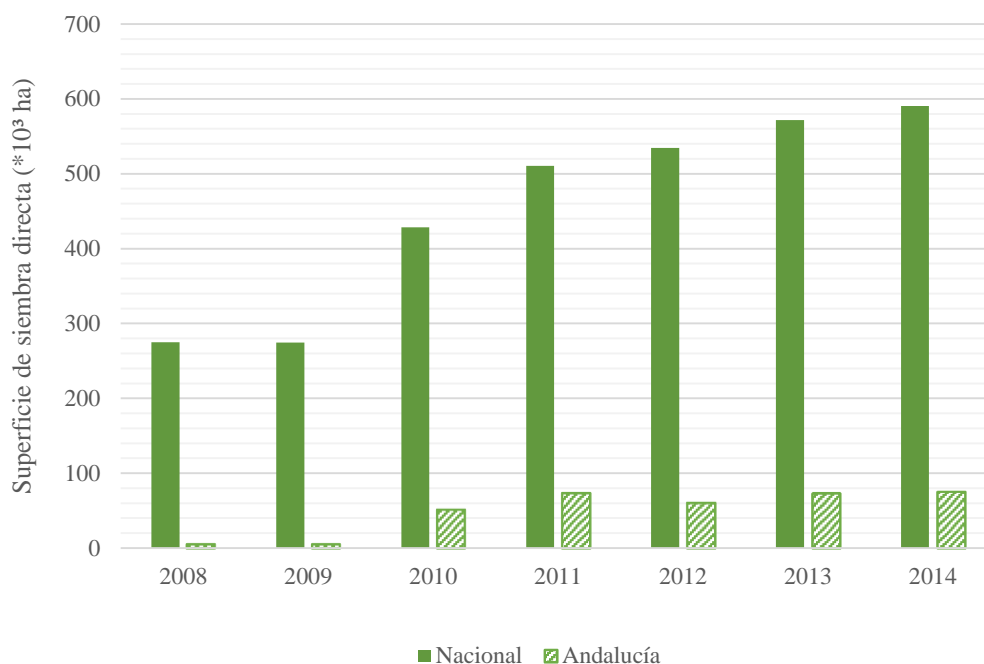
1.6 Adopción de la AC

Las características de la AC comentadas en el apartado anterior pueden favorecer o limitar la adopción de estas técnicas dependiendo del contexto agronómico y socioeconómico de cada región. En este nuevo apartado se expone primero cuál es el grado de adopción de las prácticas de AC a nivel nacional y andaluz y se detallan después cuáles son las posibles barreras que puedan justificar la no adopción de la AC por parte de los agricultores.

1.6.1 Adopción de la AC en España y Andalucía

Desde 2008, el MAGRAMA elabora estadísticas de siembra directa de cultivos herbáceos (cereales grano y forrajeros, girasol y maíz forrajero) tanto a nivel nacional como regional. Durante el período 2008-2014 la mayor parte de la superficie de cultivos herbáceos en España (92%) se ha sembrado realizando algún tipo de laboreo de suelo. En el año 2014, la siembra directa apenas si representó un 7.8% de la superficie total de cultivos herbáceos a nivel nacional, aunque su superficie se ha duplicado en apenas seis años (Figura 1.6). Las comunidades de Castilla León, Aragón y Cataluña representan el 63% de la superficie total de siembra directa a nivel nacional, seguida de Andalucía con el 13% (MAGRAMA, 2015).

En Andalucía, los cultivos leñosos (olivar y frutales) ocupan el 94% de la superficie total dedicada a AC (CAPMA, 2013). Al igual que a nivel nacional, la siembra con laboreo convencional de cultivos herbáceos fue el sistema más practicado por los agricultores andaluces (93% de la superficie total), mientras que la siembra directa fue escasa y apenas si representaron 74 600 ha en el año 2014 (7%) (Figura 1.6). El principal cultivo en siembra directa en Andalucía es el cereal grano (74%), seguido del girasol (16%) y de los cereales forrajeros (9%) (MAGRAMA, 2015).



Fuente: MAGRAMA (2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014)

Figura 1.6 Evolución de la superficie de siembra directa de cultivos herbáceos a nivel nacional y andaluz durante el período 2008-2014.

1.6.2 Barreras para la adopción

Al igual que en España y en Andalucía, la adopción de la AC a nivel europeo es muy baja. Solo el 0.5% de la SAU europea se cultiva con AC, a diferencia de América o Australia donde la AC se practica en más del 50% de la SAU. (FAO, 2015b; Jat et al., 2014). Las barreras que podrían justificar su escasa adopción de la AC han sido estudiados por diferentes autores a nivel mundial (Andersson and D'Souza, 2014; Bolliger et al., 2006; Erenstein et al., 2008; Jat et al., 2014; Kassam et al., 2012; Kirkegaard et al., 2014; Knowler and Bradshaw, 2007; Soane et al., 2012). Los principales factores que pueden limitar la adopción de los sistemas de AC incluyen: 1) mayor presencia de arvenses (a veces presentando resistencia a los herbicidas) y el coste o limitado acceso a los herbicidas; 2) disponibilidad y mantenimiento de los residuos de cultivo sobre el suelo; 3) costes iniciales en sembradoras y falta de maquinaria de siembra directa adaptada; 4) necesidad de formación en AC, y 5) falta de políticas públicas que apoyen la adopción de prácticas de AC. Estos limitantes no siempre aparecen conjuntamente, y las soluciones no son extrapolables a todos los casos, por lo que es necesario estudiar qué ocurre en cada región (Knowler y Bradshaw, 2007). En Andalucía, a pesar de que la adopción de la AC en sistemas de cultivos herbáceos es insignificante, no existe ningún estudio que haya estudiado específicamente los limitantes para

su adopción, aunque sí existen para cultivos leñosos como el olivar (Rodríguez-Entrena and Arriaza, 2013).

Mayor presencia de arvenses

Uno de los principales limitantes para la adopción de AC es el difícil control de arvenses en la parcela. Algunos autores señalan que la AC está asociada con una mayor presencia de arvenses, mayor uso de herbicidas y aparición de resistencias a herbicidas (Bajwa, 2014; Bolliger et al., 2006; Knowler & Bradshaw, 2007; Soane et al., 2012). Durante la transición de laboreo convencional a siembra directa puede existir un incremento en la abundancia de las especies de arvenses, principalmente especies perennes y monocotiledóneas (Trichard et al., 2013). Por el contrario, otros autores no encontraron diferencias en la diversidad de arvenses entre siembra directa, mínimo laboreo y laboreo en un ensayo de larga duración con la rotación cereal-leguminosa (Hernández-Plaza et al., 2011). Para Nichols et al. (2015), la probabilidad de que se presenten problemas con el control de arvenses se multiplica cuando no se aplican los tres elementos de la AC definidos por FAO (2013), y por ello, recomiendan que la práctica de no laboreo siempre vaya acompañada por un sistema de rotaciones de cultivo.

El uso de los herbicidas está muy relacionado con los sistemas de AC. Al no poder labrar, es de esperar que durante los primeros años de adopción de no laboreo se incremente el uso de herbicidas (Nichols et al., 2015) y esto podría derivar en la aparición de resistencias (Trichard et al., 2013). Los datos de la Encuesta Internacional de malezas resistentes a herbicidas muestran que, en 40 años (1973-2013), los casos de arvenses resistentes a herbicidas a nivel mundial han aumentado un 179% por año. Estados Unidos, Australia y Canadá están dentro de los cinco países con mayor superficie de siembra directa a nivel mundial y a su vez encabezan la lista de los países con el mayor número de casos de aparición de resistencias, encontrándose 146 casos de resistencias en Estados Unidos, 70 casos en Australia y 60 casos en Canadá (Heap, 2014; Jat et al., 2014). El glifosato es uno de los herbicidas más usados a nivel mundial y su uso generalizado ha generado actualmente 31 casos de arvenses resistentes en más de 24 países, destacando Estados Unidos, Australia y Canadá, aunque también se han detectado casos de resistencias en Centroamérica (México y Costa Rica), en Sudamérica (Brasil, Argentina, Colombia, Paraguay y Chile), en países del Mediterráneo (España, Italia, Grecia, Francia) y en países asiáticos (China, Malasia, Japón) (Heap, 2014). Para evitar la aparición de resistencias a herbicidas es necesario que los sistemas de AC incorporen otros métodos de control de arvenses alternativos al control químico, como los propuestos por Nichols et al. (2015), Armengot et al. (2014), Bajwa (2014) y Kurstjens (2007). Entre estos métodos son de destacar la selección de variedades de cultivo competitivas con las arvenses, cambios en la fecha de siembra, mayor densidad de siembra y prevención de la dispersión de semillas de arvenses, entre otros

Disponibilidad y mantenimiento de residuos de cultivo sobre el suelo

El mantenimiento de al menos un 30% del suelo cubierto con residuos de cultivo es uno de los tres elementos básicos de la AC definidos por FAO (2013) por los beneficios que puede aportar al sistema. La conservación de los residuos en los sistemas de no laboreo puede minimizar las pérdidas de rendimiento (Lundy et al., 2015; Pittelkow et al., 2015a,b), mejorar la calidad del suelo (Erenstein, 2002; López et al., 2012; Palm et al., 2014), reducir los riesgos de erosión (Boulal et al., 2011) y limitar el crecimiento de arvenses (Nichols et al., 2015). A pesar de su importancia, muchos estudios publicados sobre AC no incluyen suficiente información sobre la cobertura y manejo de los residuos lo que dificulta la comparación de estudios (Brouder and Gómez-Macpherson, 2014; Derpsch et al., 2014; Pittelkow et al., 2015b).

Diferentes autores han señalado que la disponibilidad y mantenimiento de los residuos de cultivo es una barrera para la adopción de la AC en diferentes partes del mundo (Andersson and D'Souza, 2014; Erenstein et al., 2008; Jat et al., 2014; Kassam et al., 2012; Kirkegaard et al., 2014; Soane et al., 2012). Para los agricultores, los residuos de cultivo representan a corto plazo el alimento del ganado durante la época del año seca o un ingreso extra por la venta de la paja, no siendo conscientes de los beneficios económicos y medioambientales que aportan los residuos de cultivo si se dejan en campo. La ausencia de información específica para los agricultores sobre la importancia de la la cubierta de residuos es un reto para el sector de la AC (AEAC/SV comunicación personal).

Costes iniciales en sembradoras y falta de maquinaria de siembra directa adaptada

El coste económico de las sembradoras de siembra directa y la falta de maquinaria adaptada se han señalado como barreras importantes para la adopción de AC a nivel mundial (Derpsch et al., 2014), en África subsahariana (Andersson and D'Souza, 2014), Europa (Soane et al., 2012) y en países del mediterráneo (Kassam et al., 2012).

Para Jat et al. (2014), la rápida expansión de la AC a nivel mundial está muy relacionada con la presencia de empresas de maquinaria que adaptaron la tecnología de las sembradoras de siembra directa a diferentes regiones. En países como Brasil y Argentina, que están entre los tres países a nivel mundial con mayor superficie de AC (FAO, 2015b), la adopción de estos sistemas se debió en gran medida al establecimiento de políticas públicas que favorecían la investigación en sembradoras de siembra directa adaptadas a sus condiciones agroclimáticas así como a incentivos económicos a los agricultores para la compra de dichas sembradoras (Bolliger et al., 2006; Derpsch and Friedrich, 2009).

Necesidad de formación en AC

La falta de formación en el manejo de las técnicas de AC también ha sido señalada como uno de los limitantes para su adopción. En Brasil, el desarrollo de un programa de extensión agraria que incluía formación especializada en AC resultó ser uno de los factores claves para la rápida adopción de las técnicas de AC entre los agricultores (Jat et al., 2014). De igual forma, en Estados Unidos, varios autores señalan una mayor adopción de la AC cuando se realizan cursos de formación especializada entre los agricultores (Baumgart-Getz et al., 2012). En España, un estudio que analizó la adopción de las técnicas de AC en el cultivo del olivar, mostró también que existía una relación positiva entre la adopción de AC y la asistencia a formación especializada (Rodríguez-Entrena y Arriaza, 2013).

La Asociación Europea de Agricultura de Conservación (ECAAF), creada en 1999, en conjunto con las asociaciones nacionales de AC en los países europeos (Finlandia, Irlanda, Reino Unido, Italia, España y Portugal entre otros), están jugando un papel clave en la adopción de AC a través de la formación de agricultores (Friedrich et al., 2014). Desde este tipo de organizaciones se intenta formar a los agricultores en las técnicas de AC y sensibilizar sobre la importancia de no labrar y de mantener el suelo cubierto para conservar el suelo y mejorar su calidad. A nivel nacional, la Asociación Española de Agricultura de Conservación y Suelos Vivos (AEAC/SV), formada por un grupo de agricultores, técnicos e investigadores, desde su formación en 1995 ha intentado promover y difundir las técnicas de AC entre los agricultores a través de la formación y de jornadas de campo divulgativas.

Ausencia de políticas públicas

Las instituciones oficiales, a través de políticas públicas, pueden favorecer la adopción de sistemas de AC (Andersson and D'Souza, 2014; Bolliger et al., 2006; Jat et al., 2014). A nivel mundial solo USA, Canadá, Australia, Brasil, Argentina, Paraguay y Uruguay han incorporado a la AC dentro de sus políticas públicas (Friedrich et al., 2012). En países como Brasil, Canadá o Australia la rápida expansión de la AC estuvo muy relacionada con la existencia de una voluntad política que favoreció la adopción de estas técnicas entre los agricultores (Jat et al., 2014; Bolliger et al., 2006).

Actualmente, en algunas políticas públicas europeas y por tanto aplicadas en España, se recomiendan sistemas como la Agricultura de Conservación que favorezcan la conservación de los recursos naturales y que eviten la degradación del suelo (ver apartado 1.3). La nueva Política Agraria Comunitaria (PAC) (2014-2020) contempla, dentro de los pagos directos, el apoyo a prácticas como la reducción del laboreo en zonas de pendiente, rotación de cultivos y cubierta del suelo (Figura 1.5). Además, los agricultores también pueden recibir una ayuda extra del Fondo

Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) si cumplen con otras medidas agroambientales de carácter voluntario. Las medidas aplicadas en el pasado también se describen en el apartado 1.3.

Además de la PAC, y debido al obligado cumplimiento de la Directiva Europea de la Eficiencia Energética, en España se está implementando el II Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 que tiene como objetivo reducir en 2020 un 20% del consumo energético (IDAE, 2011). Este Plan supone un apoyo decidido a las técnicas de AC para reducir el consumo de energía del sector. La medida 5 del Plan es específica para la agricultura de conservación dotada con unos 17.6 M€. Dentro de esta medida se contemplan incentivos económicos para la realización de proyectos de investigación en relación a ahorro y eficiencia energética en AC y una subvención para la adquisición de sembradoras de siembra directa en cultivos herbáceos. Además también se ha incluido otra medida para fomentar la renovación de los tractores por otros más eficientes (Medida 6: Plan RENOVE de tractores). Políticas de este tipo favorecen la adopción de AC y, a su vez, puede resolver el limitante de inversión inicial en maquinaria de siembra directa señalado anteriormente.

Resumen

La complejidad de los sistemas agrícolas y las condiciones agrosocioeconómicas apuntan a la necesidad de trabajar directamente en las fincas de los agricultores para llegar a sistemas que les interesen. Los estudios sobre AC a escala experimental pueden no ser representativos o reproducibles a escala de parcela comercial, no solo por la aparición de problemas agronómicos y ambientales, sino también por razones de índole socioeconómica (Lahmar, 2010; Soane et al., 2012). A nivel nacional existen pocos ejemplos de estudios de AC a escala de parcela comercial y principalmente hacen referencia a parámetros agronómicos y de calidad de suelo sin considerar limitantes para la adopción (Boulal and Gómez-Macpherson, 2010; López et al., 2012; López-Garrido et al., 2011). Por todo ello, son necesarios nuevos estudios con enfoques participativos que permitan entender los limitantes para la adopción de la AC en los cultivos herbáceos de Andalucía desde el punto de vista de los agricultores.

1.7 Objetivos

La problemática anteriormente descrita nos ha llevado a plantear una serie de preguntas: ¿Por qué hay tan baja adopción de AC en cultivos herbáceos en Andalucía y qué información hay disponible? ¿Qué tipo de sistemas de AC se están practicando en Andalucía y cómo? ¿Presentan los sistemas de AC andaluces mayores beneficios agronómicos, económicos y energéticos que los sistemas de laboreo convencional a escala de parcela comercial?

Para responder a estas preguntas, en esta tesis se ha planteado como objetivo general el caracterizar y evaluar los sistemas de AC en cultivos herbáceos de Andalucía Occidental a escala comercial, identificando los limitantes a su adopción y recomendando posibles estrategias a desarrollar para mejorar aspectos agronómicos, socioeconómicos y energéticos de los sistemas de AC. Para la consecución de este objetivo general y para responder a las preguntas planteadas anteriormente se han establecido tres objetivos específicos:

1. Análisis de la adopción de la AC en Andalucía, mediante la revisión de los datos de las estadísticas oficiales.
2. Descripción de las prácticas de AC en cultivos herbáceos e identificación participativa de limitantes y posibles estrategias para mejorar la adopción de AC.
3. Comparación agronómica, energética y económica de las técnicas de AC frente al mismo sistema de cultivo bajo técnicas de laboreo convencional, a través de un estudio de caso a escala comercial de la rotación trigo-girasol de secano, la más común en la zona de estudio.

Para alcanzar los objetivos planteados, esta tesis doctoral se ha estructurado en capítulos. Así, en este primer capítulo introductorio se han formulado las preguntas de investigación y definido los objetivos de la investigación. En el **Capítulo 2** se describe el enfoque de la investigación y el ámbito geográfico de la misma. Los resultados obtenidos en esta tesis se desarrollan en los Capítulos 3, 4, 5, correspondiendo cada capítulo con un objetivo específico. En el **Capítulo 3** se realiza un análisis de los datos originales usados para la elaboración de las estadísticas oficiales de siembra directa en Andalucía. En el **Capítulo 4** se realiza una descripción detallada del manejo agronómico de los sistemas de AC en los principales cultivos herbáceos en la zona de estudio, además de identificar limitantes y posibles estrategias para favorecer la adopción de estos sistemas de AC. En el **Capítulo 5** se realiza una comparación agronómica, económica y energética entre un sistema de AC y otro de laboreo convencional. En el **Capítulo 6** se presenta la discusión general de los resultados y de posibles recomendaciones para favorecer la adopción de AC. Finalmente, en el **Capítulo 7** se presentan las conclusiones generales de la investigación, en base a los objetivos propuestos.

1.8 Referencias

- Álvaro-Fuentes, J., López, M.V., Arrúe, J.L., Cantero-Martínez, C. 2008. Management effects on soil carbon dioxide fluxes under semiarid Mediterranean conditions. *Soil Science Society of America Journal* 72:194–200.
- Álvaro-Fuentes, J., Cantero-Martínez, C. 2010. Potential to mitigate anthropogenic CO₂ emissions by tillage reduction in dryland soils of Spain. Short communication. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8:1271-1276.
- Andersson, J.A. and D'Souza, S. 2014. From adoption claims to understanding farmers and contexts: A literature review of Conservation Agriculture (CA) adoption among smallholder farmers in southern Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187:116–132.
- Armengot, L., Berner, A., Blanco-Moreno, J.M., Mäder, P., Sans, X. 2014. Long-term feasibility of reduced tillage in organic farming. *Agronomy for sustainable development*. Septiembre 2014 DOI.10.1007/s13593-014-0249-y.
- Arrúe, J.L., Álvaro-Fuentes, J., Cantero, C. 2013. La eficiencia energética en la agricultura de conservación frente a la agricultura tradicional. *Digital CSIC*.
- ASAE, 2005. Terminology and definitions for soil tillage and soil tool relationships. *Standards of the Society for engineering in Agricultural, food and biological systems*, EP 291.3.
- Bajwa, A.A. 2014. Sustainable weed management in conservation agriculture. *Crop Protection* 65:105-113.
- Baker, J.M., Ochsner, T.E., Venterea, R.T. and Griffis, T.J. 2007. Tillage and soil carbon sequestration- what do we really know? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118:1-5.
- Baumgart-Getz, A., Prokopy, L.S. and Floress, K. 2012. Why farmers adopt best management practice in the United States: a meta-analysis of the adoption literature. *Journal of Environmental Management* 96:17–25.
- Bolliger, A., Magid, J., Carneiro Amado, T.J., Skora Neto, F., Santos Ribeiro, M.F., Calegari, A., Ralisch, R., Neergaard, A. 2006. Taking Stock of the Brazilian “Zero-Till Revolution”: A Review of Landmark Research and Farmers’ Practice. *Advances in Agronomy* 91:47–110.
- Boulal, H., Gómez-Macpherson, H. 2010. Dynamics of soil organic carbon in an innovative irrigated permanent bed system on sloping land in southern Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139:284-292.
- Boulal, H., Gómez-Macpherson, H., Gómez, J.A., Mateos, L. 2011. Effect of soil management and traffic on soil erosion in irrigated annual crops. *Soil and Tillage Research* 115-116:62-70.
- Boulal, H., Gómez-Macpherson, H., Villalobos, F.J. 2012. Permanent bed planting in irrigated Mediterranean conditions: Short-term effects on soil quality, crop yield and water use efficiency. *Field Crops Research* 130:120-127.

- Boto, J., Pastrana, P., Suárez de Cepeda, M. 2005. Consumos energéticos en las operaciones agrícolas en España. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10255_Consumos_energeticos_operaciones_agricolas_Espana_05_d94c1676.pdf
- Brogniez, D., Ballabio, C., Stevens, A., Jones, R.J.A., Montanarella, L., van Wesemael, B. 2015. A map of the topsoil organic carbon content of Europe generated by a generalized additive model. *European Journal of Soil Science* 60:121-134.
- Bronick C.J. and Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124:3-22.
- Brouder, S. M., Gómez-Macpherson, H. 2014. The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187:11-32.
- Cid P., Carmona, I., Murillo, J.M, Gómez-Macpherson, H. 2014. Permanent bed planting and controlled traffic in a maize-based irrigated system in Mediterranean conditions: Effects on soil compaction, crop performance and carbon sequestration. *European Journal of Agronomy* 61:24-34.
- CAPMA (Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente) 2013. Estudios y Estadísticas. Junta de Andalucía. <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/servicios/estadisticas/>
- Dang, Y.P., Seymour, N.P., Walker, S.R, Bell, M.J., Freebairn, D.M. 2015a. Strategic tillage in no-till farming systems in Australia's northern grains-growing regions: I. Drivers and implementation. *Soil and Tillage Research* 152:104-114.
- Dang, Y.P., Moody, P.W., Bell, M.J., Seymour, N.P., Dalal, R.C., Freebairn, D.M., Walker, S.R. 2015b. Strategic tillage in no-till farming systems in Australia's northern grains-growing regions: II. Implications for agronomy, soil and environment. *Soil and Tillage Research* 152:115-123.
- De la Rosa, D. 2008. Evaluación agro-ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible. Ediciones Mundi-Prensa.
- Derpsch, R., Friedrich, T. 2009. Global overview of conservation agriculture adoption. 4th Congress on Conservation Agriculture, New Delhi, India.
- Derpsch, R., Franzluebbers, A.J., Duiker, S.W., Reicosky, D.C., Koeller, K. 2014. Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil and Tillage Research* 137:16-22.
- EC (European Commission). 2006. Accompanying document to the Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and social Committee and the Committee of the Regions. Thematic Strategy for Soil Protection COM (2006) 231- Impact Assessment of the Thematic Strategy on Soil Protection. SEC (2006) 620. European Commission Brussels.
- Erenstein, O. 2002. Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil and Tillage Research* 67:115-133.
- Erenstein, O., Farooq, U., Malik, R.K., Sharif, M. 2008. On-farm impacts of zero tillage wheat in south Asia's rice-wheat systems. *Field Crops Research* 105:240-252.

- Errouissi, F., Ben Moussa-Machraoui, S., Ben-Hammouda, M., Noura, S. 2011. Soil invertebrates in durum wheat (*Triticum durum* L.) cropping system under Mediterranean semi arid conditions: A comparison between conventional and no-tillage management. *Soil and Tillage Research* 112:122-132.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2013. Basic Principles of Conservation Agriculture. <http://www.fao.org/ag/ca/1a.html> (último acceso 10.2014).
- FAO, 2015a. Año Internacional de los Suelos. <http://www.fao.org/soils-2015>
- FAO, 2015b. CA Adoption Worldwide, FAO AQUASTAT database. Available at: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/dbase/indexesp.stm> (último acceso 01.2015).
- Friedrich, T., Derpsch, R., Kassam, A. 2012. Overview of the global spread of conservation agriculture. *Field Actions Science Reports*. Special Issue 6. Reconciling Poverty Eradication and Protection of the Environment.
- Friedrich, T., Kassam, A., Corsi, S. 2014. Conservation Agriculture in Europe. Capítulo 6 en: *Conservation agriculture: global prospects and challenges* (eds Ram A. Jat, Kanwar L. Sahrawat and Amir Kassam). CAB International. ISBN:9781780642598.
- García Torres, L y González Fernández, P. 1997. *Agricultura de Conservación: Fundamentos Agronómicos, Medioambientales y Económicos*. Asociación Española Laboreo de Conservación/Suelos Vivos, Córdoba, España.
- Gattinger, A., Jawtusich, J., Muller, A., Mäder, P. 2011. No-till agriculture – a climate smart solution? MISEREOR y FIBL.
- Heap, I. 2014. Chronological Increase in Resistant Weeds Globally. *International Survey of Herbicide Resistant Weeds*. www.weedscience.org (último acceso 09.2014).
- Hernandez Plaza, E., Kozak, M., Navarrete, L., Gonzalez-Andujar, J.L. 2011. Tillage system did not affect weed diversity in a 23-year experiment in Mediterranean dryland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140:102-105.
- Hernanz, J.L., Sánchez-Girón, V., Navarrete, L., Sánchez, M.J. 2014. Long-term (1983–2012) assessment of three tillage systems on the energy use efficiency, crop production and seeding emergence in a rain fed cereal monoculture in semiarid conditions in central Spain. *Field Crops Research* 166:26–37.
- Herruzo Martínez, A. 1997. Economía de la conservación del suelo y de los diversos sistemas de laboreo. En: *Agricultura de Conservación: Fundamentos Agronómicos, Medioambientales y Económicos*. García Torres, L. y González Fernández, P (eds.). Asociación Española Laboreo de Conservación/Suelos Vivos, Córdoba, España.
- Holland, J.M. 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103:1-25.
- IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía), 2006. Ahorro, eficiencia y energética y sistemas de laboreo agrícola. Serie Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura nº4. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10330_Sistemas_laboreo_agricola_06_22b0083d.pdf

- IDAE, 2009. Ahorro, Eficiencia Energética con agricultura de conservación. Serie Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura nº12. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10995_Agr12_Agric_conservacion_A2009_1ef06e4a.pdf
- IDAE, 2011. Segundo Plan de Ahorro y de Eficiencia Energética (2011-2020) Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11905_PAEE_2011_2020._Anexo._A2011_A_9c717362.pdf
- IDAE, 2012. Ahorro, Eficiencia Energética en agricultura de conservación. Experiencias de campo. Serie Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura nº18. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12249_AEE_AC_Experiencias_en_campo_2012_4b655eb3.pdf
- IEC (Instituto de Estadística y Cartografía). 2014. Anuario de estadística agraria. Junta de Andalucía. <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia> (último acceso 10.2014)
- INE, 2014. Censo agrario 2009. Instituto Nacional de Estadística. <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft01%2Fp042/E01&file=inebase> (último acceso 10.2014).
- INES, 2014. Inventario Nacional de Erosión de Suelos. <http://www.magrama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/inventario-cartografia/inventario-nacional-erosion-suelos/default.aspx> (último acceso 10.2014).
- IPCC. 2000. Land use, land-use change, and forestry special report. Cambridge University Press 377p.
- Jat, R., Sahrawat, K., Kassam, A., Friedrich, T. 2014. Conservation Agriculture for sustainable and resilient agriculture: Global status, prospects and challenges. Conservation Agriculture: Global Prospects and Challenges. CAB International. Chapter 1, 1-25.
- Jones, M.R. 1989. Analysis of the use of energy in agriculture-approaches and problems. *Agricultural Systems* 29:339-355.
- Jones, A., Panagos, P., Barcelo, S., Bouraoui, F., Bosco, C., Dewitt, O., Gardi, C., Erhard, M., Hervás, J., Hiederer, R., Jeffery, S., Lükewille, A., Marmo, L., Montanarella, L., Olazábal, C., Petersen, J.E., Penizek, V., Strassburger, T., Tóth, G., Van Den Eeckhaut, M., Van Liedekerke, M., Verheijen, F., Viestova, E., Yigini, Y. 2012. The State of Soil in Europe. A contribution of the Joint Research Centre (JRC) to the European Environment Agency's Environment State and Outlook Report-SOER 2010. <http://ies.jrc.ec.europa.eu>
- Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R., Lahmar, R., Mrabet, R., Basch, G., González-Sánchez, E.J. and Serraj, R. 2012. Conservation agriculture in the dry Mediterranean climate. *Field Crops Research* 132:7-17.
- Kirkby, M.J. and Morgan R.P.C. 1980. Soil erosion. Chichester, UK: Wiley, 312p.

- Kirkegaard, J.A., Conyers, M.K., Hunt, J.R., Kirkby, C.A., Watt, M., Rebetzke, G.J. 2014. Sense and nonsense in conservation agriculture: Principles, pragmatism and productivity in Australian mixed farming systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187:133–145.
- Knowler, D. and Bradshaw, B. 2007. Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy* 32:25–48.
- Kurstjens, D.A.G. 2007. Precise tillage systems for enhanced non-chemical weed management. *Soil and Tillage Research* 97:293-305.
- Lahmar, R. 2010. Adoption of conservation agriculture in Europe. Lessons of the KASSA project. *Land Use Policy* 27:4-10.
- Lal, R. 2010. A dual response of conservation agriculture to climate change: Reducing CO₂ emissions and improving the soil carbon sink. *Proceedings of European Congress on Conservation Agriculture*, 3-18.
- Lal, R. 2015. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation* 70:55-62.
- Leach, G. 1976. *Energy and Food Production*. IPC Science and Technology Press Londres.
- López, M.V., Blanco-Moure, N., Limón, M.A., Gracia, R. 2012. No tillage in rainfed Aragon (NE Spain): Effect on organic carbon in the soil surface horizon. *Soil and Tillage Research* 118:61-65.
- López-Bellido, R.J., Fontán, J.M., López-Bellido, F.J., López-Bellido, L. 2010. Carbon Sequestration by Tillage, Rotation, and Nitrogen Fertilization in a Mediterranean Vertisol. *Agronomy Journal* 102:310-318.
- López-Garrido, R., Madejón, E., Murillo, J.M., Moreno, F. 2011. Soil quality alteration by mouldboard ploughing in a commercial farm devoted to no-tillage under Mediterranean conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140:182–190.
- Louwagie, G., Gay, S.H., Sammeth, F., Ratering, T. 2011. The potential of european union policies to address soil degradation in agriculture. *Land Degradation and Development* 22:5-17.
- Lundy, M.E., Pittelkow, C.M., Linquist, A., Liang, X., Van Groenigen, K.J., Lee, J., Six, J., Venterea, R.T., Van Kessel, C. 2015. Nitrogen fertilization reduces yields declines following no-till adoption. *Field Crops Research* 183:204-210.
- Madejón, E., Murillo, J.M., Moreno, F., López, M.V., Arrúe, J.L., Álvaro-Fuentes, J., Cantero, C. 2009. Effect of long-term conservation tillage on soil biochemical properties in Mediterranean Spanish areas. *Soil and Tillage Research* 105:55–62.
- MAGRAMA, 2008. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2008. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-anteriores/default.aspx> (último acceso 10.2014)

- MAGRAMA, 2009. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2009. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-antiores/default.aspx> (último acceso 10.2014)
- MAGRAMA, 2010. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2010. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-antiores/default.aspx> (último acceso 10.2014)
- MAGRAMA, 2011. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2011. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-antiores/default.aspx> (último acceso 10.2014)
- MAGRAMA, 2012. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2012. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-antiores/default.aspx> (último acceso 10.2014)
- MAGRAMA, 2013. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2013. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-antiores/default.aspx> (último acceso 10.2014)
- MAGRAMA, 2014. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2014. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-antiores/default.aspx> (último acceso 05.2015)
- MAGRAMA, 2015. Inventario de Gases de Efecto Invernadero en España. Serie 1990-2013. Secretaría de Estado de Medio Ambiente. Dirección General de calidad y evaluación ambiental y medio natural. S.G. de Calidad del aire y medio ambiente industrial. http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/2__Sumario_inventario_GEI_Espa%C3%B1a_-_Serie_1990-2013_Def_tcm7-362874.pdf
- Melero, S., Vanderlinden, K., Ruiz, J.C., Madejon, E. 2008. Long-term effect on soil biochemical status of a Vertisol under conservation tillage system in semiarid Mediterranean conditions. *European Journal of Soil Biology* 44:437-442.

- Melero, S., Panettieri, M., Madejón, E., Gómez-Macpherson, H., Moreno, F., Murillo, J.M. 2011a. Implementation of chiselling and mouldboard ploughing in soil after 8 years of no-till management in SW, Spain: Effect on soil quality. *Soil and Tillage Research* 112:107-113.
- Melero, S., López-Bellido, R.J., López-Bellido, L., Muñoz-Romero, V., Moreno, F., Murillo, J.M. 2011b. Long-term effect of tillage, rotation and nitrogen fertiliser on soil quality in a Mediterranean Vertisol. *Soil and Tillage Research* 114:97-107.
- Milne, E., Banwart, S.A., Noellemeyer, E., Abson, D.J., Ballabio, C., Bampa, F., Bationo, A., Batjes, N.H., Bernoux, M., Bhattacharyya, T., Black, H., Buschiazzi, D.E., Cai, Z., Cerri, C.E., Cheng, K., Compagnone, C., Conant, R., Coutinho, H.L.C., De Brogniez, D., De Carvalho Balieiro, F., Duffy, C., Feller, C., Fidalgo, E.C.C., Figueira da Silva, C., Funk, R., Gaudig, G., Gicheru, P.T., Goldhaber, M., Gottschalk, P., Goulet, F., Goverse, T., Grathwohl, P., Joosten, H., Kamoni, P.T., Kihara, J., Krawczynski, R., La Scala Jr, N., Lemanceau, P., Li, L., Li, Z., Maron, P.A., Martius, C., Melillo, J., Montanarella, L., Nikolaidis, N., Nziguheba, G., Pan, G., Pascual, U., Paustian, K., Piñeiro, G., Powlson, D., Quiroga, A., Richter, D., Sigwalt, A., Six, J., Smith, J., Smith, P., Stocking, M., Tanneberger, F., Termansen, M., Van Noordwijk, M., Van Wesemael, B., Vargas, R., Victoria, R.L., Waswa, B., Werner, D., Wichmann, S., Wichtmann, W., Zhang, X., Zhao, Y., Zheng, J., Zheng, J. 2015. Soil carbon, multiple benefits. *Environmental Development* 13:33-38.
- Moreno, F., Pelegrin, F., Fernández, J.E., Murillo, J.M. 1997. Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain. *Soil and Tillage Research* 41:25-42.
- 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 and Tillage Research* 114:18-27.
- Mrabet, R., Saber, N., El-Brahli, A., Lahlou, S., Bessam, F. 2001. Total, particulate organic matter and structural stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco. *Soil and Tillage Research* 57:225-235.
- Nail, E.L., Young, D.L., Schillinger, W.F. 2007. Diesel and glyphosate price changes benefit the economics of conservation tillage versus traditional tillage. *Soil and Tillage Research* 94:321-327.
- Neufeldt, H., Kissinger, G., Alcamo, J. 2015. No-till agriculture and climate change mitigation. *Nature Climate Change* 5:488-489.
- Nichols, V., Verhulst, N., Cox, R., Govaerts, B. 2015. Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. *Field Crops Research* 183:56-68.
- Odum, H.T. 1967. Energetics of world food agriculture. En *The World Food Problem*, Washington DC: The White House.
- OECC (Oficina Española del Cambio Climático). 2014. Hoja de ruta de los sectores difusos a 2020. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/planes-y-estrategias/Hoja_de_Ruta_2020_tcm7-351528.pdf
- OECC. 2015. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/planes-y-estrategias/>.

- Ordóñez Fernández R., González Fernández P., Giraldes Cervera J.V., Perea Torres F. 2007. Soil properties and crop yields after 21 years of direct drilling trials in southern Spain. *Soil and Tillage Research* 94:47-54.
- Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., Grace, P. 2014. Conservation Agriculture and ecosystem service: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187:87-105.
- Panettieri, M., Carmona, I., Melero, S., Madejón, E., Gómez-Macpherson, H. 2013. Effect of permanent bed planting combined with controlled traffic on soil chemical and biochemical properties in irrigated semi-arid Mediterranean conditions. *CATENA* 107:103-109.
- Pelosi, C., Pey, B., Hedde, M., Caro, G., Capowiez, Y., Guernion, M., Peigné, J., Piron, D., Bertrand, M., Cluzeau, D. 2014. Reducing tillage in cultivated fields increases earthworm functional diversity. *Applied Soil Ecology* 83:79-87.
- Pérez, D. 2012. Economía, energía, retomando el debate: el caso aplicado a la agricultura y ganadería ecológica en Andalucía. Universidad Internacional de Andalucía. Tesis doctoral.
- Pimentel, D., Hurd, E., Belloti, A.L., Forster, M.J., Oka, J.N., Sholes, O.D., Whitman, R.J. 1973. Food production and the energy crisis. *Science* 182:443-449.
- Pimentel, D. 1980. *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL, p. 475.
- Pimentel, D. and Pimentel, M.H. 2008. *Food, Energy and Society*. Taylor & Francis Group, LLC. Tercera Edición, ISBN 978-1-4200-4667-0.
- Pittelkow, C.M., Liang, X., Linquist, B.A., van Groenigen, K.J., Lee, J., Lundy, M.E., van Gestel, N., Six, J., Venterea, R.T., van Kessel, C. 2015a. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature* 517:365-368.
- Pittelkow, C.M., Linquist, B.A., Lundy, M.E., Liang, X., Van Groenigen, K.J., Lee, J., Van Gestel, N., Six, J., Venterea, R.T., Van Kessel, C. 2015b. When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field Crops Research* 183:156-168.
- Powlson, D.S., Whitmore, A.P., Goulding, K.W.T. 2011. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science* 62:42-55.
- Prager, K., Schuler, J., Helming, K., Zander, P., Ratering, T., Hagedorn. 2011. Soil degradation, farming practices, institutions and policy responses: An analytical framework. *Land Degradation and Development* 22:32-46.
- Rodríguez-Entrena, M. and Arriaza, M. 2013. Adoption of conservation agriculture in olive groves: Evidences from southern Spain. *Land Use Policy* 34:294-300.
- Sánchez-Girón, V., Serrano, A., Suárez, M., Hernanz, J.L., Navarrete, L. 2007. Economics of reduced tillage for cereal and legume production on rainfed farm enterprises of different sizes in semiarid conditions. *Soil and Tillage Research* 95:149-160.
- Soane, B.D; Blackwell, P.S., Dickson, J.W.; Painter, D.J. 1980. Compaction by agricultural vehicles: A review I. Soil and wheel characteristics. *Soil and Tillage Research* 1:207-237.

- Soane, B.B., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., Roger-Estrade, J. 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research* 118:66–87.
- Sommer, R., Thierfelder, C., Tittonell, P., Hove, L., Mureithi, J., Mkomwa, S. 2015. Fertilizer use should not be a fourth principle to define conservation agriculture. Response to the opinion paper of Vanlauwe et al. (2014) “A fourth principle is required to define conservation agriculture in sub-Saharan Africa: The appropriate use of fertilizer to enhance crop productivity”. *Field Crops Research* 169:145-148.
- Stevenson, J. R., Serraj, R., Cassman, K. G. 2014. Evaluating conservation agriculture for small-scale farmers in Sub-Saharan Africa and South Asia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187:1-10.
- Stokmann, U., Adams, M.A., Crawford, J.W., Fiels, D.J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., Minasny, B., McBratney, A.B., De Coucelles, V.R., Singh, K., Wheeler, I., Abbott, L., Angers, D.A., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P.C., Chenu, C., Jastrow, J.D., Lal, R., Lehmann, J., O'Donnell, A.G., Parton, W.J., Whitehead, D., Zimmermann, M. 2013. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 164:80-99.
- Trichard, A., Alignier, A., Chauvel, B., Petit, S. 2013. Identification of weed community traits response to conservation agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 179:179–186.
- Turpin, N., Perret, E., Ten Berge, H., Guzmán, G., Vanderlinden, K., Giráldez, J.V., Laguna, A., Werner, M., Raschke, I., Krüger, J., Steinmann, H., Grigani, C., Zavattaro, L., Costamagna, C., Siebielc, G., Ruysschaert, G., Spiegel, A., Schlatter, N., Berthold, H., Lehtinen, T., Baumgarten, A. 2015. Policy bundles framing agricultural soil protection in EU and selected member states. En: *Compatibility of Agricultural Management Practices and Types of Farming in the EU to enhance Climate Change Mitigation an Soil Health (CATCH-C) No. 289782*. <http://www.catch-c.eu>.
- Van-Camp. L., Bujarrabal, B., Gentile, A-R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C. and Selvaradjou, S-K. 2004. Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/2, 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- Van den Putte, A., Govers, G., Diels, J., Gillijns, K., Demuzere, M. 2010. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *European Journal of Agronomy* 33:231-241.
- Vanlauwe, B., Wendt, J., Giller, K.E., Corbeels, M., Gerard, B., Nolte, C. 2014a. A fourth principle is required to define Conservation Agriculture in sub-saharan Africa: The appropriate use of fertilizer to enhance crop productivity. *Field Crops Research* 155:10-13.
- Vanlauwe, B., Wendt, J., Giller, K.E., Corbeels, M., Gerard, B. 2014b. Response to Sommer et al. (2014) “Fertilizer use is not required as a fourth principle to define Conservation Agriculture”. *Field Crops Research* 169:149.
- Vanwalleghem, T., Infante Amate, J., González de Molina, M., Soto Fernández, D., Gómez, J.A. 2011. Quantifying the effect of historical soil management on soil erosion rates in Mediterranean olive orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 142:341-35

*Capítulo 2***METODOLOGÍA**

2.1 Enfoque metodológico y fases de la investigación

Dadas las variadas posibles causas para la escasa adopción de la AC en cultivos herbáceos de Andalucía, en este estudio se ha usado un enfoque multidisciplinar y participativo con metodologías tanto cualitativas como cuantitativas. Este enfoque permite comprender las limitaciones y beneficios que presenta la AC desde el punto de vista del agricultor, así como identificar y examinar aquellas estrategias con mayor posibilidad de éxito en el área de estudio. El estudio se ha realizado en dos fases (Figura 2.1), la primera dirigida a la caracterización de la AC en Andalucía, y la segunda presenta un estudio de caso.

