BENEFICIOS DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN UN ENTORNO DE CAMBIO CLIMÁTICO

AEAC.SV
Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos

BENEFICIOS DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN UN ENTORNO DE CAMBIO CLIMÁTICO

AEAC.SV
Asociación Española
Agricultura de Conservación
Suelos Vivos

EDITA:

Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV)

IFAPA Centro "Alameda del Obispo". Edificio de Olivicultura. Avda. Menéndez Pidal, s/n. E-14004 Córdoba (España). Tel: +34 957 42 20 99 • 957 42 21 68 • Fax: +34 957 42 21 68. info@agriculturadeconservacion.org • www.agriculturadeconservacion.org

Esta publicación ha sido redactada por Jesús A. Gil Ribes, Dr Ingeniero Agrónomo; Rafaela Ordóñez Fernández, Dra Ciencias Químicas; Emilio J. González Sánchez, Dr Ingeniero Agrónomo; Óscar Veroz González, Ingeniero Agrónomo e Ingeniero Técnico de Obras Públicas; Manuel Gómez Ariza, Ingeniero Agrónomo y Francisco Sánchez Ruiz, Ingeniero de Montes, de la Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos

ISBN: 978-84-617-9450-8

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. RESUMEN EJECUTIVO 01

CHAPTER 1. EXECUTIVE SUMMARY 13

CAPÍTULO 2. EL CAMBIO CLIMÁTICO

2.1. Introducción 26

2.2. Repercusiones a nivel mundial 28

2.3. El cambio climático en España 36

2.4. Referencias 38

CAPÍTULO 3. AGRICULTURA Y CAMBIO CLIMÁTICO

3.1. Relaciones entre el cambio climático y la agricultura 40

3.2. Efectos del cambio climático sobre la agricultura 41

3.3. Iniciativas internacionales 44

3.4. Referencias 46

CAPÍTULO 4. LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

4.1. Orígenes de la agricultura de conservación en el mundo y en España 48

4.2. Principios generales y definiciones 50

4.2.1. Definición de Agricultura de Conservación 51

4.2.2. Definición de Siembra Directa 52

4.2.3. Cubiertas vegetales en cultivos leñosos 52

4.3. ¿Qué no es Agricultura de Conservación? 55

4.4. Herramientas esenciales para la Agricultura de Conservación 56

4.4.1. Las sembradoras directas 56

4.4.1.1. Funciones de las sembradoras directas 57

4.4.1.2. Consideraciones previas a la siembra 60

4.4.1.3. El mercado de las sembradoras directa 60

4.4.2. Uso sostenible de fitosanitarios en Agricultura de Conservación 62

4.4.2.1. ¿Qué son los productos fitosanitarios? Su regulación en Europa 62

4.4.2.2. Las hierbas adventicias. Aspectos generales 63

4.4.2.3. Control de hierbas adventicias en Agricultura de Conservación 65

4.5. LIFE+ Agricarbon: Agricultura Sostenible en la Aritmética del Carbono 67

4.6. Referencias 69

CAPÍTULO 5. LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN COMO MITIGADORA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

5.1. Introducción 72

5.2. Efecto sumidero 75

5.3. Reducción de emisiones de CO_2 77

5.3.1. Emisiones de CO_2 desde el suelo 77

5.3.2. Emisiones de CO_2 ligadas al consumo energético 78

5.4. Referencias 81

CAPÍTULO 6. LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN Y SU ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

6.1. Introducción 84

6.2. Reducción de la erosión 86

6.3. Aumento de la fertilidad 88

6.4. Conservación de la humedad edáfica 88

6.5. Reducción de la contaminación difusa 90

6.5. Conservación y mejora de la biodioversidad 93

6.7. Optimización del uso del agua mediante rotaciones 93

6.8. Referencias 95

CAPÍTULO 7. BENEFICIOS DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN UN ENTORNO DE CAMBIO CLIMÁTICO

7.1. Introducción 98

7.2. Beneficios medioambientales 100

7.2.1. Beneficios para el suelo 100

7.2.1.1. Reducción de la erosión 100

7.2.1.2. Incremento del contenido de materia orgánica 102

7.2.1.3. Mejora de la estructura del suelo 103

7.2.1.4. Mayor biodiversidad 103

7.2.1.5. Incremento de la fertilidad natural 105

7.2.2. Beneficios para el aire 106

7.2.2.1. Fijación de carbono 106

7.2.2.2. Disminuciones de las emisiones de CO2 a la atmósfera 108

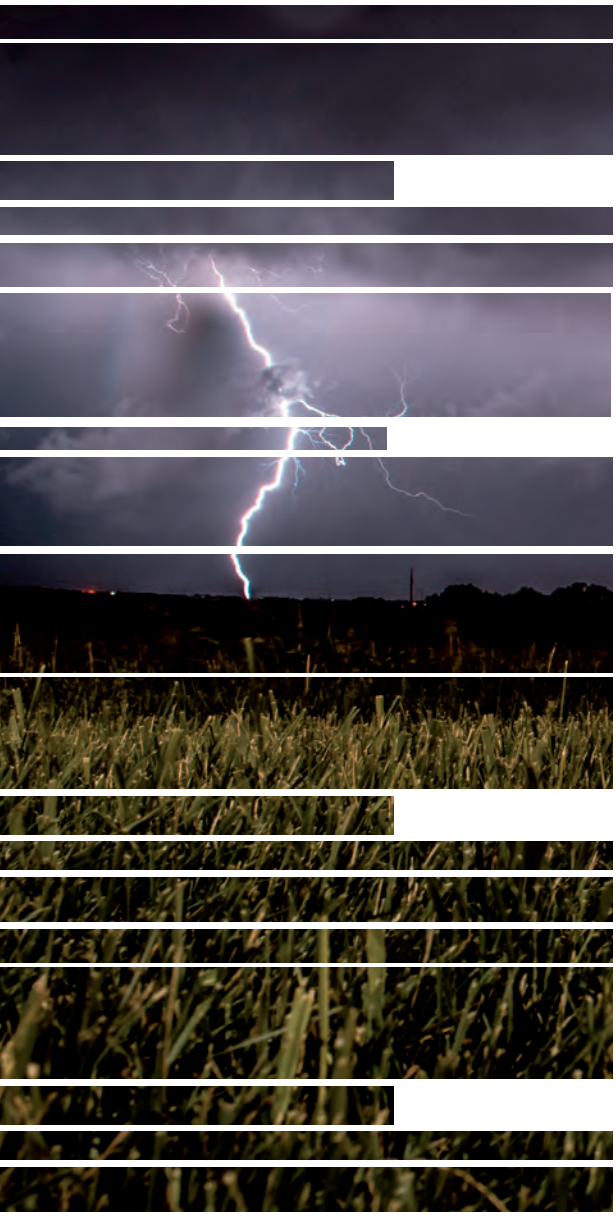
7.2.3. Beneficios para el agua 109
7.2.3.1. Menor escorrentía e incremento de la infiltración 110
7.2.3.2. Mejora de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas 111
7.2.3.3. Mayor capacidad de retención de agua. 111
7.3. Beneficios económicos 113
7.4. Beneficios sociales 117
7.5. Referencias 119

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES 125

CAPÍTULO 1

RESUMEN EJECUTIVO

AEAC.SV
Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos



EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA AGRICULTURA

La agricultura y el cambio climático están íntimamente relacionados. En el presente informe, la Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos ofrece su experiencia y conocimiento sobre cómo a través de la Agricultura de Conservación (AC) el sector agrario puede dar respuesta a este reto global. Esta experiencia está basada en el desarrollo de diversos proyectos públicos europeos (LIFE) y nacionales cimentados en la aplicación de la AC en España y Europa. El presente documento pretende servir de base a la toma de decisiones basadas en la ciencia y en la experimentación agraria en España.