En la primera fase se intentó dar respuesta a los dos primeros objetivos: el análisis de la adopción de la AC en Andalucía, mediante la revisión de los datos usados para elaborar las estadísticas oficiales (Objetivo 1), y la descripción de las prácticas de AC en cultivos herbáceos e identificación participativa de limitantes y posibles estrategias para mejorar la adopción de AC (Objetivo 2). Se intentó responder a las preguntas de quién hace AC, qué se entiende por AC, cómo se hace y por qué. Para ello se usaron fuentes de información indirectas (estadísticas oficiales) y directas (encuesta personal y observación participante). En el Capítulo 3 se examinan datos originales usados para elaborar las estadísticas de siembra directa de cultivos en Andalucía en la Encuesta de Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE). Esta encuesta solo recopila información de superficie anual de siembra directa de cereales (grano y forrajeras) y girasol pero,

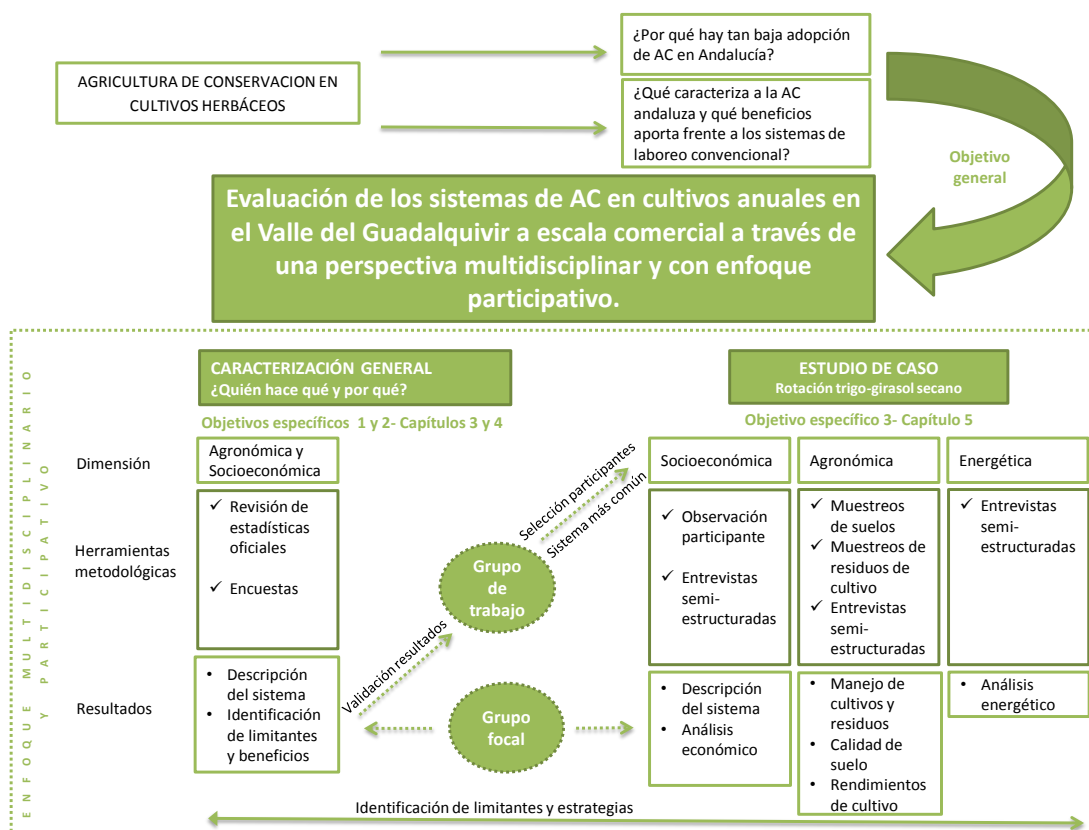


Figura 2.1 Fases metodológicas para la realización de la investigación.

al repetir los muestreos en gran parte de las parcelas muestreadas cada año, se puede determinar la rotación y el número de años bajo siembra directa (ver Material y Métodos del Capítulo 3 para más detalles). En el Capítulo 4 se describe la selección de agricultores y el planteamiento y contenido de las encuestas (ver Material y Métodos del Capítulo 4 para más detalles). Una vez obtenidos los resultados de estos estudios iniciales se realizó un grupo de trabajo al que se invitó a todos los agricultores encuestados y a representantes de la AEAC/SV para validar los resultados obtenidos e identificar a agricultores que quisieran participar en el estudio de caso.

En la primera fase se identificó que el sistema AC más común en la zona de estudio es la rotación trigo-girasol de seco, en coincidencia con la rotación más común cultivada tradicionalmente. En la segunda fase de investigación se estudió si este sistema de AC es más eficiente que los sistemas de laboreo convencional (Objetivo 3). Para ello se realizó una comparación multidisciplinar (agronómica, energética y económica) entre pares de fincas comerciales. Entrevistas semiestructuradas sobre el manejo agronómico de las fincas en los últimos cuatro años, observación participante y muestreos tanto de suelo como de residuos fueron realizados para obtener los datos necesarios para realizar este estudio de caso. Con los datos obtenidos se realizaron análisis económicos, energéticos y de calidad de suelo para cada una de las fincas muestreadas (ver Material y Métodos del Capítulo 5 para más detalles).

Finalmente, para identificar y proponer posibles estrategias de mejora en la adopción de AC en la zona de forma participativa se realizó un grupo focal con diferentes agricultores, representantes de la AEAC/SV, empresas e investigadores. Los detalles de la metodología usada para la creación y funcionamiento del grupo focal se presentan en el Capítulo 4.

2.2 Área de estudio

El universo de este estudio se ha centrado en el Valle del Guadalquivir, aunque también se han incluido algunos municipios de la parte occidental de Andalucía (Cádiz, Córdoba, Huelva, Málaga y Sevilla), donde se concentra más del 75% de la superficie total de cultivos herbáceos de Andalucía (MAGRAMA, 2014). Las parcelas muestreadas por MAGRAMA para elaborar ESYRCE, sin embargo, corresponden a toda Andalucía

El clima es Mediterráneo, caracterizado por inviernos suaves que concentran la mayor parte de las precipitaciones, y por veranos secos y calurosos. Las temperaturas medias oscilan entre aproximadamente 9 °C en invierno y 29 °C en verano, aunque en zonas del interior del Valle del Guadalquivir en verano se suelen alcanzar temperaturas máximas superiores a 40 °C. Las precipitaciones anuales medias en la zona superan los 500 mm, aunque con una elevada variabilidad interanual. Así, en los últimos 15 años se han registrado años anormalmente secos, con lluvias anuales inferiores a 250 mm, y otros muy húmedos, con más de 850 mm de lluvia anual.

La mayoría de los suelos que comprenden el área de estudio son Vertisoles, localizados en gran parte de los suelos de campiña al sur del Valle del Guadalquivir como depresiones entre colinas margosas y partes bajas de terrazas y valles fluviales. Estos suelos se han desarrollado sobre terrazas cuaternarias dominados por arcillas. Son suelos profundos con elevados contenidos en arcillas expansibles, de color gris o pardo gris y de textura arcillosa o arcillo limosa. Se caracterizan por enlodarse con facilidad en invierno y por la presencia de grietas de retracción verticales, profundas, y más o menos anchas en verano (Figura 2.2). Además de los suelos Vertisoles también se han encontrado algunos suelos como los Cambisoles y los Luvisoles comunes en las zonas de topografía ondulada de la depresión bética. La mayoría de suelos Cambisoles se han desarrollado sobre sedimentos margos arcillosos mientras que los Luvisoles sobre materiales calizos más o menos arenosos como areniscas calizas terciarias y sedimentos de terrazas cuaternarias.

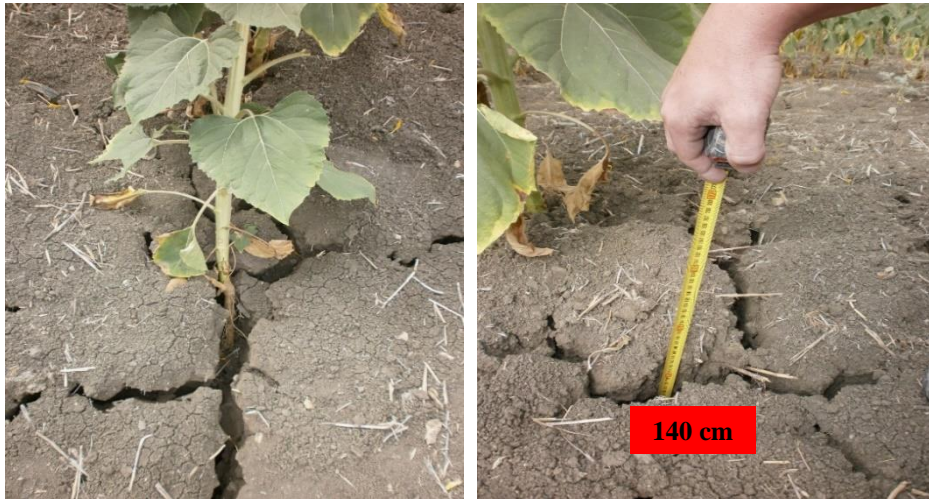


Figura 2.2 Grietas verticales típicas de los suelos vertisoles de la campiña sur del Valle del Guadalquivir (Córdoba; julio de 2012)

Los agricultores entrevistados aportaron datos de 41 parcelas agrícolas situadas en 26 municipios: 3 en Cádiz, 9 en Córdoba, 2 en Huelva, 1 en Málaga y 10 en Sevilla (Figura 2.3). Del total de parcelas, solo el 19% presenta algún cultivo de regadío dentro de la rotación.

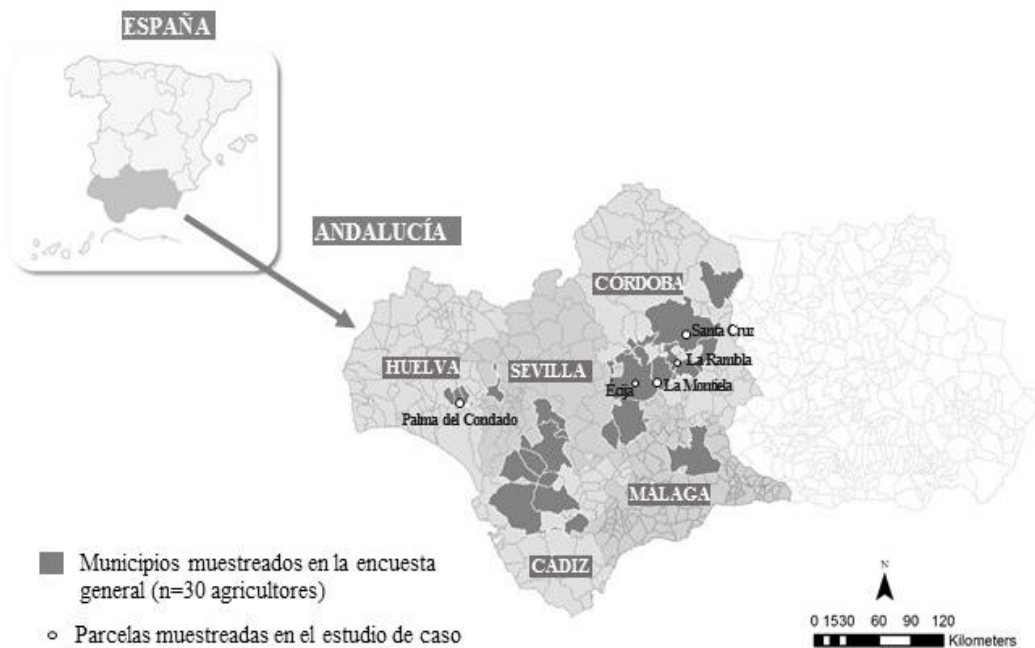


Figura 2.3 Localización geográfica de los municipios donde se encuentran las parcelas muestreadas para la encuesta (n= 41 parcelas en 26 municipios) y para el estudio de caso (n=20 en 5 municipios).

Los 26 municipios están localizados en 14 comarcas agrarias reconocidas en Andalucía. La tabla 2.1 presenta, para cada una de estas comarcas, la extensión, la pendiente media y la superficie de uso de suelo con cultivos herbáceos según la caracterización agrícola de las comarcas agrarias de la Junta de Andalucía basados en el Censo agrario de 1999 (CAPMA, 2013). Existe gran variabilidad en el uso de suelo entre las diferentes comarcas, encontrando algunas como Las Marismas o el Bajo Guadalquivir en Sevilla donde más de 70% de su uso de suelo está dedicado a cultivos herbáceos frente a otras comarcas como las del Alto Guadalquivir o Guadajoz-Campaña donde los cultivos herbáceos representan menos del 20%.

Tabla 2.1 Extensión, pendiente media del terreno y superficie de cultivos agrícolas en las comarcas a las que pertenecen los municipios muestreados.

Provincia	Comarca	Municipios muestreados	Extensión total de la comarca (km ²)	Cultivos agrícolas (*10 ³ ha)	Cultivos herbáceos	Cultivos herbáceos regadío (%)	Pendiente (%)		
							<7	7-30	>30
Cádiz	La Campiña	Arcos de la Frontera, Espera, Jerez de la Frontera	2424	240.9	60	14	52	40	8
Córdoba	Alto Guadalquivir	Montoro	1300	130.0	15	47	30	56	14
	Campaña Sur	La Rambla, Montalbán, Montilla, Santaella	1101	110.0	44	31	97	3	-
	Guadajoz-Campaña Este	Castro del Río	926	92.6	17	9	70	28	2
	Vega del Guadalquivir	Córdoba; Fuente Palmera, Guadalcazar	2940	294.03	43	35	65	25	10
Huelva	Condado de Huelva	Palma del Condado, Villalba del Alcor, Villarrasa	752	74.7	35	12	55	38	7
Málaga	Antequera	Antequera	2260	226.1	32	17	45	39	16
Sevilla	Bajo Guadalquivir	Utrera, Los Molares	1205	120.5	70	51	76	21	3
	Campaña Sierra Sur	Aguadulce, Osuna	1539	153.5	30	11	68	26	6
	La Campiña	Écija	2424	124.2	79	26	52	40	8
	Las Marismas	Las Cabezas de San Juan, Lebrija	635	63.6	83	59	65	35	-
	Los Alcores	Alcalá de Guadaira	1424	141.5	62	14	96	3	1
	Poniente de Sevilla	Sanlúcar la Mayor	2920	283.2	33	47	61	31	8
	Serranía Sudeste	Puebla de Cazalla	1362	133.1	45	6	79	16	5

Fuente: CAPMA, 2013

En el Valle del Guadalquivir y en otras comarcas muestreadas de Andalucía occidental los principales cultivos herbáceos de secano cultivados son el trigo y el girasol (Tabla 2.2). Los cultivos que siguen en importancia son cereal de forraje, garbanzos y avena. En los sistemas regados los cultivos herbáceos más comunes son los cultivos de arroz, girasol, algodón, maíz y trigo. Los cultivos que siguen en importancia son la patata, el ajo, y otras hortalizas.

Tabla 2.2. Superficie y porcentaje de los dos principales cultivos herbáceos en secano y regadío en cada comarca agraria.

Provincia	Comarca	Secano			Regadío		
		Área (ha)	Cultivo 1 (%)	Cultivo 2 (%)	Área (ha)	Cultivo 1 (%)	Cultivo 2 (%)
Cádiz	La Campiña	124753	Trigo (44)	Girasol (27)	19732	Algodón (28)	Girasol (21)
Córdoba	Alto Guadalquivir	10458	Trigo (56)	Girasol (35)	9162	Girasol (35)	Trigo (30)
	Campiña Sur	33009	Trigo (53)	Girasol (34)	14948	Trigo (28)	Girasol (27)
	Guadajoz-Campiña Este	14403	Trigo (57)	Girasol (39)	1413	Girasol (34)	Trigo (27)
	Vega del Guadalquivir	81927	Trigo (52)	Girasol (41)	44311	Maíz (23)	Girasol (22)
Huelva	Condado de Huelva	23074	Girasol (44)	Trigo (35)	3280	Girasol (46)	Algodón (18)
Málaga	Antequera	59767	Trigo (34)	Girasol (24)	11889	Trigo (31)	Girasol (26)
Sevilla	Bajo Guadalquivir	41813	Trigo (61)	Girasol (25)	42982	Algodón (34)	Girasol (31)
	Campiña Sierra Sur	41381	Trigo (56)	Girasol (33)	4869	Algodón (49)	Girasol (23)
	La Campiña	72892	Trigo (56)	Girasol (37)	25108	Algodón (37)	Girasol (28)
	Las Marismas	21601	Trigo (43)	Girasol (32)	30989	Algodón (40)	Remolacha (32)
	Los Alcores	71102	Trigo (56)	Girasol (39)	11943	Algodón (45)	Girasol (18)
	Poniente de Sevilla	53887	Trigo (38)	Girasol (24)	47236	Arroz (63)	Algodón (11)
	Serranía Sudeste	56207	Trigo (53)	Girasol (36)	3463	Algodón (32)	Trigo (24)

Fuente: CAPMA, 2013

2.3 Referencias

- CAPMA (Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente). 2013. Estudios y Estadísticas. Caracterización de Comarcas Agrarias. Junta de Andalucía. <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/servicios/estadisticas/estudios-e-informes/historico/caracterizacion-de-comarcas-agrarias/caracterizacion-de-comarcas-agrarias.html> (último acceso 10.2014).
- MAGRAMA, 2014. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2014. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-anteriores/default.aspx> (último acceso 05.2015)

Capítulo 3

CARACTERIZACIÓN DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN CULTIVOS HERBÁCEOS EN ANDALUCÍA A PARTIR DE LOS DATOS USADOS PARA ELABORAR LAS ESTADÍSTICAS OFICIALES

3.1 Introducción

Las estadísticas de superficie de AC por países y regiones permiten estudiar la importancia de la AC en cuanto a su extensión, así como la evolución de esa importancia en el tiempo. A nivel mundial, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) publica la evolución de la superficie de AC en 54 países, aunque la disponibilidad y frecuencia de datos varía en función de cada país (FAO, 2015). Esta base de datos incluye, en principio, la superficie de AC según la definición de FAO (2013), es decir, aquellos sistemas que han incorporado los siguientes elementos: 1) minimización de las labores de suelo (<15 cm de profundidad), 2) más del 30% de cubierta de residuos medida después de la plantación y 3) rotación de al menos 3 cultivos, aunque se acepta que se repita el cultivo del trigo y maíz.

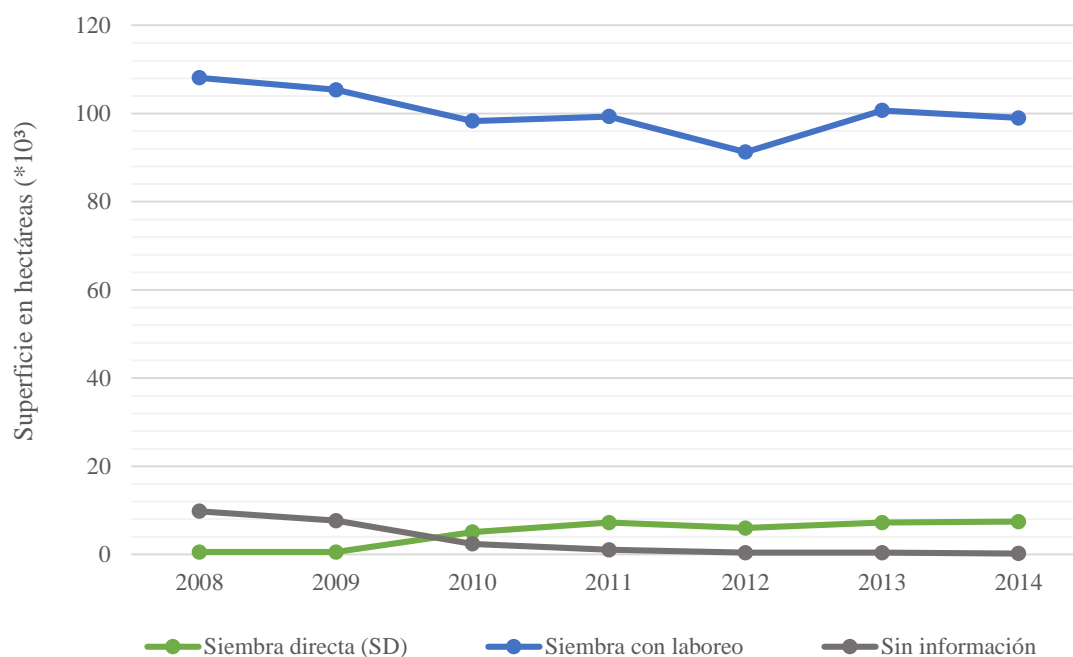
En España, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente elabora anualmente la Encuesta de Superficies y Rendimientos de Cultivos a nivel nacional y regional (ESYRCE). Desde el año 2008, la ESYRCE incorpora datos de la superficie de siembra directa (SD) de cereales de grano y forrajeros, girasol y maíz forrajero, y de distintos tipos de barbecho (MAGRAMA, 2014a). En el año 2014, la siembra directa apenas si representó un 7.8% de la

superficie total de herbáceos a nivel nacional, aunque su superficie se ha duplicado en apenas seis años hasta alcanzar las 590 472 ha (MAGRAMA, 2014b). En Andalucía la tendencia es similar a la nacional con solo un 7% de la superficie andaluza de cultivos herbáceos en siembra directa llegando a 74 633 ha ese mismo año (Figura 3.1). Desde el año 2008 se ha mejorado considerablemente la identificación del sistema de siembra y las parcelas sin información han disminuido considerablemente. Las estadísticas de siembra directa a escala nacional de ESYRCE son las usadas por FAO en su base de datos equiparándolas a superficie de AC (FAO, 2015).

Las estadísticas de ESYRCE aportan la superficie de siembra directa de algunos cultivos herbáceos pero no especifican la rotación de cultivos o qué porcentaje del suelo permanece cubierto por residuos, por lo que no se puede asumir que esta superficie cumpla con la definición de FAO (2013). En ESYRCE tampoco se informa si las parcelas se mantienen bajo continua siembra directa o si se ha realizado de forma esporádica el año en que se hizo la encuesta. Sin embargo, gran parte de las parcelas muestreadas para elaborar ESYRCE se repiten cada año ofreciendo la posibilidad de estimar las rotaciones y la antigüedad de las parcelas que practican siembra directa.

Además de los datos de la ESYRCE, hay otras dos fuentes de información indirectas que pueden ayudar a comprender mejor el alcance de la adopción de AC en Andalucía. Desde el año 2010 existe un registro de solicitudes concedidas para ayudas a la implementación de AC en cultivos herbáceos en pendiente a nivel regional y provincial (Submedida 12), financiada por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (CAPMA, 2013). Esta medida reconoce una ayuda económica (59.04€ ha⁻¹) a los agricultores que se comprometan durante cinco años a realizar siembra directa de cultivos herbáceos en parcelas con más del 8% de pendiente y que además realicen el picado y extendido de los cañotes de girasol. La segunda fuente de información indirecta es el Registro Oficial de Maquinaria Agrícola (ROMA) que publica el número de sembradoras de siembra directa adquiridas en cada provincia y año (MAGRAMA, 2014c).

El objetivo del trabajo presentado en este capítulo es explorar los datos originales usados para elaborar la ESYRCE y las fuentes de información indirectas (Submedida 12 y ROMA) para profundizar en el grado de adopción de la AC en los cultivos herbáceos de Andalucía y estimar cuáles son las rotaciones de cultivo más frecuentes en AC y la duración media en años consecutivos de los sistemas de AC andaluces.



Fuente: MAGRAMA, (2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014b)

Figura 3.1 Evolución de la superficie de cultivos herbáceos (cereales grano y forrajeros, girasol y maíz forrajero) en siembra directa, siembra con laboreo y parcelas sin información en Andalucía.

3.2 Metodología

En este capítulo se ha usado una selección de los datos originales usados para elaborar ESYRCE. A continuación se explica brevemente la metodología usada por el MAGRAMA para elaborar ESYRCE (MAGRAMA, 2014a) y se detalla la selección de datos.

Metodología usada en ESYRCE

El muestreo para la ESYRCE se realiza superponiendo una malla de la proyección UTM del Mapa Topográfico Nacional sobre el territorio nacional que divide el territorio en celdillas de 1 km² (100 ha). En cada celdilla se realiza un muestreo sistemático de un segmento territorial cuadrado de 700x700 (49 ha) que corresponde, en todos los casos, a la esquina inferior izquierda de la celdilla (Figura 3.2). Una vez seleccionados los segmentos territoriales se realiza un cuestionario en campo para identificar el cultivo en una muestra aleatoria de las parcelas que constituyen el segmento. En el caso de cereales de grano y forrajeros, girasol y maíz forrajero se determina además el tipo de siembra (laboreo o siembra directa). En las zonas de agricultura más intensiva,

como la campiña del Guadalquivir, se realiza una mayor densidad de muestreos. Los datos son tomados y extrapolados a superficies provinciales en colaboración con los Servicios Estadísticos de cada comunidad autónoma. En el caso de Andalucía esta labor corresponde a la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía.

Datos ESYRCE examinados

Tras la solicitud de datos siguiendo el procedimiento formal previsto por la Consejería de Agricultura Pesca y Desarrollo Rural (Junta de Andalucía), esta Consejería aportó los archivos del Sistema de Información Geográfica (SIG) con toda la información disponible para cada parcela muestreada por ESYRCE en Andalucía entre 2009-2013: área, número de segmento y de parcela, superficie, cultivos, sistema de siembra, regadío o secano y producción estimada, y en su caso, barbecho y tipo de barbecho.

En una primera selección para valorar si la siembra directa es practicada de forma ocasional en las parcelas, se realizó una selección de las parcelas en las que al menos un año se cultivó en siembra directa. Este grupo se dividió en cinco subgrupos dependiendo del número de años monitorizados, desde un solo año a cinco.

Posteriormente, para determinar la continuidad en el tiempo y las rotaciones practicadas se realizó una segunda selección escogiendo aquellas parcelas de las que había datos disponibles de tres, cuatro o cinco años consecutivos. De este primer grupo se seleccionaron las parcelas que además presentaban como mínimo dos años de siembra directa, seguidos o no. Las parcelas de barbecho con cubierta vegetal espontánea y de barbecho sin mantenimiento se consideraron a efectos prácticos equivalentes a un cultivo de siembra directa pues no reciben ningún tipo de labor. A continuación, se identificaron el número de parcelas con siembra directa continuada por dos, tres, cuatro ó cinco años, y el tipo de rotaciones de cultivos practicada en la muestra seleccionada.

Ayudas Agroambientales (Submedida 12: AC en cultivos herbáceos de pendiente)

Los datos correspondientes a las solicitudes de las Ayudas Agroambientales acogidas a la Submedida 12 sobre AC en cultivos herbáceos en pendiente se obtuvieron de la Consejería de Agricultura Pesca y Desarrollo Rural (Junta de Andalucía) siguiendo el procedimiento formal establecido por dicho Consejería. Los datos disponibles corresponden a las solicitudes aceptadas entre los años 2010-2013 e incluyen, para cada solicitud, la superficie de cultivos segregados por sexo del solicitante, localidad y provincia. Con esta información se determinó cuáles son los cultivos más frecuentes en los sistemas de AC andaluces con una pendiente mayor o igual al 8% y la evolución del número de solicitudes y de esta superficie.

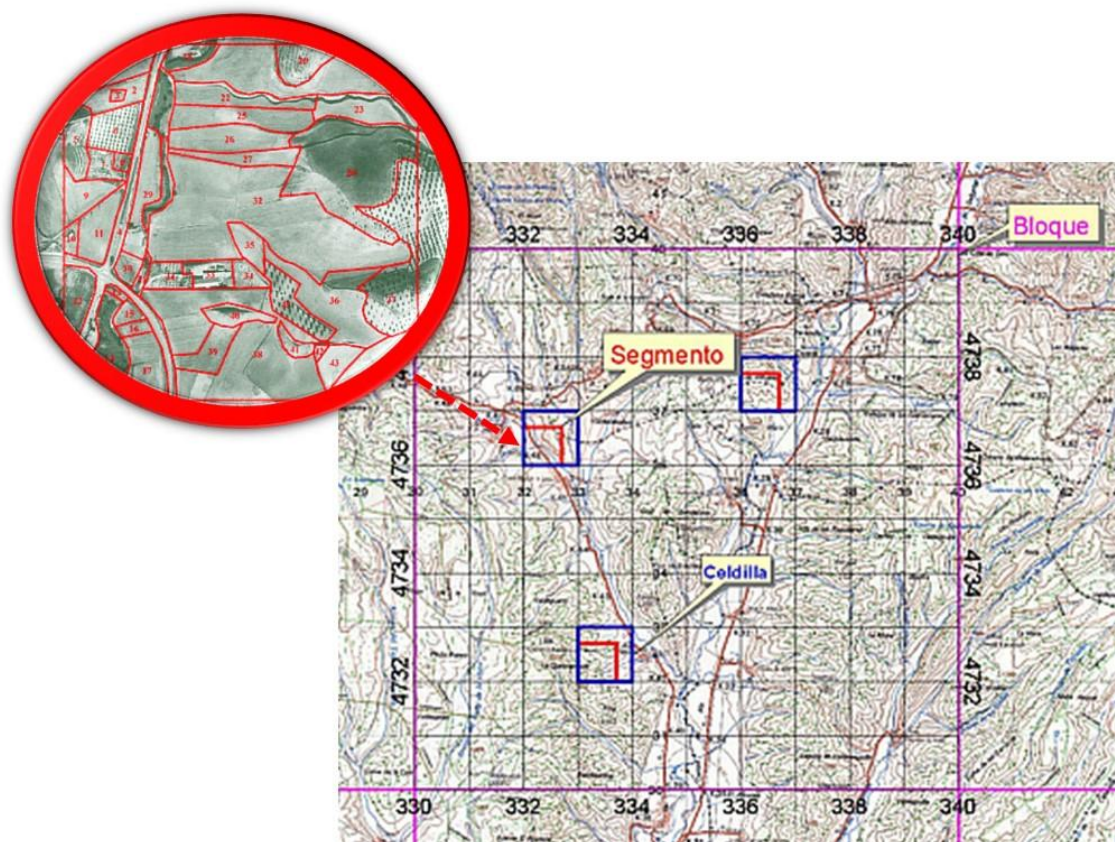


Figura 3.2 Ejemplo de marco de muestreo para la Encuesta de Superficie y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE). Adaptado de MAGRAMA (2014a).

Registro de Sembradoras de Siembra Directa

Los datos oficiales del Registro de Maquinaria Agrícola (ROMA) están disponibles en MAGRAMA (2014c). A través de este registro se han obtenido el número de sembradoras de siembra directa nuevas adquiridas anualmente por marcas comerciales, tanto a nivel nacional como regional y provincial. Dado que para la realización de la siembra directa se necesita una sembradora específica, el estudio de la evolución de venta de estas sembradoras permite estimar indirectamente la adopción de la siembra directa durante los últimos años entre los agricultores. Desde el año 2009, el MAGRAMA estima que el 100% de las maquinarias de siembra directa que se compran nuevas se registran, a diferencia de las sembradoras convencionales de las cuales solo un 15-20% se inscriben en ROMA.

Adicionalmente, también se solicitaron a la Consejería de Agricultura Pesca y Desarrollo Rural (Junta de Andalucía) los datos del censo de sembradoras de siembra directa a nivel municipal y provincial en Andalucía entre los años 2007 y 2014.

3.3 Resultados

3.3.1 Duración media y rotaciones de cultivos de los sistemas de siembra directa en las parcelas de cultivos herbáceos incluidas en la ESYRCE

Durante el período estudiado (2008-2013), para la elaboración de la ESYRCE se muestrearon una media de 6 299 parcelas por año en Andalucía, de las que aproximadamente un 4.6% son parcelas con cultivos en siembra directa (sin incluir barbechos). En total 1 461 parcelas que presentaron algún año con SD fueron muestreadas entre 2008-2013. Considerando los sistemas de SD, sin incluir los barbechos, la duración media de los sistemas de SD es menor a dos años, no necesariamente consecutivos. En el 86% de las parcelas muestreadas por ESYRCE durante los cinco años considerados la siembra directa de cultivos fue utilizada ocasionalmente solo durante un año dentro del período de estudio (Figura 3.3). Solo un 3% de las parcelas han presentado más de tres años de SD y no se han encontrado registros para parcelas que cultivaran durante cinco años consecutivos algún cultivo en SD, sin incluir barbecho.

Como no todas las parcelas se muestrean anualmente y para determinar la continuidad en el tiempo de la SD y las rotaciones practicadas, se seleccionaron aquellas con datos disponibles de tres, cuatro o cinco años consecutivos y que al menos en dos de esos años se hubiera realizado siembra directa. En total se identificaron y seleccionaron 177 parcelas con estas características. De éstas, en solo 23 de las parcelas no se practicó ninguna labor de suelo durante al menos tres años consecutivos, alternando entre los cultivos de siembra directa o los barbechos sin labranza. En la mayoría de estas parcelas el número de años consecutivos en SD o barbechos sin labranza fue de tres o de cuatro años (57 y 35% de las 23 parcelas) y solo dos de las parcelas han presentado un manejo continuado sin labranza durante cinco años.

Las rotaciones más comunes en siembra directa se identificaron en las parcelas que no fueron expuestas a ningún tipo de laboreo durante el período 2009-2013 (n=23). Más de la mitad de las parcelas presentaron rotaciones de tres años y solo dos parcelas presentaron rotaciones de cinco años (Figura 3.4). La diversidad de cultivos dentro de la rotación es escasa ya que ninguna parcela presentó más de dos cultivos distintos en la rotación. Entre los cultivos más frecuentes en las rotaciones destacan los cereales, ya sean de grano o forrajeros, que aparecen en todas las parcelas seleccionadas. El girasol en siembra directa solo ha sido identificado en cuatro parcelas y normalmente en rotación con cereales grano y barbecho. Por otro lado, el barbecho está presente en la mayoría de rotaciones, independientemente de su duración.

Las estadísticas de siembra directa de cultivos herbáceos de ESYRCE solo consideran una lista restringida de cultivos, entre los que no se encuentran las leguminosas u otros cultivos industriales

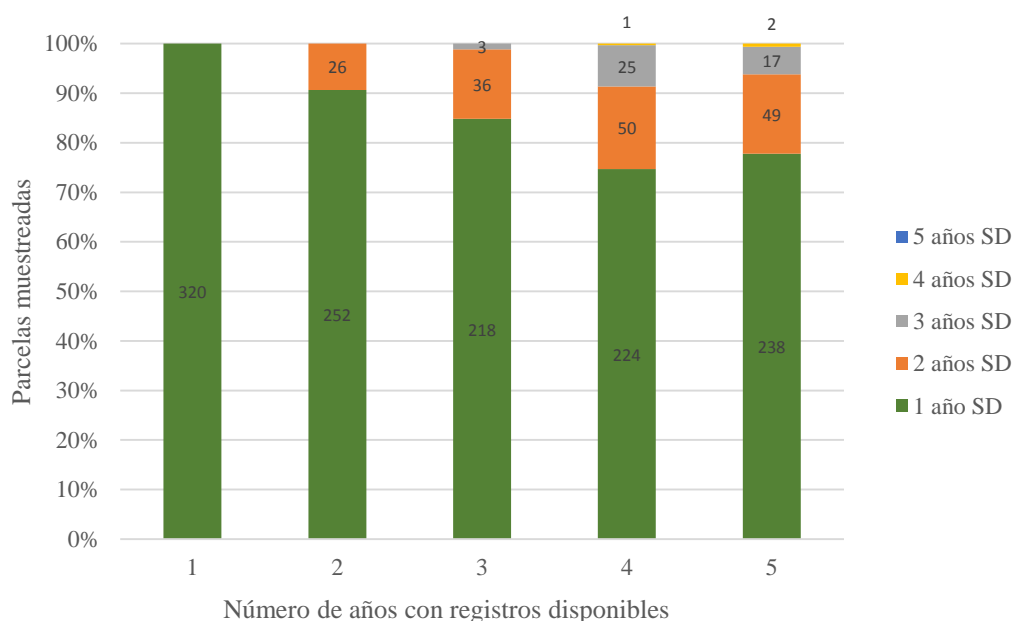


Figura 3.3 Número de años no consecutivos de siembra directa por parcela, sin incluir barbechos, entre 2008-2013.

diferentes al girasol. Un 6% de las 177 parcelas seleccionadas incluían el cultivo de leguminosas (habas, garbanzos y guisantes) dentro de la rotación, pero debido a la metodología empleada en ESYRCE no se puede determinar si esas leguminosas fueron cultivadas en siembra directa o en siembra con laboreo convencional. Entre los cultivos herbáceos no considerados en las estadísticas de SD se han encontrado principalmente registros de algodón y de otros cultivos como la remolacha, el cártamo y el anís.

3.3.2 Cultivos herbáceos en parcelas de pendiente bajo técnicas de siembra directa (Submedida 12)

La aceptación de la submedida 12 entre los agricultores se caracteriza por una marcada disminución tanto en el número de solicitudes como en la superficie registrada durante los dos primeros años de su implantación (2010-2011). El número de solicitudes presentadas el primer año de las ayudas fue de 418. En el segundo año, las solicitudes bajaron un 23%, permaneciendo en una cifra constante de 323 ± 18 solicitudes por año entre 2011 y 2013. También es de destacar que solo un 11% de las solicitudes anuales son presentadas por mujeres, siendo los hombres o las personas jurídicas los principales solicitantes.

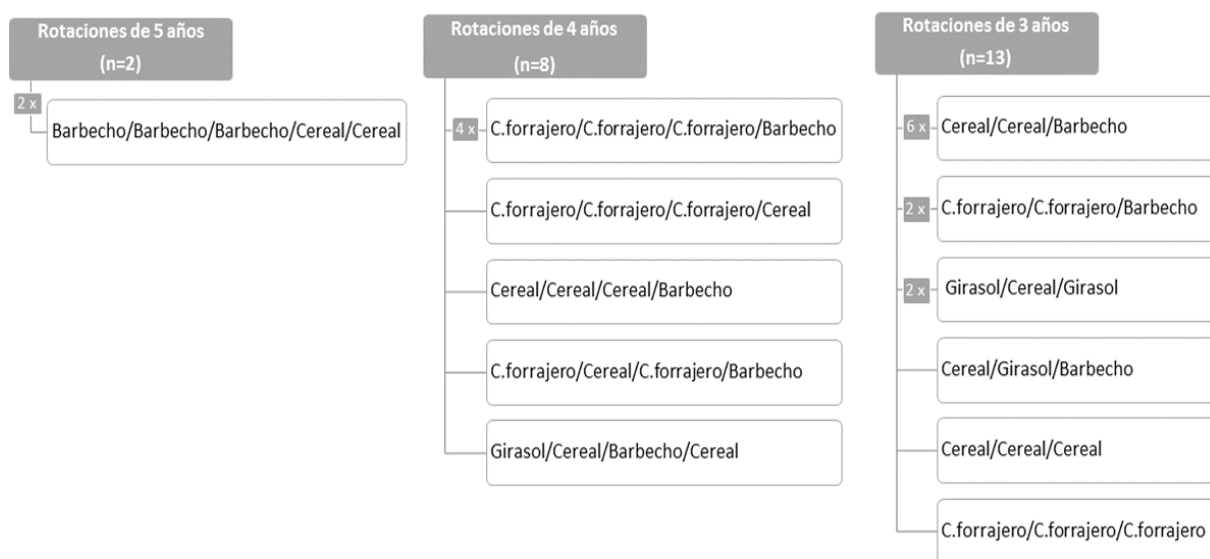


Figura 3.4 Principales rotaciones identificadas en las parcelas que han presentado siembra directa durante cinco, cuatro y tres años consecutivos. C.forrajero=Cereal forrajero

La superficie inscrita para estas ayudas evolucionó siguiendo la misma tendencia que el número de solicitudes. Entre los dos primeros años (2010-2011) el número de hectáreas disminuyó en 1 489 ha y posteriormente la superficie permaneció constante alrededor de las 4 397±292 ha, de las que un 4% se encuentran en regadío.

Los cereales representaron el principal grupo de cultivos para el que se solicitan estas ayudas (Figura 3.5). Un 79% de la superficie total subvencionada correspondió a cereales, seguidos del cultivo del girasol (10%) y de las leguminosas (9.5%). Entre los cereales, el trigo (58% del total de superficie subvencionada), la cebada (9.1%) y el triticale (6.7%) son los cultivos más frecuentes. Entre las leguminosas destacaron el cultivo de habas (3.7%) y de garbanzos (2.9%), siendo la superficie dedicada a veza, guisantes, yerros y haboncillos mucho menor.

3.3.3 Adquisición de las sembradoras de siembra directa en Andalucía según los datos del ROMA

Entre 2007-2014 se vendieron en España un total de 2 367 sembradoras de siembra directa. Según los datos del ROMA, la venta de sembradoras de SD a nivel nacional está disminuyendo a un ritmo de 14 sembradoras por año, pasando de 346 sembradoras inscritas en 2007 a 260 en el año 2014. Castilla y León con 95 unidades y Aragón con 85 son las comunidades con mayor número

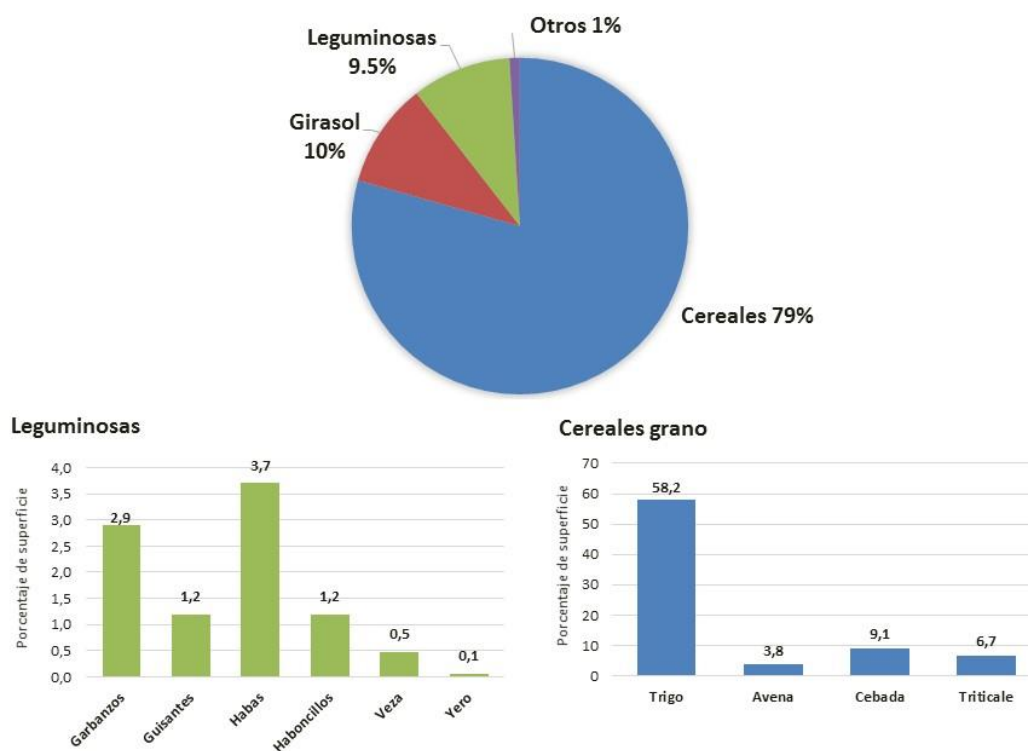
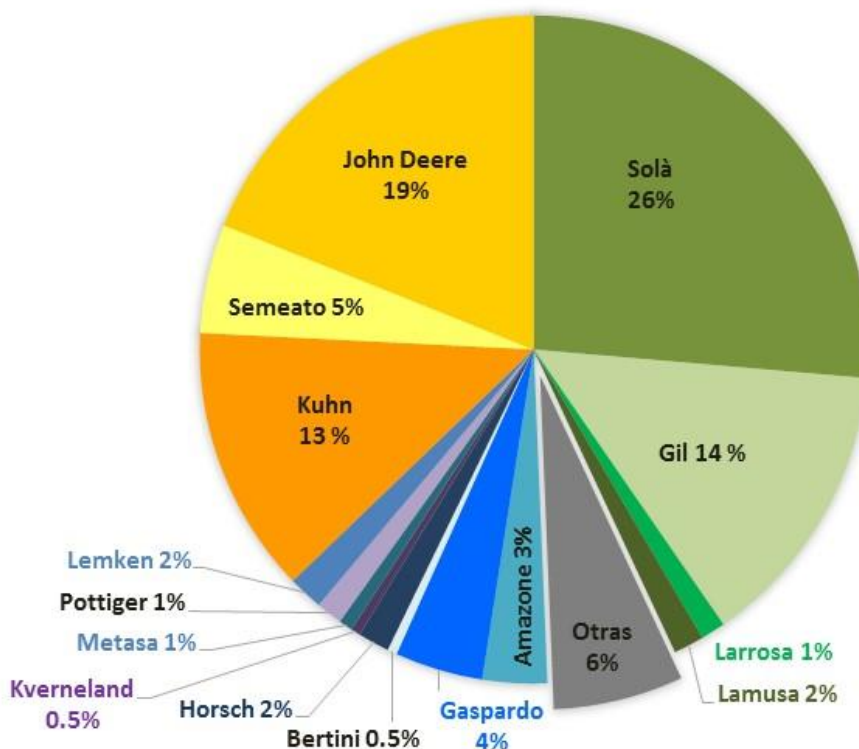


Figura 3.5 Porcentaje de superficie de diferentes cultivos herbáceos inscritos en la Submedida 12 durante el período 2010-2013 en Andalucía en relación al total de la superficie inscrita.

de máquinas inscritas (MAGRAMA, 2014c). Andalucía representó solo el 2% del total de sembradoras de SD que se inscribieron a nivel nacional en el ROMA durante el período 2007-2014. La inscripción de sembradoras de SD en Andalucía está bajando aproximadamente a un ritmo de dos sembradoras por año desde el año 2007, encontrándose solo dos registros nuevos para el año 2014.

Los datos del censo de maquinaria de siembra directa en Andalucía indican que en 2014 había un total de 101 sembradoras de siembra directa censadas en la región. El 54% de estas sembradoras están registradas en Sevilla, el 20% en Málaga, el 12% en Cádiz, el 8% en Córdoba y el 6% en Huelva. En la provincia de Jaén solo hay una sembradora censada y no existen registros para las provincias de Granada y Almería. Entre los municipios destaca el municipio malagueño de Campillos con 11 sembradoras censadas y los municipios sevillanos de Écija (8 sembradoras), Carmona e Isla Mayor (6 sembradoras en cada municipio).

Cinco empresas de maquinaria controlan el 77% del mercado de ventas de sembradoras de siembra directa español (Figura 3.6). Entre 2007-2014, las empresas españolas Solà y Gil acaparon el 40% del total de ventas de sembradoras de SD, seguidas por la empresa estadounidense John Deere (19%), la francesa Kuhn (13%) y la brasileña Semeato (5%).



Fuente: MAGRAMA, (2014c)

Figura 3.6 Principales empresas de maquinaria del mercado de sembradoras de siembra directa a nivel nacional durante el período 2007-2014.

Entre las empresas que más sembradoras de SD venden por año en España destaca en primer lugar Solá con una media de ventas de 78 sembradoras, seguida por John Deere con 56 sembradoras y por Gil con 42 sembradoras.

3.4 Discusión

3.4.1 Adopción de la siembra directa

Tanto a nivel nacional como andaluz la superficie de SD ha ido aumentando (Figura 1.6; 3.1). No obstante, su adopción es limitada en comparación con la siembra convencional con laboreo, ya que apenas representa un 7% de la superficie de cultivos herbáceos tanto a nivel nacional como andaluz. En Andalucía la expansión de la SD ha sido rápida llegando a multiplicar por trece la superficie durante el período 2008-2014 hasta llegar a más de medio millón de hectáreas de cultivos herbáceos (Figura 3.1). La disponibilidad de maquinaria específica y las posibles ayudas económicas previstas dentro de la nueva Política Agraria Común (2014-2020) a sistemas como el

de siembra directa han podido justificar el crecimiento de los últimos años (González-Sánchez et al., 2015). Este podría ser el caso de Castilla-León y Aragón, las dos comunidades con mayor superficie de SD de cultivos herbáceos en España (48% del total de esta superficie) y las que mayor número de inscripciones de sembradoras de siembra directa han presentado (69% de las inscripciones en 2014) (MAGRAMA, 2014b, c). Por el contrario, en Andalucía los datos del ROMA nos indican que este aumento de la superficie de SD no va acompañado de un incremento en las ventas de sembradoras de siembra directa (2 sembradoras inscritas en 2014).

Un aumento de la disponibilidad de maquinaria adaptada a las demandas de los agricultores podría favorecer la adopción de SD en Andalucía. Por ejemplo, en países como Brasil, Argentina o Finlandia, la rápida adopción de la AC se ha relacionado con la disposición de las empresas de maquinaria a aumentar la oferta de sembradoras de SD adaptadas a las condiciones locales (Derpsch et al., 2010). En España, a pesar de que muchos agricultores de SD han preferido comprar a empresas de maquinaria nacionales (principalmente Solà y Gil), todavía el 51% del mercado de sembradoras de SD está controlado por empresas extranjeras cuyas sembradoras no necesariamente están adaptadas a la diversidad de los suelos españoles (Figura 3.6). Posiblemente, medidas económicas como las incluidas en el Segundo Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética (IDAE, 2011) para la compra de sembradoras de SD van a favorecer la adopción de la SD en los próximos años tanto a nivel nacional como andaluz.

3.4.2 Rotaciones y duración media de los sistemas de siembra directa en cultivos herbáceos

El análisis de los datos de ESYRCE junto con los datos de las Ayudas Agroambientales (Submedida 12) nos aporta información sobre los cultivos herbáceos de siembra directa en Andalucía. No obstante, esta información es orientativa ya que la ESYRCE solo contempla una lista restringida de cultivos (cereales grano y de forraje, girasol y maíz forrajero) y la Submedida 12 solo tiene información de parcelas con pendiente (>8%).

En 2014, ESYRCE muestra que la superficie de cultivos en siembra directa en Andalucía corresponde principalmente a cereales (74% del total de SD de cultivos herbáceos en esta comunidad), seguidos de girasol (16%) y de cereales forrajeros (9%) (MAGRAMA, 2014b). Estas proporciones son parecidas a las obtenidas de las solicitudes de la Submedida 12 para cultivos herbáceos de pendiente (Figura 3.5). Esta Submedida si contempla el cultivo de leguminosas que presentaron una relevancia en la SD equiparable al cultivo de girasol: cereales (79% de la superficie inscrita), girasol (10%) y las leguminosas (9.5%). La mayor presencia de cereales en comparación con el resto de cultivos indica que estos cultivos son los mejor adaptados a la SD siendo frecuente el monocultivo de cereales en los sistemas de SD de Andalucía. Las principales

rotaciones identificadas en las parcelas muestreadas por la ESYRCE son principalmente combinaciones de cereales (forrajeros y de grano) con barbechos y algo de girasol (Figura 3.4).

Dado que ESYRCE solo considera cereales (grano y forraje), girasol y maíz forrajero para las estadísticas de SD, no se pudo identificar rotaciones incluyendo otros posibles cultivos. Por ejemplo, según los datos analizados para Andalucía, más de un 6% de las parcelas seleccionadas con tres años consecutivos de datos y al menos dos de ellos con siembra directa han presentado leguminosas en su rotación pero es imposible saber si su manejo fue en siembra directa o no. Sería recomendable que la metodología de MAGRAMA extendiera la identificación de siembra directa a todos los cultivos posibles, particularmente las leguminosas, que aparecen como la mejor alternativa de cultivo para cumplir los compromisos de diversificación de cultivos y de superficie de interés ecológico exigidos actualmente en el marco de los Pagos Verdes incluidos en la nueva PAC (2014-2020).

A diferencia de otros sistemas de siembra directa en el norte de España donde la media de años sin laboreo por parcela es de 10 años (López et al., 2012), a nivel andaluz, los sistemas de siembra directa son de corta duración (< 3 años). Considerando los barbechos dentro de la rotación, solo 23 del total de parcelas seleccionadas (n=177) con al menos dos años de SD no practicó ninguna labor de suelo durante al menos tres años consecutivos. La duración media de los sistemas de SD en estas parcelas ha sido como media de tres o de cuatro años (13 y 8 parcelas, respectivamente) y solo dos de las parcelas han presentado un manejo continuado sin labranza durante cinco años. La duración de los sistemas de SD en las parcelas se ve reducida considerablemente cuando no se consideran los barbechos dentro de la rotación. En el 86% del total de las parcelas muestreadas por ESYRCE entre 2009-2013 la SD fue utilizada ocasionalmente durante un solo año (Figura 3.3). El carácter aleatorio del muestreo de la ESYRCE resultó en que un 22% de estas parcelas solo presentarán datos de un año, no siendo posible su seguimiento en el tiempo. La práctica ocasional de la SD pudo deberse también al abandono de los sistemas de SD por no haber obtenido los beneficios esperados o a que alternan cultivos en siembra directa con cultivos de laboreo convencional dependiendo del año.

3.4.3 Agricultura de Conservación vs. Siembra directa ¿Qué presentan las estadísticas?

A partir de los datos de ESYRCE es imposible determinar la adopción de AC según la definición establecida por FAO (2013) ya que no se aporta información sobre la duración en el tiempo de la SD, la cobertura de residuos o la rotación de cultivos. Tanto la metodología usada en ESYRCE (MAGRAMA, 2014a) como los datos de las ayudas a AC en cultivos herbáceos con pendiente (Submedida 12) no especifican si las parcelas de SD presentaban al menos el 30% del suelo cubierto de residuos ni la rotación de cultivos practicada. Agricultores, investigadores e

instituciones han realizado diferentes interpretaciones de AC pero, como defiende Derpsch et al. (2014), no se puede equiparar la siembra directa de un cultivo a un sistema de AC si no se cumplen otros elementos tales como los definidos por FAO (2013) o por la definición más amplia propuesta en la Declaración de Nebraska (Stevenson et al., 2014). Esta confusión de terminología se ha visto reflejada en trabajos de investigación, como por ejemplo en los artículos de Derpsch et al. (2010) y de González-Sánchez et al. (2015), e incluso en la base de datos estadísticos de la FAO (FAO, 2015). En estos trabajos citados el área de siembra directa proporcionado por la ESYRCE se ha considerado equivalente a la superficie de AC a nivel nacional. Por todo ello, sería necesario que las figuras y datos relativos a España incluidos tanto en estos trabajos como en la base de datos de FAO fueran revisados.

La mayor parte de los datos de superficie de AC incluidos en la base de datos de la FAO están proporcionados por asociaciones de AC y grupos de interés, existiendo muy pocos países que presenten estadísticas oficiales sobre la AC (Derpsch et al., 2010; Friedrich et al., 2012). España es uno de los primeros países en incluir información sobre SD en sus estadísticas oficiales y podría servir de ejemplo para otros países con oficinas de estadísticas bien establecidas. La metodología utilizada por MAGRAMA (2014a) fácilmente podría mejorarse para incluir otros elementos relevantes para la AC en cultivos herbáceos y datos sobre otros cultivos como las leguminosas. Una posible mejora sería aplicar en las parcelas de siembra directa la misma metodología que se está aplicando en las parcelas de cultivos leñosos para diferenciar el tipo de cubierta de suelo e incluir dentro de las matrices de cambio de cultivo bianuales un apartado para las parcelas que realizan siembra directa. Con estas modificaciones, las estadísticas estarían mostrando para cada parcela de siembra directa información adicional sobre el tipo de cubierta y sobre la rotación, y por tanto proporcionaría datos fiables de AC según la definición establecida por FAO (2013).

Para evitar confusiones como las anteriores, la AC no solo necesita la estandarización de conceptos y de metodologías de investigación como sugieren Brouder and Gómez-Macpherson (2014) o Derpsch et al. (2014), sino que también sería necesario crear un estándar metodológico internacional para la elaboración de las estadísticas nacionales de AC. Esto permitiría mejorar la transparencia en los datos y facilitar la comparación de estadísticas entre países.

3.5 Conclusiones

A nivel nacional no se puede analizar la adopción y evolución de la AC a partir de los datos publicados anualmente en la ESYRCE. La falta de información en estas estadísticas oficiales sobre manejo de residuos y rotaciones de cultivo solo nos permite obtener información sobre la evolución de los sistemas de siembra directa. Para evitar posibles confusiones entre sistemas de

AC y siembra directa es necesario consensuar una metodología de reconocimiento mundial para la elaboración de las estadísticas que aporte una mayor confiabilidad.

La superficie de siembra directa en cultivos herbáceos es poco representativa (< 8% de la superficie total de herbáceos) a pesar de que ha aumentado en los últimos años tanto a nivel nacional como andaluz. Además, este crecimiento no se refleja en Andalucía en la venta de sembradoras de siembra directa o en la solicitud de ayudas específicas de AC que han sufrido una tendencia decreciente. Los sistemas de siembra directa en Andalucía se caracterizan por ser de corta duración (< 3 años), alternando algunos años con sistemas de siembra convencional con laboreo. Los cultivos más adaptados a estos sistemas son los cereales tanto de grano como forrajeros. Las rotaciones más frecuentes identificadas se basan en el monocultivo de cereales con barbechos y solo un pequeño porcentaje incluye girasol en la rotación. Ante estos resultados es necesario desarrollar otros trabajos de investigación que profundicen en las causas de la baja adopción, que analicen las limitaciones de la siembra directa para establecerse a largo plazo de manera continuada y en la falta de rotaciones de más de tres cultivos.

3.6 Referencias

- Brouder, S. M., Gómez-Macpherson, H. 2014. The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187:11-32.
- CAPMA (Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente). 2013. Régimen ayudas agroambientales. Servicios y Trámites. Junta de Andalucía. <http://www.juntadeandalucia.es/servicios/ayudas/detalle/71020.html>
- Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., Hongwen, L. 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal Agriculture and Biological Engineering* 3:1-25.
- Derpsch, R., Franzluebbbers, A.J., Duiker, S.W., Reicosky, D.C., Koeller, K. 2014. Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil and Tillage Research* 137:16–22.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2013. Basic Principles of Conservation Agriculture. <http://www.fao.org/ag/ca/1a.html> (último acceso 10.2014).
- FAO, 2015. CA Adoption Worldwide, FAO AQUASTAT database. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/dbase/indexesp.stm> (último acceso 01.15).
- Friedrich, T., Derpsch, R., Kassam, A. 2012. Overview of the global spread of conservation agriculture. *Field Actions Science Reports*. Special Issue 6. Reconciling Poverty Eradication and Protection of the Environment.

- Gonzalez-Sanchez, E.J., Veroz-Gonzalez, O., Blanco-Roldan, G.L., Marquez-Garcia, F., Carbonell-Bojollo, R. 2015. A renewed view of conservation agriculture and its evolution over the last decade in Spain. *Soil and Tillage Research* 146:204-212.
- IDAE, 2011. Segundo Plan de Ahorro y de Eficiencia Energética (2011-2020) Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11905_PAEE_2011_2020_Anejo_A2011_A_9c717362.pdf
- López, M.V., Blanco-Moure, N., Limón, M.A., Gracia, R. 2012. No tillage in rainfed Aragon (NE Spain): Effect on organic carbon in the soil surface horizon. *Soil and Tillage Research* 118:61-65.
- MAGRAMA, 2008. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2008. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-anteriores/default.aspx> (último acceso 10.2014)
- MAGRAMA, 2009. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2009. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-anteriores/default.aspx> (último acceso 10.2014)
- MAGRAMA, 2010. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2010. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-anteriores/default.aspx> (último acceso 10.2014)
- MAGRAMA, 2011. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2011. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-anteriores/default.aspx> (último acceso 10.2014)
- MAGRAMA, 2012. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2012. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-anteriores/default.aspx> (último acceso 10.2014)
- MAGRAMA, 2013. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2013. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-anteriores/default.aspx> (último acceso 10.2014)

- MAGRAMA, 2014a. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE): Base Legal, Objetivos y Síntesis Metodológica. <http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/maquinaria-agricola/estadisticas/> (último acceso 10.2014)
- MAGRAMA, 2014b. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2014. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-anteriores/default.aspx> (último acceso 03.2015)
- MAGRAMA, 2014c. Inscripciones de maquinaria agrícola en los Registros Oficiales de Maquinaria Agrícola (ROMA). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/maquinaria-agricola/estadisticas/> (último acceso 03.2015)
- Stevenson, J. R., Serraj, R., Cassman, K. G. 2014. Evaluating conservation agriculture for small-scale farmers in Sub-Saharan Africa and South Asia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187:1-10.

Capítulo 4

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN CULTIVOS HERBÁCEOS DEL VALLE DEL GUADALQUIVIR

4.1 Introducción

Actualmente existe un vacío de información sobre cómo se manejan los sistemas de AC de cultivos herbáceos en el Valle del Guadalquivir. Los resultados del capítulo anterior muestran que las estadísticas oficiales solo aportan información sobre la superficie de siembra directa de cereales y girasol, y aunque ha aumentado desde 2008, la adopción es muy limitada. En Andalucía, la investigación de AC está basada en parcelas experimentales donde el personal investigador define previamente el manejo ideal del sistema y donde la mayoría de factores que pueden afectar a la práctica de AC pueden ser controlados. Algunos autores han resaltado que los estudios de AC a escala experimental pueden no ser reproducibles a escala de parcela comercial debido a limitaciones agroambientales y socioeconómicas no controladas (Lahmar, 2010; Soane et al., 2012). En Andalucía, solo se han realizado un par de estudios de AC a escala de parcela comercial y principalmente hacen referencia a parámetros agronómicos y de calidad de suelo sin considerar limitantes para la adopción (Boulal and Gómez-Macpherson, 2010; López-Garrido et al., 2011). A nivel nacional, si existen un par de estudios que describen cómo se realiza la AC en España basados en encuestas realizadas a agricultores pero con poca incidencia en la AC andaluza (Vallés, 2009; AEAC/SV, 2008).

Sin información fiable y precisa sobre cómo y por qué se practica la AC en cultivos herbáceos es muy difícil comprender las limitaciones de estos sistemas y explicar la baja adopción de la AC en Andalucía a pesar de los beneficios descritos a escala experimental. Sin conocer la experiencia a escala comercial tampoco se pueden elaborar políticas públicas efectivas que puedan favorecer la adopción de la AC. Este capítulo tiene como objetivo describir y analizar las prácticas de Agricultura de Conservación (AC) que se realizan en los cultivos herbáceos del Valle del Guadalquivir, las características de los/as agricultores/as que las practican y sus fincas, así como el manejo realizado en cada uno de sus cultivos. Adicionalmente también se ha realizado una identificación participativa de limitantes y posibles estrategias para mejorar la adopción de AC.

4.2 Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos en este capítulo se han utilizado metodologías cualitativas. A diferencia de los métodos cuantitativos, la investigación cualitativa no busca predecir y controlar un fenómeno sino que su objetivo es la descripción sistemática de ese fenómeno. En esta investigación son necesarias este tipo de metodologías porque el objetivo es comprender el sistema de AC desde el punto de vista de los/as agricultores/as que la practican. En nuestro estudio estas metodologías nos ayudan a contestar unas preguntas sobre quién, cómo y por qué está realizando AC en cultivos herbáceos en el Valle del Guadalquivir.

El universo de estudio que se ha considerado es la población de agricultores/as que practican técnicas AC en cultivos herbáceos en el Valle del Guadalquivir, aunque también se han incluido algunas comarcas de las provincias de Huelva y Málaga. La inexistencia de un registro oficial de parcelas de AC no ha permitido identificar el tamaño total del universo de estudio, por tanto, se realizó un muestreo intencional, con informantes estratégicos en cadena o efecto bola de nieve (snowballing), es decir, las personas entrevistadas aportaban información de otras personas que ellos conocían y que también realizaban alguna técnica de AC. El tamaño de la muestra (agricultores/as encuestados/as) fue variando a lo largo del periodo de muestreo, ya que en función de los resultados que se iban obteniendo se iba ampliando el tamaño de la muestra. La recogida de datos finalizó cuando se alcanzó un punto de saturación de la información, es decir, cuando las respuestas entre diferentes informantes (no relacionados) eran repetitivas y coincidentes.

4.2.1 Selección de agricultores

Para la realización de las encuestas se procuró seleccionar a agricultores/as que utilizan o que han utilizado técnicas de AC en algún cultivo herbáceo, tanto en secano como en regadío. En esta

primera etapa de selección de agricultores/as se contó con la ayuda de la Asociación Andaluza de Agricultura de Conservación de Suelos (AAA/CS) que facilitó los contactos de algunos de sus socios. Para incluir en la muestra una mayor diversidad de agricultores se contactó con empresas de servicios que disponen de maquinaria de siembra directa, para que identificaran a agricultores/as que contratan sus servicios. Finalmente, la unidad muestral se completó a través de cooperativas agrarias y de empresas privadas de gestión de fincas. En total se han encuestado a 30 agricultores, con parcelas en 26 municipios de las provincias de Sevilla, Cádiz, Córdoba, Málaga y Huelva (Figura 2.3).

4.2.2 Encuestas

El contenido de la encuesta se dividió en dos partes (véase Anexo I). En una primera parte se recopiló la información sobre datos del perfil del agricultor/a (edad, estudios, profesión y actividad económica principal) y los datos generales de la finca (superficie total, superficie de AC, años practicando AC, rotaciones, características del suelo y registros climáticos de la zona). En la segunda parte se recopilaron datos concretos sobre el manejo realizado en cada cultivo (sistema de siembra, tipo de laboreo, porcentaje de cubierta de residuos, dosis y fecha de siembra, fertilización, tratamientos herbicidas, rendimientos y manejo de residuos) y los limitantes y beneficios de manejar cada cultivo de la finca aplicando técnicas de AC. Además, al final de cada encuesta, se identificó con los/as agricultores/as las necesidades de investigación en AC para los cultivos mencionados.

Las encuestas se realizaron en diferentes escenarios dependiendo de la disponibilidad del encuestado/a: parcela agrícola, restaurante rural, lugar de trabajo o en el domicilio particular. En un 85% de los casos, las encuestas se realizaron en la propia finca de los agricultores/as. Siempre que fue posible la encuesta se complementó con visitas a las parcelas cultivadas, para documentar visual y fotográficamente en lo posible la información obtenida en las encuestas (Figura 4.1). Las encuestas tuvieron una duración de media de 45 minutos aproximadamente. Todas las encuestas fueron realizadas personalmente a cada agricultor/a, respetando en todo momento el anonimato de la información obtenida, y siempre realizadas por la misma persona, para mantener la misma interpretación y captación del sentido y significado. Las encuestas se realizaron entre julio 2012 y diciembre 2013.

El análisis de los datos cualitativos obtenidos en la encuesta se ha realizado a través de tablas de contingencia que presentan frecuencias absolutas o porcentajes. Para contrastar la homogeneidad de las poblaciones se ha utilizado el contraste de Chi-cuadrado o en su lugar el test exacto de



Figura 4.1 Parcelas de AC con residuos de cañotes de girasol (izquierda) y siembra directa de trigo sobre residuos de girasol (derecha) en la provincia de Huelva.

Fisher. El análisis de datos cuantitativos obtenidos en la encuesta se ha realizado a través de la representación de medias, medianas, máximos y mínimos.

4.2.3 Grupo focal

Además de las encuestas también se organizó un grupo focal para contrastar los limitantes de la AC en cultivos herbáceos andaluces identificados en la encuesta, obtener información complementaria y hacer una propuesta conjunta de posibles soluciones a los problemas identificados. Los grupos focales son una técnica de investigación cualitativa grupal, cuyo objetivo es entender problemas sociales concretos y se basa esencialmente en el diálogo y conversación entre las personas. Los componentes del grupo intercambian opiniones con el fin de conocer su punto de vista sobre un tema en concreto.

El grupo focal se organizó y reunió en julio de 2013. Los criterios para seleccionar a los participantes fueron: 1) personas que están relacionadas directamente con la AC procurando crear un grupo homogéneo para evitar situaciones que dificultasen el discurso del conjunto del grupo y aprovechar experiencias comunes; 2) personas de diferentes ámbitos (agricultores, empresas privadas, investigadores, asociaciones) para construir distintas perspectivas sobre las limitaciones del sector; y, 3) disponibilidad para asistir. En total 13 personas (entre ellas solo una mujer) participaron en este grupo: cuatro agricultores de diferentes zonas (Cádiz, Huelva, Sevilla, Córdoba), un representante de una empresa de maquinaria, tres representantes de la AEAC/SV,

dos investigadores, dos técnicos especializados en AC y el moderador del grupo. Los participantes expresaron su opinión libremente sin interferencia de los organizadores y en tiempo ilimitado.

La duración aproximada del grupo focal fue de 120 minutos. Para convertir la conversación del grupo focal en datos analizables, posteriormente se realizó una transcripción literal de toda la grabación. El conjunto de datos e información que se extrae de la discusión grupal está basado en lo que los participantes comentaron durante sus discusiones. Cada comentario realizado por los participantes se clasificó por cultivos en diferentes temáticas (maquinaria, arvenses, manejo de residuos y fertilización) y además identificando si el comentario hace referencia a la descripción de un problema o a la solución del mismo (Figura 4.2).

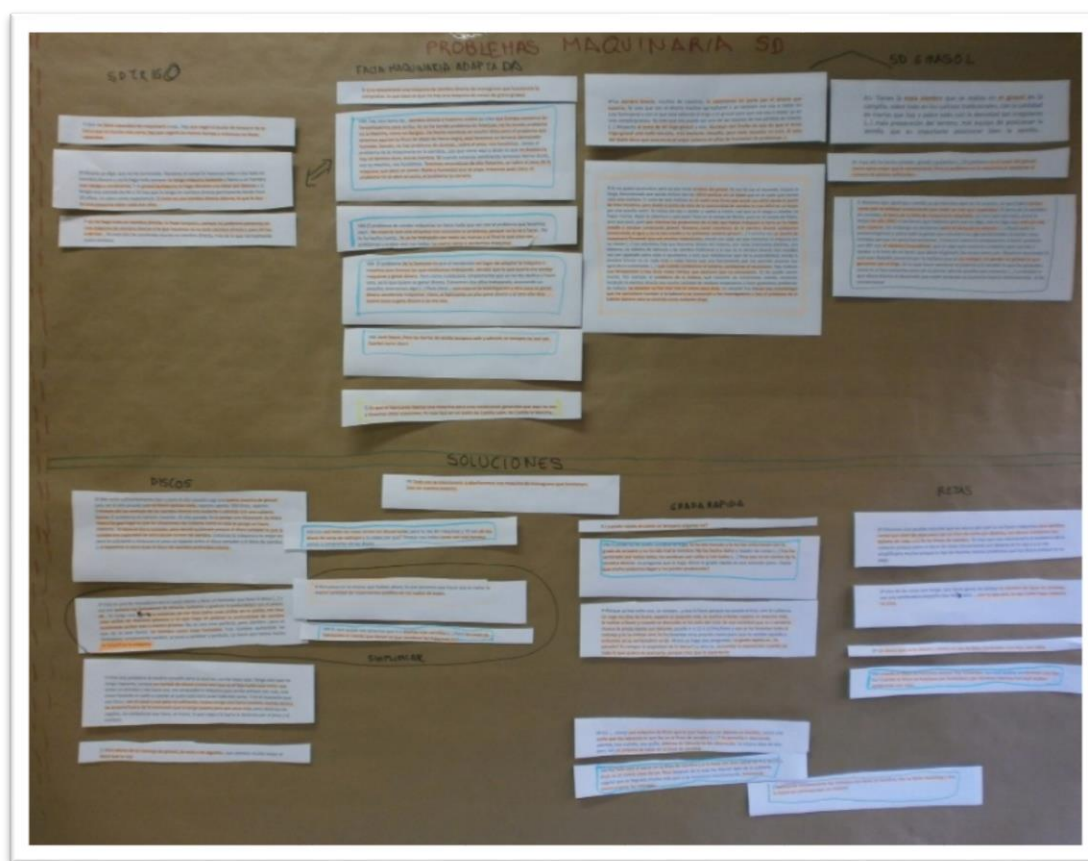


Figura 4.2 Análisis de la transcripción literal del grupo focal: Extracto de la clasificación de problemas y soluciones relacionados con la maquinaria.

4.3 Resultados

4.3.1 Perfil del agricultor de Agricultura de Conservación

Edad

La edad media del agricultor que practica técnicas de AC es de 52 años. Un 61% de los agricultores tiene una edad comprendida entre 46 y 65 años y solo un 14% de los entrevistados tiene menos de 35 años. Estos datos muestran el envejecimiento del sector agrícola que practica AC en Andalucía, reflejo del sector agrario andaluz, donde el 61% de los titulares de tierras agrícolas son mayores de 55 años, y solo un 6% son menores de 35 años, indicando la falta de relevo generacional (INE, 2014).

Género

El 100% de las personas encuestadas fueron hombres, al no encontrar mujeres que gestionasen fincas agrícolas donde se practicara la AC. Por el contrario, si se localizaron mujeres en tareas de asesoramiento e investigación en agricultura, por mediación de las cuáles se pudo contactar con algunos agricultores.

Esta masculinización no es específica del sector de la AC. Los datos del Censo agrario de 2009 reflejan esta inequidad en toda Andalucía, ya que solo un 22% de las fincas agrarias en esta región autónoma (24% a nivel nacional) son dirigidas por mujeres. Además, este porcentaje disminuye sensiblemente a medida que aumenta la superficie de la finca, encontrando una mujer por cada cinco hombres como propietaria de fincas de más de 500 hectáreas (INE, 2014). Estos datos muestran que las mujeres dirigen fincas con un valor económico notablemente inferior a las gestionadas por hombres y probablemente reflejan una mayor precariedad económica de las mujeres en el medio rural.

Diversas políticas públicas se han implementado para visibilizar y erradicar la brecha de género en el medio rural desde la IV Conferencia Mundial de Beijing (1994). A nivel nacional ya se han establecido varios Planes Estratégicos, el último el “Plan Estratégico de Igualdad de Oportunidades (2014-2016)”, para establecer los objetivos y medidas necesarias para eliminar cualquier discriminación por razón de sexo que pueda persistir, y para alcanzar la igualdad de oportunidades entre mujeres y hombres. En el marco del desarrollo rural andaluz también existe legislación específica que recoge el mandato de género y obliga a la incorporación de la perspectiva de género en las diversas actuaciones. Cabe mencionar el Plan para favorecer la igualdad entre mujeres y hombres en el medio rural, la Ley 12/2007 de 26 de noviembre para la promoción de la igualdad de Género en Andalucía, el Programa de Desarrollo Rural de Andalucía

(2007-2013), los Planes de Género y Juventud (2007-2013) y los correspondientes Planes Básicos de Desarrollo Rural de los Grupos de Desarrollo Rural de Andalucía.

Desde el sector de la AC pocas son las actividades que se han realizado para disminuir la brecha de género en el sector, tanto a nivel nacional como internacional. Hasta el momento, a nivel nacional solo se ha implementado un proyecto por la AEAC/SV en 2011 llamado “Tecno Rural Woman” en el que se realizaron varios cursos de formación dirigidos a mujeres sobre las técnicas de AC, manejo de maquinaria, prevención de riesgos laborales y creación de una empresa. En total 250 mujeres fueron beneficiarias de este proyecto en diversos puntos del país.

Involucrar a las mujeres en las actividades promocionales de la AC puede favorecer de forma significativa la adopción de técnicas de AC, como por ejemplo, en Filipinas (Harman et al., 2014). Para ello, entre otras recomendaciones, es necesario proporcionar formación de AC a mujeres, que a su vez, puedan formar y educar a otras mujeres de la comunidad. La creación de estas redes de trabajo entre mujeres pueden favorecer la adopción y el intercambio de experiencias de AC (Farooq, 2001).

Formación y actividad económica

La mayoría de los agricultores encuestados que realizan AC tienen estudios universitarios (63%). Este resultado contrasta con la realidad del campo andaluz, donde el 86% de los agricultores presentan una amplia experiencia agraria, pero solo un 2% ha asistido a la universidad (INE, 2014). Estos datos parecen indicar que los agricultores con formación universitaria y mayores conocimientos técnicos han mostrado mayor interés en adoptar técnicas de AC. La actividad profesional principal de las personas encuestadas es la agricultura (73%) o los servicios técnicos de asesoramiento agrícola (15%).

Un 93% de los encuestados consideran que la práctica del AC requiere más especialización que el laboreo convencional, tanto del propietario, gestor o técnico agrícola, como del personal de la finca. Otros estudios similares realizados en olivar confirman esta necesidad de formación, y muestran una relación directa entre la formación especializada en AC y la adopción de estos sistemas en el olivar en Andalucía (Rodríguez-Entrena and Arriaza, 2013). De igual forma, en otros países como Brasil y Estados Unidos el establecimiento de programas de formación especializada en AC ha resultado ser uno de los factores claves para la rápida adopción de estas técnicas entre los agricultores (Baumgart-Getz et al., 2012; Jat et al., 2014). Esta necesidad de mayor especialización de los agricultores de AC podría explicar que la mayoría de los agricultores encuestados tengan estudios universitarios. Además, los agricultores afirmaron que adoptaron la AC a consecuencia de recibir alguna formación específica en estas técnicas. Es de destacar la

labor de difusión y formación realizada por la Asociación Española de Agricultura de Conservación/Suelos Vivos (AEAC/SV), pero además, los agricultores han señalado la importancia de la autoformación e intercambio de conocimientos con otros agricultores, tanto españoles como argentinos y brasileños, que ya tenían experiencia en sistemas de AC.

4.3.2 Motivaciones para adoptar la Agricultura de Conservación.

Entre las principales motivaciones señaladas por los agricultores para adoptar las técnicas de AC, destacan el aumento de la fertilidad del suelo (36%) y la reducción de la erosión (27%). Aunque en menor proporción también se han identificado otras motivaciones: ahorro de energía y de agua de riego, aumento de la biodiversidad, secuestro de carbono, y mayor infiltración del agua.

La mayoría de los agricultores resaltaron la mayor rentabilidad económica de la AC como la principal motivación para adoptar este sistema. En particular, los agricultores afirmaron tener menos costes de cultivo que con laboreo convencional (95%) y, solo en el caso del girasol, un 9% de los agricultores afirmaron tener más costes realizando AC debido principalmente al mayor uso de tratamientos herbicidas. En otros países el beneficio económico es también la principal motivación de los agricultores para adoptar AC, mientras que la lucha contra la erosión es la principal motivación a nivel institucional para promover estas técnicas (Andersson and D'Souza, 2014; Bolliger et al., 2006).

4.3.3 Caracterización de las fincas de Agricultura de Conservación.

Años en AC: El uso de AC en cultivos herbáceos en Andalucía es relativamente reciente, así solo un 26% de las parcelas estudiadas usa técnicas de AC desde hace más de 7 años. La media de años en AC es de 6, aunque se han identificado algunas parcelas con más de 16 años bajo técnicas de AC y otras que llevaban apenas 1 o 2 años. También se han identificado agricultores que tras probar un par de años con la AC decidieron abandonar este sistema en determinados cultivos y continuar en otros. En otras zonas de España como Aragón, las técnicas de AC llevan implementándose desde hace más años y no es difícil encontrar parcelas de agricultores con más de 10 o incluso 20 años bajo técnicas de AC (López et al., 2012). Estos autores señalan que son necesarios como mínimo 10 años para que los efectos de las prácticas de AC sobre la calidad del suelo sean visibles.

Propiedad de la tierra: El régimen de la propiedad de las fincas estudiadas en la mayoría de los casos es privada (70%) y solo una pequeña parte de las fincas son arrendadas (7%); el resto de las fincas son cooperativas o pertenecen a sociedades. Estos datos coinciden con la tendencia de régimen de propiedad en Andalucía, donde el 87% de las fincas agrícolas son de propiedad privada y solo un 17% son en régimen de alquiler (INE, 2014).

Superficie de las fincas: El 43% de las fincas que practican la AC eran fincas grandes, de entre 500-1 400 ha, y solo un 7% de las fincas presentó un tamaño menor a las 50 ha. El tamaño medio de las fincas fue de 472 ha con un rango de 24 a 1 400 ha. Esta superficie incluye cultivos herbáceos, leñosos y otras áreas de la finca (dehesas, fuentes de agua y construcciones). Estos resultados indican que probablemente los propietarios de grandes fincas se encuentran en mejor posición económica para arriesgarse a adoptar las técnicas de AC en cultivos herbáceos. En consonancia con estos resultados, otros estudios también han señalado que solo los grandes agricultores pueden invertir en nueva maquinaria de alto costo para implementar las técnicas de AC y asumir las posibles pérdidas de rendimientos en los primeros años de conversión al AC (Andersson and D'Souza, 2014; Baumgart-Getz et al., 2012; Bolliger et al., 2006; Rodríguez-Entrena and Arriaza, 2013).

Las fincas estudiadas tienen una superficie media de cultivos herbáceos de 269 ha (17-1 025 ha) y es frecuente que una parte de esta superficie se cultive con AC y el resto con agricultura convencional con laboreo. Solo un 47% de estas fincas cultivan toda la extensión de cultivos herbáceos bajo técnicas de AC. Por finca, la superficie media de cultivos herbáceos en AC es de 155 ha, aunque esta superficie puede variar en un rango de 5 a 1 025 ha.

Problemas físicos en finca: Los principales problemas asociados al suelo de las fincas que han referido los entrevistados son el encharcamiento (48%) y la pedregosidad (11%). Problemas de salinidad y de erosión también se mencionaron pero en menor proporción. A pesar de no considerar la erosión como uno de los problemas principales, el 57% de los agricultores afirmaron tener parcelas con problemas de erosión (con pendiente mayor del 8%) y la gran mayoría de ellos (81%) las cultivan con técnicas de AC.

Maquinaria: Al predominar las fincas grandes, la mayoría de los agricultores disponen de maquinaria propia y un 50% de los entrevistados afirman que han tenido que comprar nueva maquinaria para implementar las técnicas de AC, principalmente sembradoras (36,6%) y tractores (10%). Un 73% de las fincas tienen sus propios tractores, con una media de unos 6 tractores por finca. En total se ha recopilado información de un total de 97 tractores, encontrándose algunas fincas con solo un tractor frente a otra con 25 tractores. La mayoría de los tractores tienen menos

de 10 años (67% del total) y son de doble tracción (75%). La potencia de estos tractores está entre los 50-100 CV (52%) y los 100-150 CV (43%). La mayoría de los agricultores de AC entrevistados (68%) tienen una sembradora específica para siembra directa (SD), mientras que el resto contrata este servicio (Figura 4.3). Las sembradoras más comunes son las de chorrillo y las de precisión o monograno (53 y 31% de las sembradoras de SD, respectivamente), encontrándose algunas con dispositivos abre-surcos de discos y otras con dispositivos de rejas (68% y 16%, respectivamente). Mayoritariamente las sembradoras incorporan dispositivos para aplicar fertilizantes (73%), corte de rastrojos (46%) y para limpiar los surcos (51%). El control de la profundidad del tren de siembra se realiza independiente para cada línea de siembra (49%), por grupos de líneas (16%) o por el conjunto de la sembradora (11%).

Más del 70% de las sembradoras de siembra directa identificadas pertenecen a solo seis empresas de maquinaria, mayoritariamente extranjeras. Entre las marcas comerciales de maquinaria encontradas destacan tres marcas extranjeras (Monosem, 16%; Kuhn-Metasa, 16%; y Semeato, 11%) y tres marcas nacionales (Solá, 11%; Gil, 8%; y Noli, 6%).



Figura 4.3 Sembradora de siembra directa de monograno realizando una siembra de trigo sobre cañotes de girasol. a) Perspectiva trasera de la sembradora con los discos y b) detalle del dispositivo de aplicación de fertilizante líquido (Palma del Condado, Huelva; enero 2014)

De manera puntual también se han identificado otras marcas comerciales principalmente extranjeras como Bertini, Kverneland y Sulky. Estos resultados coinciden con los datos a nivel nacional que también indican que apenas cinco empresas controlan más de tres cuartas partes del mercado nacional de ventas de las sembradoras de siembra directa (MAGRAMA, 2014).