El estudio del clima es un campo de investigación complejo y en constante evolución que, debido a la gran cantidad de factores que intervienen, hacen que no sea un sistema estático y por tanto sea difícil determinar sus efectos con precisión. No obstante, existe un acuerdo mayoritario sobre el hecho de que el clima está experimentando cambios a un ritmo acelerado, donde el desarrollo económico y social no está en concordancia respecto a los recursos naturales, esencialmente limitados. Por tanto, uno de los mayores retos actuales es dar respuesta a la necesidad de producir alimentos y fibras de manera sostenible para satisfacer las demandas de una población mundial creciente, en un entorno climático cambiante. La producción agrícola, y por tanto la seguridad alimentaria, se encuentra influenciada por las variaciones en los periodos de lluvias, térmicos y de otras condiciones climáticas.

En términos de contribución, aproximadamente el 10% de los gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a escala global provienen de la Unión Europea (UE). De esos GEIs emitidos en Europa, alrededor del 10% provienen de la agricultura, la cual constituye la cuarta actividad emisora en el conjunto de la UE por detrás de los sectores asociados a la energía, el transporte y la combustión industrial. Para poner freno a la escalada de emisiones, a finales del 2015 se celebró en Francia la 21ª sesión de la Conferencia de las Partes (COP21) y la 11ª sesión de la Conferencia de la Partes en calidad de reunión de las Partes al Protocolo de Kioto (CMP). Ésta concluyó con la adopción de un acuerdo histórico para combatir el cambio climático e impulsar medidas e inversiones para un futuro bajo en emisiones de carbono, resiliente y sostenible, el llamado Acuerdo de París.

El 30 de noviembre de 2016 las Cortes Generales Españolas aprobaron por unanimidad la ratificación del Acuerdo de París de lucha contra el cambio climático, lo que supone el inicio de un proceso de reformas estructurales. La primera contribución de reducción de emisiones en el marco del mismo, implica una disminución de gases en los sectores difusos (transporte, agricultura, residuos o edificación)

de un 26% y de un 43% en el sector industrial, ambas para 2030 respecto a los niveles de 2005.

La agricultura es un sector fundamental que proporciona alimentos, tanto para las personas como para los animales, produce fibras para el sector textil, y otros muchos productos y servicios indispensables para el mantenimiento de la humanidad como especie. Como cualquier actividad económica, la agricultura está ligada al entorno natural y social en el que se desarrolla, e interactúa con éste. Si hay alguna actividad productiva que dependa directamente del clima y de su variabilidad ésta es, sin duda, la agricultura. Un cambio de los patrones de comportamiento de las temperaturas y precipitaciones, o del incremento de la concentración del CO_2 atmosférico, afectará de manera significativa al desarrollo de los cultivos. Se estima que a nivel global la variabilidad climática es responsable de entre el 32% y el 39% de la variabilidad en los rendimientos, efecto que es más acentuado en regiones como en la que se sitúa gran parte de la Península Ibérica.

En la actualidad la aproximación al tratamiento de la sostenibilidad de la agricultura desde un enfoque multidimensional resulta imprescindible para lograr un equilibrio entre la preservación y mejora del medio ambiente, la equidad social y la viabilidad económica, para así mejorar el bienestar de la sociedad.

Estudios científicos realizados en diferentes zonas agroclimáticas están de acuerdo en que cuanto menos se labra, el suelo absorbe y

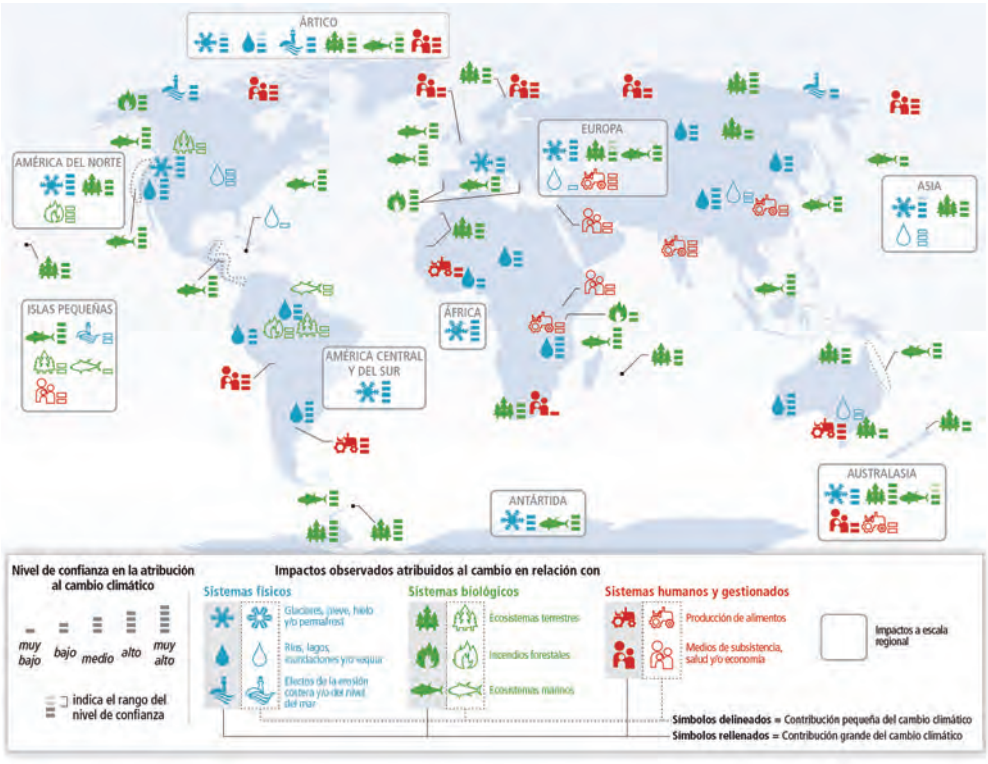


Figura 1. Patrones globales de los impactos en los últimos decenios atribuidos al cambio climático. Fuente IPCC, 2014

almacena más carbono. Ese carbono proviene del que las plantas emplean en la fotosíntesis y que han tomado de la atmósfera en forma de CO_2. El carbono forma parte de la materia orgánica, por lo que incrementando su contenido en el suelo, hace que se aumente su capacidad productiva gracias a una mayor fertilidad natural del suelo. Por otro lado, toda actuación encaminada al ahorro de energía y combustible, como la reducción del número de labores, optimización del uso de insumos agrarios y correcta ejecución de las operaciones, repercute directamente en una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero. En este contexto cobra especial importancia un sistema agrario sostenible que responde a estos requerimientos: la Agricultura de Conservación.