Los agricultores afirmaron estar totalmente o bastantes satisfechos (68%) con el funcionamiento de las sembradoras de SD en cereales y solo un 16% afirman estar moderadamente satisfecho, principalmente con modelos de Sulky y de Metasa. Este grado de satisfacción se refleja en que el 78% de los agricultores manifiesta que, por ahora, no estarían dispuestos a cambiar sus sembradoras de SD.

4.3.4 Manejo de las fincas en Agricultura de Conservación

Los datos presentados en este apartado hacen referencia al manejo de AC realizado tanto a nivel de finca o agricultor como al realizado a nivel de parcela. Algunos agricultores contribuyeron con más de una parcela de cultivo si estas se encontraban en diferentes municipios o si el manejo de las parcelas era distinto. En total se han muestreado 30 fincas que han aportado datos de manejo para 73 parcelas.

Rotaciones de cultivos

El trigo y el girasol son los cultivos más frecuentes en las fincas estudiadas (Figura 4.4). El trigo está presente en todas las fincas y el girasol en más del 75%. El cultivo del algodón solo se ha identificado en aproximadamente una cuarta parte de las fincas y otros cultivos como maíz, tomate, guisante, veza y altramuz solo estaban presentes en una de las 30 fincas muestreadas.

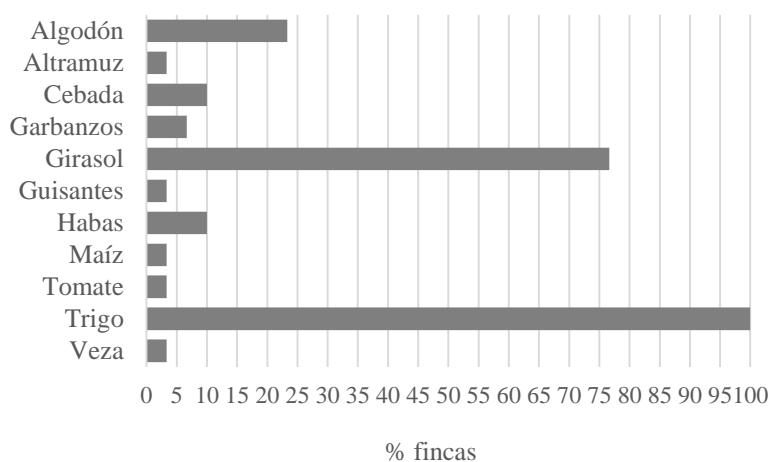


Figura 4.4 Cultivos presentes en las fincas incluidas en el estudio (n=30)

En la Figura 4.5 se presentan las frecuencias absolutas de los principales cultivos presentes en las parcelas de las que se recopiló información (n=73) distinguiendo los sistemas de siembra directa (sistemas donde no se realiza ninguna labor de suelo previa a la siembra del cultivo) y mínimo laboreo (sistemas donde se realiza alguna labor superficial del suelo previa a la siembra del cultivo). El trigo, principalmente trigo duro, y el girasol son los cultivos más comunes (presentes en el 100% y 77% de las parcelas, respectivamente), seguidos de las leguminosas (habas, garbanzo, guisante, veza y altramuz) y del algodón. También se han encontrado de forma puntual parcelas con cebada, maíz y tomate.

El análisis estadístico muestra que existe una relación entre el tipo de cultivo y el sistema de AC (Prueba de Fisher, $p < 0.0001$). Los cultivos de cereales como el trigo, la cebada y el triticale se cultivan mayoritariamente en sistemas de siembra directa, aunque también se han identificado puntualmente parcelas con girasol y con algunas leguminosas, como las habas y la veza. A excepción de los cereales, el resto de cultivos identificados en las parcelas mayoritariamente se maneja como sistemas de mínimo laboreo (Figura 4.5).

Las rotaciones de cultivo son uno de los principios básicos de los sistemas de AC. Algunos estudios han resaltado que cuando no se realizan rotaciones en los sistemas de no laboreo existe mayor probabilidad de pérdidas de rendimientos (Lundy et al., 2015) y de problemas de arvenses (Nichols et al., 2015). En la mayoría de las fincas estudiadas se realiza una única rotación de cultivos (67% del total de fincas) o a veces dos (26%). Solo un 7% de las fincas realizan 3 o más rotaciones de cultivos.

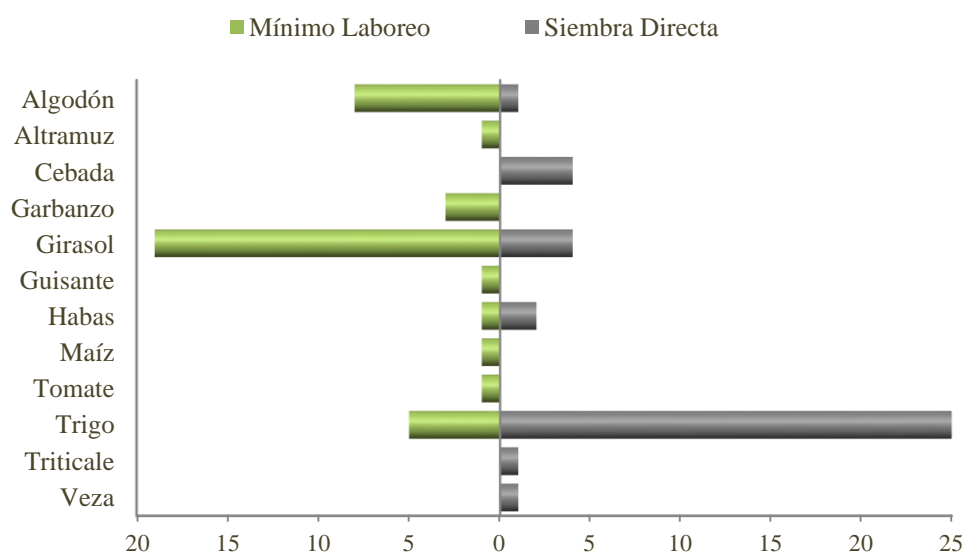


Figura 4.5 Principales cultivos identificados en las diferentes parcelas (n=73) bajo sistemas de siembra directa y de mínimo laboreo.

La rotación más común identificada es la de cereal-oleaginosa (trigo-girasol) que se encuentra en el 50% de las fincas (Figura 4.6). También se han identificado otras rotaciones como cereal-leguminosa o cereal-cereal-leguminosa (trigo-garbanzo/habas o trigo-cebada-garbanzo), cereal-cultivo industrial (trigo-algodón) y cereal-cereal (trigo-trigo-barbecho o trigo-pasto espontáneo). En las rotaciones que establecen todos sus cultivos en siembra directa prevalecen las rotaciones de cereal-cereal o cereal-cereal-leguminosa. Las rotaciones de AC en otras zonas de España con mayor extensión de cultivos en AC suelen ser diferentes a las realizadas por los agricultores andaluces. Normalmente en Cataluña y Aragón se suele alternar un cultivo de cereal (cebada) en siembra directa con barbecho o con alguna leguminosa (Álvaro-Fuentes et al., 2008; López et al., 2012; Vallés, 2009).

En el 14% de las parcelas identificadas (n=73) los cultivos se riegan. Las rotaciones más frecuentes en regadío incluyen trigo de secano con algún riego de apoyo en función del año y otros cultivos regados como el algodón, el maíz, la remolacha o el tomate (Figura 4.7). La rotación más típica de secano, trigo-girasol, está presente en el 30% de las parcelas que practican regadío, siendo la rotación principal junto con la de trigo-algodón (también en el 30% de las parcelas).

Algunos de estos cultivos (maíz, tomate, guisante, veza y altramuz) solo estaban presentes de forma puntual en alguna de las 30 fincas muestreadas. Considerando que son poco representativos en la muestra seleccionada de fincas, estos cultivos no se han considerado para el análisis en los siguientes apartados.

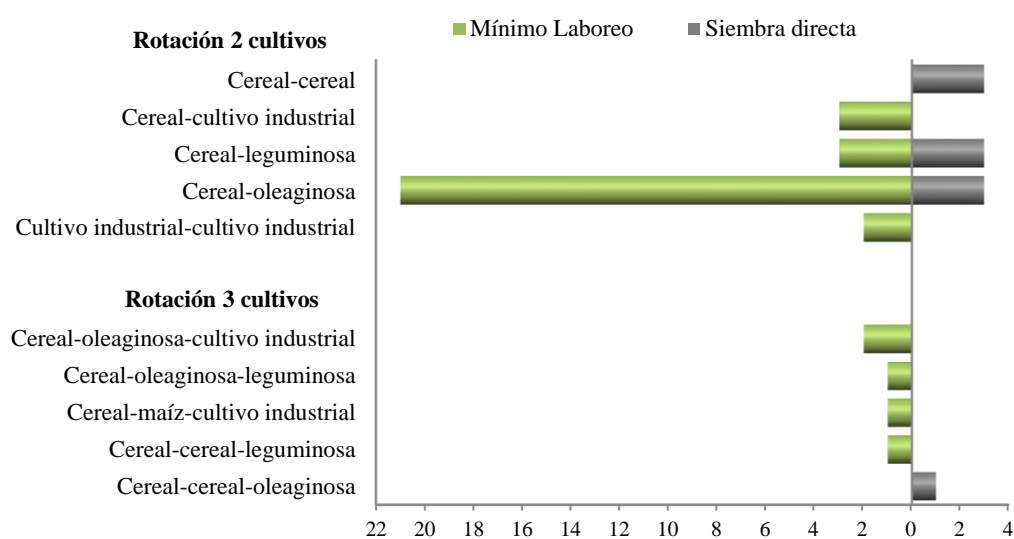


Figura 4.6 Frecuencia absoluta de las rotaciones de cultivo en sistemas de siembra directa y de mínimo laboreo identificadas en las fincas de los agricultores (n= 44 rotaciones en 30 fincas).

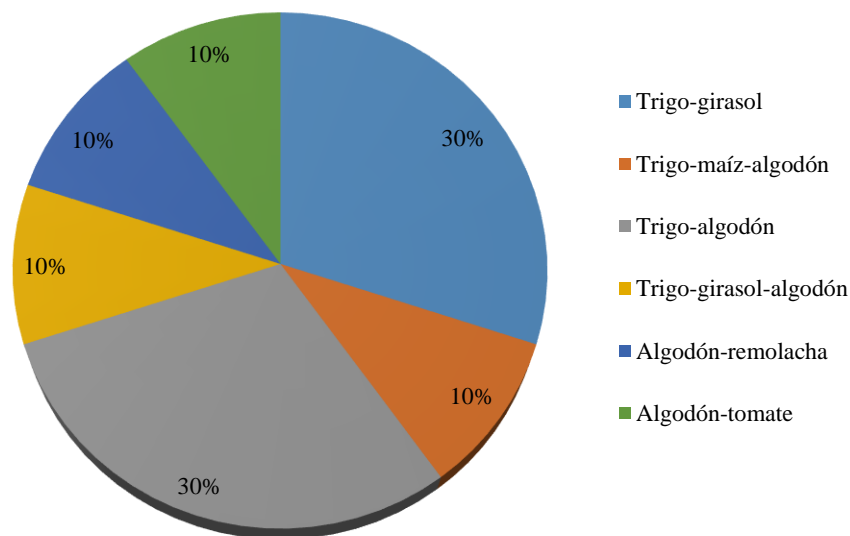


Figura 4.7 Porcentajes de parcelas y tipo de rotación en AC de regadío (n= 10 parcelas).

Algo más de la mitad de los agricultores encuestados (53%) piensa que la agricultura de conservación requiere una mayor diversificación de cultivos y el 57% de ellos estaría dispuesto a aumentar el número de cultivos en su finca. Sin embargo, los agricultores ven difícil aumentar la diversidad de sus cultivos, argumentando principalmente la baja rentabilidad de cultivos alternativos (70% de los encuestados), el desconocimiento de la agronomía de determinados cultivos alternativos (10%) y problemas de comercialización (7%).

Manejo del suelo

Según la información recogida de los agricultores, el 40% de las rotaciones que realizan son manejadas por una combinación entre siembra directa y mínimo laboreo, un 29% de las rotaciones solo en siembra directa, un 26% con mínimo laboreo, y el resto con laboreo convencional. El manejo del suelo bajo prácticas de AC puede llegar a ser muy similar al manejo convencional, sobre todo en los cultivos que no cereales, y normalmente no se conserva una cubierta permanente de residuos sobre el suelo. Los cereales son los cultivos mejor adaptados a la siembra directa, mientras que el manejo del suelo en otros cultivos como como las leguminosas, el algodón y el girasol suelen incorporar al menos un pase de cultivador previo a la siembra (Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Número y tipo de labores realizadas para cada uno de los principales cultivos en sistemas de AC. Entre paréntesis el número de parcelas identificadas para cada cultivo.

Cultivo	Labores del suelo ¹				Tipo de Labores	Labores esporádicas ²
	0	1	2	>3		
Trigo (n=30) Cebada (n=3)	77 100	23			Kongskilde	
Girasol (n=23)	17	48	18	17	Chisel o Kongskilde Chisel + Kongskilde Grada de discos	Regabina Semichisel
Algodón (n=7)	22	33	22	23	Chisel Chisel + Kongskilde Chisel + alomadora	Vertedera Grada de discos y alomadora
Leguminosas (n=8)	33	56	11		Chisel Grada de dientes Chisel+Grada	

¹ Porcentaje de parcelas de cada cultivo que presentan no laboreo o un determinado número de labores

² Labores esporádicas son aquellas labores que no se realizan anualmente, solo cuando el agricultor observa que son convenientes

En fincas grandes de más de 100 ha, la siembra del cereal de invierno resulta muy complicada cuando solo se dispone de una sembradora de siembra directa. El margen de tiempo del que disponen los agricultores para realizar la siembra entre los períodos de lluvia otoñal en Andalucía es limitado y, a veces, no es suficiente para realizar la siembra directa del trigo a tiempo. En general, los agricultores intentan sembrar todo el cereal que pueden en siembra directa, pero si el tiempo no lo permite e incluso para asegurarse el éxito de la cosecha, dejan algunas parcelas que manejan como un sistema de mínimo laboreo.

No es extraño que los agricultores presenten diferentes interpretaciones de lo que significa un sistema de AC. Frecuentemente, los agricultores creen que están realizando siembra directa solo por usar la sembradora de siembra directa. Por ejemplo, algunas parcelas que habían recibido un pase ligero de cultivador, pero que después habían sido sembradas con la sembradora de siembra directa eran definidas por los agricultores como parcelas en siembra directa. Debido a esta diferente interpretación, realmente solo el 60% de las parcelas de trigo, y el 8% de girasol fueron cultivadas bajo siembra directa en sentido estricto. Esta confusión de conceptos y técnicas

también se han encontrado en EE.UU., donde el 18% de los productores de maíz afirman practicar siembra directa, pero solo un 12% estaban realmente utilizando este sistema de labranza (Uri, 2000). Estos resultados muestran una necesidad de estandarización de conceptos referentes a los sistemas de AC, además de una importante labor de divulgación y formación de los agricultores en las técnicas de AC.

Cereales

Toda la cebada se sembró en siembra directa. Similares resultados se han encontrado en trigo donde la tendencia entre los agricultores es realizar también siembra directa (Figura 4.8). Un 23% de las parcelas con trigo se manejan con mínimo laboreo (una labor), aunque también hay parcelas donde se usa solo un pase de rulo o una rastra de dientes superficial (Tabla 4.1). Solo un 7% de las parcelas realizan labores esporádicas, principalmente un pase de subsolador o de grada de discos cada dos años.

Es de destacar que los agricultores que practican siembra directa para el cultivo del trigo reducen entre un 66-100% las labores de suelo realizadas por los agricultores que practican laboreo convencional descritas por MAGRAMA (2012). La parcela de trigo en laboreo convencional recibe como promedio 3 labores antes de la siembra: un pase de grada en agosto, otro pase de subsolador en septiembre y finalmente otro de cultivador en noviembre (Tabla 4.1).



Figura 4.8 Parcela de siembra directa de trigo sobre residuo de girasol.

Según los datos obtenidos, el girasol parece ser el cultivo más problemático para manejar bajo técnicas de AC. Solo en el 17% de las parcelas con este cultivo se ha realizado siembra directa (Tabla 4.1). Por lo general, la siembra del girasol en AC se realiza tras uno o dos pases de cultivador. En algunas parcelas dan un pase de grada de discos u otras combinaciones de labores como: chisel+rueda+rulo, chisel+vibrocultivador, chisel+grada de discos o chisel+grada de discos+rulo. Ocasionalmente, se realizan labores esporádicas en el cultivo del girasol, que consisten en un pase de regabina (marzo-abril) o un pase de semichisel cada dos años. Como promedio en los sistemas de laboreo convencional se realizan cuatro labores de suelo, empezando con un subsolador en julio, un pase de grada en agosto y dos pases de cultivador (chisel o kongskilde) en octubre y marzo, respectivamente (MAGRAMA, 2012). Los agricultores de laboreo convencional de Córdoba realizan un laboreo del suelo menos intensivo que en el resto de provincias (2 pases de cultivador y una grada de púas antes de la siembra). Este manejo de suelo realizado por los agricultores convencionales cordobeses puede resultar similar al mínimo laboreo del girasol que practican los agricultores de AC de este estudio.

Algodón

En las parcelas de algodón es donde se han realizado el mayor número de labores por cultivo (Tabla 4.1). Por lo general, en el cultivo del algodón se suele realizar uno o dos pases de cultivador y en algunas parcelas, suelen realizar un alomado previo a la siembra tras el pase de cultivador. En la zona del Bajo Guadalquivir, caracterizada por presentar parcelas de regadío, se han identificado algunas parcelas de algodón en las que se utiliza una sembradora de siembra directa, pero previamente a la siembra se realizan varias labores de suelo. Algunas de estas labores son muy agresivas con el suelo: escarificador+konskilder+rotativa o grada+chisel+konskilder+rotativa. Los agricultores de estas parcelas están convencidos de que están realizando AC y justifican el uso de la sembradora de siembra directa para el algodón porque en el momento de la siembra, al mover menos el suelo, éste conserva mayor humedad y así se evitan tener que realizar un riego de nascencia en el cultivo. Las labores esporádicas son muy comunes en el algodón. En un 56% de las parcelas con algodón se realizaron labores de vertedera o rotovator cada dos años, o pases de reja cada 3 años, o de grada de discos y alomadora cada 4 años.

Los sistemas de mínimo laboreo en el algodón han reducido como mínimo una cuarta parte del número de labores realizadas en los sistemas de laboreo convencional de algodón descritos por MAGRAMA (2012). En los sistemas de laboreo convencional del algodón se realizan como media seis pases de labor. Entre los meses de septiembre y marzo se realiza un pase de subsolador, otro de grada, un pase de cultivador y un pase de rastrillo o grada, además de otro de cultivador

justo antes de la siembra, y posterior a la siembra se suele realizar algún pase de regabina y un aporcado.

Leguminosas

En el cultivo de leguminosas el manejo del suelo es muy similar independientemente de la especie de leguminosa (habas, garbanzo, guisante, veza y altramuza). Por lo general se suele realizar una única labor para preparar el suelo y no se realizan labores esporádicas. Normalmente se suele dar un pase de chisel, o un pase de grada de dientes, o un pase conjunto de chisel+grada de discos.

Siembra

En la Tabla 4.2 se muestran las dosis de siembra, o densidad de plantas, usadas para cada uno de los cultivos de secano y para el algodón de regadío. Las dosis de siembra aplicadas son decisiones que toma el propio agricultor en función de su experiencia y criterio, aunque a veces sean tan diferentes como en el caso del trigo, por ejemplo, 120 kg ha⁻¹ aplicados por un agricultor de Córdoba frente a 370 kg ha⁻¹ aplicados por otro de Cádiz. Las fechas de siembra coinciden en las distintas zonas para todos los cultivos, en más del 95% de las parcelas.

Solo en las parcelas de trigo y de girasol los agricultores han manifestado tener problemas durante la siembra, particularmente girasol. En el 57% de las parcelas de girasol se han identificado problemas con la maquinaria de siembra directa, ya que la sembradora no termina de cerrar completamente la línea de siembra por la acumulación de residuos del cultivo anterior (generalmente trigo) o porque las parcelas presentan suelos arcillosos con alta humedad que limitan el funcionamiento de la maquinaria. Otro inconveniente señalado por los agricultores para el cultivo del girasol en siembra directa es una mayor presencia de plagas en siembra (13% de las parcelas con girasol): la alta concentración de residuos del cultivo anterior sirve de protección para determinadas larvas de coleópteros y lepidópteros que atacan al cultivo. Además, los agricultores también señalaron un posible retraso de la siembra del girasol a consecuencia de la menor temperatura del suelo debido a la presencia de residuos. Por el contrario, solo el 20% de las parcelas de trigo tenían problemas durante la siembra, aunque en algunos casos de forma puntual se han detectado problemas de compactación del suelo y de poco vigor inicial del cultivo. En años húmedos, en parcelas de trigo con suelos arcillosos, también se han detectado limitaciones de la maquinaria de siembra directa.

Tabla 4.2 Densidad de semillas o de plantas y fechas de siembra de los principales cultivos

Cultivo	Densidad de siembra ¹			Fecha de siembra
	Mediana	Mínimo	Máximo	
Cebada	180	175	180	Octubre
Trigo seco	200	120	370	Noviembre
Habas	120	80	190	Diciembre
Garbanzo	110	100	120	Marzo
Girasol	70 000	55 000	90 000	Marzo
Algodón regadío	210 000	180 000	250 000	Abril

¹ Trigo, cebada, habas y garbanzo (kg ha⁻¹); girasol y algodón (plantas ha⁻¹).

Fertilización

Cereales

En todas las parcelas de trigo de secano se aplican fertilizantes nitrogenados (Figura 4.9), y en una mayoría también se aplican fertilizantes fosfóricos y potásicos (en el 84% y 80% de las parcelas de trigo, respectivamente). Otros elementos como el azufre o el zinc se aplican en un 40% de las parcelas de trigo, principalmente en siembra. En solo una parcela se aplica abonado orgánico (estiércol). Las dosis medias de fertilizantes aplicadas en trigo son de 138 kg ha⁻¹ de N (variando entre 70-230 kg ha⁻¹), 33 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (0-143 kg ha⁻¹) y 33 kg ha⁻¹ de K₂O (0-143 kg ha⁻¹), pero no en todas las parcelas se aplica P y K. Según las recomendaciones locales (López-Bellido, 2009), el cultivo de trigo de secano requiere como media de 90-120 kg N, 60-90 kg P₂O₅ y 40-65 kg K₂O por hectárea, para un suelo sin carencias. La media de la dosis de fertilizante nitrogenado aplicada por los agricultores AC es algo mayor posiblemente por el temor a la inmovilización de nitrógeno en los primeros años. Por el contrario, las dosis de fósforo y potasio están por debajo de las dosis mínimas recomendadas (-27 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y -7 kg ha⁻¹ de K₂O).

Los agricultores usan diversos fertilizantes en las parcelas de trigo y los aportan en varias aplicaciones (Figura 4.9). Por lo general, una de estas aplicaciones se realiza durante la siembra y posteriormente se realizan dos coberteras. La aplicación en fondo suele realizarse entre octubre y la primera semana de noviembre, la aplicación en siembra durante noviembre y las coberteras se distribuyen entre los meses de diciembre a marzo.

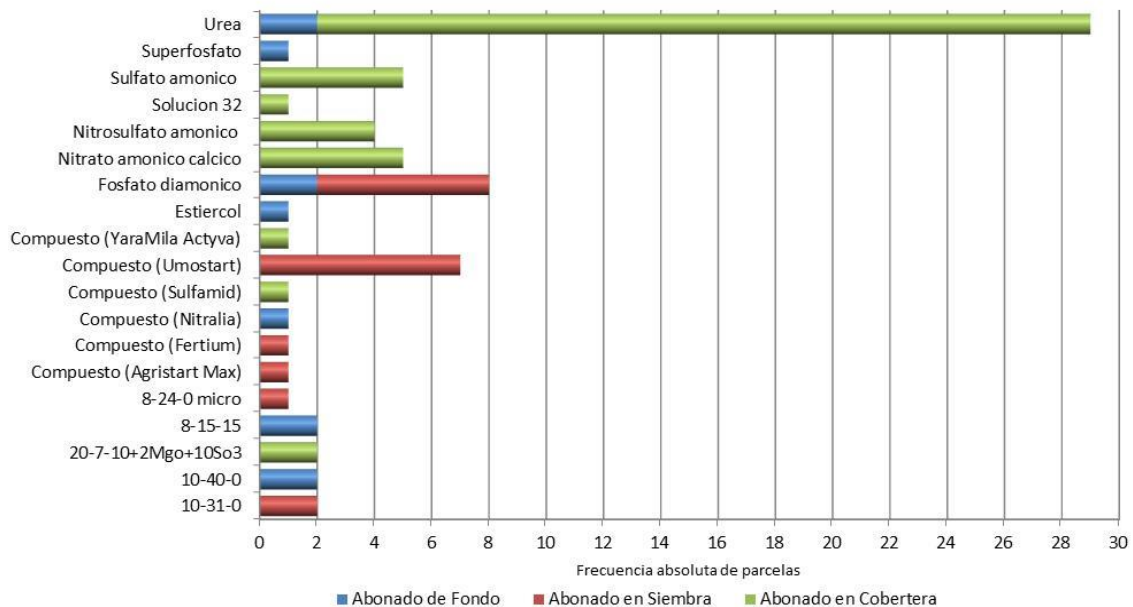


Figura 4.9 Fertilizantes aplicados en cada parcela de trigo durante el abonado de fondo, de siembra y de cobertera

En el cultivo de la cebada de secano las dosis medias aplicadas fueron 110 kg/ha de N y 20 kg/ha de P₂O₅, similares a las recomendadas localmente (López-Bellido, 2009). En el cultivo de cebada en AC se suele realizar una fertilización básicamente de nitrógeno y fósforo; en el 67% de las parcelas con cebada se aplicó además algo de azufre, pero en ningún caso se aplicaron fertilizantes potásicos. El fraccionamiento de los fertilizantes suele ser en siembra (noviembre), donde se incorporan los fertilizantes fosfóricos y algo de nitrógeno, y posteriormente se aplican dos coberteras (enero y febrero), con dosis más altas de nitrógeno y de azufre.

Girasol

En Andalucía el girasol de secano se maneja como un cultivo de bajos insumos y rara vez los agricultores aplicaron fertilizante ya que consideran que la raíz profunda del girasol puede aprovechar los nutrientes no utilizados por el cultivo anterior, de sistema radical menos profundo (López-Bellido et al., 2002). Solo un 35% de las parcelas de girasol que utilizan prácticas de AC se fertilizaron; en un tercio de estas parcelas el fertilizante se aplicó en fondo y dos tercios en siembra (63%). En fondo se aplicó como media unas 46 kg ha⁻¹ de N en forma de Urea (46% N) y en siembra 7 kg ha⁻¹ de N y 14 kg ha⁻¹ de P₂O₅ como abono complejo. Las dosis de fertilización recomendadas para cada 1 t de pipas de girasol obtenidas en la cosecha son de 30 kg ha⁻¹ N, 15 kg ha⁻¹ P₂O₅ y 30 kg ha⁻¹ K₂O (Urbano, 2009). Considerando que la mayoría de los agricultores tienen como objetivo un rendimiento de 1,5 t ha⁻¹, la dosis de 53 kg ha⁻¹ de N y 14 kg ha⁻¹ de P₂O₅

usada por aquellos que fertilizan es mayor que la recomendada para el N y menor para el P_2O_5 y el K_2O .

Leguminosas

El caso de las leguminosas de secano es similar al girasol ya que solo en un 38% de las parcelas con leguminosas se aplicó fertilizante, principalmente fertilizantes fosfóricos. Como media se aplicaron unos $44 \text{ kg ha}^{-1} P_2O_5$ en una aplicación de fondo. Por lo general, no es común fertilizar las leguminosas, aunque localmente se recomienda aplicar entre $15\text{-}20 \text{ kg ha}^{-1} N$, $30\text{-}40 \text{ kg ha}^{-1} P_2O_5$ y $35\text{-}50 \text{ kg ha}^{-1} K_2O$ para obtener unos rendimientos de $1000\text{-}2000 \text{ kg ha}^{-1}$ de grano (Ramos, 2009).

Algodón

Actualmente el algodón de regadío se cultiva en Andalucía en cierta medida como un cultivo de bajos insumos. En el 67% de las parcelas se aplicó alguna cantidad de fertilizantes, generalmente una sola aplicación ya sea en fondo (marzo), siembra (abril) o cobertera (mayo o junio). Como media se aplicaron 39 kg ha^{-1} de N y $43 \text{ kg ha}^{-1} P_2O_5$ en fondo o siembra, y 86 kg ha^{-1} de N en el caso de realizar alguna cobertera. Más del 80% del algodón cultivado en Andalucía recibe subvenciones por implementar técnicas de producción integrada. En estos casos la fertilización en el algodón no debe superar los $118.3 \text{ kg ha}^{-1} N$, $96 \text{ kg ha}^{-1} P_2O_5$ y $96 \text{ kg ha}^{-1} K_2O$. Los agricultores encuestados que practican AC en algodón no tendrían ningún problema para recibir estas ayudas, ya que las dosis de fertilizantes que aplican son muy inferiores a dosis máximas exigidas en Producción Integrada.

Control de arvenses

Los agricultores han señalado que las arvenses más comunes en sus parcelas de trigo son la malva (*Malva sylvestris*), presente en el 24% de las parcelas con trigo, el apiste (*Phalaris minor*) (8%), avena loca (*Avena spp.*) (3%), eneldo (*Ridolfia segetum*) (3%), margarita (*Chrysanthemum spp.*) (3%), jaramago (*Diplotaxis virgata*) (1%), ballico (*Lolium perenne*) (1%) y picris (*Picris echioides L.*) (1%). En el girasol destaca la presencia de cenizo (*Chenopodium album*) (4%) y de picris (4%). En la cebada hay mayor presencia de malva y eneldo, y en el algodón el tomatito (*Solanum nigrum*). No se ha mencionado ninguna arvense específica en las leguminosas.

En todas las parcelas con cultivos de cereales se realizan tratamientos herbicidas, a diferencia de las leguminosas o cultivos industriales donde no necesariamente se realizan estos tratamientos. Por ejemplo, en un 34% de las parcelas de algodón no se realizaron aplicaciones de herbicidas.

La AC está muy relacionada con el uso de herbicidas. Algunos autores señalan que durante los primeros años de adopción de no laboreo es posible que se incremente el número de tratamientos de herbicidas (Nichols et al., 2015) y que, a su vez, este aumento puede derivar en la aparición de resistencias a herbicidas en los sistemas de AC (Andersson and D'Souza, 2014; Soane et al., 2012; Trichard et al., 2013). Los datos de la Encuesta Internacional de malezas resistentes a herbicidas muestran que en 40 años (1973-2013) los casos de arvenses resistentes a herbicidas a nivel mundial han aumentado un 179% por año. Estados Unidos, Australia y Canadá están dentro de los cinco países con mayor superficie de siembra directa a nivel mundial y a su vez encabezan la lista de los países con el mayor número de casos de aparición de resistencias, encontrándose 146 casos de resistencias en Estados Unidos, 70 casos en Australia y 60 casos en Canadá (Heap, 2014; Jat et al., 2014). En España se han detectado más de 33 casos de arvenses resistentes a los herbicidas (Heap, 2014) y el abuso en el uso de los herbicidas de los sistemas de AC podría favorecer la aparición de nuevos casos.

El tratamiento herbicida varía en función de la materia activa y de los cultivos. En trigo se suelen realizar una media de dos tratamientos herbicidas por parcela, aunque en algunas se han llegado a realizar tres tratamientos. Un 41% del total de tratamientos realizados en las parcelas de trigo se realiza en presembrado y un 55% en postemergencia del cultivo. El glifosato (34% de las aplicaciones) junto con el MCPA+2,4-D (18%) y el Clodinafop-propargil+cloquintocet (12%) han sido los herbicidas más utilizados en el trigo. En cebada solo un 25% de los tratamientos se realizan en presembrado y los restantes tratamientos se realizan en postemergencia. Los herbicidas utilizados en cebada son similares a los descritos para el trigo. En las parcelas de girasol, los tratamientos herbicidas están más repartidos y suelen realizarse tanto en presembrado (34% de las aplicaciones realizadas en parcelas de girasol), como en preemergencia (34%) y postemergencia (31%). Entre los herbicidas utilizados en girasol destacan principalmente el glifosato (25% de las aplicaciones) y el oxifluorfen (22%), seguidos del linuron (19%) y el imazamox (16%). En algodón, cuando se realizan aplicaciones, el 60% de las aplicaciones se realizan antes de la siembra y el resto en preemergencia del cultivo. Entre los herbicidas utilizados en algodón destaca el fluometuron (45% de las aplicaciones realizadas en parcelas de algodón) y el glifosato (36%). Entre las leguminosas es común realizar un par de aplicaciones de herbicidas, uno en presembrado o preemergencia y el siguiente en postemergencia. El glifosato es el herbicida más utilizado (42% de las aplicaciones realizadas en parcelas de leguminosas) seguido del linuron (25%). En la mayoría de los casos los agricultores afirman que el comportamiento de la mayoría de las materias activas de herbicidas usadas en sus parcelas para el control de las arvenses es aceptable o bueno. Solo en el caso del trigo algunos agricultores afirmaron un comportamiento deficiente del Clodinafop-propargil+cloquintocet, usado contra las gramíneas, y un comportamiento muy variable del Tribenuron metil para el control de dicotiledóneas.

El glifosato ha sido el herbicida más utilizado en todos los cultivos estudiados, excepto para el algodón. Este herbicida es también el más usado a nivel mundial (Heap, 2014). Existen estudios en laboratorio que indican que la presencia del glifosato en los medios acuáticos pueden ser letales para los anfibios y en los que se propone limitar el uso de glifosato para la conservación del medio natural, especialmente el acuático (Relyea and Jones, 2009; Cabido y Garin-Barrio, 2013). Durante décadas la Agencia de Protección Ambiental y la Organización Mundial de la Salud han clasificado al glifosato como levemente tóxicos para humanos o sin ningún tipo de riesgo para la salud humana (Williams et al., 2000). Sin embargo, trabajos recientes han discutido su inocuidad al mostrar efectos negativos de este herbicida en la salud humana (Gasnier et al., 2009; Ho and Sirinathsinghji, 2013). Estos efectos han llevado en marzo de 2015 a la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, que forma parte de la Organización Mundial de la Salud de las Naciones Unidas, a clasificar el glifosato en la categoría 2A que hace referencia a las sustancias posiblemente cancerígenos para humanos.

Para evitar la aparición de resistencias a los herbicidas y evitar posibles daños ambientales o a humanos, los agricultores que manejan sistemas de AC deberían diversificar las estrategias de control de arvenses, pudiendo llegar a conservar cierto nivel de arvenses sin que esto suponga una penalización del rendimiento o una disminución de la biodiversidad (Armengot et al., 2012). Estrategias de manejo de arvenses como las rotaciones con leguminosas, mayores densidades de siembra, la siembra en líneas agrupadas, cambios en las fechas de siembra o la prevención de dispersión de semillas, podrían resultar eficaces para el control de arvenses en AC (Armengot et al., 2014; Bajwa, 2014; Kurstjens, 2007; Nichols et al., 2015).

Control de plagas y enfermedades

Para todos los cultivos, más del 90% de los agricultores consideran que la AC presenta los mismos problemas de plagas y enfermedades que la agricultura convencional, y por tanto necesitan los mismos tratamientos. Solo en una finca de AC situada en la Comarca de Antequera (Málaga) se han identificado graves problemas de plagas en el cultivo de cereales. La elevada acumulación de residuos de cultivo tras tres años continuados de cereales favoreció que la población de Zabro (*Zabrus tenebroides*) se multiplicara rápidamente y que en menos de una semana se perdiera todo el cultivo de cereal de la finca. En el cultivo del girasol se han identificado problemas con el gusano de alambre (*Agriotes spp.*) y con los pájaros, debido también a la acumulación de residuos y a los problemas con la maquinaria de siembra directa de girasol que no cierra la línea de siembra dejando las semillas expuestas a cualquier depredador.

Rendimientos

En todas las parcelas de girasol y leguminosas, y mayoritariamente en las de trigo (73% de las parcelas con trigo) y de algodón (67% de las parcelas con algodón), los agricultores consideran que el rendimiento obtenido en AC es el mismo que en agricultura convencional. Estos resultados coinciden con trabajos experimentales en los que no se encontraron diferencias en el rendimiento de cultivos herbáceos entre los sistemas de AC y los de laboreo convencional (Boulal et al., 2012; Hernanz et al., 2014; Moreno et al., 1997; Madejón et al., 2009; Ordoñez et al., 2007; Sánchez-Girón et al., 2007) pero contrasta con un reciente meta-análisis que muestra una penalización en el rendimiento con la adopción de la AC (Pittelkow et al., 2015). Es posible que el laboreo realizado en los cultivos que no son cereales tenga un efecto positivo en crecimiento y rendimiento del cereal minimizando posibles problemas de compactación en el cultivo (Dang et al., 2015; Van de Putte et al., 2010).

En la Tabla 4.3 se presentan los rendimientos medios por cultivo, máximos y mínimos, y el periodo de la cosecha. No se han incluido aquellos cultivos presente solo en una parcela como el maíz, el girasol de regadío, tomate, veza y altramuz. Los valores medios de rendimiento de trigo y girasol en secano son similares a los obtenidos por la Red Andaluza de Experimentación Agraria (RAEA) bajo técnicas de laboreo convencional (RAEA, 2006, 2007, 2008, 2011). Por el contrario, un ensayo experimental de la RAEA (2011) en girasol, obtuvo un 26% menos de rendimiento en las parcelas de siembra directa respecto a las de laboreo convencional, con unas producciones medias de 769 kg ha⁻¹ en siembra directa y de 1036 kg ha⁻¹ en laboreo convencional.

Manejo de residuos

En el 100% de las parcelas de cebada y en el 67% de las parcelas de trigo estudiadas los restos de cosecha se recogieron y se empacaron. En el 17% de las parcelas con trigo los agricultores prefirieron cortar, picar y distribuir uniformemente los restos de cultivo, frente a otro 7% que prefirió cortar y picar, sin distribuir, y un 9% que dejó sin picar los restos del cultivo.

En el 48% de las parcelas del girasol se cortaron y picaron los restos del cultivo; en un 17%, además de cortar y picar también se distribuyeron uniformemente sobre el terreno, y en un 35% de las parcelas se dejaron en pie sin tocar los restos del cultivo de girasol.

En el 67% de las parcelas de algodón se cortaron y picaron los tallos del algodón, y solo un 33% de los agricultores dejó en pie los restos del cultivo. En las parcelas con leguminosas, en el 63% de las parcelas se dejaron en pie los restos del cultivo y en el 37% restante se cortaron, picaron y distribuyeron uniformemente sobre el terreno.

Tabla 4.3 Rendimientos medios, máximos y mínimos de los principales cultivos

Cultivo	Rendimiento (kg ha ⁻¹)			Recolección
	Media	Mínimo	Máximo	
Cereales				
Trigo secano	3 560	1 400	5 000	Junio
Trigo regadío	5 000	4 000	6 000	Junio
Cebada	3 648	3 580	3 750	Mayo
Girasol secano	1 470	1 200	1 700	Agosto
Algodón regadío	2 480	1 000	3 500	Octubre
Leguminosas secano				
Habas	1 867	1 600	2 000	Junio
Garbanzo	1 373	1 200	1 545	Julio

Considerando el manejo de los residuos descrito, y que las parcelas de cultivos diferentes a los cereales se labran, no sorprende que los agricultores encuestados hayan declarado que el manejo de residuos no supone ningún problema en las parcelas con cultivos de girasol, leguminosas, algodón y cebada. Solo en el caso del trigo, un 17% de los agricultores afirmaron tener algunos problemas para manejar la elevada cantidad de residuos tras la cosecha cuando el cultivo anterior también había sido otro cereal. Es importante destacar que no se ha identificado ninguna parcela donde se realizara la quema de los residuos, que es una práctica muy común en el Valle del Guadalquivir con los residuos de trigo y girasol.

Los porcentajes de cobertura de residuos, antes de la siembra de cada cultivo están representados en la Figura 4.10. Previo a la siembra de todos los cultivos, la cobertura de residuos en la mayoría de las parcelas está comprendida mayoritariamente entre 0 y 30% de cobertura del suelo. Por lo general, se recomienda que para que la AC sea efectiva es necesario mantener como mínimo un 30% del suelo cubierto de residuos (FAO, 2013). La conservación de los residuos en los sistemas de no laboreo puede minimizar las posibles pérdidas de rendimiento (Pittelkow et al., 2015; Lundy et al., 2015), mejorar la calidad del suelo (Erenstein, 2002; López et al., 2012; Palm et al., 2014), limitar el crecimiento de arvenses (Nichols et al., 2015) y reducir los riesgos de erosión (Boulal et al., 2011). En un ensayo realizado en el NE de España se estimó una reducción del 20% del carbono orgánico del suelo en los primeros 20 cm del suelo al eliminar la capa de residuos del cultivo (López et al., 2012). Desde la percepción de la mayoría de los agricultores, el dejar los residuos sobre la superficie del suelo no les está aportando ningún beneficio. Los agricultores prefieren eliminar los residuos de los cultivos, motivados por razones culturales y económicas. Los beneficios económicos obtenidos de la venta de la paja son un fuerte incentivo para no dejar los residuos en campo. Por ejemplo, un agricultor obtiene alrededor de 12 € ha⁻¹ por la venta de la paja de cereal, pero en años con escasez de paja puede percibir hasta 40 € ha⁻¹.

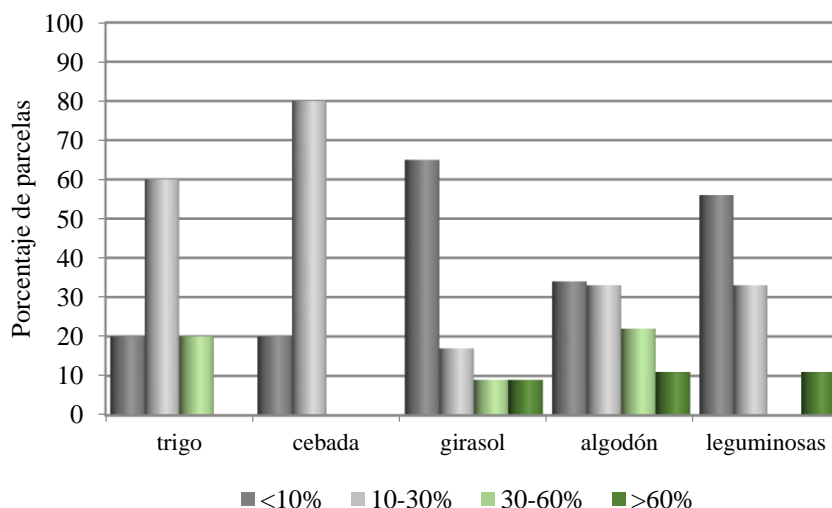


Figura 4.10. Porcentaje de cobertura de suelo con residuos del cultivo anterior justo antes de la siembra

4.3.5 Factores que afectan a la adopción o no adopción de la Agricultura de Conservación y posibles estrategias de mejora

Beneficios de la Agricultura de Conservación que favorecen su adopción

El ahorro de labores y los menores costes de cultivo, son los principales beneficios que encuentran los agricultores para adoptar AC (Tabla 4.4). Estos resultados coinciden con otros estudios sobre adopción de AC en los que también se destacan el ahorro de labores y los menores costes de cultivo como los principales atractivos para adoptar las técnicas de AC (Andersson and D'Souza, 2014; Bolliger et al., 2006; Soane et al., 2012).

Las parcelas de trigo, que mayoritariamente se realiza mediante siembra directa, son en las que mayores beneficios se han identificado. En un 50% de las parcelas de algodón y de leguminosas, y en un 22% de las parcelas de girasol, los agricultores afirmaron no obtener ningún beneficio económico por practicar AC, lo cual es lógico por las diferencias mínimas con los sistemas convencionales. También es de destacar que ningún agricultor mencionó la reducción de la erosión como uno de los beneficios directos del AC, a pesar de que un 57% de los agricultores afirmaron tener en las fincas algunas zonas de cultivo con más del 8% de pendiente, y que lo indicaron como una de las principales motivaciones para comenzar a practicar la AC. Estos resultados son contrarios a otros estudios que han afirmado que uno de los principales beneficios para la adopción de AC es la prevención de la erosión (Bolliger et al., 2006; Soane et al., 2012). Posiblemente la percepción de los agricultores en esta zona está asociada con los beneficios visibles a corto plazo, como ahorro de labores, y no tanto con los beneficios a largo plazo como el control de la erosión.

Tabla 4.4 Principales beneficios de la AC según los agricultores entrevistados, para diferentes cultivos, con el porcentaje de parcelas (%) donde se ha observado ese beneficio y su valoración (V)(1=muy importante, 4= nada importante)

	Trigo		Girasol		Algodón		Leguminosas	
	%	V (1-4)	%	V (1-4)	%	V (1-4)	%	V (1-4)
Ahorro de labores	87	1.6	43	2	13	2	25	2
Menos costes	67	1.7	70	1	25	1	38	1
Mayor rendimiento	37	2.5	9	3	38	2.3	-	-
Menor presencia de arvenses	17	2.6	4	2	-	-	-	-
Menor uso de fertilizante	13	2.5	4	2	13	4	13	2
Fertilización más temprana	7	2.5	-	-	-	-	-	-
Mejor estructura del suelo	7	2.5	9	1	-	-	13	1
Siembra más temprana	7	3	4	3	-	-	-	-
Mayor humedad en años secos	3	3	4	2	25	1.5	-	-
Ningún beneficio	7	-	22	-	50	-	50	-

Limitantes para la adopción de Agricultura de Conservación

Los principales limitantes o problemas para adoptar AC fueron identificados a través de la encuesta y posteriormente validados por el grupo focal. Es de destacar que en un 20% de las parcelas de trigo y en un 17% de las de girasol los agricultores afirmaron no encontrar ningún limitante para la práctica de la AC en sus parcelas (Tabla 4.5). Algunos de los principales limitantes para la adopción de AC coinciden con los señalados por otros autores en Europa (Soane et al., 2012): mayor presencia de arvenses, resistencia a herbicidas, el alto coste de los herbicidas y la falta de maquinaria especializada.

La falta de maquinaria de siembra directa adaptada a suelos arcillosos con alto contenido en humedad afectó a la mayoría de las parcelas de girasol (92%) y a algunas de trigo (13%). Los agricultores señalaron en las entrevistas que las sembradoras de siembra directa disponibles en el mercado no están adaptadas a suelos arcillosos y húmedos como los de la zona de estudio y que dejan la semilla en la superficie. Una mayor presencia de arvenses y la aparición de resistencias a herbicidas son otros de los limitantes identificados por los agricultores en ambos cultivos. Según datos de la Encuesta Internacional de Resistencias de Arvenses (Heap, 2014) en España hay actualmente 34 casos de especies resistentes a herbicidas, de los cuales 5 casos son en el cultivo del trigo.

Tabla 4.5. Problemas de la AC identificados por los agricultores en la encuesta para el trigo (T) y el girasol (G) y posibles estrategias propuestas por los participantes (P) del grupo focal para resolver cada problema. Porcentaje de fincas de cada cultivo que presentan ese problema (%) y la valoración del problema (V) definida por los agricultores (1=muy importante, 2=importante, 3=menos importante)

Encuesta					Grupo Focal	
Problemas identificados		Cultivo	%	V (1-3)	Posibles estrategias	P
Control de arvenses	Mayor presencia de arvenses	T	27	1.9	• Reducir espacio entre líneas de siembra	A
		G	22	2.6	• Mayor densidad de siembra	A
	Resistencia a herbicidas Alto precio de los herbicidas	T	7	1	• Uso de variedades resistentes a herbicidas (Crearfield® y ExpressSun®)	AAC
		G	13	2.7	• Mayor investigación en control de arvenses	A
Maquinaria	Compactación	T	7	1	• Uso de neumáticos de alta flotación o reducir la presión de los neumáticos	A
		G	92	1.3	• Evitar la siembra cuando los suelos arcillosos están húmedos	A
	Ausencia de maquinaria de siembra directa adaptada a suelos arcillosos con humedad (Vertisoles)	T	13	1.3	• Evaluar un laboreo esporádico	A
		G	92	1.3	• Pase de grada rápida para acelerar el tempero del suelo	VM
		T	7	1	• Sembradoras de cereal de rejas con discos cortadores delanteros	VM
		G	92	1.3	• Mayor oferta de empresas de servicios con maquinaria de siembra directa	A
Manejo de residuos	Mayor incidencia de plagas: • Escarabajos (Zabrus tenebrioides), babosas y hongos • Babosas y larvas de escarabajos (Agriotes spp.)	T	20	1.7	• Más investigación en maquinaria de siembra directa para girasol	A VM I
		G	17	2.3	• Simplificar la sembradora de siembra directa (menos rodamientos, eliminar el limitador de profundidad del disco y graduar la profundidad con anillas)	A I
	Desconocimiento del manejo Baja temperatura del suelo	T	7	1	• Eliminar el disco cortador para concentrar la fuerza de la sembradora en el disco de siembra	A
		G	9	2	• Incorporar discos turbo	A VM
				• Laboreo en la línea de siembra (<i>strip-till</i>)	A VM	
				• Insecticida granular aplicado en la línea de siembra	A	
				Problema no mencionado		
				Problema no mencionado		

Tabla 4.5. (Cont)

Encuesta				Grupo Focal		
Problemas identificados		C	F	V	Posibles estrategias	P
Fertilización	Deficiencia de fósforo en siembra	T	10	1.3	Problema no mencionado	
	Mayores dosis de fertilizante	T	7	2	Problema no mencionado	
	Desconocimiento de la dosis óptimas de fertilizante	T	3	2	Problema no mencionado	
	Mayor precio de los fertilizantes usados en siembra	T	3	2	Problema no mencionado	
Sin problemas		T	20		No existen problemas si se cumplen conjuntamente con los tres componentes de la AC	AAC
		G	17			

A = agricultor, VM = vendedor de maquinaria, AAC = representantes Asociación Española de Agricultura de Conservación de suelos, I = investigadores

Las especies resistentes a herbicidas presentes en el cultivo del trigo son *Bromus tectorum*, *Alopecurus myosuroides*, *Lolium rigidum* y *Papaver rhoeas*. Contradictoriamente, otros agricultores han señalado una menor presencia de arvenses como beneficio de la adopción de la AC. También se han identificado algunos problemas específicos relacionados con la fertilización, como desconocimiento de la dosis óptima de fertilizantes, el coste económico de los fertilizantes complejos usados en siembra directa y un mayor uso de fertilizantes. Además, la acumulación de residuos parece favorecer la presencia de plagas en trigo (*Zabrus tenebrioides*) y en girasol (gusanos de alambre y babosas).

En ocasiones estos problemas son específicos de determinadas zonas, por ejemplo, en trigo los problemas de babosas, hongos y mayor precio de los fertilizantes solo los han indicado los agricultores entrevistados de Córdoba, y la resistencia de arvenses solo se ha reportado en Sevilla. El limitante relacionado con la plaga de *Zabrus tenebrioides* está muy localizado y solo se ha detectado un caso muy grave en la Comarca de Antequera (Málaga) a causa de la gran acumulación de residuos en las parcelas tras varios años continuados de cereal.

En el cultivo del algodón en AC los principales problemas señalados fueron una mayor presencia de arvenses, mayor presencia de plagas y dificultad para ajustar las dosis de riego. En el cultivo de leguminosas, casi la mitad de los agricultores que las cultivaron afirmaron tener mayor presencia de arvenses en sus parcelas y problemas en la siembra porque la maquinaria no está adaptada para sembrar con mucha cantidad de residuos.

Estrategias de mejora

Las posibles estrategias de mejora para solucionar los limitantes de la AC en cultivos herbáceos andaluces fueron discutidas durante el grupo focal (Tabla 4.5). Principalmente los componentes del grupo focal se centraron en aportar soluciones para los problemas de maquinaria y de arvenses, no mencionando ninguna estrategia para el limitante de fertilización.

Maquinaria

Los agricultores, los investigadores y el vendedor de maquinaria propusieron algunas soluciones técnicas para aplicar a la maquinaria ya disponible localmente, mientras que los miembros de la AEAC/SV resaltaban que los problemas técnicos podrían ser solucionados si se aplicaran simultáneamente los tres componentes de la AC definidos por FAO (2013).

La falta de sembradoras de siembra directa adaptadas a las condiciones de humedad de los suelos arcillosos acaparó gran parte del tiempo del grupo focal. En el caso del trigo se resaltó la necesidad de aumentar la oferta de empresas de servicio que alquilen sembradoras de siembra directa, evaluar las consecuencias de un laboreo esporádico en años con mucha humedad como por ejemplo un pase de grada rápida para acelerar el tempero del suelo y alguna propuesta técnica como la fabricación de sembradoras de siembra directa de cereal de rejas con un disco cortador delantero que permita cortar los residuos. En el cultivo del girasol para esta problemática principalmente se aportaron sugerencias técnicas de mejora de la maquinaria ya existente para la siembra directa (eliminar el disco cortador, incorporar discos turbos, reducir el número de rodamientos y sustituir el limitador de la profundidad de discos por anillas), aunque también se mencionó la necesidad de mayor investigación en maquinaria y el uso de un sembradora que realice una labor en la banda que ocupa la línea de siembra (*strip-till*).

Otro de los limitantes relacionados con la maquinaria y mencionado por el grupo focal fue la compactación del suelo. Para este problema los agricultores tenían claro que la solución era evitar siempre que sea posible entrar en el campo con maquinaria cuando el suelo está húmedo. Además resaltaron los buenos resultados que estaban obteniendo con los neumáticos de alta flotación para evitar este problema.

En otros países como Brasil y Argentina el establecimiento de políticas públicas con financiación para desarrollar tecnología de maquinaria de siembra directa adaptada a las condiciones locales y para ayudar a la compra de sembradoras de siembra directa ha favorecido enormemente la adopción de la AC en estos países (Bolliger et al., 2006; Derpsch and Friedrich, 2009).

Control de arvenses

Los principales limitantes identificados en la encuesta relacionados con el control de arvenses fueron una mayor presencia de arvenses, la aparición de resistencias y el coste de los herbicidas. En general los agricultores resaltaron la necesidad de mayor investigación en control de arvenses en los sistemas de AC, pero también se mencionaron estrategias de mejora para evitar una mayor presencia de arvenses. Para el cultivo del trigo se sugirió reducir el espacio entre líneas de siembra y aumentar la densidad de siembra, mientras que para el girasol se recomendó el uso de variedades resistentes a herbicidas no transgénicas (Crearfield® y ExpressSun®).

Solo dos agricultores que participaron en la encuesta no consideraron las arvenses como un limitante para los sistemas de AC. Uno de ellos, se localiza en Huelva, con la rotación trigo-girasol de secano, y el otro agricultor en Sevilla con la rotación trigo-barbecho, incorporando el ganado vacuno para el control de arvenses. Sería recomendable profundizar sobre el manejo realizado por estos agricultores para identificar posibles estrategias de manejo de arvenses que pudieran aplicarse en otras comarcas.

Manejo de residuos

El principal limitante relacionado con el manejo de residuos es la aparición de plagas agrícolas como babosas, *Agriotes spp.* o *Zabrus tenebroides*. Uno de los agricultores sugirió la aplicación de insecticida granulado en la línea de siembra para controlar la aparición de estas plagas. Por el contrario, el limitante relacionado con la plaga de *Zabrus* está muy localizado en la Comarca de Antequera (Málaga). Según este agricultor la única forma de controlar esta plaga fue realizar una labor esporádica con una grada de discos; aunque inicialmente se planteó quemar los residuos, decidió no hacerlo por los posibles daños ambientales que hubiera podido causar.

4.3.6 Necesidades de investigación en los sistemas de Agricultura de Conservación

Los agricultores señalaron el manejo de arvenses, maquinaria y fertilización como los principales limitantes para la adopción de AC en cultivos herbáceos (Tabla 4.5). Consecuentemente, el manejo de arvenses y fertilización fueron reconocidos por los agricultores como las áreas prioritarias de investigación en los sistemas de cultivos herbáceos de AC (Figura 4.11). Maquinaria, rotaciones, variedades y erosión son otras de las principales líneas de investigación demandadas por los agricultores. En Andalucía, la mayoría de estudios de investigación están centrados en estudiar el potencial de la AC para mejorar la calidad del suelo y reducir la erosión, tanto en cultivos en secano (López-Bellido et al., 2010; López-Garrido et al., 2011; Melero et al., 2011a,b) como en regadío (Boulal et al., 2010, 2011; Panettieri et al., 2013). Por el contrario,

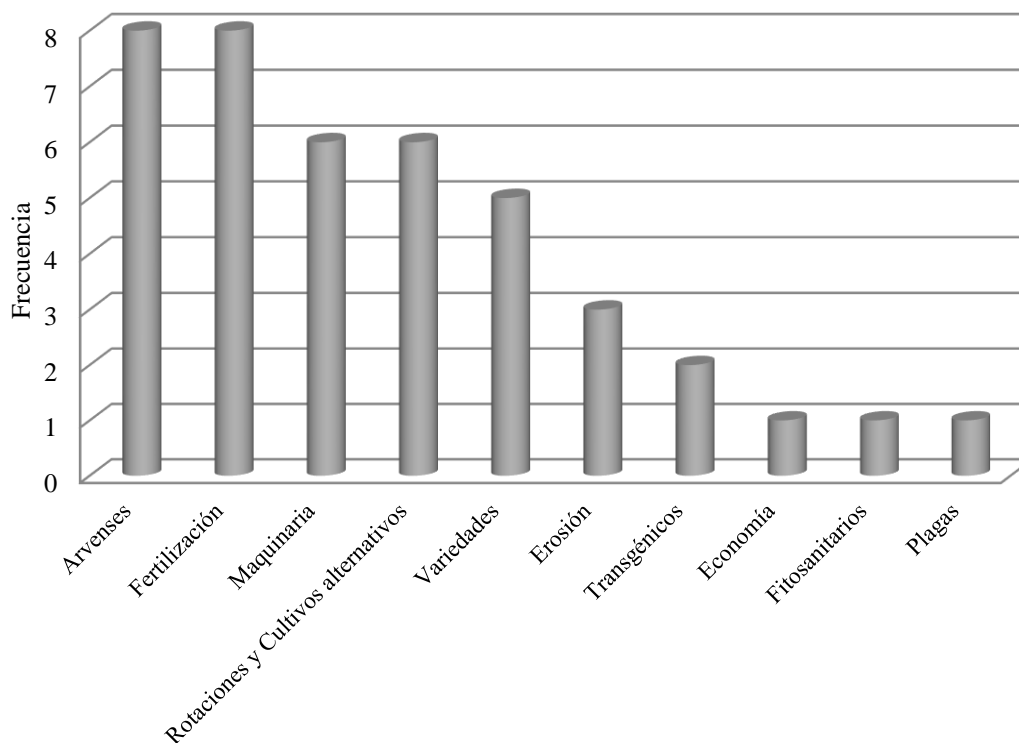


Figura 4.11 Principales líneas de investigación a desarrollar para favorecer la adopción de AC en cultivos herbáceos (n=41 parcelas).

las áreas prioritarias de investigación demandadas por los agricultores apenas si han sido estudiadas a escala de parcela comercial.

Además de las áreas de investigación identificadas como prioridad por los agricultores, la investigación en AC puede ser más efectiva si se trabajara a escala de parcela comercial, directamente con los agricultores. Para favorecer la adopción de la AC en cultivos herbáceos del Valle del Guadalquivir, nuevos proyectos de investigación a escala parcela comercial tienen que ser desarrollados en base a las áreas prioritarias demandadas por los agricultores.

4.4 Conclusiones

Los propietarios de grandes fincas (> 500 ha) son los que principalmente se han arriesgado a adoptar las técnicas de AC en cultivos herbáceos, principalmente en secano. El perfil del agricultor de AC es un hombre de edad comprendida entre los 46-65 años, con estudios universitarios y cuya actividad económica principal es la agricultura.

La AC en cultivos herbáceos en el Valle del Guadalquivir es una combinación de siembra directa y mínimo laboreo, entendiendo que un cultivo de la rotación se realiza con siembra directa (normalmente el cereal) y el siguiente cultivo con un mínimo laboreo (girasol o leguminosa). Por lo general se realiza una rotación por finca, siendo la rotación más común la de trigo-girasol de secano. La presencia de cereales dentro de la rotación ha favorecido significativamente la adopción de la siembra directa pues, excepto en suelos arcillosos con mucha humedad, la siembra directa de trigo no ha presentado ninguna complicación importante. El trigo es el cultivo principal de la rotación y el que mayor número de aplicaciones de fertilizantes y herbicidas recibe. En la fertilización del trigo se aplican principalmente fertilizantes nitrogenados, distribuidos en tres aplicaciones (siembra y dos coberteras). En los principales cultivos que no son cereales (girasol, algodón o leguminosas), generalmente el suelo se labra y solo se aplican fertilizantes de manera excepcional. Los agricultores no realizan un mayor número de tratamientos fitosanitarios en AC en comparación con la agricultura convencional, pero sí han observado una mayor presencia y resistencia a herbicidas de las arvenses. Los agricultores tampoco han detectado una penalización en los rendimientos de los cultivos tras la adopción de la AC. Respecto a la cobertura del suelo por residuos, la mayoría de las parcelas, independientemente del cultivo, presentaron una cobertura inferior al 30%. Los beneficios económicos obtenidos de la venta de la paja, o la prevención de posibles ataques de plagas, son los principales motivos mencionados por los agricultores para no dejar los residuos de cultivo en las parcelas.

Entre las motivaciones de los agricultores para iniciar la práctica de técnicas de AC destacan el aumento de la fertilidad del suelo, la reducción de la erosión y la rentabilidad económica. Sin embargo, los principales beneficios señalados específicamente para los cultivos fueron el ahorro de labores y los menores costes de cultivo.

Los limitantes para la adopción del AC difieren en función del cultivo. Para el cultivo del trigo los principales limitantes del AC son los relacionados con el manejo de arvenses (mayor presencia de arvenses y aparición de resistencias a herbicidas), seguidos de problemas con la maquinaria (en suelos arcillosos con alto contenido de humedad) y de fertilización (cálculo de dosis óptimas de fertilizantes y mayor precio de los fertilizantes usados en siembra). En el cultivo de girasol 92% de las parcelas presentaron problemas con la sembradora de siembra directa que parece no estar adaptada a suelos arcillosos con humedad.

Aunque los estudios en parcelas experimentales han demostrado claros beneficios del AC en la mejora de la calidad del suelo, la adopción del AC en cultivos herbáceos en Andalucía depende en gran medida de la percepción y de la experiencia de los agricultores en este tipo de técnicas, así como de solucionar los principales problemas técnicos asociados. Por un lado, es necesario que los agricultores comprendan el papel relevante de los residuos de cultivo como protección y

mejora del suelo, y que algunos beneficios de la AC son visibles a largo plazo. Por otro lado, factores agronómicos, ambientales y sobre todo socioeconómicos van a influir en la adopción de la AC. Futuras líneas de investigación participativas centradas en las necesidades identificadas por los agricultores (manejo de arvenses, fertilización y maquinaria) deberían ser implementadas por los investigadores para resolver los problemas encontrados en campo y favorecer la adopción del AC en cultivos herbáceos. Además, el perfil tan específico del agricultor de AC resalta una barrera socioeconómica que limita la adopción de estos sistemas entre pequeños agricultores. Una mayor difusión y formación de las técnicas de AC entre cualquier tipo de agricultor, independientemente de su sexo, edad, formación académica o tamaño de finca, favorecería la adopción de la AC en Andalucía.

4.5 Referencias

- Álvaro-Fuentes, J., López, M.V., Arrúe, J.L., Cantero-Martínez, C. 2008. Management effects on soil carbon dioxide fluxes under semiarid Mediterranean conditions. *Soil Science Society of America Journal* 72:194–200.
- Andersson, J.A. and D’Souza, S. 2014. From adoption claims to understanding farmers and contexts: A literature review of Conservation Agriculture (CA) adoption among smallholder farmers in southern Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187:116–132.
- Armengot, L., José-María, L., Chamorro, L., Sans, X. 2012. Weed harrowing in organically grown cereal crops avoids yield losses without reducing weed diversity. *Agronomy for Sustainable Development* 33:405–411.
- Armengot, L., Berner, A., Blanco-Moreno, J.M., Mäder, P., Sans, X. 2014. Long-term feasibility of reduced tillage in organic farming. *Agronomy for sustainable development*. Septiembre 2014 DOI.10.1007/s13593-014-0249-y.
- AEAC/SV (Asociación Española de Agricultura de Conservación y Suelos Vivos). 2008. Actuación 2: Identificación de las áreas del territorio nacional aptas para la Agricultura de Conservación. Situación actual. En: Informe final del proyecto Métodos de Producción Agraria Compatibles con el Medio Ambiente: Lucha contra la Erosión y Agricultura de Conservación. Coord. Ayuso, J., Gil, J., Veroz, O., Ordoñez, R., Gonzalez, E. Ministerio del Medio Ambiente Rural y Marino del Gobierno de España, Universidad de Córdoba y AEAC/SV
- Bajwa, A.A. 2014. Sustainable weed management in conservation agriculture. *Crop Protection* 65:105-113.
- Baumgart-Getz, A., Prokopy, L.S. and Floress, K. 2012. Why farmers adopt best management practice in the United States: a meta-analysis of the adoption literature. *Journal of environmental management* 96:17–25.
- Bolliger, A., Magid, J., Carneiro Amado, T.J., Skora Neto, F., Santos Ribeiro, M.F., Calegari, A., Ralisch, R., Neergaard, A. 2006. Taking Stock of the Brazilian “Zero-Till Revolution”:

- A Review of Landmark Research and Farmers' Practice. *Advances in Agronomy* 91:47–110.
- Boulal, H., Gómez-Macpherson, H. 2010. Dynamics of soil organic carbon in an innovative irrigated permanent bed system on sloping land in southern Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139:284-292.
- Boulal, H., Gómez-Macpherson, H., Gómez, J.A., Mateos, L. 2011. Effect of soil management and traffic on soil erosion in irrigated annual crops. *Soil and Tillage Research* 115-116:62-70.
- Boulal, H., Gómez-Macpherson, H., Villalobos, F.J. 2012. Permanent bed planting in irrigated Mediterranean conditions: Short-term effects on soil quality, crop yield and water use efficiency. *Field Crops Research* 130:120-127.
- Cabido, C., Martínez-Saura, C., Garin-Barrio, I. 2013. Vulnerabilidad de los anuros vascos al glifosato: diversidad y crisis en los efectos. IV Congreso de Biodiversidad, Bilbao, 6,7 y 8 de febrero.
- Dang, Y.P., Moody, P.W., Bell, M.J., Seymour, N.P., Dalal, R.C., Freebairn, D.M., Walker, S.R. 2015. Strategic tillage in no-till farming systems in Australia's northern grains-growing regions: II. Implications for agronomy, soil and environment. *Soil and Tillage Research* 152:115-123.
- Derpsch, R., Friedrich, T. 2009. Global overview of conservation agriculture adoption. 4th Congress on Conservation Agriculture, New Delhi, India.
- Erenstein, O. 2002. Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil and Tillage Research* 67:115-133.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2013. Basic Principles of Conservation Agriculture. <http://www.fao.org/ag/ca/1a.html> (último acceso 10.2014).
- Farooq, N. 2001. Conservation agriculture and the rural women. Breaking barriers for a new horizon. I World Congress on Conservation Agriculture. Madrid, 43-50.
- Gasnier, C., Dumont, C., Benachour, N., Clair, E., Chagnon, M.C., Séralini, G.E. 2009. Glyphosate-based herbicides are toxic and endocrine disruptors in human cell lines. *Toxicology* 262:184-191.
- Harman Parks, M., Christie, M.E. and Bagares, I. 2014. Gender and conservation agriculture: constraints and opportunities in the Philippines. *GeoJournal*. Open Access Febrero 2014. DOI: 10.1007/s10708-014-9523-4.
- Heap, I. 2014. Chronological Increase in Resistant Weeds Globally. International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Available at: www.weedscience.org (último acceso 09.2014).
- Hernanz, J.L., Sánchez-Girón, V., Navarrete, L., Sánchez, M.J. 2014. Long-term (1983–2012) assessment of three tillage systems on the energy use efficiency, crop production and seeding emergence in a rain fed cereal monoculture in semiarid conditions in central Spain. *Field Crops Research* 166:26–37.
- Ho, M.W. and Sirinathsingji, E. 2013. Ban GMOs Now. Health & Environmental Hazards. Especially in the light of the new genetics. Institute of Science in Society (ISIS). Disponible en: http://www.i-sis.org.uk/Ban_GMOs_Now.php

- INE, 2014. Censo agrario 2009. Instituto Nacional de Estadística. <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft01%2Fp042/E01&file=inebase>
- Jat, R., Sahrawat, K., Kassam, A., Friedrich, T. 2014. Conservation Agriculture for sustainable and resilient agriculture: Global status, prospects and challenges. Conservation Agriculture: Global Prospects and Challenges. CAB International. Chapter 1, 1-25.
- Kurstjens, D.A.G. 2007. Precise tillage systems for enhanced non-chemical weed management. *Soil and Tillage Research* 97:293-305.
- Lahmar, R. 2010. Adoption of conservation agriculture in Europe. Lessons of the KASSA project. *Land Use Policy* 27:4-10.
- López-Bellido, R., López-Bellido, L., Castillo, J., López-Bellido, F. 2002. Sunflower response to tillage and soil residual nitrogen in a wheat – sunflower rotation under rainfed Mediterranean conditions. *Australian Journal of Agricultural Research* 53:1027-1033.
- López-Bellido, L. 2009. Abonado de los cereales de invierno: trigo y cebada. En: Guía Práctica de la Fertilización Racional de los cultivos de España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Capítulo 16:123-133.
- López-Bellido, R.J., Fontán, J.M., López-Bellido, F.J., López-Bellido, L. 2010. Carbon Sequestration by Tillage, Rotation, and Nitrogen Fertilization in a Mediterranean Vertisol. *Agronomy Journal* 102:310-318.
- López, M.V., Blanco-Moure, N., Limón, M.A., Gracia, R. 2012. No tillage in rainfed Aragon (NE Spain): Effect on organic carbon in the soil surface horizon. *Soil and Tillage Research* 118:61-65.
- López-Garrido, R., Madejón, E., Murillo, J.M., Moreno, F. 2011. Soil quality alteration by mouldboard ploughing in a commercial farm devoted to no-tillage under Mediterranean conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140:182–190.
- Lundy, M.E., Pittelkow, C.M., Linquist, A., Liang, X., Van Groenigen, K.J., Lee, J., Six, J., Venterea, R.T., Van Kessel, C. 2015. Nitrogen fertilization reduces yields declines following no-till adoption. *Field Crops Research* 183:204-210.
- Madejón, E., Murillo, J.M., Moreno, F., López, M.V., Arrúe, J.L., Álvaro-Fuentes, J., Cantero, C. 2009. Effect of long-term conservation tillage on soil biochemical properties in Mediterranean Spanish areas. *Soil and Tillage Research* 105:55–62.
- MAGRAMA, 2012. Cálculo de los costes de operación de cultivos en diferentes zonas agrícolas. Plataforma del conocimiento para el medio rural y pesquero. Observatorio de tecnologías probadas. Maquinaria agrícola. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAGRAMA, 2014. Inscripciones de maquinaria agrícola en los Registros Oficiales de Maquinaria Agrícola (ROMA). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. Available in: <http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/maquinaria-agricola/estadisticas/> (último acceso 03.2015)
- Melero, S., Panettieri, M., Madejón, E., Gómez-Macpherson, H., Moreno, F., Murillo, J.M. 2011a. Implementation of chiselling and mouldboard ploughing in soil after 8 years of

- no-till management in SW, Spain: Effect on soil quality. *Soil and Tillage Research* 112:107-113.
- Melero, S., López-Bellido, R.J., López-Bellido, L., Muñoz-Romero, V., Moreno, F., Murillo, J.M. 2011b. Long-term effect of tillage, rotation and nitrogen fertiliser on soil quality in a Mediterranean Vertisol. *Soil and Tillage Research* 114:97–107.
- Moreno, F., Pelegrin, F., Fernández, J.E., Murillo, J.M. 1997. Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain. *Soil and Tillage Research* 41:25–42.
- Nichols, V., Verhulst, N., Cox, R., Govaerts, B. 2015. Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. *Field Crops Research* 183:56-68.
- Ordóñez Fernández R., González Fernández P., Giraldes Cervera J.V., Perea Torres F. 2007. Soil properties and crop yields after 21 years of direct drilling trials in southern Spain. *Soil and Tillage Research* 94:47-54.
- Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., Grace, P. 2014. Conservation Agriculture and ecosystem service: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187:87-105.
- Panettieri, M., Carmona, I., Melero, S., Madejón, E., Gómez-Macpherson, H. 2013. Effect of permanent bed planting combined with controlled traffic on soil chemical and biochemical properties in irrigated semi-arid Mediterranean conditions. *CATENA* 107:103-109.
- Pittelkow, C.M., Linnquist, B.A., Lundy, M.E., Liang, X., Van Groenigen, K.J., Lee, J., Van Gestel, N., Six, J., Venterea, R.T., Van Kessel, C. 2015. When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field Crops Research* 183:156-168.
- RAEA (Red Andaluza de Experimentación Agrícola), 2006. Agricultura de Conservación. Ensayos de Trigo y Girasol. Campaña 2004/05. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
- RAEA, 2007. Agricultura de Conservación. Ensayos de Trigo y Girasol. Campaña 2005/06. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
- RAEA, 2008. Agricultura de Conservación. Ensayos de Trigo y Girasol. Campaña 2006/07. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
- RAEA, 2011. Ensayos de Girasol. Campaña 2010. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
- Ramos, A. 2009. Abonado de las leguminosas de grano. En: *Guía Práctica de la Fertilización Racional de los cultivos de España*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Capítulo 18:143-149.
- Relyea, R.A., Jones, D.K. 2009. The toxicity of Roundup Original Max® to 13 species of larval amphibians. *Environmental Toxicology and Chemistry* 28:2004-2008.
- Rodríguez-Entrena, M. and Arriaza, M. 2013. Adoption of conservation agriculture in olive groves: Evidences from southern Spain. *Land Use Policy* 34:294–300.

- Sánchez-Girón, V., Serrano, A., Suárez, M., Hernanz, J.L., Navarrete, L. 2007. Economics of reduced tillage for cereal and legume production on rainfed farm enterprises of different sizes in semiarid conditions. *Soil and Tillage Research* 95:149–160.
- Soane, B.B., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., Roger-Estrade, J. 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research* 118:66–87.
- Trichard, A., Alignier, A., Chauvel, B., Petit, S. 2013. Identification of weed community traits response to conservation agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 179:179–186.
- Urbano, P. 2009. Abonado de las oleaginosas herbáceas: girasol, colza y soja. En: *Guía Práctica de la Fertilización Racional de los cultivos de España*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Capítulo 21:165-172.
- Uri, N.D. 2000. Perceptions on the use of no-till farming in production agriculture in the United States: an analysis of survey results. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 77:263–266.
- Vallés Pérez, M. 2009. Análisis de una muestra de explotaciones agrarias vinculada con la práctica de la agricultura de conservación. Dirección General de Desarrollo Rural, Centro de Transferencia Agroalimentaria del Gobierno de Aragón. *Informaciones Técnicas* nº 205.
- Van den Putte, A., Govers, G., Diels, J., Gillijns, K., Demuzere, M. 2010. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *European Journal of Agronomy* 33:231-241.
- Williams, G.M., Kroes, R., Munro, I.C. 2000. Safety evaluation and risk assessment of the herbicide Roundup and its active ingredient, Glyphosate for humans. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 31:117-165.

Capítulo 5

BENEFICIOS Y LIMITACIONES AGRONÓMICAS, ENERGÉTICAS Y ECONÓMICAS DE LAS TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN A ESCALA COMERCIAL: ESTUDIO DE CASO DE LA ROTACIÓN TRIGO-GIRASOL EN SECANO

5.1 Introducción

Numerosos trabajos experimentales indican que la AC en cultivos herbáceos puede conllevar algunos beneficios medioambientales en comparación con los sistemas convencionales, en particular, la conservación y mejora de la calidad del suelo (Álvaro-Fuentes et al., 2008; López-Garrido et al., 2011; Madejón et al., 2009; Palm et al., 2014; Soane et al., 2012), secuestro de carbono y reducción de gases de efecto invernadero (Álvaro-Fuentes et al., 2007; López-Garrido et al., 2009; Álvaro-Fuentes y Cantero-Martínez, 2010; Morrell et al., 2010; Cid et al., 2013, 2014), reducción de consumo de energía, principalmente de combustible diésel (Hernanz et al., 2014; Moreno et al., 2011) y aumento de la biodiversidad (Soane et al., 2012). Además, la AC también se asocia a la reducción de costes de producción y mayor rentabilidad (Hernanz et al., 2014; Sánchez Girón et al., 2007).

Algunos de estos beneficios se han cuestionado por la metodología usada (Palm et al., 2014) o por las diferencias entre los estudios en parcelas controladas y lo que ocurre en parcelas

comerciales (Lahmar, 2010; Soane et al., 2012). Otros estudios han mostrado que algunos de estos beneficios están condicionados a la aplicación simultánea de no laboreo del suelo, mantenimiento de cubierta de residuos y rotación de cultivos (Pittelkow et al., 2015; Soane et al., 2012). Sin embargo, los políticos han reconocido en parte los posibles beneficios ambientales de la AC y la han incorporado (o a alguno de sus elementos) en diferentes políticas ambientales y agrícolas europeas (ver apartado 1.3). Por ejemplo, el Segundo Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética (2011-2020), que tiene entre sus objetivos el reducir el consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero hasta un 20% para el año 2020, proporciona un apoyo económico a la Agricultura de Conservación por su potencial ahorro energético.

La caracterización inicial de la AC practicada en cultivos herbáceos en Andalucía, presentada en los capítulos 3 y 4, ha revelado que los agricultores andaluces rara vez aplican los tres elementos de la AC conjuntamente ya que la adaptan según las condiciones prevalentes locales. En este capítulo se caracteriza la rotación trigo-girasol de secano identificada en el capítulo anterior como la rotación AC más común en el Valle del Guadalquivir y se estudia en profundidad sus beneficios agronómicos, económicos y energéticos frente a la misma rotación cultivada con laboreo convencional.

5.2 Metodología

5.2.1 Selección de las parcelas y toma de datos

La comparación entre los sistemas de AC y los de agricultura de laboreo convencional se realizó en un estudio por pares para el que se seleccionaron 10 parejas de parcelas comerciales (20 parcelas en total). Se utilizó este tipo de muestreo para minimizar la influencia que el clima, la topografía y el suelo puedan tener sobre los diferentes tipos de manejo. Los resultados presentados en el capítulo anterior, tras su validación con los agricultores a través del grupo de trabajo (Figura 2.1), mostraron que la mayoría de los agricultores AC venden los residuos de trigo y que realizan un mínimo laboreo antes del cultivo de girasol (Figura 4.10; Tabla 4.1). Por todo esto, y por ser más precisos, al sistema AC de trigo-girasol se le denominó como sistema de mínimo laboreo (LMin) en este capítulo.

Cada pareja estaba compuesta por una parcela de mínimo laboreo (LMin) y otra parcela de laboreo convencional (LConv) para cada cultivo. En total, se recopiló información detallada histórica de 10 parcelas de trigo y de 10 parcelas de girasol. Las parcelas de LMin fueron seleccionadas entre los agricultores encuestados en el estudio presentado en el capítulo cuatro, seleccionando aquellas

parcelas que cumplieran los siguientes criterios: 1) que el sistema de cultivo fuera la rotación trigo-girasol de secano; 2) que se hubiera usado siembra directa en el cultivo de trigo al menos en los cuatro últimos años; y 3) que los registros históricos del manejo de la parcela estuvieran disponibles. Las parcelas de LConv fueron seleccionadas al azar pero exigiendo que cumpliera los siguientes requisitos: 1) rotación trigo-girasol de secano; 2) que se realizara alguna labor de suelo previa a la siembra del trigo y del girasol; 3) que se encontrara a menos de 2 km de la parcela de LMin con la que formaría la pareja para las condiciones edafo-climáticas fueran similares; y 4) que presentara registros históricos detallados del manejo de la parcela. Cada pareja se nombró en función de su localización: La Palma del Condado, en Huelva; Écija, en Sevilla; y Santa Cruz, La Montiel y La Rambla, en Córdoba (Figura 2.3). En las localidades de Écija, Santa Cruz y La Rambla, las parcelas de trigo y de girasol de un mismo tratamiento de suelo pertenecían al mismo agricultor (dos parcelas con diferente orden de la rotación: trigo/girasol y girasol/trigo). Por el contrario, en La Palma del Condado y en la Montiel, cada parcela pertenecía a un agricultor diferente. El tamaño medio de las parcelas del estudio fue de aproximadamente 20 hectáreas.

Para cada una de las parcelas del estudio, se realizó una entrevista semiestructurada al agricultor para obtener el historial de manejo durante las cuatro últimas campañas (desde otoño de 2007 al verano de 2011). La información recopilada en la entrevista incluía: tipo de laboreo realizado, descripción de la siembra incluyendo variedades y dosis de semillas, fertilización (número de aplicaciones, productos y dosis), herbicidas (materia activa y dosis), manejo de residuos y rendimientos medios para cada parcela y año (Anexo II).

Las precipitaciones mensuales en el período 2007-2011 para cada una de las parcelas fueron tomadas en las estaciones meteorológicas más cercanas. Debido a su proximidad las parcelas de La Montiel y de Écija comparten los datos de la misma estación meteorológica (Tabla 5.1). La temperatura media registrada para los cultivos de invierno (noviembre-junio) fue de 14.6 °C y, para el ciclo de los cultivos de verano (marzo-agosto), de 21.6 °C.

5.2.2 Balance económico

Para cada parcela, el balance económico se calculó en cada una de las cuatro campañas consideradas. Los precios del combustible diésel y del precio de venta de los granos cosechados en cada campaña se estimaron a partir de los datos oficiales ofrecidos por el observatorio de precios de la Junta de Andalucía (Tabla 5.2).

Tabla 5.1 Precipitación media anual (Pm) y mensual en milímetros registradas en las estaciones meteorológicas más cercanas a cada localidad muestreada durante las cuatro campañas agrícolas estudiadas

Zona	Año	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Pm
La Rambla	2007-08	25.7	106.3	126.9	23.3	44.4	47.9	9.3	127.0	29.2	1.6	0.0	0.0	542
	2008-09	4.2	131.1	51.1	35.4	50.5	3.3	24.1	44.0	6.4	12.5	27.6	3.7	394
	37° 31' 20" N 2009-10	43.8	60.9	36.6	244.0	65.3	168.0	72.1	39.6	30.2	0.0	0.0	0.0	761
	04° 53' 07" W 2010-11	2.1	80.7	115.6	294.3	55.4	28.4	47.0	104.5	27.6	26.8	3.1	17.7	803
Ecija-Montiela	2007-08	45.4	36.2	119.0	20.6	43.8	40.4	6.4	140.8	57.2	4.8	0.8	0.0	515
	2008-09	29.0	52.8	28.4	45.6	49.4	82.4	61.0	23.6	1.2	3.6	0.2	0.0	377
	37° 35' 34" N 2009-10	7.8	46.2	11.4	282.4	126.0	245.0	92.6	56.4	29.6	22.2	0.0	9.2	929
	05° 04' 37" W 2010-11	13.8	103.8	84.8	292.4	44.6	48.4	45.6	121.6	20.2	12.2	0.0	0.0	787
Santa Cruz	2007-08	25.7	30.3	103.3	26.9	65.1	67.5	8.9	179.2	48.1	0.1	1.6	6.5	563
	2008-09	55.5	49.5	40.6	41.8	61.6	71.4	77.9	26.2	4.2	24.7	8.2	23.0	485
	37° 51' 25" N 2009-10	41.1	45.9	26.6	309.3	119.6	197.4	97.4	41.2	42.9	40.9	11.3	34.2	1008
	04° 48' 10" W 2010-11	35.8	117	54.9	337.2	24.6	84.7	40.5	74.1	70.6	14.1	0.0	0.0	854
La Palma	2007-08	27.4	34.8	52.8	10.4	56.0	75.8	40.6	165.0	43.6	0.0	2.2	0.0	509
	2008-09	51.8	95.2	11.2	47.6	55.0	105.0	32.2	34.0	3.8	4.0	0.0	0.0	440
	37° 22' 01" N 2009-10	14.2	53.7	17.8	270.4	175.3	251.4	116.5	25.2	2.3	16.6	0.0	15.3	959
	06° 32' 29" W 2010-11	13.9	60.0	92.7	277.8	39.3	72.0	101.5	93.8	42.1	0.0	0.0	5.5	799

Tabla 5.2 Precios medios para cada campaña de diésel y precios en origen de los granos de la cosecha

Campaña	Precio diésel (€ l ⁻¹)	Precio del trigo (€ kg ⁻¹ grano)	Precio del girasol (€ kg ⁻¹ grano)
2007-2008	0.79	0.33	0.38
2008-2009	0.76	0.14	0.44
2009-2010	0.70	0.15	0.29
2010-2011	0.85	0.23	0.42

Fuente: CAPMA, (2013)

Los coeficientes económicos del gasto de la maquinaria se calculó usando los datos oficiales proporcionados por el Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente de España (MAGRAMA, 2012) (Tabla 5.3). El coste generado por el uso de la maquinaria incluye la amortización, los intereses del capital invertido, los seguros y resguardos de la maquinaria, mantenimiento y reparaciones y el coste horario de la maquinaria. Para este parámetro no se han incluido los costos de mano de obra. Todos los cálculos están basados en un tractor medio de 120 CV del tipo 2+2 RM estándar. En los precios de las semillas, de los herbicidas y de los fertilizantes se ha considerado un precio medio para todas las campañas según los datos obtenidos a través de tres casas comerciales de la zona de estudio (Tabla 5.3). El costo del alquiler de la sembradora de siembra directa o la convencional, así como el costo del alquiler de la cosechadora, también se consideraron constantes para las campañas estudiadas; el precio medio se calculó como la media de los precios suministrados por tres empresas de alquiler de servicios en la zona (Tabla 5.3).