¿QUÉ ES LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN?

Los principios de la Agricultura de Conservación son los siguientes:

- Realizar la siembra sin remover el suelo. En la práctica se traduce en hacer siembra directa (no labrar). Al menos el 30% del suelo debe quedar cubierto tras la siembra, para protegerlo eficazmente contra la erosión. No obstante, son deseables coberturas mayores al 60% para tener un control casi total sobre este proceso de degradación del suelo.
- Mantener una cobertura vegetal sobre el suelo durante todo el año. Esto se traduce en el mantenimiento de los rastrojos en cul-

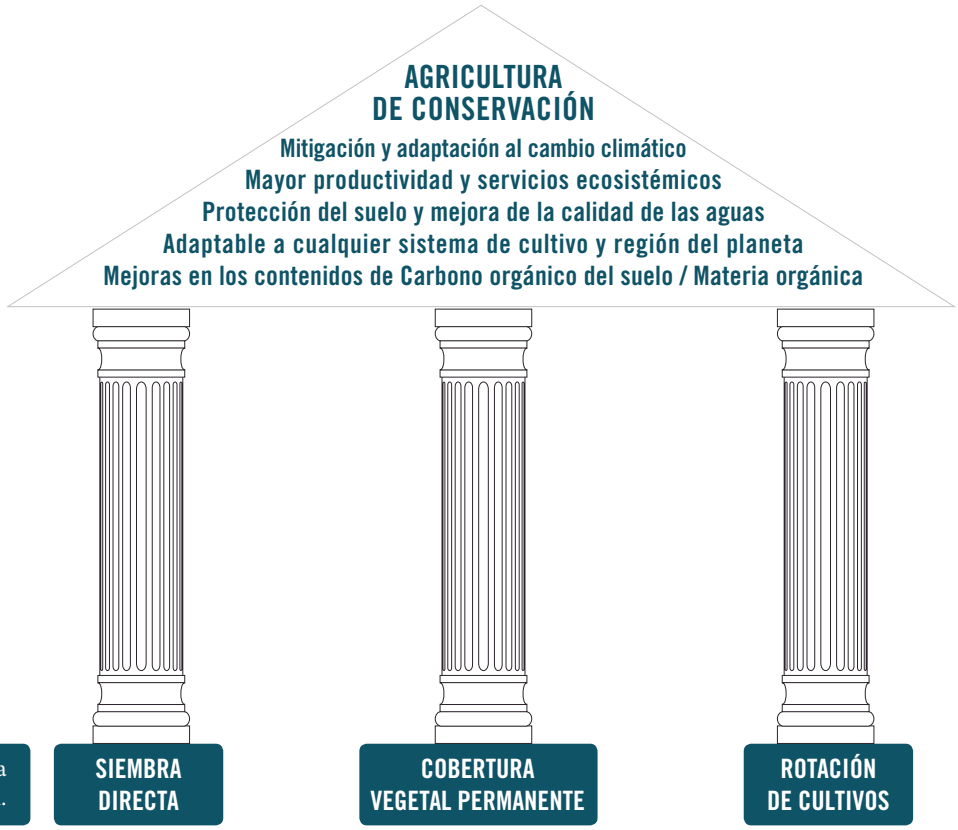


Figura 2. Bases y beneficios de la Agricultura de Conservación.

tivos herbáceos y en la siembra o conservación de cubiertas vegetales entre hileras de árboles en los cultivos leñosos. De esta forma, se aumenta la materia orgánica del suelo, se inhibe la nascencia de algunas malas hierbas, se aumenta la infiltración de agua al suelo y se limita la evaporación de agua desde el suelo.

- Programar rotaciones o diversificación de cultivos en cultivos anuales. De esta forma, se controlan mejor plagas y enfermedades, rompiendo ciclos que se mantienen en monocultivos, además de incorporar cultivos que puedan mejorar la fertilidad natural del suelo y la biodiversidad.

La Agricultura de Conservación es una de las agro-ciencias más estudiadas en la actualidad y con mayor desarrollo en el mundo, donde de acuerdo a la FAO se practica en casi 160 millones de hectáreas. En España, los primeros estudios sobre AC en cultivos anuales de los que se tienen constancia datan de 1976. En la actualidad, España es líder europeo con casi 2 millones de hectáreas.

EL ENFOQUE INTEGRAL DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

El manejo de cultivos bajo la práctica de Agricultura de Conservación supone una mejora medioambiental considerable de los ecosistemas agrarios, sin que ello implique una merma en los rendimientos productivos de las explotaciones.

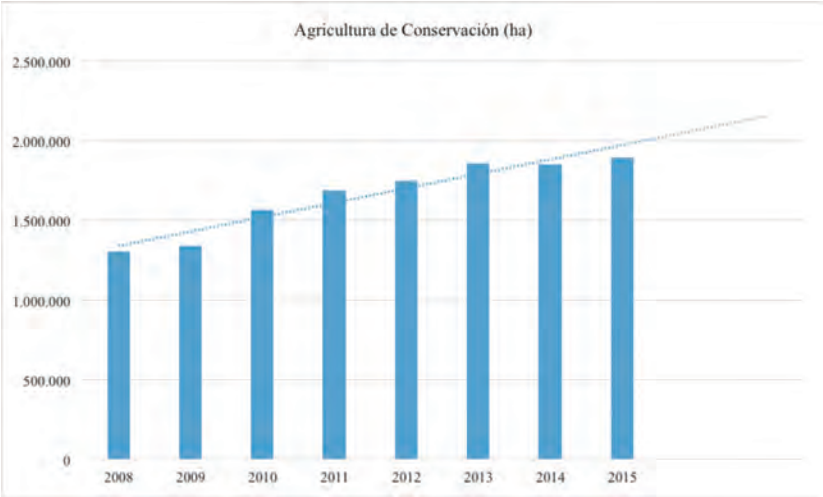


Figura 3. Evolución de la adopción de la Agricultura de Conservación en España (cultivos herbáceos y leñosos). Adaptado de Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos, MAPAMA (2009 a 2016).

Tabla 1. Principales beneficios medioambientales de la agricultura de conservación.

Para el suelo	Reducción de la erosión
	Incremento del contenido de materia orgánica
	Mejora de la estructura y porosidad
	Mayor biodiversidad
	Incremento de la fertilidad natural del suelo
Para el aire	Fijación de carbono atmosférico en el suelo
	Menor emisión de CO_2 a la atmósfera
Para el agua	Reducción de la escorrentía
	Mejora de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas
	Incremento de la capacidad de retención de agua

Casi el 20% de la superficie europea sufre pérdidas de suelo que exceden las 10 toneladas por hectárea al año. A partir de los datos provinciales del Inventario Nacional de Erosión de Suelos de España, las medias para el territorio español de erosión son 14,42 toneladas por hectárea al año. Teniendo en cuenta la baja tasa de formación de suelo, pérdidas superiores a 1 toneladas por hectárea al año pueden ser consideradas como irreversibles. La AC reduce la erosión del suelo hasta un 90% en comparación con el laboreo convencional, frenando así la degradación de los suelos, que es reconocido como el mayor problema ambiental de España.