En el balance económico no se han incluido datos sobre la mano de obra como los salarios o los seguros sociales de trabajadores porque los agricultores no se han mostrado receptivos a aportar este tipo de información más personal. Por la misma razón, tampoco se han podido incluir en el análisis datos sobre las subvenciones o subsidios que reciben en cada parcela.

Los indicadores económicos que se han considerado para el balance son los siguientes:

- **Coste de producción** (€ ha⁻¹): calculado como la suma del gasto en insumos (fertilizantes, semillas y herbicidas) más el gasto total de la maquinaria usada;
- **Ingresos del cultivo** (€ ha⁻¹): calculado como el rendimiento del cultivo (kg ha⁻¹) multiplicado por el precio en origen del grano (€ kg⁻¹). Este indicador no incluye el ingreso extra que obtienen los agricultores por la venta de la paja;
- **Beneficio neto del cultivo** (kg ha⁻¹): calculado como la diferencia entre los ingresos y el coste de producción;
- **Productividad del cultivo** (kg €⁻¹): calculado como el cociente del rendimiento del cultivo (kg ha⁻¹) y el coste de producción (€ ha⁻¹).

Tabla 5.3 Coeficientes económicos, energéticos y consumo de diésel medio utilizados para la comparación entre los sistemas de mínimo laboreo (LMin) y de laboreo convencional (LConv)

Inputs	Coeficientes energéticos	Referencias	Consumo de diésel	Coeficientes económicos ^b
Operaciones de campo	MJ ha⁻¹		l ha⁻¹	€ ha⁻¹
a) Pre-siembra				
cultivador (kongschilder)	17.3	Hernanz et al. (1995)	8	12.7
cultivador (chisel)	28.7	Hernanz et al. (1995)	15	20.2
Grada de discos	44.8	Hernanz et al. (1995)	23	18.9
Rulo	15.5	Leach (1976)	5	10.9
Vibrocultor	15.5	Hernanz et al. (1995)	6	14.8
b) Siembra				
Siembra convencional trigo	28.4	Hernanz et al. (1995)	7	27.4
Siembra convencional girasol	28.4	Hernanz et al. (1995)	6.5	42.0
Siembra directa trigo	54.5	Hernanz et al. (1995)	11	59.9
Siembra directa girasol	54.5	Hernanz et al. (1995)	7	59.9
c) Crecimiento del cultivo				
Aplicación fertilizante	3.7	Hernanz et al. (1995)	1.5	5.5
Aplicación de herbicida	3.5	Hernanz et al. (1995)	4	7.8
Regabina	15.5	Hernanz et al. (1995)	4.5	14.8
d) Cosecha				
Cosechadora trigo	186	West and Marland (2002)	16	43.0
Cosechadora girasol	83.9	Moreno et al. (2011)	8	76.3
Empacadora	37.6	Hernanz et al. (1995)	10	79.5
Combustible				
	MJ l⁻¹			€ l⁻¹
Diesel ^c	43.44			0.77
Fertilización^d				
	MJ kg⁻¹			
N	80			
P ₂ O ₅	14			
K ₂ O	8			
Semillas				
	MJ kg⁻¹			€ kg⁻¹
Trigo	12.6	Pimentel (1980)		0.44
Girasol	33.1	Pimentel and Patzek (2005)		12.7
Herbicidas				
	MJ kg⁻¹			€ l⁻¹ o kg⁻¹
a) Pre-siembra				
Glifosato	454	Green et al. (1977)		6.8
MCPA	130	Green et al. (1977)		6.7
Oxifluorfen 24%	80	Green et al. (1977)		12.2
b) Post-siembra				
2.4D	85	Green et al. (1977)		8.6
2.4D+clopiralida	85	Adaptado de Green et al. (1977)		7.6
2.4D+MCPA	130+85	Adaptado de Green et al. (1977)		9.1
Adjuvante	185	Boerma et al. (1980) in Zentner et al. (1998)		4.0
Linuron	290	Green (1987) en Clements et al. (1995)		12.6
Ioxinil+Bromoxinil+MCPP	185	Green (1987)		15.5
Quizalofop-P-Ethyl	264	Khaledian et al. (2010)		29.5
Sulfonilurea	365	Green (1987)		0.2
Topik®	220	Green et al. (1977)		215
Traxos®	220	Green et al. (1977)		198
Tribenuron Metil	365	Green (1987)		68
Rendimiento				
	MJ kg⁻¹			
Grano de trigo	13.4	Nassi o Di Nasso et al. (2011)		
Paja de trigo	17.6	Nassi o Di Nasso et al. (2011)		
Grano de girasol	21.8	Nassi o Di Nasso et al. (2011)		
Cañotes de girasol	15.9	Nassi o Di Nasso et al. (2011)		

^aConsumo medio de diésel basado en Boto et al. (2005). ^bCoeficientes económicos tomados de MAGRAMA (2012) y CAPMA (2013). Los insumos de semillas, fertilizantes y herbicidas fueron obtenidos como media de los precios de tres casas comerciales. ^cValor medio estimado de otros autores (Tsatsarelis et al., 1993; Hernanz et al., 1995; Hülsbergen et al., 2001; Zentner et al., 2004; Guzman and Alonso, 2008; Khaledian et al., 2010; Moreno et al., 2011).

^dNo se muestran los tipos de fertilizante y precios correspondientes que se han considerado en el balance

5.2.3 Balance energético

Para el balance energético se han considerado los principales flujos de energía de un sistema agrícola de cultivos herbáceos a nivel de parcela agraria, sin contabilizar el gasto energético de almacenaje, transporte y venta de productos (Figura 5.1). Con el objetivo de poder comparar los resultados, el análisis de energía se calculó tomando como referencia otros estudios sobre agricultura de conservación realizados en similares condiciones agroclimáticas y que han usado similares metodologías (Hülsbergen et al., 2001; Moreno et al., 2011; Hernanz et al., 2014). El balance energético se realizó individualmente para las cuatro campañas estudiadas en cada una de las 20 parcelas. Las entradas y salidas del sistema se transformaron en unidades de energía (GJ ha^{-1}) usando los coeficientes energéticos que aparecen en la Tabla 5.3.

El total de las entradas de energía (EE) en el sistema se calculó como la suma de las entradas directas y las entradas indirectas de energía (Hülsbergen et al., 2001). Las entradas directas incluyen el diésel usado para la producción del cultivo y las entradas indirectas engloban la energía necesaria para la fabricación y mantenimiento de la maquinaria, la producción y aplicación de herbicidas, fertilizantes y semillas, y el embalaje y transporte de esos productos hasta la parcela (Bailey et al., 2003). Las entradas de energía no incluyen la energía usada en el almacenamiento, transporte y venta de las cosechas porque estos gastos energéticos están más relacionados con las ventas de los productos que con la producción de los mismos. El consumo de fitosanitarios en el sistema no ha sido incluido dentro del análisis energético. Hülsbergen et al. (2001) señala que el coste energético de los pesticidas es mínimo y representa solo una pequeña parte del balance energético (0.33-1%). El trabajo humano tampoco ha sido incluido dentro del Ed porque en países industrializados como España apenas si representa un 0.025% de las entradas de energía en el sistema (Zentner et al., 1998; Borin et al., 1997). La energía solar tampoco se ha incluido dentro del análisis energético para evitar que pueda enmascarar la variación de las entradas de energía basadas en los combustibles fósiles (Rathke et al., 2007, Hülsbergen et al., 2001).

Las salidas de energía (SE) se calcularon como el contenido bruto de energía en el grano. En el caso del cultivo del trigo, la paja del cultivo se consideró también dentro de SE porque se sacó de la parcela para su venta. Para estimar la cantidad de paja que se produjo en cada parcela se asumió un índice de cosecha de 0.5 (Slafer et al., 1999). El peso seco del grano y de la paja se transformó en valores energéticos a través de los coeficientes energéticos específicos para cada cultivo (Tabla 5.3).

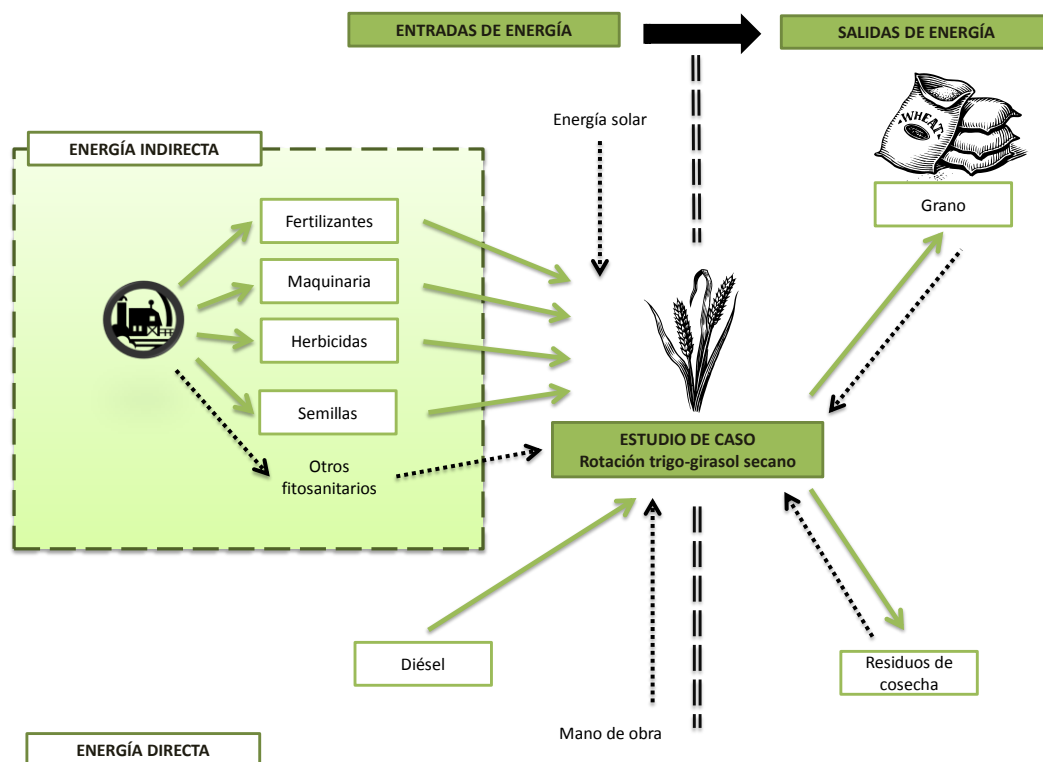


Figura 5.1 Diagrama de los flujos energéticos en un sistema agrícola de cultivos herbáceos. Las flechas verdes indican las entradas o salidas del sistema consideradas para el análisis. Las flechas negras discontinuas muestran flujos de energía existentes en el sistema pero que no han sido contabilizados en este estudio

Para comparar la eficiencia energética entre ambos sistemas (LMin y LConv), además de las entradas y salidas de energía de cada sistema, se calculó la productividad energética (PE). La PE está relacionada con el rendimiento del cultivo e indica cuántas toneladas de grano se obtienen por cada GJ de energía invertido en el sistema (Rathke et al., 2007).

5.2.4 Muestras de suelo y de residuos

Entre octubre y diciembre de 2011 se tomaron muestras de suelo y de residuos de cultivo en las parcelas estudiadas: 10 parcelas en las que se había cultivado trigo y 10 en las que se había cultivado girasol, y para cada cultivo, la mitad de las parcelas en LMin y la mitad en LConv. Las muestras de cada pareja de parcelas (mismo lugar y cultivo pero distinto manejo) se tomaron el mismo día. Para la toma de muestras de suelo y de residuos de cultivo se siguió un diseño aleatorio estratificado. En cada parcela se tomaron seis puntos separados 50 metros entre ellos, cubriendo en total un área por parcela de aproximadamente 15 000 m². Las coordenadas de cada uno de los puntos se registraron con un GPS.

Las muestras de suelo se tomaron en los horizontes 0-10 cm y 10-25 cm de profundidad y se analizaron para determinar dos indicadores de la calidad del suelo recomendados para comparar efectos de diferentes manejos del suelo en esta región: el Carbono Orgánico Total (COT) y la actividad enzimática β -Glucosidasa (Madejon et al., 2007; Melero et al., 2011, Panettieri et al., 2013).

Para cada parcela se compuso una muestra de suelo por horizonte mezclando las seis muestras individuales. Las muestras se tamizaron a 2 mm, se homogeneizaron y dividieron en tres submuestras. La primera submuestra se secó a temperatura ambiente hasta alcanzar peso constante para determinar el Carbono Orgánico Total según el método propuesto por Walkley & Black (1934). La segunda submuestra se pasó inmediatamente a conservar en frío, a 4 °C, para prevenir pérdidas de humedad antes de analizar la actividad β -Glucosidasa. Esta actividad enzimática se midió tras la incubación del suelo con p-Nitrofenol- β -D-glucosidasa con un espectrofotómetro a 400nm de absorbancia (Tabatai, 1982). Los resultados se expresan en relación al peso seco del suelo. A partir de la tercera submuestra se determinaron las fracciones del suelo de arena, limo y arcillas a través del método del hidrómetro (Bouyoucos, 1962), y la conductividad eléctrica (CE) y el pH siguiendo métodos estándar (Page et al., 1982).

En el mismo día que se tomaron las muestras de suelo también se recolectaron residuos de cultivo dentro de un cuadrante de 1 m² en un lugar cercano a cada uno de los seis puntos muestreados en cada parcela. Las muestras de residuos se lavaron para eliminar los restos de suelo y posteriormente se secaron en estufa a 75°C durante 3 días. Los resultados se han expresado en cantidad de biomasa seca por unidad de área. Para calcular el porcentaje de suelo cubierto con residuos se tomaron fotos digitales para cada punto de 1m² antes de recolectar los residuos. Las fotos fueron procesadas con el programa ENVI 4.5® (Environment for Visualizing Images, Research Systems. Inc, CO, USA).

5.2.5 Análisis estadístico

Para evaluar el efecto del sistema de manejo y del año sobre el rendimiento del trigo y del girasol y sobre la calidad del suelo se utilizaron Modelos Lineales Mixtos. Este análisis también se usó para comparar la eficiencia energética entre los sistemas de manejo en cada uno de los cultivos.

Todos los datos fueron analizados con zona, y a veces con parcela anidada dentro de zona, como efectos aleatorios. El sistema de manejo y el año se consideraron como efectos fijos, el último por solo tener cuatro años (replicas). El cultivo y el horizonte del suelo se consideraron también como efectos fijos en los modelos que analizan la calidad del suelo. Los criterios de información Akaike (AIC) y el estimador de máxima verosimilitud restringida (REML) se usaron para seleccionar los

efectos aleatorios y la estructura de la varianza, mientras que las funciones de AIC y máxima verosimilitud (ML) se usaron para seleccionar la estructura de los efectos fijos del modelo (Burnham and Anderson, 2002). Estructuras que permitieron diferentes variaciones por zona o años se incluyeron en los modelos para considerar la heterocedasticidad intragrupal (Zuur et al., 2009). Los residuos de la varianza del modelo final fueron examinados gráficamente para verificar que cumplieran los criterios de normalidad y homogeneidad. Los análisis se hicieron con el paquete “nlme” (Pinheiro et al., 2014) en la versión 3.1.2 (R Core Team, 2014).

5.3 Resultados

5.3.1 Manejo agronómico

Tal como se adelantó al inicio del apartado 5.2.1 de Material y Métodos, los agricultores de AC en Andalucía se caracterizan por adoptar un sistema de mínimo laboreo bianual en la rotación trigo-girasol (Tabla 5.4) por lo que al sistema se le denominó Mínimo Laboreo (LMin). Mientras que el cultivo del trigo se realiza en siembra directa sin labrar el suelo previamente, el girasol recibe un mínimo laboreo superficial (0.15-0.20m) similar al realizado en el girasol de laboreo convencional. Solo se ha identificado una parcela de las 10 en la que se realiza siembra directa del girasol. Por otro lado, en ninguna de las parcelas de laboreo convencional se utiliza vertedera o grada profunda. Normalmente realizan uno o dos pases de cultivador o de escarificador para afinar.

Aunque las dosis de fertilización del trigo son similares en ambos sistemas, el tipo y el momento de la aplicación difieren según el manejo (Figura 5.2). Las parcelas de LMin no hacen abonado de fondo y aplican parte de los fertilizantes en siembra, a diferencia de las parcelas de LConv que hacen un abonado de fondo durante la preparación del suelo. En LMin los abonos aplicados en siembra suelen ser líquidos (solución nitrogenada 32%) o compuestos *starter* con microelementos mientras que en LConv los fertilizantes aplicados en fondo suelen ser abonos complejos con alto contenido en fósforo. La cobertera es similar en ambos sistemas, principalmente se aporta nitrógeno, aunque en LMin ocasionalmente se aplica fósforo. Como media se aplicaron 143 y 149 UF ha⁻¹ de nitrógeno total en LMin y LConv, respectivamente, y de fósforo, 44 UF P₂O₂ ha⁻¹ en los dos sistemas (Tabla 5.4). En cuanto al control de arvenses, tanto en las parcelas de LMin como en las de LConv usan herbicidas de pre- y post-siembra en trigo. En las parcelas de LMin se aplica una mayor variedad de herbicidas y las dosis de glifosato son un 25% más elevadas que en LC.

Tabla 5.4 Manejo agronómico de la rotación trigo-girasol en sistemas de mínimo laboreo (LMin) y de laboreo convencional (LConv). Los datos representan una estimación de un manejo medio de las cuatro campañas estudiadas para cada sistema y cultivo. Los valores con asterisco (*) indican una aplicación o uso ocasional.

	Trigo		Girasol	
	LMin	LConv	LMin	LConv
PRE-SIEMBRA				
Labores del suelo	Siembra directa	Cultivador+grada de discos	2xCultivador/ grada de discos	2xCultivador + grada de discos
Fertilización ^a (UF)	0	20-30 N 50-70 P 17-20 K*	0	0
Control de arvenses (n° de aplicaciones)	1-2	1-2	1-2	0-1
SIEMBRA				
Tipo de sembradora	Siembra directa	Convencional	Convencional/ Siembra directa*	Convencional
Dosis de siembra (kg ha ⁻¹)	190-220	190-220	5-7	5-7
Fertilización ^a (UF)	4-45 N 8-110 P 24 K*	0	7 N* 18 P*	0
CRECIMIENTO DEL CULTIVO				
Fertilización ^a	64-180 N 46 P*	74-180 N	0	0
Control de arvenses (n° de aplicaciones)	2-3	2	1	Control mecánico (regabina)
COSECHA				
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	3 312	3 319	1 304	1 435
Manejo de residuos	Recoge y empaca	Recoge y empaca	Deja en superficie	Entierra

^aLos valores de las dosis de siembra y de las unidades fertilizantes (UF) de nitrógeno total (N), óxido de fósforo (P) y de óxido de potasio (K) corresponden con el mínimo y el máximo de las dosis aplicadas.

El girasol se cultivó de forma parecida en LMin y LConv (Tabla 5.4), siendo la principal diferencia entre los dos sistemas el control de arvenses. Por lo general, en LConv no se aplican herbicidas y, si es necesario, los agricultores dan un pase de regabina durante el establecimiento del cultivo. Por el contrario, en LMin se aplican varios tipos de herbicidas de pre- y post-siembra. A diferencia del trigo, el girasol es un cultivo de bajos insumos y rara vez se aplica fertilizante (solo una parcela de LMin y dos de LConv).

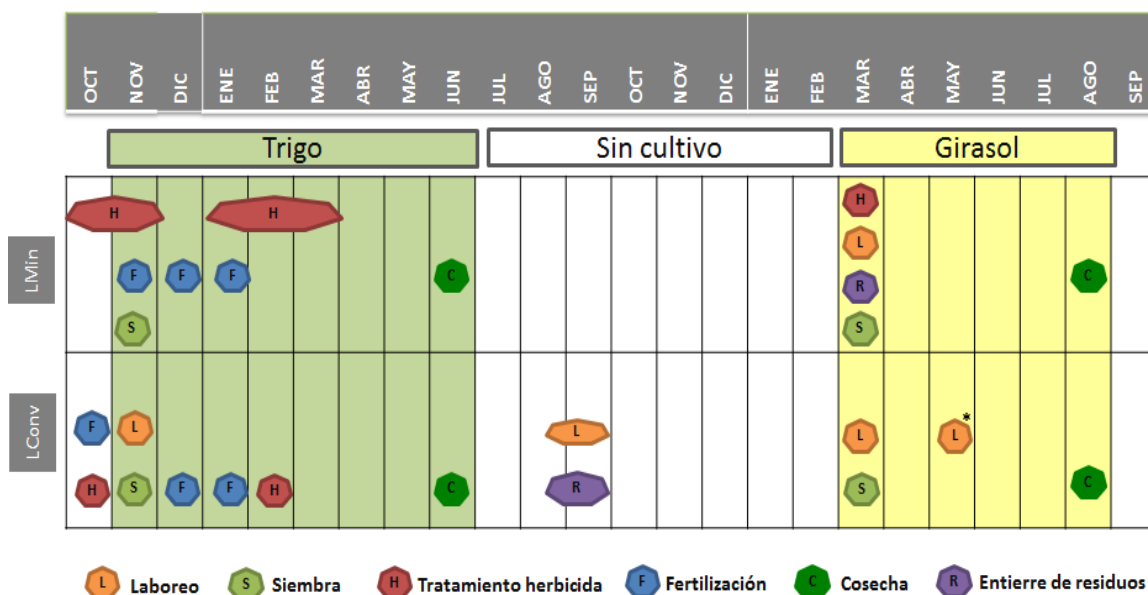


Figura 5.2 Cronograma agronómico de la rotación trigo-girasol en sistemas de mínimo laboreo (LMin) y de laboreo convencional (LConv). El valor con asterisco (*) indica una labor superficial del suelo entre líneas de cultivo para eliminar las hierbas en postemergencia del cultivo (regabina)

5.3.2 Rendimiento y residuos

Los rendimientos medios en el cultivo del trigo fueron parecidos en ambos sistemas de manejo: 3312 y 3319 kg ha⁻¹ en LMin y LConv, respectivamente (Tabla 5.4). El análisis estadístico indica que el año de estudio tuvo un efecto significativo sobre el rendimiento (Tabla 5.5), obteniendo los mayores rendimientos durante los dos primeros años estudiados. Por el contrario, en el cultivo del girasol los rendimientos fueron significativamente más bajos en LMin (1304 kg ha⁻¹) que en LConv (1435 kg ha⁻¹) (Tabla 5.5).

En ambos sistemas se recoge y empaca la paja del trigo, pero en LMin los residuos restantes permanecen cubriendo el suelo hasta la siembra del girasol en marzo, mientras que en LConv los residuos suelen ser incorporados al suelo a finales del verano (Figura 5.2). Los residuos del cultivo de girasol suelen ser enterrados en LConv durante la preparación de la siembra del trigo mientras que, en LMin, permanecen en la superficie del suelo durante el siguiente cultivo de girasol (Tabla 5.4; Figura 5.2).

Tabla 5.5. Resultados de los modelos mixtos seleccionados (efectos fijos: año, sistema de manejo (SM), profundidad; efectos aleatorios: zona, parcela) que explican la varianza en las variables de la agronomía del cultivo, calidad del suelo, balance económico y energético para la rotación trigo-girasol de secano.

Variable respuesta	Efectos fijos	Efectos aleatorios	Variación de la varianza
AGRONOMÍA DEL CULTIVO			
Rendimiento del trigo (kg ha ⁻¹)	Año	Zona	-
Rendimiento del girasol (kg ha ⁻¹)	SM	Zona	-
Biomasa de residuos (g m ⁻²)	SM + Cultivo	Zona	-
CALIDAD DEL SUELO			
Carbono Orgánico Total (COT) (g kg ⁻¹)	Profundidad	Zona	-
β-Glucosidasa (mg p-nitrophenol kg ⁻¹ suelo)	Profundidad	Zona	-
BALANCE ECONÓMICO			
Costes de producción (€ ha ⁻¹ y ⁻¹)	SM + Cultivo	Zona/parcela	Zona
Ingresos del cultivo (€ ha ⁻¹ y ⁻¹)	Año + Cultivo	Zona/parcela	Zona
Beneficio neto (€ ha ⁻¹ y ⁻¹)	Año	Zona/parcela	-
BALANCE ENERGÉTICO			
Entradas energía (EE) (GJ ha ⁻¹ y ⁻¹)	Cultivo	Zona/parcela	Zona
Salidas de energía (SE) (GJ ha ⁻¹ y ⁻¹)	Cultivo	Zona/parcela	Año
Productividad energética (PE) (tons GJ ⁻¹)	Cultivo	Zona/parcela	-

En otoño de 2011, previo a la siembra de los cultivos, la biomasa de residuos fue significativamente menor en LConv que en LMin (Tabla 5.5; 5.6). En LConv la biomasa de residuos fue similar en ambos cultivos y en LMin los residuos de trigo presentaron mayores valores de biomasa que los de girasol (Tabla 5.6).

La cobertura del suelo fue mayor con los residuos de trigo que con los cañotes de girasol en ambos sistemas de manejo. En las parcelas de LMin los residuos de trigo proporcionaron una cobertura media mayor del 30% mientras que los residuos de trigo en LConv o los de girasol en los dos sistemas apenas si cubrían un 20% de la superficie del suelo (Tabla 5.6)

Tabla 5.6 Biomasa de residuos de cultivo (g m⁻²) y cobertura de suelo (%) con residuos del cultivo anterior antes de la siembra en mínimo laboreo (LMin) y laboreo convencional (LConv). Diferente letra entre columnas indica diferencias significativas entre sistemas de manejo.

	Residuos de trigo		Residuos de girasol	
	LMin	LConv	LMin	LConv
Biomasa de residuos (g m ⁻²)	239±160a	71±36b	207±99 ^a	71±28b
Cobertura del suelo (%)	49±26	19±1	23±10	13±4

5.3.3 Calidad del suelo

La textura de los suelos en las parcelas muestreadas es mayoritariamente arcillosa (Tabla 5.7) y con un rango de pH similar (7.0-7.7). Los contenidos de Carbono Orgánico Total (COT) y de β -Glucosidasa fueron similares en ambos sistemas de manejo (Figura 5.3), siendo la profundidad del horizonte la principal variable que justifica las diferencias en estos parámetros (Tabla 5.5). El contenido en COT en el horizonte superficial del suelo (0-10 cm) resultó parecido en ambos sistemas (10.2 g kg⁻¹ de media global) pero en el horizonte inferior (10-25 cm) el COT fue algo menor en los sistemas de LMin (9.1 y 10.3 g kg⁻¹ para LMin y LConv, respectivamente). Los valores de β -Glucosidasa fueron significativamente superiores en el horizonte superficial (0-10) tanto en LMin como en LConv. Los valores medios de β -Glucosidasa en los horizontes 0-10 cm y 10-25 cm fueron 186 y 137 mg p-nitrophenol kg⁻¹ suelo respectivamente.

Tabla 5.7 Textura de suelo y distribución del tamaño de partículas (% arcilla, limo y arena), en el horizonte del suelo (0-25 cm) muestreado en cada parcela. Las parcelas se han agrupado según el último cultivo cosechado, por la zona geográfica y por el sistema de manejo (LMin=mínimo laboreo; LConv=laboreo convencional)

	Zona	Sistema de manejo	Textura de suelo	Arcilla	Limo	Arena
Trigo	La Palma	LMin	Arcilloso	55.1	37.5	7.3
		LConv	Limo-arcilloso	23.6	45.2	31.1
	Ecija	LMin	Arcilloso	79.3	18.6	2.1
		LConv	Arcilloso	89.2	7.5	3.3
	Santa Cruz	LMin	Limo-arcilloso	32.9	36.2	30.8
		LConv	Arcilloso	55.3	20.1	24.5
	La MontIELa	LMin	Arcilloso	52.2	33.9	13.9
		LConv	Arcilloso	76.5	18.5	5.0
La Rambla	LMin	Limo-arcilloso	37.1	36.9	25.9	
	LConv	Limoso	25.6	35.2	39.1	
Girasol	La Palma	LMin	Arcilloso	60.7	32.9	6.3
		LConv	Arcilloso	54.2	38.8	7.0
	Ecija	LMin	Arcilloso	81.4	14.4	4.1
		LConv	Arcilloso	79.3	14.8	5.8
	Santa Cruz	LMin	Arcilloso	49.6	32.3	18.0
		LConv	Arcilloso	50.0	25.2	24.8
	La MontIELa	LMin	Arcilloso	67.2	15.3	17.4
		LConv	Arcilloso	89.8	7.5	2.6
	La Rambla	LMin	Limo-arcilloso	39.2	39.2	21.5
		LConv	Limo-arcilloso	31.3	38.5	30.1

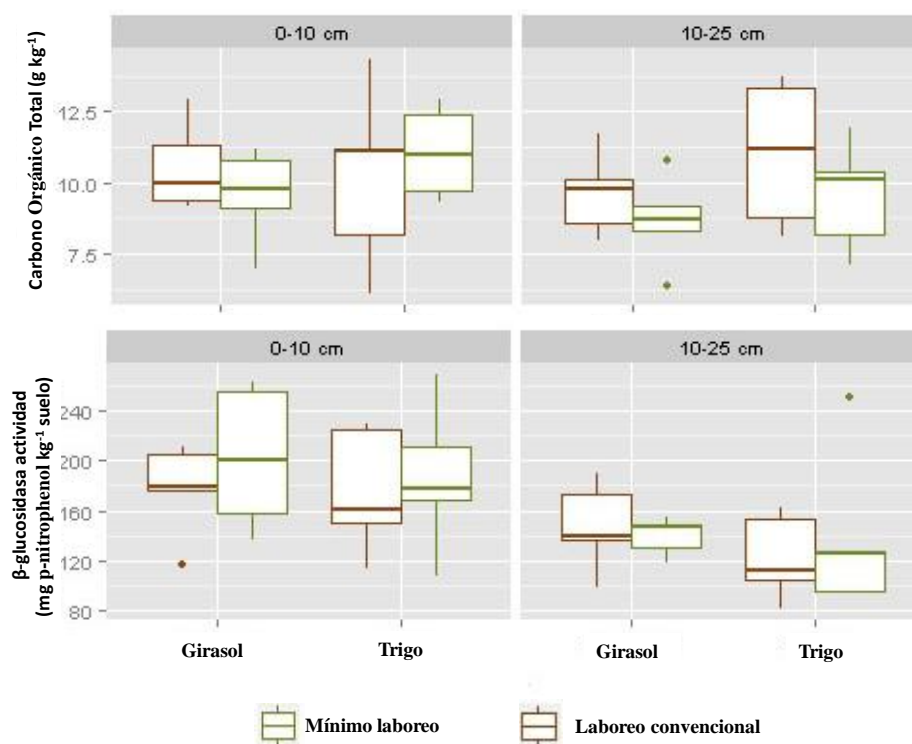


Figura 5.3 Carbono Orgánico Total (g kg^{-1}) y actividad β -Glucosidasa ($\text{mg p-nitrophenol kg}^{-1}$ suelo), en los dos horizontes de suelo estudiados (0-10cm y 10-25 cm). Las parcelas están agrupadas según el último cultivo cosechado, profundidad y por el sistema de manejo

5.3.4 Balance económico

Los costes de producción a escala de finca comercial variaron con el sistema de manejo y con el cultivo (Tabla 5.5). En el cultivo del trigo, los sistemas de LMin presentaron mayores costes de producción por hectárea que los sistemas de LConv. La diferencia entre costes ($+9\text{€ ha}^{-1}$) fue consecuencia de un mayor consumo de fertilizantes y de herbicidas en los sistemas de LMin (Tabla 5.8). Por el contrario, en girasol, el menor uso de maquinaria y de combustible generó que los costes de producción fueran menores en los sistemas de LMin que en los sistemas de LConv (-19€ ha^{-1}). Respecto a otros costes considerados, destaca que los costes de herbicidas fueron mayores en los sistemas de LMin tanto en trigo ($+8\text{€ ha}^{-1}$) como en girasol ($+14\text{€ ha}^{-1}$).

No hubo diferencias en ingresos entre las parcelas en LConv y LMin pero sí entre cultivos (Tabla 5.5). Los mayores ingresos del cultivo fueron registrados para el trigo (Tabla 5.8). Aunque el girasol obtuvo un mayor precio en origen (Tabla 5.2), el trigo duplicó los rendimientos obtenidos en girasol (Tabla 5.4). Además de la venta del grano, los agricultores obtienen un ingreso extra por la venta de la paja del trigo, cuyo precio varía en función del año, aunque este dato no ha sido

considerado en el balance económico. En un año medio de producción, la venta de paja puede aportar a los agricultores unos ingresos extra de entre 12-40 € ha⁻¹, dependiendo de la demanda de paja del año.

A pesar de que el cultivo de trigo presentó los mayores ingresos también tuvo mayores costes resultando en beneficios netos similares al obtenido con el girasol (Tabla 5.8). La media global de beneficio neto fue de 204€ ha⁻¹, variando significativamente según el año, debido a las fluctuaciones de los rendimientos de los cultivos y de los precios en origen (Tabla 5.2). Cuando ambos sistemas de manejo y todos los años son comparados, el máximo beneficio neto fue registrado en LConv de trigo (957€ ha⁻¹, Écija, 2008) y LMin de girasol (515 € ha⁻¹, Écija, 2008). Por el contrario, en algunos años se registraron pérdidas económicas para el trigo tanto en LMin como en LConv (-195€ ha⁻¹, La Rambla (LMin) y La Montiel (LConv), 2009) y para girasol en LMin (-5.7€ ha⁻¹, La Rambla, 2008). Los sistemas de LConv de girasol han sido los únicos sistemas que no han presentado pérdidas económicas durante todo el período de estudio. En cualquier caso, los beneficios netos que se presentan en este balance (Tabla 5.8) están subestimados porque no se han contabilizado los gastos de mano de obra o los ingresos extras de la venta de paja de trigo, así como de las subvenciones recibidas por la Política Agraria Comunitaria (PAC).

Tabla 5.8 Costes de producción (€ ha⁻¹), ingresos del cultivo (€ ha⁻¹), beneficio neto (€ ha⁻¹) y productividad del cultivo (kg €⁻¹) medio para la rotación trigo-girasol bajo los sistemas de mínimo laboreo (LMin) y laboreo convencional (LConv). Valores medios (M), máximos (max) y mínimos (min) registrados durante el período de estudio (2007-2011) se muestran para cada variable (n=20 parcelas x 4 años)

	Trigo		Girasol	
	LMin	LConv	LMin	LConv
	M (min-max)	M (min-max)	M(min-max)	M (min-max)
<i>Maquinaria</i>	136 (124-154)	139 (129-145)	166 (146-188)	183 (151-228)
<i>Combustible</i>	32.8 (26-55)	54.9 (39-72)	37.2 (17-62)	47.2 (26-75)
<i>Fertilización</i>	185 (84-272)	160 (68-290)	4.65* (0-24)	4.98* (0-96)
<i>Herbidas</i>	46.0 (17-79)	38.0 (17-89)	26.4* (0-48)	14.1* (0-36)
<i>Semillas</i>	88.4 (80-98)	87.4 (84-98)	72.6 (57-86)	76.6 (63-86)
COSTES DE PRODUCCIÓN	488 (386-608)	479 (391-652)	307 (241-349)	326 (258-430)
INGRESOS	705 (320-1214)	693 (250-1433)	492 (267-839)	525 (343-763)
BENEFICIO NETO	217 (-193-781)	214 (-196-957)	185 (-5.75-515)	199 (39-398)
PRODUCTIVIDAD	6.9 (4.6-9.7)	7.0 (4-11)	4.3 (3-7)	4.8 (3-6)

* No todas las parcelas realizaron aplicación de fertilizantes y de herbidas, por tanto, los costes medios reales de las parcelas que realizaron fertilización en LMin (n=5) and LConv (n=2) fueron de 18.6 y 52.3 € ha⁻¹, respectivamente. De igual forma, los costes medios reales en las parcelas que aplicaron tratamientos de herbidas LMin (n=16) and LConv (n=15) fueron de 33.3 y 19.8 € ha⁻¹, respectivamente.

La productividad de los cultivos fue similar en ambos sistemas de manejo (Tabla 5.8), aunque la productividad del trigo ($7 \text{ kg } \text{€}^{-1}$) fue aproximadamente un 150% más elevada que la del girasol ($4.5 \text{ kg } \text{€}^{-1}$).

5.3.5 Eficiencia energética

Para evaluar la eficiencia energética de los sistemas de manejo se estudiaron tres indicadores: las entradas de energía (EE), las salidas de energía (SE) y la productividad energética (PE). En todos los casos, existe un efecto significativo del cultivo, no encontrando diferencias entre los sistemas de manejo (Tabla 5.5)

El total de EE fue cinco veces mayor en el cultivo del trigo ($18.4 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) que en el cultivo de girasol ($3.4 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), aunque alguno de los diferentes componentes de las EE estudiadas (fertilizantes, combustible diésel, maquinaria, semillas y herbicidas) variaron en función del sistema de manejo y el cultivo (Figura 5.4):

- El consumo energético de fertilizantes en el cultivo del trigo fue similar en ambos sistemas de manejo (12.1 y $12.7 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en LMin y LConv, respectivamente). Por el contrario, en la mayoría de las parcelas estudiadas (87.5% en LMin y un 95% en LConv) no se fertilizó el cultivo del girasol (Figura 5.4).
- En trigo, el consumo de combustible diésel fue menor en LMin ($2.22 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) que en LConv ($3.42 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Similar resultado se obtuvo para el girasol, donde el consumo de combustible diésel fue de 2.09 y $2.69 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en LMin y LConv, respectivamente (Figura 5.4).
- Las entradas de energía relacionadas con las semillas variaron en función del cultivo ($2.50 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el trigo y $0.20 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en girasol), siendo 13 veces mayor el costo energético de las semillas de trigo frente a las de girasol (Figura 5.4). Aunque las semillas de girasol tienen mayor valor energético (Tabla 5.3), la dosis de siembra del girasol fue muy inferior a la empleada en el cultivo del trigo (Tabla 5.4).
- La energía que corresponde al uso de maquinaria fue menor en LMin que en LConv y además también fue menor en el girasol que en el trigo: 0.30 y $0.35 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en LMin y LConv en el trigo, y 0.18 y $0.20 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en LMin y LConv en girasol (Figura 5.4). La recolección fue la operación más costosa energéticamente en el trigo, supuso un consumo de 0.22 GJ ha^{-1} (17% de las cuales correspondieron a la empacadora de paja), mientras que esta misma operación en girasol supuso solo 0.08 GJ ha^{-1} .

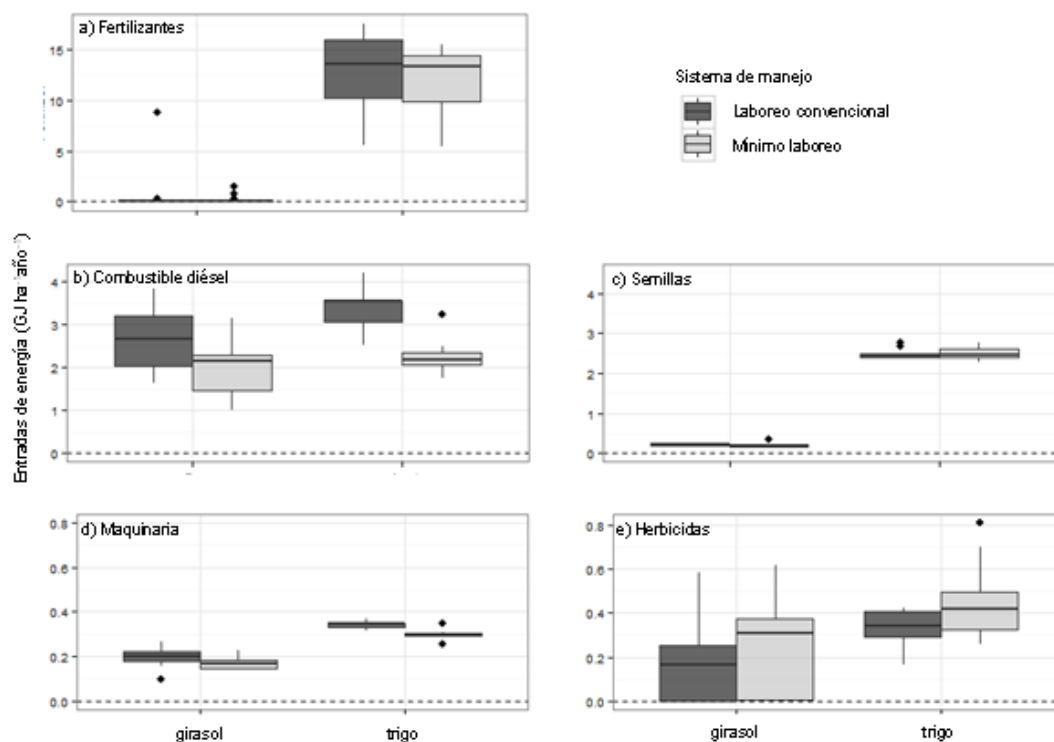


Figura 5.4 Entradas de energía (EE) (GJ ha⁻¹) correspondientes a a) Fertilizantes, b) Combustible diésel, c) Semillas, d) Uso de maquinaria y e) Herbicidas en los cultivos de trigo y girasol en sistemas de mínimo laboreo y laboreo convencional.

- En el cultivo del trigo, el consumo de energía en herbicidas fue similar entre ambos sistemas, a pesar de un mayor uso de glifosato en LMin. En girasol, este componente fue muy variable entre las parcelas. El consumo energético medio fue de 0.40 GJ ha⁻¹ año⁻¹ en el cultivo del trigo y de 0.25 GJ ha⁻¹ año⁻¹ en el cultivo del girasol (Figura 5.4).

En términos porcentuales, el consumo energético de los fertilizantes y de los combustibles ha representado aproximadamente el 80% de las EE registradas en el sistema (Figura 5.5).

En el cultivo de trigo los mayores insumos energéticos son la aplicación de fertilizantes y el consumo de combustible tanto en LMin (69% y 13% de las EE, respectivamente) como en LConv (66% y 18%, respectivamente), seguidos del insumo de semillas que representa entre un 13-14% del total de las EE (Figura 5.5). El coste energético del uso de herbicidas supuso un 2.6% de las EE en los sistemas de LMin y un 1.8% en sistemas de LConv. El gasto energético de la maquinaria presenta la menor proporción dentro de las EE, inferior al 2% en ambos sistemas.

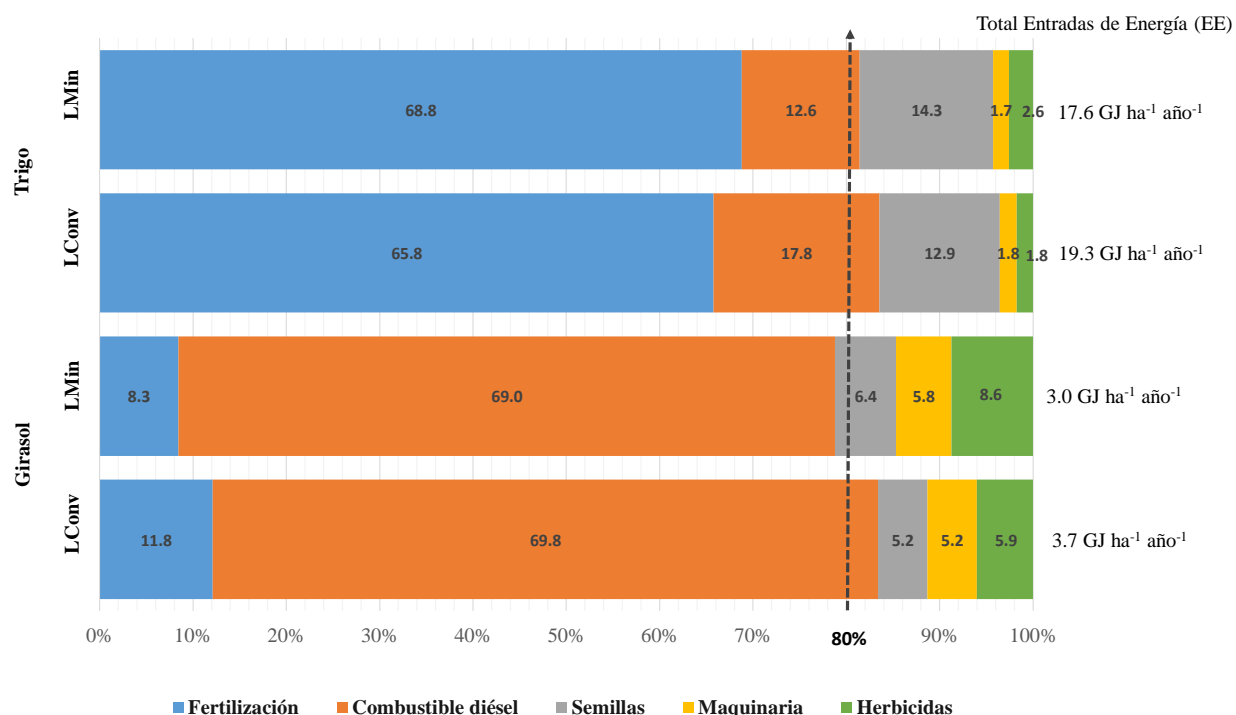


Figura 5.5 Porcentaje de energía usada en las diferentes componentes de las entradas de energía (fertilización, combustible diésel, semillas, maquinaria y herbicidas) para cada cultivo y sistema de manejo: Mínimo Laboreo (LMin) y Laboreo Convencional (LConv).

En el cultivo del girasol, el mayor gasto energético en ambos sistemas de manejo es el consumo de combustible diésel, llegando a representar más del 70% de las EE tanto en LMin como en LConv (Figura 5.5). El consumo de fertilizantes representa entre un 8% y un 12% en LMin y LConv, respectivamente. El consumo de herbicidas constituye el 9% de las EE totales en los sistemas de LMin y el 6% en los sistemas de LConv. Los componentes de las EE relacionados con maquinaria y semillas han presentado similares consumos energéticos en ambos sistemas de manejo.

Las salidas de energía (SE) fueron significativamente diferentes entre cultivos pero no entre sistemas de manejo (Tabla 5.5). En el cultivo del trigo, las SE en ambos sistemas de manejo fueron aproximadamente de 103 GJ ha⁻¹ año⁻¹ de los que el 43% correspondió al grano y el 57% a los residuos ya que todos los agricultores empacaron parte de la paja y la sacaron de las parcelas en la mayoría de las campañas estudiadas.

Al igual que el resto de parámetros energéticos, la PE fue significativamente diferente entre los cultivos (Tabla 5.5). La PE media en el cultivo del girasol (0.47 t GJ⁻¹) fue el doble que la PE obtenida en el cultivo del trigo (0.19 t GJ⁻¹).

5.4 Discusión

Diferentes estudios a escala experimental realizados a nivel nacional indican que el no laboreo puede mejorar la calidad del suelo respecto a los sistemas de laboreo convencional (Álvaro-Fuentes et al., 2008; López-Garrido et al., 2011; Madejón et al., 2009), sin penalización del rendimiento (Hernanz et al., 2014; Moreno et al., 1997; Madejón et al., 2009; Ordoñez et al., 2007). Además, también presenta un potencial para reducir los costes de producción (Hernanz et al., 2014; Sánchez Girón et al., 2007) y de mejorar la eficiencia energética del sistema, principalmente a partir del ahorro de combustible diésel (Hernanz et al., 2014; Moreno et al., 2011). El análisis detallado de la rotación trigo-girasol de seco bajo técnicas de mínimo laboreo a escala comercial presentado en este capítulo, no ha mostrado los beneficios atribuidos a la AC en los estudios experimentales. Por ejemplo, en términos agronómicos no se ha observado una mejora de la calidad del suelo e incluso ha existido una penalización del rendimiento en el cultivo del girasol. A nivel económico el sistema de LMin no ha supuesto una reducción significativa de los costes de producción, y en términos energéticos ha presentado una eficiencia energética similar a los sistemas de laboreo convencional.

Diferencias en el manejo de los sistemas de Agricultura de Conservación adoptados por los agricultores y su efecto en la calidad del suelo

El manejo del trigo en los sistemas de LMin se diferenció del manejo realizado en los sistemas de LConv, mientras que para el girasol el manejo fue similar en ambos sistemas. En el cultivo del trigo, las principales características que diferenciaron a los sistemas de LMin de los de LConv fueron el uso de la maquinaria de siembra directa, la fertilización en siembra con fertilizantes compuestos de alto contenido en fósforo y un mayor uso de herbicidas en LMin. Por el contrario, el manejo del cultivo del girasol, considerado un cultivo de bajos insumos en ambos sistemas, fue muy similar en los dos sistemas. En ambos se realizó un mínimo laboreo antes de la siembra (si bien la preparación del suelo fue más tardía en los sistemas de LMin), no se fertilizó y apenas se usaron herbicidas. El hecho de que ningún agricultor de LConv realice labores profundas con vertedera contrasta con estudios en el sur de España en los que el tratamiento convencional generalmente implica una labranza profunda (López-Garrido et al., 2011; Madejón et al., 2007; Ordoñez et al., 2007). Los agricultores que participaron en el taller inicial confirmaron que este tipo de labranza profunda rara vez se aplica hoy en día para estos cultivos en la zona estudiada.

Las parcelas de LConv presentaron una menor cantidad de residuos que las parcelas de LMin, aunque casi todos los agricultores recogieron la paja del trigo para su venta (Tabla 5.4). Las diferencias de biomasa de residuos de cultivo entre ambos sistemas de manejo, particularmente

tras la cosecha del trigo (49 y 19% de la superficie del suelo cubierto en LMin y LConv respectivamente), se debieron a la época del muestreo. En otoño, las parcelas de LConv presentan una menor cantidad de residuos de cultivo en superficie porque los agricultores comienzan a preparar el suelo para el girasol en la época estival y por tanto casi todos los residuos quedan enterrados. Por el contrario, los agricultores de LMin realizan una preparación del suelo para el girasol más tardía, dejando el suelo protegido con los residuos durante la época lluviosa del otoño y el invierno (Figura 5.2).

Recomendados como buenos indicadores del cambio en la calidad del suelo en los suelos arcillosos del área de estudio (Madejon et al., 2007; Melero et al., 2011), el COT y la actividad enzimática β -Glucosidasa no mostraron diferencias entre sistemas de manejo (Tabla 5.5; Figura 5.3). Estos resultados contrastan con otros trabajos realizados en cultivos herbáceos de secano en el Valle del Guadalquivir y en otras regiones de España en los que se muestran un aumento más marcado del COT en los sistemas de no laboreo principalmente en las capas superficiales del suelo (<5 cm) (Álvaro-Fuentes et al., 2008; Madejón et al., 2007; Melero et al., 2011). Diferentes razones pueden justificar el no incremento del COT en los sistemas de LMin estudiados en este capítulo. En particular, factores relacionados con el manejo del cultivo como la no realización de laboreo profundo en los sistemas de laboreo convencional, la similitud entre los sistemas de manejo ya que, tanto en LMin como en LConv se practica un mínimo laboreo (cada dos años en LMin y cada año en LConv) y la eliminación de los residuos de trigo de la parcela en ambos sistemas. También es posible que no se observe el aumento del COT en este estudio debido a que se ha muestreado un horizonte más profundo que en los trabajos anteriormente mencionados (0.1 vs 0.05 m).

El contenido de β -Glucosidasa en el suelo, no se vió influenciado por el sistema de manejo, aunque sí por la profundidad del horizonte de suelo muestreado. Este resultado coincide con los resultados de Melero et al. (2011) en suelos vertisoles con la rotación trigo-girasol donde el contenido de β -Glucosidasa también disminuyó significativamente en los horizontes más profundos del suelo, aunque a diferencia de nuestros resultados, también encontraron diferencias de β -Glucosidasa entre no laboreo y laboreo convencional en los primeros cinco centímetros del suelo. Los valores de la actividad β -Glucosidasa fueron algo mayores en LMin que en LConv pero sin llegar a ser significativos. Como se ha discutido para el COT, es probable que la profundidad de muestreo (mayor de 5 cm), el mínimo laboreo bianual practicado en el girasol y la eliminación de los residuos de trigo de la parcela sean las razones por las que no se han encontrado diferencias para la actividad β -Glucosidasa entre los sistemas de manejo.

Efecto de los sistemas de mínimo laboreo sobre la productividad agronómica y económica de los cultivos

El sistema de manejo practicado no afectó a los rendimientos obtenidos en el cultivo del trigo. Los rendimientos medios registrados son comparables a los obtenidos en la red regional de experimentación agraria del área de estudio (RAEA, 2013). Las diferencias estacionales de las precipitaciones medias anuales resultaron en un efecto significativo sobre el rendimiento del trigo (Tabla 5.5). Estas diferencias entre años han podido enmascarar un posible efecto del sistema de manejo sobre el rendimiento (Hernanz et al., 2014). Las dos primeras campañas (2007-2008 y 2008-2009) fueron dos campañas relativamente secas, con menores precipitaciones que en las dos campañas siguientes (2009-2010 y 2010-2011) que presentaron abundantes precipitaciones (Tabla 5.1). Sin embargo, los mayores rendimientos se alcanzaron en las dos primeras campañas con precipitaciones anuales que oscilaron entre los 377 y los 563 mm según la zona. Estas precipitaciones son inferiores a las registradas históricamente en las zonas de estudio, pero la distribución mensual de las lluvias coincidió con los estados fenológicos de mayores necesidades hídricas del trigo. En este estudio, las lluvias registradas al inicio del otoño (Octubre-Noviembre) proporcionaron suficiente agua para un buen establecimiento del cultivo y posteriormente, las relativamente altas precipitaciones registradas en abril y mayo, favorecieron el llenado del grano. La escasa pero bien distribuida lluvia de las dos primeras campañas provocó que los mayores rendimientos en trigo se obtuvieran en la campaña 2008-2009 en la parcelas de Écija (5019 y 4972 kg ha⁻¹). Otros autores han resaltado la importancia de una buena distribución de las lluvias para maximizar el rendimiento en un clima semiárido mediterráneo caracterizado por lluvias erráticas y escasa (Austin et al., 1998; Hernanz et al., 2014).

En estas condiciones ambientales del área de estudio, una mayor precipitación anual no necesariamente resulta en mayor rendimiento, tal como ocurrió en las campañas 2009-2010 y 2010-2011 cuyos valores (761- 1008 mm, según la zona) duplicaron las precipitaciones recibidas en las dos primeras campañas (Tabla 5.1). Las precipitaciones registradas a finales de otoño (noviembre y diciembre) provocaron un retraso en la siembra, aproximadamente de un mes. En el caso de parcelas que realizaron siembras tempranas a principios de noviembre, las abundantes lluvias causaron problemas de encharcamiento que afectaron a la emergencia del cultivo. Además, las altas precipitaciones registradas de nuevo durante los meses de enero y febrero también impidieron realizar el abonado de cobertera en determinadas zonas. Todo ello tuvo un efecto negativo sobre el rendimiento final del cultivo del trigo, como es el caso de una parcela en la Rambla que en la campaña 2009-10 no pudo realizar el abonado de cobertera por las lluvias y finalmente obtuvo un rendimiento inferior a los 2000 kg ha⁻¹ a pesar de recibir una precipitación de más de 800 mm.

En el cultivo del girasol, el sistema de manejo presentó un efecto sobre el rendimiento del cultivo (Tabla 5.5). El rendimiento del girasol fue significativamente menor en LMin (1304 kg ha^{-1}) que en LConv (1435 kg ha^{-1}) probablemente debido a posibles problemas de compactación en LMin (Botta et al., 2006). El laboreo realizado para la siembra del trigo en LConv pudo aliviar los efectos negativos de la compactación y con ello, evitar posibles pérdidas de rendimiento en el girasol. Aun presentando rendimientos menores, los valores medios del rendimiento del girasol en LMin se sitúan dentro del intervalo de rendimiento obtenidos por la Red Andaluza de Experimentación Agrícola (RAEA) para diferentes variedades de girasol de secano sin fertilización en la región (RAEA, 2006,2007,2008,2011). En RAEA (2011) el girasol de siembra directa obtuvo aproximadamente un rendimiento 26% menor que el girasol con laboreo convencional (769 kg ha^{-1} vs. 1036 kg ha^{-1}). Estos resultados contrastan con otros estudios que no han encontrado diferencias de rendimiento entre el girasol de siembra directa y el de siembra con labranza (Aubraudare et al., 2006; Ordóñez et al., 2007) debido a la variabilidad en la precipitación recibida en primavera. Sin embargo, en los resultados presentados en este capítulo no reflejan un efecto de las precipitaciones sobre el rendimiento del girasol (Tabla 5.5).

La evaluación económica de la rotación trigo-girasol, a escala de finca comercial, muestra que los costes de cultivo varían significativamente dependiendo del cultivo y del sistema de manejo (Tabla 5.5). Respecto a los costes de producción del trigo en siembra directa, la mayor inversión en insumos como herbicidas y fertilizantes compensó los ahorros obtenidos por el menor uso de combustibles respecto al LConv. En girasol, a pesar de que el ahorro en combustible y maquinaria en LMin fue parcialmente compensado por el mayor uso de herbicidas, los costes finales de producción fueron menores en LMin (Tabla 5.8). Aun así, cualquier efecto del sistema de manejo sobre los costes de producción debe interpretarse con precaución ya que este parámetro se encuentra directamente relacionado con la volatilidad de los precios de mercado y pueden variar según el año de estudio. Por ejemplo, en el caso de Estados Unidos, la disminución en el precio del glifosato como consecuencia de la expiración de la patente y la subida de los precios del combustible diésel resultó en una mejora significativa de la rentabilidad de los sistemas de AC (Nail et al., 2007). Si el precio del glifosato aumentara o si el del combustible bajara es posible que la rentabilidad de los sistemas de AC fuera similar a la de los sistemas de laboreo convencional. Por ello es importante contextualizar los resultados en el momento que se realizaron.

Los ingresos fueron diferentes en función del cultivo y del año estudiado, mientras que los beneficios netos solo variaron en función del año estudiado (Tabla 5.5). Durante el período 2007-2011, el cultivo del trigo obtuvo los mayores ingresos, pero también requirió de las mayores inversiones, mientras que el girasol, considerado como cultivo de bajos insumos, no necesitó

prácticamente de ninguna inversión. Sin embargo, debido a que el rendimiento obtenido en girasol de LMin fue menor que en LConv, los beneficios netos obtenidos en ambos sistemas de manejo fueron similares. No obstante, parece que los beneficios pueden depender del tamaño de la finca. Por ejemplo, para la rotación de trigo-leguminosa de secano, la productividad económica en los sistemas de AC puede estar directamente relacionada con el tamaño medio de la finca (Sánchez-Girón et al., 2007) siendo los sistemas de siembra directa más rentables en fincas de más de 400 hectáreas, mientras que en fincas de menor tamaño (< 100 ha), la mayor rentabilidad se consigue con los sistemas de LMin. Otros estudios son necesarios para identificar los cultivos más adaptados y las opciones de manejo en diferentes condiciones socioeconómicas y ambientales.

Generalmente los estudios económicos sobre AC en España se han realizado principalmente con datos de parcelas experimentales (Hernanz et al., 2014; Sánchez Girón et al., 2007), no encontrándose ningún estudio que presentara datos obtenidos de fincas a escala comercial, posiblemente debido a la dificultad de obtener los datos por parte de los agricultores. Aun así, los resultados presentados en este capítulo deben considerarse como orientativos a corto plazo debido a la alta volatilidad de los precios de venta en origen y de los insumos. Sería deseable realizar otros estudios económicos complementarios para ampliar el conocimiento sobre la rentabilidad de la AC en otros cultivos, la sensibilidad de estos sistemas a costes externos y la respuesta de los agricultores a modificar los costes de cultivo en un contexto de alta volatilidad de los precios.

Eficiencia energética de los sistemas de Mínimo Laboreo

La eficiencia energética de los sistemas de LMin ha resultado similar a la de los sistemas de LConv en la rotación trigo-girasol de secano. Ninguno de los indicadores energéticos estudiados (EE, SE, PE) se ha visto influenciado por el sistema de manejo, aunque sí se han identificado diferencias significativas entre estos parámetros según el cultivo (Tabla 5.5).

El LConv practicado en trigo presenta un mayor gasto de maquinaria y de combustible en las labores de pre-siembra pero este consumo es equivalente al mayor gasto de herbicidas (tanto en número de productos como en número de aplicaciones) de los sistemas de LMin. Las entradas de energía en ambos sistemas fueron similares coincidiendo con los resultados obtenidos por Hernanz et al. (2014). Del mismo modo, para el cultivo del girasol no se observó un efecto del sistema de manejo sobre las entradas de energía, lo cual no es extraño ya que el sistema de manejo del girasol en LMin y LConv es muy similar. Además, las entradas de energía en el girasol fueron menores que en el trigo, debido a que en el sur de España el girasol es cultivado con bajos insumos (López-Bellido et al., 2002). El sistema de LMin presentado en este capítulo (girasol de bajos

insumos) resultó en menores EE que en otros estudios en los que el girasol se cultivó para máximo rendimiento (Kallivroussis et al., 2002; Nassi o Di Nasso et al., 2011; Pimentel y Patzek, 2005).

Los valores obtenidos en las salidas de energía (SE) son comparables con los obtenidos en otros trabajos que también han considerado los residuos como salidas de energía, por ejemplo, los realizados por Tsatsarelis (1993), que obtuvo valores de SE alrededor de $112 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para sistemas de laboreo convencional, y los de Nassi o Di Nasso et al. (2011), que obtuvieron valores medios de 117 y $126 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para trigo cultivado en sistemas de no laboreo y convencional, respectivamente. Sin embargo, si los residuos de cosecha se hubieran mantenido en el suelo, según los principios de la AC, las SE hubieran disminuido aproximadamente un 50%.

La productividad energética (PE) media del trigo fue de 0.19 t GJ^{-1} , similar a la obtenida por otros autores en un ensayo experimental en el centro de España para trigo en rotación con veza bajo tres sistemas de manejo convencional con vertedera, mínimo laboreo con cultivador y siembra directa (Hernanz et al., 1995). Estos autores no encontraron diferencias significativas en PE entre los sistemas de siembra directa y mínimo laboreo (0.2 t GJ^{-1} en ambos), pero el tratamiento de laboreo convencional obtuvo un 19% menos de PE. Es posible que los resultados presentados en este capítulo no muestren diferencias entre los sistemas de manejo debido a que, en las parcelas comerciales del sur de España, los agricultores que practican laboreo convencional ya casi no usan el arado de vertedera y realizan un manejo similar al realizado por agricultores que practican mínimo laboreo. Un ejemplo de ello es que en la selección de las parejas de agricultores realizada en este trabajo no se encontró ningún agricultor que usara el arado de vertedera para la rotación trigo-girasol.

Los valores medios de PE en el cultivo de girasol (0.47 t GJ^{-1}) duplicaron los valores de PE del trigo (0.19 t GJ^{-1}). La PE obtenida en girasol también fue superior que la PE obtenida por Moreno et al. (2011) en similares condiciones de secano para el cultivo de girasol en siembra directa (0.2 t GJ^{-1}) y en laboreo convencional (0.1 t GJ^{-1}) así como en otros estudios realizados en girasol de secano en otros países (Pimentel and Patzek, 2005; Kallivroussis et al., 2002; Nassi o Di Nasso et al., 2011). La mayor PE obtenida en el estudio presentado en este capítulo respecto al resto de estudios mencionados puede deberse a las diferencias entre rendimientos, ya que se alcanzaron rendimientos medios de 1300 kg ha^{-1} frente a los menos de los 500 kg ha^{-1} obtenidos por Moreno et al (2011), o a que el girasol se cultiva con bajos insumos y por tanto se minimizan en lo posible las EE.

Los fertilizantes y el combustible representaron el 68% y el 15% de las EE en el trigo, respectivamente, y el combustible supuso el 70% del total de las EE en el girasol (Figura 5.5). Estos resultados coinciden con los obtenidos en otros estudios energéticos realizados en España

y Francia con siembra directa de trigo en secano y en los cuáles el consumo de energía correspondiente a los fertilizantes y al combustible diésel representaron el 60-80% del total de EE del sistema, siendo los fertilizantes el mayor insumo energético (40-65 % de las EE) (Hernanz et al., 2014; Khaledian et al., 2010). Por tanto, los esfuerzos para mejorar la eficiencia energética de los sistemas de LMin deberían focalizarse en ser más eficientes en el uso de estos insumos. La contribución de los herbicidas en las EE es pequeña en relación con otros insumos energéticos estudiados por lo que una reducción en el uso de este insumo puede tener poco impacto sobre la eficiencia energética de los cultivos.

El Segundo Plan Español de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética (2011-2020) incluye entre sus estrategias la promoción de técnicas de AC con el fin de reducir el consumo energético en el sector agrícola (IDAE, 2011). Las estrategias propuestas se centran en reducir el uso de maquinaria y de combustible, pero no consideran el uso eficiente de los fertilizantes a pesar de que les corresponde el mayor insumo energético en los sistemas agrícolas a consecuencia del alto coste energético que implica su fabricación (Leach, 1976; Pimentel et al., 1973). Por ejemplo, en los cultivos de trigo, cebada y colza el consumo medio de combustible representa más del 25% del total de las EE, mientras que el consumo medio de los fertilizantes, especialmente los nitrogenados representan más del 60% del total de las EE de los sistemas agrícolas (IDAE, 2007). En comparación con estas medidas, la consideración de estrategias que favorezcan el ahorro de fertilizantes químicos sin penalización del rendimiento en el cultivo del trigo, reduciría más eficazmente las EE y a su vez, aumentaría la PE de los sistemas (Alluvione et al., 2011). Las medidas para reducir el uso de maquinaria y de combustible podrían resultar útiles para el cultivo del girasol, pero las EE en este cultivo son tan bajas que incluso, si se cultivara con éxito en siembra directa, el ahorro de energía aún seguiría siendo mínimo

Una reducción del 30% de las dosis de fertilizante químico nitrogenado aplicado al trigo se podría traducir en un ahorro energético de 3.7 GJ ha⁻¹. El cálculo de las dosis óptimas de fertilización en base al rendimiento potencial del cultivo y a un análisis de suelo o el uso de tractores con GPS que mejoren la eficiencia de la aplicación de fertilizantes podrían favorecer esta reducción de las dosis de fertilización a corto plazo. No obstante, si todos los componentes de la AC fueran adoptados simultáneamente se podría reducir la necesidad de fertilizantes a largo plazo en función de las condiciones locales (Govaerts et al., 2006), pero sería necesario estudiarlo en nuestras condiciones edafo-climáticas y a escala de finca comercial.

La sustitución parcial de fertilizantes químicos por abonos orgánicos podría ser otra estrategia a implementar para reducir las entradas de energía y mejorar la eficiencia del sistema de LMin. En la encuesta general se identificaron dos agricultores que utilizan fertilizantes orgánicos en combinación con fertilizantes químicos para el cultivo de cereales. Uno de los agricultores

combina un sistema agrícola y ganadero en el cual integra el cultivo de cereales con la ganadería (ganado vacuno) y el otro agricultor aplica fertilizantes orgánicos comerciales. Manuales técnicos publicados por organismos públicos para la producción ecológica de cereales de secano y para mejorar la eficiencia energética de la fertilización nitrogenada recomiendan un manejo del sistema que integre la cobertura permanente del suelo, rotaciones con leguminosas, mínimo laboreo del suelo y aplicaciones esporádicas de estiércol para mejorar la fertilidad del suelo y reducir el uso de los fertilizantes químicos (IDAE, 2007; Lacasta, 2007). Por ejemplo, en el noreste de España, donde abunda la cría de ganado porcino intensivo, las aplicaciones de purines a dosis de 75 kg N ha en siembra directa para monocultivo de cebada han mostrado buenos resultados (Plaza-Bonilla et al., 2014). Otra posible estrategia es la incorporación de leguminosas en la rotación, lo que podría ahorrar del orden de 5 kg de nitrógeno por tonelada de grano (IDAE, 2007). Una rotación de trigo y leguminosas en secano puede mejorar significativamente los rendimientos del trigo en comparación con el monocultivo de trigo o con otras rotaciones comunes como la de trigo-girasol (López-Bellido et al., 2000).

5.5 Conclusiones

La práctica de la AC en la rotación trigo-girasol de secano en el Valle del Guadalquivir se caracteriza por ser un sistema flexible, que no necesariamente cumple con los tres elementos básicos definidos para la AC (no laboreo, cubierta de residuos y rotaciones). Por lo general, los agricultores de AC realizan siembra directa del trigo y un mínimo laboreo en primavera previo a la siembra de girasol, una parte de los residuos del cultivo son retirados de la parcela para su venta y la rotación solo incluye dos cultivos. Debido a estas características específicas de manejo parece más indicado definir a estos sistemas como sistemas de mínimo laboreo.

A diferencia de los sistemas de laboreo convencional, el trigo en mínimo laboreo se cultiva en siembra directa con una fertilización en siembra de abonos complejos ricos en fósforo que sustituye el abonado de fondo y además presentan un mayor uso (dosis y aplicaciones) de herbicidas. En girasol, el manejo del suelo previo a la siembra es similar en ambos sistemas, debido a que los agricultores convencionales han abandonado las prácticas de laboreo profundo de suelo. Los agricultores de mínimo laboreo prefieren realizar estas labores justo antes de la siembra del girasol en primavera, mientras que los agricultores de laboreo convencional comienzan a preparar el terreno a finales de verano. Además, el manejo de arvenses en girasol suele ser químico en los sistemas de mínimo laboreo frente al control mecánico que suelen realizar los agricultores de laboreo convencional.

A nivel agronómico es probable que las labores practicadas en el girasol y la eliminación de parte de los residuos de trigo de la parcela en estos sistemas de mínimo laboreo hayan impedido mejorar la calidad del suelo reduciendo la posibilidad de obtener las mejoras agronómicas que los sistemas de agricultura de conservación podrían aportar si se hubieran mantenido los residuos y no se hubiera labrado cada dos años (cada vez que se cultiva el girasol). Por el contrario, si se observó una penalización del rendimiento en el cultivo del girasol en mínimo laboreo frente al laboreo convencional.

En términos económicos, ambos sistemas obtuvieron beneficios netos parecidos para la rotación trigo-girasol de secano. Los sistemas de mínimo laboreo favorecieron un ahorro significativo de costes en el cultivo del girasol, a diferencia del cultivo del trigo en siembra directa donde la mayor inversión en herbicidas y fertilizantes compensó los ahorros de costes obtenidos por el menor uso de combustible. El beneficio neto también fue similar entre cultivos. El cultivo del trigo obtuvo los mayores ingresos, pero también requirió de mayores inversiones, mientras que el girasol, considerado cultivo de bajos insumos, no necesitó prácticamente de inversiones.

El sistema de mínimo laboreo presentó una eficiencia energética similar al sistema convencional, siendo el girasol el cultivo con mayor productividad energética por ser un cultivo de bajos insumos. Respecto a los elementos de consumo energético, los mayores insumos energéticos encontrados en la rotación trigo-girasol han sido fertilizantes y combustibles. La reducción del laboreo de los sistemas de mínimo laboreo ya representa un claro ahorro de combustible, pero también sería necesario implementar conjuntamente medidas para reducir el consumo energético de fertilizantes químicos.

El actual Plan Español de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética (2011-2020) constituye un avance para mejorar la eficiencia energética de los sistemas agrícolas, pero hasta el momento y a pesar de su apoyo a los sistemas de AC solo incluye medidas de ahorro energético de maquinaria y combustible, sin considerar otras medidas relacionadas con el ahorro energético de la fertilización. Incluir algunas medidas dentro de este Plan que favorecieran el uso eficiente de fertilizantes químicos y por tanto, la reducción del uso, podría ser más efectivo para aumentar la eficiencia energética. La consideración de otras estrategias alternativas a la fertilización química como la fertilización orgánica, la conservación de residuos, rotación con leguminosas o la siembra de abonos verdes también podrían resultar efectivas para la reducción del consumo energético y por tanto para la mejora de la eficiencia energética de los sistemas de AC.

Futuras investigaciones participativas son necesarias para desarrollar estrategias a corto y largo plazo que ayuden a la superación de los desafíos agronómicos, socioeconómicos y energéticos que plantea la flexibilización de la práctica de la AC en diferentes contextos locales.

5.6 Referencias

- Aboudrare, A., Debaeke, P., Bouaziz, A., Chekli, H. 2006. Effects of soil tillage and fallow management on soil water storage and sunflower production in a semi-arid Mediterranean climate. *Agricultural Water Management* 83:183-196.
- Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D., Grignani, C. 2011. EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. *Energy* 36:4468-4481.
- Álvaro-Fuentes, J., Cantero-Martínez, C., López, M.V., Arrúe, J.L. 2007. Soil carbon dioxide fluxes following tillage in semiarid Mediterranean agroecosystems. *Soil and Tillage Research* 96:331–341.
- Álvaro-Fuentes, J., López, M.V., Arrúe, J.L., Cantero-Martínez, C. 2008. Management effects on soil carbon dioxide fluxes under semiarid Mediterranean conditions. *Soil Science Society of America Journal* 72:194–200.
- Álvaro-Fuentes, J., Cantero-Martínez, C. 2010. Potential to mitigate anthropogenic CO₂ emissions by tillage reduction in dryland soils of Spain. Short communication. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8:1271-1276.
- Austin, R.B., Cantero-Martínez, C., Arrúe, J.L., Playán, E., Cano-Marcellán, P. 1998. Yield-rainfall relationships in cereal cropping systems in the Ebro river valley of Spain. *European Journal of Agronomy* 8:239-248.
- Bailey, A.P., Basford, W.D., Penlington, N., Park, J.R., Keatinge, J.D.H., Rehman, T., Tranter, R.B., Yates, C.M. 2003. A comparison of energy use in conventional and integrated arable farming systems in the UK. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97:241-253.
- Boerma, H., Gimby, M., Coxworth, E. 1980. A study of the energy consumption of different practices in Saskatchewan. Year III. Tech. Report No. 103, Publ. No. C-815-1-B-80. Saskatchewan Research Council, Saskatoon, SK. 35 pp
- Borin, M., Menini, C., Sartori, L. 1997. Effects of tillage systems on energy and carbon balance in north-eastern Italy. *Soil and Tillage Research* 40:209-226.
- Botta, G.F., Jorajuria, D., Balbuena, R., Ressia, M., Ferrero, C., Rosatto, H., Tourn, M. 2006. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus L.*) yields. *Soil and Tillage Research* 91:164-172.
- Boto, J., Pastrana, P., Suárez de Cepeda, M. 2005. Consumos energéticos en las operaciones agrícolas en España. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10255_Consumos_energeticos_operaciones_agricolas_Espana_05_d94c1676.pdf
- Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal* 54:464-465.
- Burnham, K.P., Anderson, D.R. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach, 2nd edn. Springer, New York.

- Cid, P., Pérez-Priego, O., Orgaz, F., Gómez-Macpherson, H. 2013. Short and mid-term tillage-induced soil CO₂ efflux on irrigated permanent and conventional bed planting systems with controlled traffic in southern Spain. *Soil Science* 51:447–458.
- Cid P., Carmona, I., Murillo, J.M, Gómez-Macpherson, H. 2014. Permanent bed planting and controlled traffic in a maize-based irrigated system in Mediterranean conditions: Effects on soil compaction, crop performance and carbon sequestration. *European Journal of Agronomy* 61:24-34.
- Clements, D.R., Weise, S.F., Brown, R., Stonehouse, D.P., Hume, D.J., Swanton, C.J. 1995. Energy analysis of tillage and herbicide inputs in alternative weed management systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 52:119-128.
- Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación (CAPMA), 2013. Observatorio de precios y mercados. Junta de Andalucía. <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio/servlet/FrontController?ec=default>
- Govaerts, B., Sayre, K.D., Ceballos-Ramirez, J.M., Luna-Guido, M.L., Limon-Ortega, A., Deckers, J., Dendooven, L. 2006. Conventionally tilled and permanent raised beds with different crop residue management: effects on soil C and N dynamics. *Plant and Soil* 280:143–155.
- Green, M.B., Hartley, G.S., West, T.F. 1977. *Chemicals for Crop Protection and Pest Control*. Pergamon Press Ltd.
- Green, M.B. 1987. Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In: B.A. Stout and M.S. Mudahar (Editors), *Energy in Plant Nutrition and Pest Control*. Elsevier, Amsterdam, 165-177.
- Gúzman, G.I., Alonso, A.M. 2008. A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain. *Agricultural Systems* 98:167-176.
- Hernanz, J.L., Girón, V., Cerisola, C. 1995. Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. *Soil and Tillage Research* 35:183–198.
- Hernanz, J.L., Sánchez-Girón, V., Navarrete, L., Sánchez, M.J. 2014. Long-term (1983–2012) assessment of three tillage systems on the energy use efficiency, crop production and seeding emergence in a rain fed cereal monoculture in semiarid conditions in central Spain. *Field Crops Research* 166:26–37.
- Hülsbergen, K.L., Feil, B., Biermann, S., Rathke, G.W., Kalk, W.D., Diepenbrock, W. 2001. A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture Ecosystems and Environment* 86:303-321.
- IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía), 2007. *Ahorro, Eficiencia Energética y Fertilización Nitrogenada*. Serie Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura nº6. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10418_Fertilizacion_nitrogenada_07_e65c2f47.pdf
- IDAE, 2011. Segundo Plan de Ahorro y de Eficiencia Energética (2011-2020) Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España.

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11905_PAEE_2011_2020_Anejo_A2011_A_9c717362.pdf

- Kallivroussis, L., Natsis, A., Papadakis, G. 2002. The energy balance of sunflower production for biodiesel in Greece. *Biosystems Engineering* 81:347–354.
- Khaledian, M.R., Mailhol, J.C., Ruelle, P., Mubarak, I., Perret, S. 2010. The impacts of direct seeding into mulch on the energy balance of crop production system in the SE of France. *Soil and Tillage Research* 106:218-226.
- Lacasta, C. 2007. Agricultura Ecológica en Cereales de Secano. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, España <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/export/sites/default/comun/galerias/galeriaDescargas/cap/produccion-ecologica/cerealeco1.pdf>
- Lahmar, R. 2010. Adoption of conservation agriculture in Europe. Lessons of the KASSA project. *Land Use Policy* 27:4-10.
- Leach, G. 1976. Energy and Food Production. IPC Science and Technology Press Londres.
- López-Bellido, L., López-Bellido, R.J., Castillo, J.E., López-Bellido, F.J. 2000. Effects of tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization on wheat under rainfed Mediterranean conditions. *Agronomy Journal* 92:1054-1063.
- López-Bellido, R.J., López-Bellido, L., Castillo, J.E., López-Bellido, F.J. 2002. Sunflower response to tillage and soil residual nitrogen in a wheat-sunflower rotation under rainfed Mediterranean conditions. *Australian Journal of Agricultural Research* 53:1027-1033.
- López-Garrido, R., Madejón, E., Murillo, J.M., Moreno, F. 2011. Soil quality alteration by mouldboard ploughing in a commercial farm devoted to no-tillage under Mediterranean conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140:82–190.
- López-Garrido R, Díaz-Espejo A, Madejón E, Murillo JM, Moreno F. 2009 Carbon losses by tillage under semi-arid Mediterranean rainfed agriculture (SW Spain). *Spanish Journal of Agriculture Research* 7:706–716.
- Morell, F.J., Álvaro-Fuentes, J., Lampurlanés, J., Cantero-Martínez, C. 2010. Soil CO₂ fluxes following tillage and rainfall events in a semiarid Mediterranean agroecosystem: Effects of tillage systems and nitrogen fertilization. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 139:167–173.
- Madejón, E., Moreno, F., Murillo, J.M., Pelegrín, F. 2007. Soil biochemical response to long-term conservation tillage under semi-arid Mediterranean conditions. *Soil and Tillage Research* 94:346-352.
- Madejón, E., Murillo, J.M., Moreno, F., López, M.V., Arrúe, J.L., Álvaro-Fuentes, J., Cantero, C. 2009. Effect of long-term conservation tillage on soil biochemical properties in Mediterranean Spanish areas. *Soil and Tillage Research* 105:55–62.
- MAGRAMA, 2012. Cálculo de los costes de operación de cultivos en diferentes zonas agrícolas. Plataforma del conocimiento para el medio rural y pesquero. Observatorio de tecnologías probadas. Maquinaria agrícola. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/maquinaria-agricola/>

- Melero, S., López-Bellido, R.J., López-Bellido, L., Muñoz-Romero, V., Moreno, F., Murillo, J.M. 2011. Long-term effect of tillage, rotation and nitrogen fertiliser on soil quality in a Mediterranean Vertisol. *Soil and Tillage Research* 114:97–107.
- Moreno, F., Pelegrin, F., Fernández, J.E., Murillo, J.M. 1997. Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain. *Soil and Tillage Research* 41:25–42.
- 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 and Tillage Research* 114:18–27.
- Nail, E.L., Young, D.L., Schillinger, W.F. 2007. Diesel and glyphosate price changes benefit the economics of conservation tillage versus traditional tillage. *Soil and Tillage Research* 94:321–327.
- 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.
- Ordóñez Fernández R., González Fernández P., Giraldes Cervera J.V., Perea Torres F. 2007. Soil properties and crop yields after 21 years of direct drilling trials in southern Spain. *Soil and Tillage Research* 94:47–54.
- Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R., 1982. *Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy Series No 9, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., Grace, P. 2014. Conservation Agriculture and ecosystem service: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187:87–105.
- Panettieri, M., Carmona, I., Melero, S., Madejón, E., Gómez-Macpherson, H., 2013. Effect of permanent bed planting combined with controlled traffic on soil chemical and biochemical properties in irrigated semi-arid Mediterranean conditions. *Catena* 107:103–109.
- Pimentel, D., Hurd, E., Belloti, A.L., Forster, M.J., Oka, J.N., Sholes, O.D., Whitman, R.J. 1973. Food production and the energy crisis. *Science* 182:443–449.
- Pimentel, D., 1980. *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL, p. 475.
- Pimentel, D., Patzek, T.W. 2005. Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower. *Natural Resources Research* 14:65–76.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., and R Core Team. 2014. nlme: linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.1-118.
- Pittelkow, C.M., Linnquist, B.A., Lundy, M.E., Liang, X., Van Groenigen, K.J., Lee, J., Van Gestel, N., Six, J., Venterea, R.T., Van Kessel, C. 2015. When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field Crops Research* 183:156–168.
- Plaza-Bonilla, D., Álvaro-Fuentes, J., Arrúe, J.L., Cantero-Martínez, C., 2014. Tillage and nitrogen fertilization effects on nitrous oxide yield-scaled emissions in a rainfed Mediterranean area. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 189:43–52.