Comparando el sistema de conservación con el convencional, basado en el volteo del suelo, la agricultura de laboreo aumenta el flujo de CO_2 a la atmósfera, disminuyendo el contenido de materia orgánica del suelo, afectando a la calidad y fertilidad de los mismos. La puesta en práctica de la Agricultura de Conservación implica una serie de beneficios sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, que contribuyen a la mejora de la estructura, aumento del contenido en materia orgánica (fijación de CO_2) y de la biodiversidad, mejora de la infiltración, aumento de la capacidad de retención de agua y disminución de la escorrentía y de la evaporación directa desde el suelo, mejorando además la calidad del agua.

Por el contrario, la Agricultura de Conservación es una medida de doble efecto frente al aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Por un lado, los cambios introducidos por la AC en la dinámica del carbono en el suelo, traen como consecuencia directa un incremento del carbono del suelo, que deja de emitirse a la atmósfera. Por otro lado, la reducción drástica del número de labores junto con la no alteración mecánica del suelo, suponen una reducción de las emisiones de CO_2 derivada

Tabla 2. Comparación de diversas prácticas agrarias frente a problemas medioambientales. Adaptado de González Sánchez et al., (2015). * Abreviaciones: LC: Laboreo Convencional; CV: Cubiertas Vegetales; SD: Siembra Directa; ML: mínimo laboreo. CV 30%: cubierta vegetal presente en el 30% de la superficie entre las hileras de árboles; CV 60%: ídem 60%; CV 90%: ídem 90%. Efecto sobre el medio ambiente: + ligeramente positivo; +++++ muy positivo; - negativo o indiferente.

Cultivo	Intensidad del beneficio ambiental en referencia a problemas ambientales							
	Manejo	Erosión	MO	Compactación	Mitigación cambio climático	Biodiversidad	Calidad de aguas	Seguridad en el uso de fitosanitarios
Anual	LC*	+	+	++	-	-	+	+
	ML	+	+	++	-	++	++	++
	SD	++++	++++	++++	++++	+++	++++	++++
	SD+CV	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
Leñoso	CV 30%	++	++	++	++	++	++	++
	CV 60%	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	CV 90%	+++++	++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++

del ahorro energético y menores consumos de combustible, y de la reducción de los procesos de mineralización de la materia orgánica.

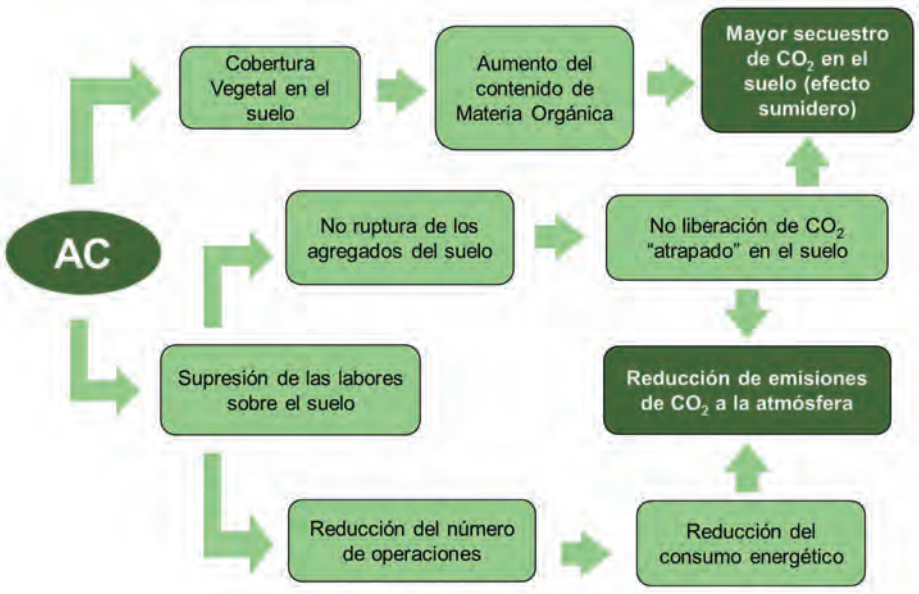


Figura 4. Mecanismos de mitigación del cambio climático de la Agricultura de Conservación.

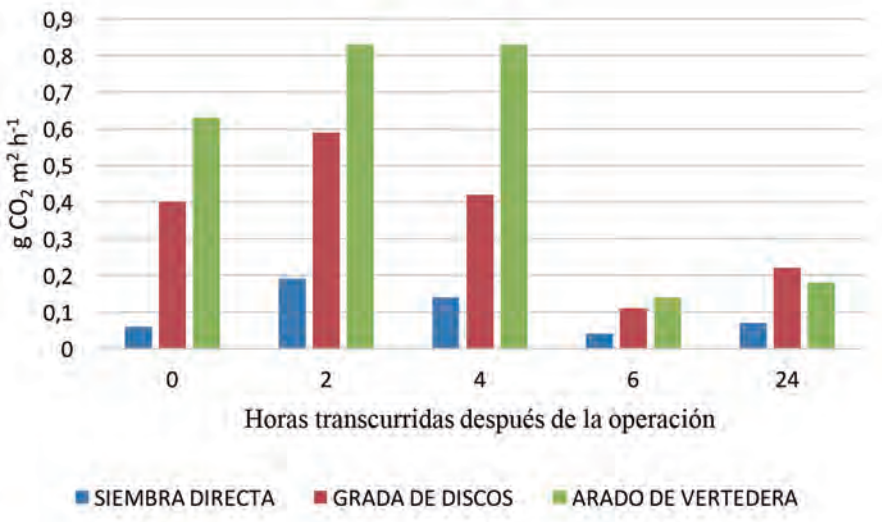


Figura 5. Emisiones de CO_2 por hora durante las operaciones de labranza en el suelo en los diferentes sistemas de cultivo. (Cada valor representa la media de 14 lecturas). Fuente: Carbonell-Bojollo et al. (2011).

Un meta-análisis realizado en España demuestra que durante los primeros 10 años de realización de Agricultura de Conservación es posible fijar hasta 3,14 toneladas más por hectárea al año de CO_2 en siembra directa en cultivos anuales y 5,68 toneladas más por hectárea al año de CO_2 con cubiertas vegetales en cultivos leñosos, respecto a los sistemas basados en el laboreo del suelo. Una vez pasado este tiempo, se alcanza una fase de crecimiento menos pronunciada, pero aun así nada desdeñable.

Tabla 3. Coeficientes de secuestro de CO_2 atmosférico con técnicas de AC. Adaptado de González-Sánchez et al., (2012).

Práctica agrícola	Coeficiente de secuestro de CO_2 (t ha^{-1} $año^{-1}$)	Periodo (años)
Siembra Directa.	3,12	<10
	0,59-1,47	>10
Cubiertas Vegetales.	5,65	<10
	1,28	>10

En este sentido la estimación del secuestro de CO_2 por la fijación de carbono en el suelo (COS) respecto a los sistemas convencionales de laboreo así como el máximo potencial derivado de la implantación de las mejores técnicas de AC se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4. Superficie actual cultivada en España bajo técnicas de Agricultura de Conservación, carbono orgánico en el suelo y CO_2 fijado y potencial de fijación respecto a las técnicas agrarias convencionales. Fuente: Elaboración propia, en base a los valores indicados en González-Sánchez et al. (2012) y la superficie con esta técnica extraída de MAPAMA 2015. * valores medios de estudios realizados con datos de fijación hasta 10 años. CO_2 = carbono x 3,67.

Práctica de Agricultura de Conservación	Aumento de carbono orgánico en el suelo* (t ha^{-1} $año^{-1}$)	CO_2 fijado (t ha^{-1} $año^{-1}$)	Superficie actual (ha)	CO_2 fijado actual (t $año^{-1}$)	Superficie potencial (ha)	CO_2 potencial (t $año^{-1}$)
Siembra directa	0,85	3,12	619.373	1.932.134	7.998.655	24.951.804
Cubiertas vegetales	1,54	5,65	1.275.888	7.211.064	4.961.981	28.044.124
Total				9.143.198		52.995.928

Si ponemos estas cifras en el contexto del Protocolo de Kioto, y en los compromisos que España adquirió durante el periodo 2008-2012, éstas adquieren una mayor relevancia si cabe. En dicho periodo, en España se excedieron las emisiones permitidas en más de 165 millones de toneladas de CO_2, lo que supuso el desembolso de más de 800 millones de euros para las arcas del Estado. La tonelada de CO_2 se cifró en torno a 5 €.

Si se hubiese contemplado la fijación de carbono producida por la Agricultura de Conservación (sin tener en cuenta las menores emisiones por un menor consumo de combustibles) y tomando como referencia los datos de 2015, para el periodo 2008-2012 (5 años), la estimación de CO_2 fijado hubiera sido más de 45 millones de toneladas de CO_2, lo que al precio pagado hubiera supuesto un ahorro alrededor de 225 millones de euros. El caso más favorable en el que toda la superficie potencial (cereales grano, girasol, maíz forrajero, otros forrajes y leguminosas) estuviese bajo técnicas de Agricultura de Conservación, el potencial de fijación para el periodo referido hubiese sido de más de 264,5 millones de toneladas de CO_2 (52,9 anuales durante 5 años), 99,5 millones de toneladas por encima de la necesaria para compensar el exceso de emisiones, lo que representa más del 160% sobre el objetivo de 165 millones de toneladas de CO_2.

Mientras que en el Protocolo de Kioto, el año base es 1990, en el Acuerdo de París, la referencia se realiza con respecto a las emisiones del año 2005. De acuerdo a la

Hoja de Ruta de Sectores Difusos de España, las emisiones de estos sectores superaron las 221 millones de toneladas de CO_2. Según datos del Gobierno de España, el sector agrario fue responsable de 47,26 millones de toneladas de CO_2. Si el potencial de la Agricultura de Conservación se alcanzara en nuestro país, la emisión 52,9 millones de toneladas se podrían evitar. Por tanto, en torno al 112% de las emisiones agrícolas se verían compensadas gracias a la Agricultura de Conservación.

Tabla 5. Emisiones de sectores difusos en España en 2005. Fuente: MAPAMA, 2014.

	Miles de toneladas de CO_2
Residencial, comercial e institucional	30.619
Transporte	95.788
Gestión de residuos	11.721
Agricultura	47.261
Gases fluorados	5.822
Industria no sujeta a comercio de emisiones	29.824
Total	**221.035**

En 2013 existían en España 965.002 explotaciones agrarias (INE, 2013) donde en el 73% de ellas se realiza trabajo familiar, procedente del agricultor y familiares y que en muchas ocasiones no percibe una adecuada remuneración por el trabajo realizado debido a la escasa rentabilidad de la explotación. Con respecto a la agricultura convencional, la reducción de tiempo de trabajo por hectárea en Agricultura de Conservación es en la mayoría de las ocasiones superior al 50%. Además de la reducción de costes, permite más tiempo para otras actividades tanto dentro de la explotación como fuera de ella (dedicación a la familia, formación, ocio, actividades para la comunidad, etc), mejorando las condiciones económicas y de bienestar de los agricultores y sus familias. Por otro lado, el uso de mayor tecnología induce trabajo indirecto y más cualificado en las proximidades (concesionarios de maquinaria, talleres, insumos, etc.), traspasando empleo del sector agrario a otros sectores con mayor valor añadido.

HERRAMIENTAS ESENCIALES PARA LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

Maquinaria

Dado que en la Agricultura de Conservación se evita el laboreo, es necesario contar con herramientas adecuadas para sembrar en unas condiciones con abundantes restos vegetales. Es por ello, que en la implantación de la AC ha tenido especial relevancia el desarrollo de la mecanización, sobre todo de maquinaria para la siembra. Una de las claves del éxito en la Agricultura de Conservación reside en el conocimiento de la sembradora de siembra directa, y los accesorios que deben colocarse en ella para poder realizar una siembra en condiciones óptimas sobre diferentes tipos de suelos y las diferentes cubiertas de residuos vegetales procedentes del cultivo anterior.

En general, las sembradoras directas deben reunir las siguientes características:

- Peso suficiente para atravesar los restos vegetales en superficie.
- Capacidad de abrir un surco lo suficientemente ancho y profundo como para albergar adecuadamente la semilla. Será diferente si se dedica a grano fino (≈ 3 cm de profundidad) o grueso (≈ 5 cm de profundidad).
- Posibilidad de regular la dosificación y esparcimiento de semillas de distinto tamaño y asegurar su adecuado recubrimiento.
- Poder modificar su configuración para adaptarse a diferentes cultivos y aceptar la inclusión de elementos de abonado y tratamientos.
- Rigidez y resistencia de sus elementos para soportar las mayores cargas que se producen.

La evolución del mercado de sembradoras directas es un indicador de la aceptación del sistema de AC. En España, tanto la maquinaria nueva como las

Tabla 6. Incidencia en el uso de la maquinaria agrícola por el cambio a Agricultura de Conservación (siembra directa).

Agricultura convencional	Agricultura de Conservación
Altos requerimientos energéticos (combustible y fabricación de implementos).	No requiere laboreo, supresión de las labores de preparación de suelo.
Necesidad de realizar varios pases de laboreo primario y secundario de suelo para la preparación del lecho de siembra.	Manejo de hierbas adventicias con fitosanitarios, mayor uso de pulverizadoras a corto plazo, optimización a medio plazo.
Control mecánico de hierbas adventicias, además del control químico.	Reduce hasta un 50% las horas de trabajo en campo, menor uso del tractor.
Dependencia de equipos de movimiento de suelo.	Mejora notablemente la eficiencia y productividad energética.
Elevado número de horas de trabajo en campo de maquinaria, mayor uso del tractor.	Reducción de más de un 50% del consumo de combustible en la mayoría de los casos.

transferencias entre agricultores, así como la incorporación de otras máquinas a la agricultura, se contabilizan a través de los Registros Oficiales de Maquinaria Agrícola (ROMA). Hoy en día se han inscrito al citado registro en torno a 3.000 máquinas, y el mercado sigue en una tendencia positiva, donde la incorporación a la agricultura española de equipos de siembra directa se ha incrementado en el año 2014 en 300 unidades. Castilla y León con 121 unidades y Aragón con 75 son las comunidades autónomas con mayor número de máquinas inscritas.

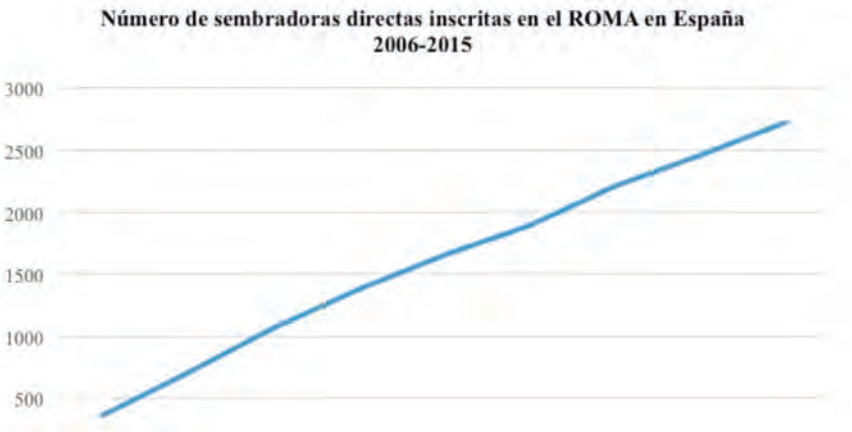


Figura 6. Número de sembradoras directas de nueva inscripción en el Registro Oficial de Maquinaria Agrícola (ROMA). Elaboración propia a partir de datos de Registro Oficial de Maquinaria Agrícola (ROMA). MAPAMA (2007 a 2016).

Fitosanitarios

La agricultura basada en el laboreo, emplea pases de diversos arados para controlar las hierbas y preparar el lecho de siembra donde se instalará el cultivo. De esa forma, deja el terreno desnudo, sin ningún resto vegetal que cubra el suelo y lo proteja frente a la erosión provocada fundamentalmente por las lluvias, pero también por el viento. Al contrario de esta práctica, en la Agricultura de Conservación se prescinde de labrar. Es evidente que esta profunda transformación en la gestión de los suelos, requiere también un cambio en la tecnología. Se emplean sembradoras específicas para AC, capaces de sembrar en terrenos con coberturas vegetales, y se cambian los numerosos pases de laboreo por el empleo de productos fitosanitarios para controlar las malas hierbas. En este sentido, los herbicidas han sido, y siguen siendo, un elemento esencial en el desarrollo de los sistemas de AC. Dentro de los productos empleados en la presiembra del cultivo, glifosato solo o en mezcla con otro tipo de herbicidas, como pueden ser los hormonales, es la elección más habitual entre los agricultores. Glifosato controla muchas de las malas hierbas en los campos en los que se practica la AC y no deja residuos en el suelo que puedan impedir o retrasar las siembras. El bajo perfil toxicológico de esta sustancia activa, su excelente control de las malas hierbas, unido a la amplia disponibilidad en numerosas marcas de multitud de empresas, desde que su patente expiró en el año 2000, hace que los tratamientos con esta base sean poco costosos y se hayan extendido, siendo un producto esencial para controlar las malas hier-

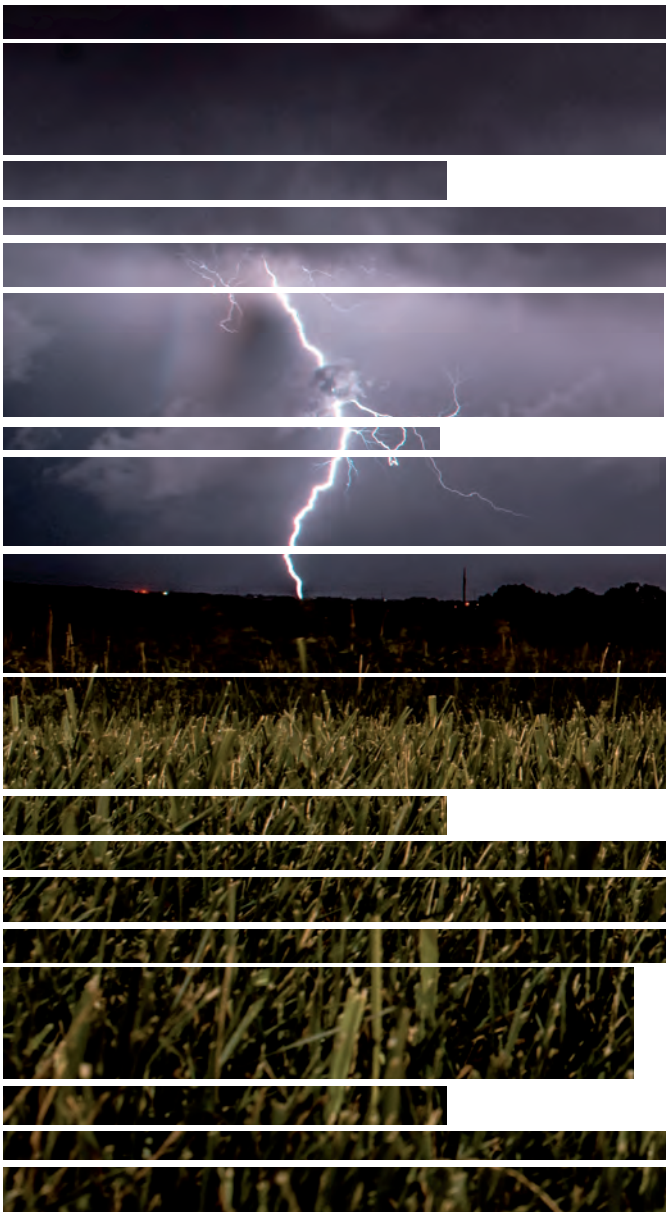
bas. Sin glifosato se pondrían en riesgo las hectáreas de cultivo en AC, y se limitaría el desarrollo de este sistema sostenible, donde además, su uso se realiza en un entorno más resiliente que el convencional. La puesta en práctica de la AC quedaría notablemente dificultada, y dependería del uso de otros herbicidas con un perfil eco-toxicológico menos favorable y un mayor coste para el agricultor.

En España se ha estudiado qué coste conlleva preparar el lecho de siembra según diferentes sistemas de manejo de suelo. Fundamentalmente, se ha comparado la agricultura convencional, basada en el laboreo intensivo, la agricultura fundamentada en el mínimo laboreo y la Agricultura de Conservación. En agricultura convencional, se requiere de un pase de vertedera, además de pases de cultivador y vibrocultivador. En el caso de mínimo laboreo, se necesita dar un pase de arado cincel (conocido como chísel), más un pase de vibrocultivador. Por el contrario, únicamente con un pase de herbicida (glifosato sólo, o en mezcla con otros herbicidas según las hierbas que se encuentren) se prepara correctamente la siembra directa. Tomando como base la Agricultura de Conservación, que resulta la forma más económica para acondicionar el terreno para la siembra (20,85 € por hectárea), se gastaron 154 € por hectárea más en el caso del laboreo convencional, y 73 € más en el caso del mínimo laboreo. La implantación de la siembra directa supone, según estos estudios, un ahorro de costes totales de cultivo del 24% respecto al laboreo convencional y un 8,7% respecto al mínimo laboreo.

CAPÍTULO 1

EXECUTIVE SUMMARY

AEAC.SV
Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos



CLIMATE CHANGE AND AGRICULTURE

Agriculture and climate change are closely related. In this report, the Spanish Association for Conservation Agriculture Living Soils offers its experience and knowledge on how the agricultural sector can respond to this global challenge through Conservation Agriculture (CA). This experience is based on the development of various European (LIFE) and national public-funded projects based on using CA in Spain and Europe. This document aims to serve as a basis for decision-making about science and agricultural experimentation in Spain.

The study of the climate is a complex field of investigation and in constant evolution but, since it is influenced by great amount of factors, it is not a static system and therefore it is difficult to determine its effects with precision. However, it is obvious that the climate is undergoing rapid changes, where socio-economic development is in disaccord with the essentially limited natural resources. Nowadays, one of the greatest challenges is to respond to the need to produce enough food and fiber for a growing world population in a changing climate. Agricultural production, and therefore food security, is changing in the periods of rainfall, thermal and other climatic conditions.

In terms of contribution, approximately 10% of greenhouse gases (GHGs) globally emitted come from the European Union (EU). Of these GHGs emitted in Europe, around 10% come from agriculture, which is the fourth largest emitter in the EU among with energy, transport and industrial combustion sectors. In order to cease these emissions, at the end of 2015 there were celebrated the 21st meeting of the Conference of the Parties (COP21) and the 11th meeting of the Conference of the Parties serving as the *meeting of the Parties to the Kyoto Protocol* (CMP). It concluded, with the adoption of a historic agreement to combat climate change and promote measures and investments for a low-carbon, resilient and sustainable future, the so-called Paris Agreement.

On November 30, 2016, the Spanish Parliament unanimously approved the ratification of the Paris Agreement to combat climate change, which marks the beginning of a process of structural reforms. The first contribution to emission reductions within the framework implies a reduction of gases in the diffuse sectors (transport, agriculture, waste or building) of 26% and 43% in the industrial sector, both by 2030 comparing to the levels of 2005.

Agriculture is a fundamental sector that provides food for both people and animals, produces fibers for the textile sector, and many other products and services essential for the maintenance of humanity. Like any economic activity, agriculture is linked to the natural and social environment in which it is developed, and interacts with it. If there is any productive activity that depends directly on the climate and its variability, this is undoubtedly agriculture. A change of temperature and precipitation, or an increase in the concentration of atmospheric CO_2, will significantly affect the development of the crops. It is estimated that at global level climate variability is responsible for between 32% and 39% of the variability in yields, an effect that is more pronounced in regions of Iberian Peninsula.

Nowadays, it is essential a multidimensional approach for measuring agricultural sustainability in order to achieve a balance between preservation and improvement of the environment, social equity and economic viability, and therefore improve the welfare of society.

Scientific studies carried out in different agroclimatic zones agree that the less soil is tilled, the more carbon is absorbed and stored in it. Plants absorb carbon dioxide from the air and use it in the process of photosynthesis. Carbon is part of the organic matter, so increasing its

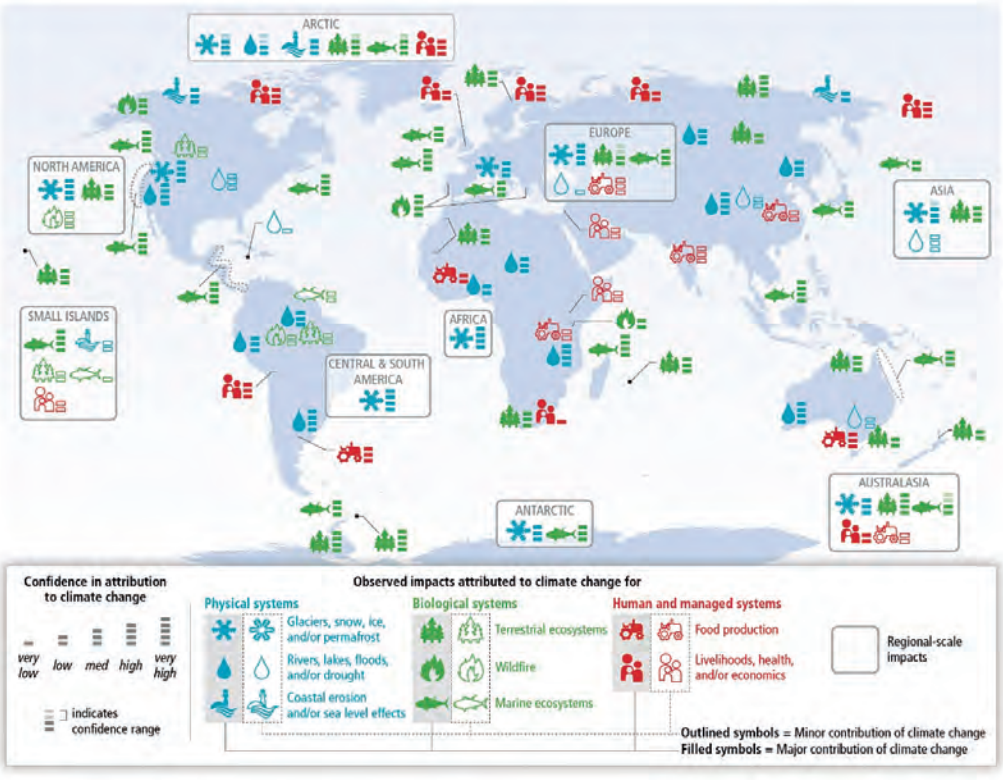


Figure 1. Global patterns of impacts in the last decades attributed to climate change. Source IPCC, 2014.

content in the soil, increases its productive capacity thanks to greater natural fertility of the soil. On the other hand, any action aimed at saving energy and fuel, such as reducing the tillage, optimizing the use of agricultural inputs and proper execution of operations, directly reduces emission of greenhouse gases. Therefore, a sustainable agricultural system that responds to these requirements is of particular importance: Conservation Agriculture.

WHAT IS CONSERVATION AGRICULTURE?

The principles of Conservation Agriculture are as follows:

- Minimum soil disturbance. In practice it means no-tillage. At least 30% of the soil must be covered after sowing to effectively protect it against erosion. However, it is recommendable to leave more than 60% of the soil covered to have almost complete control over the soil degradation process.
- Maintaining groundcovers throughout the year. In other words, it means to maintain stubble in arable crops and to plant or preserve groundcovers between rows of trees in woody crops. In this way, soil organic matter and water infiltration into the soil are increa-

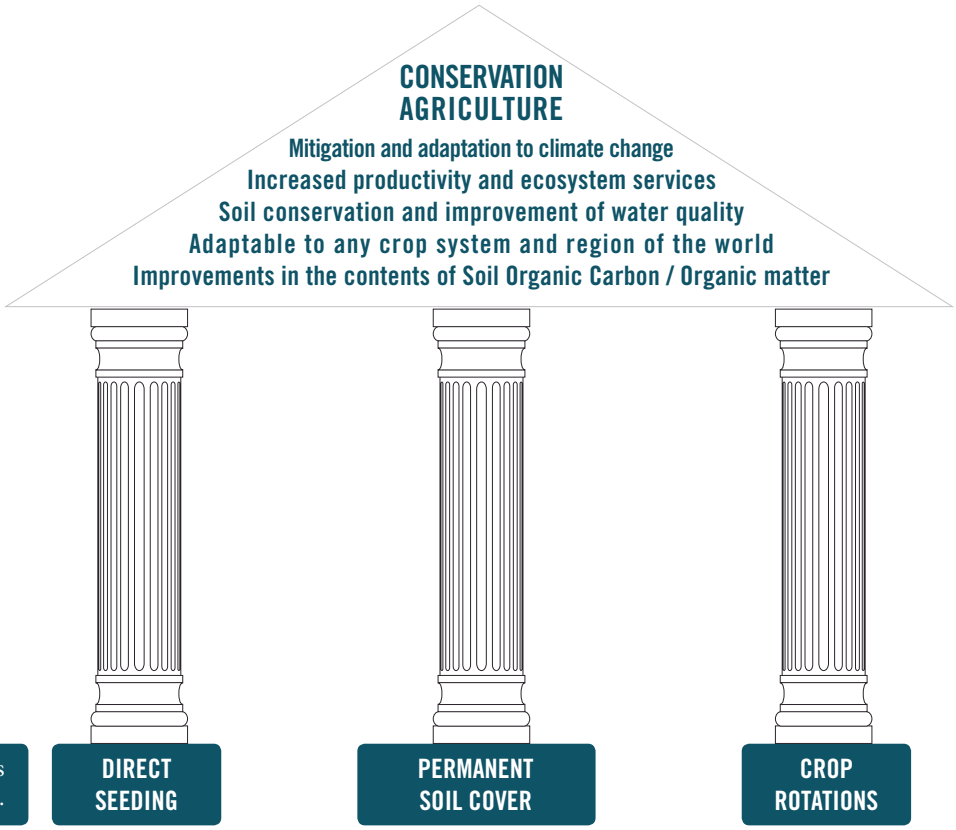


Figure 2. Principles and benefits of Conservation Agriculture.

sing, some weeds are inhibited, and water evaporation from the soil is limited.

- Programing rotations or crop diversification in annual crops. In this way, pests and diseases are better controlled by breaking cycles that are maintained in monocultures, in addition to including crops that can improve the natural fertility of the soil and biodiversity.

Conservation Agriculture is one of the most studied agro-sciences in the world, which is practiced on almost 160 million hectares according to FAO. In Spain, the first studies on CA in annual crops are recorded in 1976. Nowadays, Spain is the European leader with almost 2 million hectares.

THE INTEGRAL APPROACH OF CONSERVATION AGRICULTURE

Conservation Agriculture offers a considerable environmental improvement of the agricultural ecosystems, without reducing yields.

Figure 3: Evolution of the adoption of Conservation Agriculture in Spain (arable and woody crops). Adapted from *Crop* surface *area and yields survey*, The Spanish Ministry of Agriculture, Food and Environment (from 2009 to 2016).

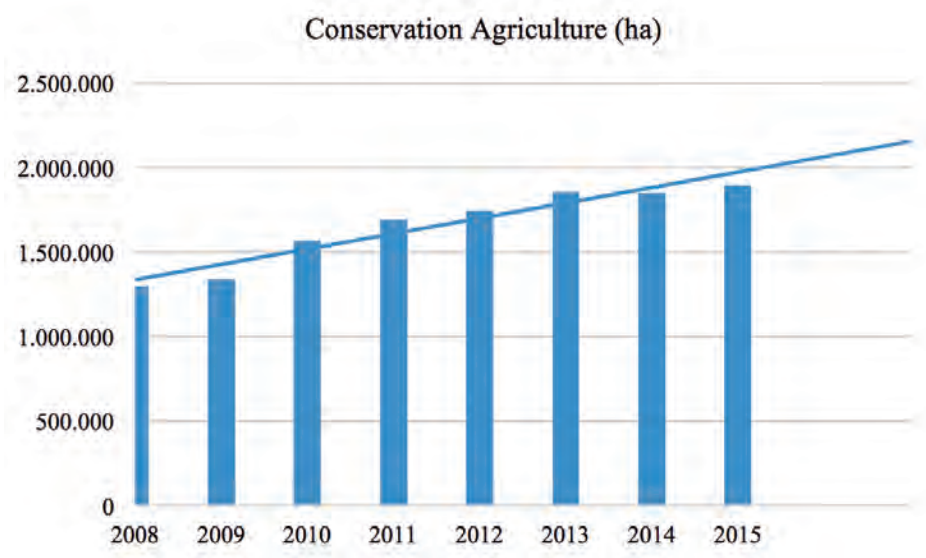


Table 1. Main environmental benefits of Conservation Agriculture.

For the soil	Reduced erosion
	Increase in soil organic matter
	Improvement of structure and porosity
	Greater biodiversity
	Increased soil fertility
For the air	Fixation of atmospheric carbon in the soil
	Reduced CO_2 emissions into the atmosphere
For the water	Reduced runoff
	Improvement of surface and groundwater quality
	Increased water holding capacity

Almost 20% of the European surface suffers soil losses exceeding 10 tonnes per hectare per year. According to the provincial data of the National Inventory of Soil Erosion of Spain, the means for erosion in Spain are 14.42 tons per hectare per year. Taking into account the low rate of soil formation, losses greater than 1 ton per hectare per year can be considered as irreversible. Conservation Agriculture reduces soil erosion by up to 90% compared to conventional tillage, thus reducing soil degradation, which is recognized as the biggest environmental problem in Spain.

Comparing the conservation system with the conventional one, based on the soil inversion ploughing, conventional tillage increases emissions of CO_2 into the atmosphere, reducing the content of organic matter of the soil, and therefore affecting its quality and fertility. The implementation of Conservation Agriculture implies a series of benefits on the physical and chemical properties of the soil, which improve its structure