- R Development Core Team, 2014. A introduction to R. Versión 3.1.2. R-Project, URL: <http://www.r-project.org/>
- RAEA (Red Andaluza de Experimentación Agrícola), 2006. Agricultura de Conservación. Ensayos de Trigo y Girasol. Campaña 2004/05. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
- RAEA, 2007. Agricultura de Conservación. Ensayos de Trigo y Girasol. Campaña 2005/06. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
- RAEA, 2008. Agricultura de Conservación. Ensayos de Trigo y Girasol. Campaña 2006/07. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
- RAEA, 2011. Ensayos de Girasol. Campaña 2010. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
- RAEA, 2013. Resultados de ensayos de nuevas variedades de trigo duro en Andalucía. Campaña 2012/13. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
- Rathke, G.W., Wienhold, B.J., Wilhelm, W.W., Diepenbrock, W. 2007. Tillage and rotation effect on corn-soybean energy balances in eastern Nebraska. *Soil and Tillage Research* 97:60–70.
- Sánchez-Girón, V., Serrano, A., Suárez, M., Hernanz, J.L., Navarrete, L. 2007. Economics of reduced tillage for cereal and legume production on rainfed farm enterprises of different sizes in semiarid conditions. *Soil and Tillage Research* 95:149–160.
- Slafer, G.A., Araus, J.L., Richards, R.A. 1999. Physiological traits that increase the yield potential of wheat. In: Satorre, E.H., Slafer, G.A. (Eds.). *Wheat: ecology and physiology of yield determination*. Food Products Press, NY. USA, 379-415.
- Soane, B.B., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., Roger-Estrade, J. 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research* 118:66–87.
- Tabatabai, M.A. 1982. Soil enzymes. *Methods of Soil Analysis*, 903-947.
- Tsatsarelis, C.A. 1993. Energy inputs and outputs for soft winter wheat production in Greece. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 43:109-118.
- Walkley, A., Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29–38.
- West, T.O., Marland, G. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 91:217-232.
- Zentner, R.P., McConkey, B.G., Stumborg, M.A., Campbell, C.A., Selles, F. 1998. Energy performance of conservation tillage management for spring wheat production in the Brown soil zone. *Canadian Journal of Plant Science* 78:553–563.

- 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 and Tillage Research* 77:125–136.
- Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A.A., Smith, G.M. 2009. *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. New York, NY: Springer.

*Capítulo 6*DISCUSIÓN GENERAL

6.1 ¿Qué tipo de agricultura de conservación realizan los agricultores andaluces en cultivos herbáceos?

La AC en cultivos herbáceos andaluces se caracteriza por combinar selectivamente algunos de los componentes de la AC. Aunque estas prácticas se alejan de la definición de AC propuesta por FAO (2013), los sistemas de AC andaluces representan adaptaciones racionales a las condiciones locales socioeconómicas, agronómicas y ambientales. En general, los agricultores realizan un mínimo laboreo para cualquier cultivo que no sea cereal. En solo un 13% de las parcelas de siembra directa muestreadas en Andalucía por el MAGRAMA para elaborar ESYRCE, los agricultores realizaron siembra directa continuada durante todo el período de estudio. Por otro lado, solo el 23% de las rotaciones identificadas en la encuesta general mantienen siembra directa continuada. Estas dos fuentes de información, así como las estadísticas de solicitud de la Submedida 12, mostraron que las combinaciones de cultivos de cereales (grano y forraje) y barbecho prevalecen en los sistemas de siembra directa continua. En otros cultivos como girasol o leguminosas se realiza un mínimo laboreo antes de la siembra del cultivo porque no hay disponibles sembradoras de siembra directa adaptadas a las condiciones locales. Este laboreo intermitente (cada campaña de cultivo industrial o leguminosas) produce una perturbación del suelo que no favorece las mejoras de calidad del suelo a largo plazo relacionadas con la práctica de AC (Verhulst et al., 2010), ni las posibles mejoras en el rendimiento del cultivo derivadas de ello (Brouder and Gómez-Macpherson, 2014). Más aún, la mayoría de los agricultores en este estudio vendieron la paja de los cereales aumentando el riesgo de erosión (Boulal et al., 2011) y privando a los microorganismos del suelo de su mayor fuente de carbono y otros nutrientes

(Erenstein, 2002). La comprensión de cómo y por qué los agricultores aplican selectivamente algunos componentes de AC pero no otros, ayudará a los investigadores, agricultores y a otras partes interesadas a solucionar los principales limitantes de la adopción de AC.

6.2 Limitantes para la adopción y manejo continuado de la Agricultura de Conservación en parcelas comerciales

Las fincas de AC caracterizadas en la encuesta general tienen, como media, una mayor superficie que las fincas convencionales en Andalucía (472 ha frente a 18 ha) lo que refleja una posible barrera socioeconómica para la adopción de la AC. Las grandes fincas están asociadas a agricultores con educación superior y con mayor acceso a recursos económicos para adquirir la costosa maquinaria de siembra directa. Además, estos agricultores pueden asumir mejor las posibles pérdidas de rendimiento durante las primeras campañas tras la adopción de AC (Andersson, and D'Souza, 2014; Bolliger et al., 2006). Las fincas grandes facilitan la diversificación de riesgos. Incluso los agricultores que llevan más años implementando la AC dedican solo la mitad de su área de cultivos herbáceos a este sistema.

A pesar del alto nivel de educación que presentan los agricultores de AC, el 67% con estudios universitarios frente al 2% de media de los agricultores andaluces, casi todos los participantes reconocieron la necesidad de una formación técnica especializada para adoptar la AC con éxito. La relación directa entre formación especializada y la adopción de AC en España (Rodríguez-Entrena and Arriaza, 2013) y en otros países (Baumgart-Getz et al., 2012) indica que podría ser una estrategia para promover la adopción AC entre los grupos menos representados en el sector de la AC andaluza, como los pequeños agricultores y las mujeres. Aunque el perfil socioeconómico de la mayoría de los agricultores que practican la AC en el Valle del Guadalquivir pone de manifiesto posibles limitaciones económicas para la adopción de estas técnicas, la formación técnica especializada puede ser clave para superar estas barreras socioeconómicas y para promover la AC entre un mayor número de agricultores.

La no disponibilidad de maquinaria de siembra directa adecuada para el cultivo de girasol y otros cultivos parece en principio un problema técnico solucionable. Para ello, se necesita la colaboración entre agricultores, investigadores y fabricantes de maquinaria con el objetivo de desarrollar una sembradora de siembra directa adaptada a las condiciones de suelos arcillosos (básicamente vertisoles) con alto contenido en humedad. En Brasil y Argentina, dos de los países con mayor superficie de AC a nivel mundial, la rápida adopción de AC fue posible en parte porque los fabricantes de maquinaria adaptaron la tecnología de las sembradoras de siembra directa a las necesidades de los agricultores locales (Derpsch and Friedrich, 2009). En España, los fabricantes

están ubicados en el centro y el noreste de España y la siembra directa se ha adoptado con relativo éxito, si bien allí donde predominan las rotaciones de cereales con barbecho o monocultivo de cereales (López et al., 2012; MAGRAMA, 2013). La escasa demanda de sembradoras de siembra directa en Andalucía puede estar influyendo en la falta de interés para desarrollar maquinaria adaptada por parte de los fabricantes. En Andalucía, la colaboración entre empresas de maquinaria y agricultores para adaptar las sembradoras a las condiciones locales, incluyendo sembradoras de laboreo en banda (*strip-till*), solucionaría la siembra directa de otros cultivos y posiblemente ayudaría a incrementar la adopción de AC en la región.

Al igual que para la sembradora, las soluciones para la mayoría de los problemas identificados en los sistemas de AC requieren la colaboración entre agricultores, investigadores y otros actores. Por ejemplo, los agricultores deben ser conscientes de que la cobertura del suelo con residuos mitiga los efectos negativos de la siembra directa en el rendimiento de los cultivos y mejora la calidad del suelo a largo plazo (Brouder and Gómez Macpherson, 2014; Pittelkow et al., 2015). Sin embargo, se necesita más investigación aplicada para ayudar a los agricultores a maximizar los beneficios ambientales y económicos que conlleva el mantenimiento de residuos. En particular, se desconoce la cantidad óptima de paja que se debe dejar sobre la superficie del suelo para proteger y mejorar la calidad del mismo bajo diferentes condiciones, ni la altura de corte en la cosecha, ni el momento más adecuado para la eliminación parcial de los residuos. Los agricultores de AC no deberían seguir recetas rígidas a la hora de practicar la AC, sino más bien entender que un sistema de AC puede ser flexible y estar abierto a la incorporación de diferentes adaptaciones locales para satisfacer las necesidades en cada contexto. Por ejemplo, algunos sistemas innovadores podrían incluir el laboreo esporádico o de precisión si estos contribuyen a la sostenibilidad y la viabilidad económica (Kirkegaard et al., 2014; López-Fando et al., 2007). El reto es cómo hacer de la AC un sistema funcional que se adapte a diferentes contextos agrícolas al tiempo que optimiza los efectos beneficiosos derivados de la aplicación de estos principios.

6.3 Beneficios de la Agricultura de Conservación en el Valle del Guadalquivir: estudio de caso de la rotación trigo-girasol.

La rotación más común en las fincas de los agricultores entrevistados fue trigo-girasol en secano y, tras caracterizarla, se optó por nombrarla como mínimo laboreo (LMin) debido a las labranzas intermitentes y a la eliminación de los residuos. En comparación con la rotación trigo-girasol cultivada con laboreo convencional (LConv), la rotación trigo-girasol en LMin no mostró, a escala comercial, los beneficios de la AC encontrados a escala experimental: mejora de la calidad del suelo, aumento de la productividad de los cultivos, reducción de costes de producción, y el ahorro

de las entradas de energía. Estos resultados no deberían extrañar ya que los manejos de cultivo fueron similares en los dos sistemas, particularmente con el cultivo del girasol.

6.3.1 Manejo de cultivo y calidad de suelo

En comparación con el LConv, las principales diferencias de manejo en LMin fueron la siembra directa del trigo, la aplicación de diferentes tipos de fertilizantes, un mayor uso de herbicidas en el trigo y una preparación del suelo más tardía para la siembra de girasol. En ambos sistemas se realiza un mínimo laboreo antes de la siembra del girasol pero los agricultores de LMin suelen retrasar estas labores hasta justo antes de la siembra, normalmente en primavera. Con esta estrategia los agricultores de LMin dejan el suelo protegido con los residuos durante la época lluviosa del otoño y el invierno reduciendo los riesgos de erosión. Por otro lado, tanto en LConv como en LMin casi todos los agricultores recogieron la paja del trigo para su venta (Tabla 5.4). Los indicadores de la calidad del suelo estudiados (COT y la actividad β -glucosidasa) no mostraron diferencias entre sistemas de manejo (Figura 5.2). Es probable que la ausencia de labores profundas en LConv, el mínimo laboreo bianual practicado en el girasol de LMin y la eliminación de los residuos de trigo de la parcela en los dos sistemas hayan reducido la posibilidad de obtener diferencias en la calidad del suelo.

Además de la falta de tecnología adecuada para la siembra directa del girasol, el control de arvenses es otro problema importante citado por los agricultores de LMin para ambos cultivos. Un mayor uso de herbicidas en AC se ha asociado con una mayor presencia de arvenses en parcelas y con la aparición de resistencias a herbicidas (Soane et al., 2012; Trichard et al., 2013). Para mejorar el control de arvenses, el grupo focal propuso como estrategias aumentar la competencia intraespecífica reduciendo la distancia entre líneas de siembra, un aumento de la densidad de siembra para el trigo y el uso de variedades comerciales no transgénicas resistentes a determinados herbicidas en el girasol (Tabla 4.5). También podrían evaluarse algunas técnicas de manejo de arvenses recomendadas en agricultura ecológica, entre las que destacan la diversificación de cultivos (incluir leguminosas y cultivos industriales), mayores dosis de siembra y siembra de cereales en líneas agrupadas (Lacasta, 2007). No obstante, se necesita evaluar en campo las posibles estrategias y desarrollar nuevos enfoques integrales de manejo que mejoren el control de arvenses y a su vez, reduzcan el uso de herbicidas en los sistemas de cultivos herbáceos de AC.

6.3.2 Rendimiento y evaluación económica del cultivo

En coincidencia con los resultados obtenidos por Hernanz et al. (2014), las diferencias estacionales de las precipitaciones han podido ocultar cualquier efecto que el sistema de manejo haya podido tener sobre el rendimiento en el cultivo del trigo. En girasol los menores rendimientos registrados en LMin (9% menos que en LConv) pueden deberse a posibles problemas de compactación (Botta et al., 2006). Aunque la preparación del suelo para el girasol fue similar en los dos sistemas de manejo, el laboreo realizado para el trigo en el sistema de LConv ha podido aliviar los efectos negativos de la compactación y con ello, evitar posibles pérdidas de rendimiento.

En términos económicos, el cultivo del trigo obtuvo los mayores ingresos, pero también requirió de mayores inversiones, mientras que el girasol, un cultivo de bajos insumos, no necesitó prácticamente de ninguna inversión y obtuvo aproximadamente el mismo beneficio neto que el trigo (Tabla 5.8). En los sistemas de LMin, la elevada inversión en insumos (herbicidas y fertilizantes) compensó los ahorros de costes obtenidos por el menor uso de combustible diésel respecto a los sistemas de LConv. No obstante, debido a que los resultados económicos obtenidos son altamente dependientes de la volatilidad de los precios (Nail et al., 2007), otros estudios económicos complementarios son necesarios para ampliar el conocimiento sobre la rentabilidad de estos sistemas y a su vez, generar información que los agricultores puedan tener disponible a la hora de tomar decisiones sobre las técnicas de AC que podrían adoptar.

Esta falta de claros beneficios económicos en los sistemas de LMin en comparación con los sistemas de LConv es probablemente una de las principales razones que justifican la escasa adopción de las prácticas de AC en cultivos herbáceos en Andalucía. Diferentes cambios en el manejo actual de los sistemas de LMin podrían mejorar la rentabilidad de estos sistemas. Por ejemplo, mantener el suelo cubierto de residuos y limitar el laboreo del suelo podría mejorar la fertilidad del suelo a largo plazo y reducir los costes de fertilización en el cultivo del trigo. Sin embargo, una cuestión clave es si el girasol debe ser sustituido por otros cultivos (no cereales) que se adapten mejor a las condiciones locales, sin perder rentabilidad en el sistema. La nueva Política Agraria Común (PAC) anima a los agricultores europeos a diversificar los cultivos, principalmente con la incorporación de leguminosas en la rotación. Cultivos como las habas o la colza industrial, pueden representar buenas alternativas a incorporar en Andalucía ya que al ser cultivadas durante el invierno, aprovechan la temporada de lluvias y a su vez, evitan la entrada de las pesadas sembradoras en primavera cuando el suelo está muy húmedo. No obstante, algunos modelos indican que para la rotación de trigo-leguminosa, la productividad económica en los sistemas de AC puede estar directamente relacionada con el tamaño medio de la finca, siendo las fincas de más de 400 hectáreas las que mayor rentabilidad presentan con la siembra directa

(Sánchez-Girón et al., 2007). Futuros estudios son necesarios para evaluar los mejores cultivos y opciones de manejo en diferentes condiciones socioeconómicas y ambientales.

6.3.3 Eficiencia energética

La eficiencia energética, estudiada a través de diferentes índices energéticos (EE, SE y PE), resultó similar en ambos sistemas para la rotación trigo-girasol de secano. Los insumos de fertilizante (68%) y de combustible (15%) representaron más del 80% de las EE para el cultivo del trigo, mientras que en girasol, el combustible diésel supuso el 70% del total de las EE. Estos resultados coinciden con los obtenidos en otros estudios energéticos realizados en España y Francia con siembra directa de trigo en secano (Hernanz et al., 2014; Khaledian et al., 2010). Estos autores estimaron que el consumo de energía correspondiente a los fertilizantes y al combustible diésel representan entre el 60-80% del total de EE del sistema, siendo los fertilizantes el mayor insumo energético (40-65 % de las EE). Por ello, esfuerzos para mejorar la eficiencia energética en estos sistemas deberían focalizarse en gran parte en estos insumos.

Entre las estrategias para ahorro de la fertilización nitrogenada se podría estudiar el uso más eficiente de los fertilizantes y la reducción resultante de la dosis de aplicación. Una reducción del 30% de las dosis de fertilizante químico nitrogenado aplicado en LMin en trigo representaría un ahorro energético de 3.7 GJ por hectárea. Otra opción es la incorporación de sistemas de GPS en los tractores que ayudaría a evitar solapamientos y a aumentar la uniformidad de la aplicación. Además, si todos los componentes de la AC fueran adoptados simultáneamente aumentaría la fertilidad del suelo con el tiempo y se podría reducir la necesidad de fertilizantes a largo plazo en función de las condiciones locales (Govaerts et al., 2006). Otras estrategias como la sustitución parcial o total de fertilizantes químicos por abonos orgánicos, y la incorporación de leguminosas en la rotación, podrían resultar eficaces para reducir las entradas de energía en el sistema de LMin, tal como se ha detectado en la encuesta. Los buenos resultados de la fertilización orgánica en los sistemas de siembra directa ya han sido comprobados en el noreste de España, donde abunda la cría de ganado porcino intensivo y se realizan aplicaciones de purines a dosis de 75 kg N ha en la rotación de cebada-barbecho (Plaza-Bonilla et al., 2014). Del mismo modo, la incorporación de leguminosas en la rotación puede mejorar significativamente los rendimientos del trigo de secano en comparación con el monocultivo de trigo o con otras rotaciones comunes como la de trigo-girasol (López-Bellido et al., 2000). La posibilidad de incorporar estas estrategias de manejo en los sistemas de AC permitiría mejorar la eficiencia energética a nivel de parcela comercial y por tanto, debería ser una prioridad de investigación en AC.

6.4 Estandarización de las metodologías para generar las estadísticas en Agricultura de Conservación a nivel internacional

La disponibilidad de estadísticas oficiales a nivel nacional e internacional sobre agricultura de conservación es importante para orientar las políticas agrarias dirigidas a la conservación del suelo y la protección de los recursos naturales. España es uno de los pocos países europeos que presenta estadísticas oficiales relacionadas con la AC mediante la publicación anual de la superficie de siembra directa de cereales y girasol a nivel nacional y regional (MAGRAMA, 2014a). Sin embargo, la siembra directa de cultivos *per se* no es equivalente a la AC si no se adoptan conjuntamente los elementos que la hace efectiva (Derpsch et al., 2014). En Andalucía, los datos obtenidos en la encuesta y el análisis de los datos originales de las estadísticas oficiales revelaron que la mayoría de los agricultores de AC retiran los residuos de trigo para su venta y realizan un mínimo laboreo antes de sembrar los cultivos que no son cereales (cada dos años en la rotación trigo-girasol). A pesar de estas discrepancias, los datos oficiales sobre el área de cultivos en siembra directa se ha considerado equivalente a la superficie de AC en estudios de investigación (González-Sánchez et al., 2015) e incluido en la base de datos internacionales como la de FAO (FAO, 2015). Dada la importancia de las estadísticas de la FAO, y para evitar confusiones, se recomienda revisar los datos actuales publicados para España especificando que se refieren solo a siembra directa de cultivos de cada año.

Diferentes interpretaciones de AC se pueden encontrar entre los agricultores, los investigadores y las instituciones en cualquier parte del mundo (Uri, 2000). Recientemente se ha publicado un meta-análisis a nivel mundial sobre rendimientos de cultivos en AC que ha generado un fuerte debate sobre la AC (Pittelkow et al., 2015). Varios autores han cuestionado la validez del trabajo porque incluye sistemas de AC que no contemplan todos los elementos en los que se basa la efectividad de la AC (Bing-So et al., 2015; Friedrich et al., 2015). Previamente a este debate, investigadores e investigadoras a nivel internacional resaltaron la necesidad de estandarizar la información detallada en la metodología de cualquier investigación relacionada con la AC para poder facilitar la comparación entre estudios a nivel mundial (Brouder and Gómez Macpherson, 2014; Derpsch et al., 2014). Al igual que en los trabajos de investigación, una estandarización de la metodología para la recogida y elaboración de las estadísticas de superficie de AC a nivel mundial es necesaria. La metodología utilizada actualmente por MAGRAMA (2014a) podría ser fácilmente adaptada para incluir información sobre el manejo de residuos de cultivo y superficie de cubierta de suelo, la rotación de cultivos y la superficie de otros cultivos herbáceos como las leguminosas. Esta nueva metodología podría servir de modelo a otros países europeos que actualmente dependen de las asociaciones nacionales de CA para generar y reportar las estadísticas nacionales. La Federación Europea de Agricultura de Conservación (ECAF)

encargada de coordinar las diferentes asociaciones europeas de AC y de promover la adopción de estas técnicas en Europa podría liderar esta propuesta.

6.5 Referencias

- Andersson, J.A., D'Souza, S. 2014. From adoption claims to understanding farmers and contexts: A literature review of Conservation Agriculture (CA) adoption among smallholder farmers in southern Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187:116–132.
- Baumgart-Getz, A., Prokopy, L.S., Floress, K. 2012. Why farmers adopt best management practice in the United States: a meta-analysis of the adoption literature. *Journal of Environmental Management* 96:17–25.
- Bing-So, H., Reicosky, D.C., Derpsch, R., Kassam, A., Goddard, T., Buffett, H. 2015. Reply letters (#64947) to Pittelkow, C.M., Liang, X., Linquist, B.A., van Groenigen, K.J., Lee, J., Lundy, M.E., van Gestel, N., Six, J., Venterea, R.T., van Kessel, C. 2015. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature* 517: 365-368. <http://www.nature.com/nature/journal/v517/n7534/abs/nature13809.html>
- Bolliger, A., Magid, J., Carneiro Amado, T.J., Skora Neto, F., Santos Ribeiro, M.F., Calegari, A., Ralisch, R., Neergaard, A. 2006. Taking Stock of the Brazilian “Zero-Till Revolution”: A Review of Landmark Research and Farmers’ Practice. *Advances in Agronomy* 91:47–110.
- Botta, G.F., Jorajuria, D., Balbuena, R., Ressia, M., Ferrero, C., Rosatto, H., Tourn, M. 2006. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus* L.) yields. *Soil and Tillage Research* 91:164-172.
- Boulal, H., Gómez-Macpherson, H., Gómez, J.A., Mateos, L. 2011. Effect of soil management and traffic on soil erosion in irrigated annual crops. *Soil and Tillage Research* 115-116:62-70.
- Brouder, S. M., Gómez-Macpherson, H. 2014. The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187:11-32.
- Derpsch, R., Friedrich, T. 2009. Global overview of conservation agriculture adoption. 4th Congress on Conservation Agriculture. February 4-7, 2009. New Delhi, India.
- Derpsch, R., Franzluebbers, A.J., Duiker, S.W., Reicosky, D.C., Koeller, K. 2014. Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil and Tillage Research* 137:16–22.
- Erenstein, O. 2002. Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil and Tillage Research* 67:115-133.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2013. Basic Principles of Conservation Agriculture. In: <http://www.fao.org/ag/ca/1a.html> (último acceso 10.2014).
- FAO, 2015. CA Adoption Worldwide, FAO AQUASTAT database. Available at: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/dbase/indexesp.stm> (último acceso 01.2015).

- Friedrich, T., Kassam, A., Corsi, S. 2014. Conservation Agriculture in Europe. In: R.A. Jat, K.L. Sahrawat and A.H. Kassam (Eds). Conservation Agriculture: Global Prospects and Challenges, CAB International. Chapter 6. 127-179.
- Friedrich, T., Pisante, M., Sturny, W.G., Corsi, S., Buffett, H. 2015. Reply letters (#65029) to Pittelkow, C.M., Liang, X., Linqvist, B.A., van Groenigen, K.J., Lee, J., Lundy, M.E., van Gestel, N., Six, J., Venterea, R.T., van Kessel, C. 2015. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature* 517: 365-368. <http://www.nature.com/nature/journal/v517/n7534/abs/nature13809.html>.
- Govaerts, B., Sayre, K.D., Ceballos-Ramirez, J.M., Luna-Guido, M.L., Limon-Ortega, A., Deckers, J., Dendooven, L. 2006. Conventionally tilled and permanent raised beds with different crop residue management: effects on soil C and N dynamics. *Plant and Soil* 280:143–155.
- Gonzalez-Sanchez, E.J., Veroz-Gonzalez, O., Blanco-Roldan, G.L., Marquez-Garcia, F., Carbonell-Bojollo, R. 2015. A renewed view of conservation agriculture and its evolution over the last decade in Spain. *Soil and Tillage Research* 146:204-212.
- Hernanz, J.L., Sánchez-Girón, V., Navarrete, L., Sánchez, M.J. 2014. Long-term (1983-2012) assessment of three tillage systems on the energy use efficiency, crop production and seeding emergence in a rainfed cereal monoculture in semiarid conditions in central Spain. *Field Crops Research* 166:26-37.
- Khaledian, M.R., Mailhol, J.C., Ruelle, P., Mubarak, I., Perret, S. 2010. The impacts of direct seeding into mulch on the energy balance of crop production system in the SE of France. *Soil and Tillage Research* 106:218-226.
- Kirkegaard, J.A., Conyers, M.K., Hunt, J.R., Kirkby, C.A., Watt, M., Rebetzke, G.J. 2014. Sense and nonsense in conservation agriculture: Principles, pragmatism and productivity in Australian mixed farming systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187:133–145.
- Lacasta, C., 2007. Agricultura Ecológica en Cereales de Secano. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, España <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/export/sites/default/comun/galerias/galeriaDescargas/cap/produccion-ecologica/cerealecol.pdf>
- López, M.V., Blanco-Moure, N., Limón, M.A., Gracia, R. 2012. No tillage in rainfed Aragon (NE Spain): Effect on organic carbon in the soil surface horizon. *Soil and Tillage Research* 118:61-65.
- López-Bellido, L., López-Bellido, R.J., Castillo, J.E., López-Bellido, F.J. 2000. Effects of tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization on wheat under rainfed Mediterranean conditions. *Agronomy Journal* 92:1054-1063.
- López-Fando, C., Dorado, J., Pardo, M.T. 2007. Effects of zone-tillage in rotation with no-tillage on soil properties and crop yields in a semi-arid soil from central Spain. *Soil and Tillage Research* 95:266–276.
- MAGRAMA, 2013. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2013. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/memo2013esyrcpdfa_tcm7-325292.pdf

- MAGRAMA, 2014a. Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE): Base Legal, Objetivos y Síntesis Metodológica. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/base-legal-objetivos-y-sintesis-metodologica/>
- MAGRAMA, 2014b. Inscripciones de maquinaria agrícola en los Registros Oficiales de Maquinaria Agrícola (ROMA). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. <http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/maquinaria-agricola/estadisticas/>
- Nail, E.L., Young, D.L., Schillinger, W.F. 2007. Diesel and glyphosate price changes benefit the economics of conservation tillage versus traditional tillage. *Soil and Tillage Research* 94:321-327.
- Pittelkow, C.M., Liang, X., Linquist, B.A., van Groenigen, K.J., Lee, J., Lundy, M.E., van Gestel, N., Six, J., Venterea, R.T., van Kessel, C. 2015. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature* 517:365-368.
- Plaza-Bonilla, D., Álvaro-Fuentes, J., Arrúe, J.L., Cantero-Martínez, C. 2014. Tillage and nitrogen fertilization effects on nitrous oxide yield-scaled emissions in a rainfed Mediterranean area. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 189:43-52.
- Rodríguez-Entrena, M., Arriaza, M. 2013. Adoption of conservation agriculture in olive groves: Evidences from southern Spain. *Land Use Policy* 34:294–300.
- Sánchez-Girón, V., Serrano, A., Suárez, M., Hernanz, J.L., Navarrete, L. 2007. Economics of reduced tillage for cereal and legume production on rainfed farm enterprises of different sizes in semiarid conditions. *Soil and Tillage Research* 95:149–160.
- Soane, B.B., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., Roger-Estrade, J. 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research* 118: 66–87.
- Trichard, A., Alignier, A., Chauvel, B., Petit, S. 2013. Identification of weed community traits response to conservation agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 179:179–186.
- Uri, N.D. 2000. Perceptions on the use of no-till farming in production agriculture in the United States: an analysis of survey results. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 77:263–266.
- Verhulst, N., Govaerts, B., Verachtert, E., Castellanos-Navarrete, A., Mezzalama, M., Wall, P., Chocobar, A., Deckers, J., Sayre, K.D. 2010. Conservation Agriculture. Improving soil quality for sustainable production systems? In: Lal, R., Stewart, B.A. (Eds), *Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality*, CRC Press: Boca Raton, FL, USA, pp 137–208.

*Capítulo 7***CONCLUSIONES**

La adopción de la agricultura de conservación en sentido estricto según la definición establecida por FAO (2013) es prácticamente inexistente en los cultivos herbáceos del Valle del Guadalquivir. Los agricultores andaluces adaptan a la AC sus prácticas habituales en función del contexto local, priorizando minimizar los riesgos económicos y agronómicos. La práctica de agricultura de conservación en el Valle del Guadalquivir combina la siembra directa de cereales con el mínimo laboreo de otros cultivos, sin mantener los residuos de cereales en la superficie del suelo y sin diversificar la rotación. Estas líneas son las seguidas por los agricultores que practican la rotación trigo-girasol en secano, la más común entre los agricultores que han adoptado en algún grado la AC: siembra directa del trigo, retirada de los residuos para su venta y mínimo laboreo antes de la siembra del girasol. La adopción de estas medidas no mejoró la calidad del suelo, ni resultó económicamente más rentable o energéticamente más eficiente, incluso resultó en la disminución del rendimiento del girasol, comparado con la misma rotación manejada con laboreo convencional y en la que por tanto se labra el suelo antes de sembrar trigo. El mínimo laboreo bianual practicado en el girasol y la eliminación de los residuos de trigo no permiten obtener las mejoras que los sistemas de agricultura de conservación podrían aportar.

En el Valle del Guadalquivir, el cultivo de cereales parece estar muy adaptado a la siembra directa, mientras que el girasol, el segundo cultivo más importante de la zona, rara vez se cultiva en siembra directa. Entre las limitaciones a la adopción de la AC en el Valle del Guadalquivir, los agricultores destacan la falta de maquinaria de siembra directa adaptada a suelos arcillosos con

alto contenido en humedad para la siembra de los cultivos de primavera como el girasol. Otros limitantes importantes identificados por los agricultores fueron el control de arvenses y el aumento de la incidencia de plagas a consecuencia de la acumulación de residuos en la superficie del suelo. Los resultados indican además la existencia de barreras socioeconómicas para la adopción de la agricultura de conservación. La falta de suficientes recursos, tanto de tierras como financieros, para la adquisición de la maquinaria específica de siembra directa o para soportar las posibles pérdidas iniciales de rendimiento, probablemente son las causas que justifican la exclusión de la mayoría de pequeños agricultores y de las mujeres en el sector de la agricultura de conservación.

Las prioridades de investigación para mejorar la adopción de la AC, identificadas en colaboración con los agricultores, están mayoritariamente relacionadas con las limitaciones: el desarrollo de maquinaria de siembra directa específica para cultivos de primavera, la identificación de cultivos alternativos al girasol, la optimización del manejo de los residuos de cultivo y la mejora de la eficiencia en la fertilización de los cultivos. El análisis de la eficiencia energética de la rotación trigo-girasol en secano indica que las medidas potencialmente más efectivas para aumentar dicha eficiencia corresponderían a aquellas dirigidas al uso más eficiente de los fertilizantes químicos. La elaboración industrial de los fertilizantes nitrogenados es altamente costosa en términos de energía y se propone explorar alternativas para su sustitución en parte o total en los sistemas: fertilización orgánica, rotación con leguminosas o siembra de abonos verdes y la conservación de los residuos de cultivo en campo. La realización de investigación participativa que involucre tanto a agricultores como a investigadores, a empresas de maquinaria y a otros organismos interesados, es necesaria para desarrollar estrategias de manejo integral en los sistemas de agricultura de conservación de cultivos herbáceos, que puedan resultar eficaces y flexibles en los diferentes contextos locales. Además, la investigación participativa y la formación especializada pueden favorecer la adopción de agricultura de conservación entre grupos de agricultores/as que han podido estar excluidos/as del este sistema por falta de recursos y apoyo técnico.

La revisión de los datos oficiales sobre la superficie de cultivos anuales cultivados bajo técnicas de agricultura de conservación y el estudio de campo han demostrado que la práctica de siembra directa no es equivalente a la AC y que es necesario estandarizar las metodologías aplicadas para la elaboración de las estadísticas de agricultura de conservación que contribuyen a la base de datos de FAO, de forma que haya transparencia y los datos sean comparables.

Anexo I

MODELO DE ENCUESTA DE AGRICULTURA
DE CONSERVACIÓN EN CULTIVOS
HERBÁCEOS

Encuesta Agricultura de Conservación – Cultivos Herbáceos

Fecha:

Localidad:

1. DATOS GENERALES

Descripción de la finca

Superficie total cultivada aprox.(ha): _____

Superficie de cultivos herbáceos manejados con técnicas de Agricultura de Conservación aprox. (ha): _____

De esta última superficie, rellenar en la siguiente tabla el porcentaje que cubren las rotaciones principales:

	Rotación	Porcentaje de superficie (%)	Años en AC	Técnicas empleadas	
1				o Mínimo laboreo o Siembra Directa o Otro	o seco o regadío
2				o Mínimo laboreo o Siembra Directa o Otro	o seco o regadío
3				o Mínimo laboreo o Siembra Directa o Otro	o seco o regadío
4				o Mínimo laboreo o Siembra Directa o Otro	o seco o regadío
5				o Mínimo laboreo o Siembra Directa o Otro	o seco o regadío

¿Sigue alguna de estas rotaciones también en agricultura convencional? Sí No ¿cuál? _____

Superficie de la finca con cultivos herbáceos y pendiente superior al 8% (ha): _____

Porcentaje de esta superficie que sigue Agricultura de Conservación: _____

Problemas de suelo que afectan a la adopción de la AC y relevancia en el contexto de la explotación:

Problema	Extensión del problema en % de la superficie
Pedregosidad	
Salinidad	
Encharcamiento	
Otros:	

Registros de la finca y otros datos generales

Datos climáticos disponibles en finca: desde año _____

- Lluvia: diaria otro
- Temperatura: diaria otro
- Humedad relativa: diaria otro
- Velocidad del viento: diaria otro

¿Desde qué año tiene un registro de labores, tratamientos e incidencias de la finca?

2. MAQUINARIA

¿Ha notado mejora en el **tránsito de la maquinaria** desde la adopción de técnicas de Agricultura de Conservación? Sí No

¿Ha comprado **nueva** maquinaria a consecuencia del uso de las técnicas de Agricultura de Conservación? cuáles:

Tractores; Sembradora; Cosechadora; Desbrozadora; Picadora; Abonadora; Pulverizadores; Otros:

¿Requiere maquinaria no disponible localmente? Sí No ¿cuál? _____

Descripción de la maquinaria de la finca

Tractor

Propio Alquilado

Potencia (CV): _____

Tracción: doble simple oruga

Años de antigüedad: <5 años 5-10 años 10-20 años >20 años

¿Utiliza neumáticos de baja presión (alta flotación) en el tractor?: Sí No: ¿los conoce? Sí No

¿Utiliza neumáticos de baja presión (alta flotación) en el resto de la maquinaria?: No Sí, ¿cuál? _____

Sembradora:

Propia Alquilada

Fabricante/ Modelo: _____ de chorrillo de precisión (monograno)

¿Posee dispositivo o discos de corte del rastrojo?: Sí No

Si es de precisión (monograno), ¿posee dispositivo de limpieza del surco?: Sí No

Dispositivo abre-surco y siembra: Discos Reja

Control de Profundidad: por línea de siembra; por grupos de línea de siembra; por el conjunto de la sembradora

¿Dispone de dispositivo para fertilizante e insecticida? Sí No

Indique el grado de satisfacción con la marca/modelo:

Nada satisfecho; Algo satisfecho; Moderadamente satisfecho; Bastante satisfecho; Totalmente satisfecho

Si pudiera cambiarla, ¿sabe por cual? _____

3. OTRAS CONSIDERACIONES

¿Considera que la Agricultura de Conservación es más rentable que la agricultura convencional? Sí No Igual

¿Tiene acceso a alguna subvención relacionada con la AC? Sí No ¿Cuál? _____

En comparación con los sistemas convencionales, cree que la agricultura de conservación requiere más:

dedicación y tiempo

personal laboral

especialización: del personal propia ambas

¿Tiene problemas con entrada descontrolada de ganado? Sí No

¿Cree que la Agricultura de Conservación requiere mayor diversificación de cultivos? Sí No

¿Estaría dispuesto a aumentar la diversidad de sus cultivos? Sí No ¿Por qué no?

superficie de la finca demasiado pequeña

no rentabilidad de cultivos alternativos: _____

desconocimiento de agronomía de cultivos alternativos

requiere nueva maquinaria e inversión no disponible

problemas con la comercialización

otros: _____

4. NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN

¿Qué tema ve prioritario para ser investigado por los centros de investigación?

¿Le gustaría participar en un proyecto de investigación sobre AC? Sí No

5. PERCEPCIÓN MEDIOAMBIENTAL

¿Qué beneficios a largo plazo agroambientales y productivos cree que le está aportando la implementación de técnicas de AC? Indique con un número de 1 a 3 los más beneficiosos con **1=mayor beneficio, 2=beneficio marginal, 3=sin efecto**

control de la erosión del suelo	
aumento de materia orgánica	
aumento de la fertilidad del suelo	
secuestro de carbono	
ahorro de agua de riego	
ahorro de energía	
aumenta la biodiversidad y fauna	
otros:	

¿Le importaría darnos los datos personales para poder contactarlo en relación a esta encuesta y sus resultados? Sí No

Recuerde, todos los resultados obtenidos en estos inventarios serán codificados y **publicados de forma agregada o anónima**.

DATOS PERSONALES:	
Nombre:	Localidad:
Edad:	Provincia:
Formación: Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Universitarios <input type="checkbox"/>	Tlfno 1:
Actividad económica principal:	Email:
Régimen de la finca: propiedad privada <input type="checkbox"/> asociación <input type="checkbox"/> arrendamiento <input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Otra:	

6. MANEJO DEL SUELO EN LAS PARCELAS DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

ROTACIÓN 1	CULTIVO 1		CULTIVO 2		CULTIVO 3	
	Mes	Nºpases	Mes	Nºpases	Mes	Nºpases
Preparación suelo:						
Cultivador						
Grada de Discos						
Grada de dientes						
Rastra						
Rodillo/Rulo						
Labores entre líneas (bina)	Mes	Nºpases	Mes	Nºpases	Mes	Nºpases
Reja						
Disco						
Otro						
Labor esporádica:	Mes	/ años	Mes	/ años	Mes	/ años
Vertedera						
Subsolador						
Arado de Disco						
Cultivador						
Grada						
Otro						
Residuos % cubierta en siembra						
<10%						
10%-30%						
30%-60%						
>60%						

Notas:

7. MANEJO POR CULTIVO EN LAS PARCELAS CON AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

CULTIVO:	x	1-3	Problemas	x	1-3	Beneficios
Siembra Mes: Densidad:			Compactación Costes de la labor Sembradora no apropiada: - Surco de siembra sin cerrar - Residuos: - No adaptada a semilla Pobre establecimiento: - poco vigor - baja T° - plagas, enfermedades, pájaros Otros:			Ahorro labores Siembra + temprana Mejor establecimiento Otros:
Fertilización (inorgánica / orgánica)						
Producto: Dosis (kg/ha): Fondo, siembra, cobertera Mes:			Incorporación en siembra: nivel toxicidad? Mayor requerimiento de N (balance C/N): Aporte óptimo desconocido Aporte leguminosa en rotación desconocido			↓ fertilizantes después de __ años Otros:
Producto: Dosis (kg/ha): Fondo, siembra, cobertera Mes:			Enmienda orgánica cara Enmienda orgánica no disponible localmente Otros:			
Producto: Dosis (kg/ha): Fondo, siembra, cobertera Mes/Frecuencia:						
Manejo de malezas						
Producto: Presiem <input type="checkbox"/> Pre-emeg <input type="checkbox"/> Post-eme <input type="checkbox"/> Dosis: Mes/nº aplicaciones: <input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> acept. <input type="checkbox"/> regular <input type="checkbox"/> deficiente			Arvenses abundantes: Arvenses resistentes:			↓ malas hierbas después de __ años Otros:
Producto: Presiem <input type="checkbox"/> Pre-emeg <input type="checkbox"/> Post-eme <input type="checkbox"/> Dosis: Mes/nº aplicaciones: <input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> acept. <input type="checkbox"/> regular <input type="checkbox"/> deficien			Costes de la aplicación y del producto La rotación no favorece el control de MHs			
Producto: Presiem <input type="checkbox"/> Pre-emeg <input type="checkbox"/> Post-eme <input type="checkbox"/> Dosis: Mes/nº aplicaciones: <input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> acept. <input type="checkbox"/> regular <input type="checkbox"/> deficien			Otros:			
Enfermedades / Plagas						
Enfermedades Plagas Nº Tratamientos en AC frente a la conv. Mas <input type="checkbox"/> Menos <input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/>						↓ enfermedades: ↓ plagas: Otros:
Riego						
surcos <input type="checkbox"/> aspersores <input type="checkbox"/> pivot <input type="checkbox"/> goteo <input type="checkbox"/> Volumen de agua aplicada (m ³ /ha):			Desconocimiento del manejo del Riego Dificultad de riego por superficie con residuos Mayor requerimiento de agua de riego Otros:			Sequía: ↓ estresada ↓ agua riego después de __ años
Cosecha						
Mes Rendimiento medio Rastrojos Deja en pie <input type="checkbox"/> Corta: __ cm pica <input type="checkbox"/> distribuye uniformemente <input type="checkbox"/> ambos <input type="checkbox"/> recoge y empaca <input type="checkbox"/>			Peor Rendimiento Sin posibilidad de picar y distribuir uniforme. Cosechadora no apropiada Necesidad de empacar Otros:			= rendimiento ↑ rendimiento ↑ calidad
Costes						
			Más costes , principalmente _____			↓ costes:

* Señalar con x presencia de problema, o beneficio, y con valorar del 1 al 3, siendo 1=máxima relevancia.

Anexo II

FICHA DE MANEJO HISTÓRICO DE DATOS
UTILIZADA EN EL ESTUDIO DE CASO

Agricultura de Conservación en cultivos herbáceos del Valle del Guadalquivir

Ficha manejo histórico

Fecha:

Localidad:

Nombre del titular:

Campaña	Cultivo	Labores pre-siembra	Fecha labores	Fecha siembra	Variedad y Dosis siembra	Dosis y tipo de herbicida aplicado	Fertilizante aplicado	Dosis y fecha de aplicación	Rendimiento grano
2007-08									
2008-09									
2009-10									
2010-11									

Observaciones:

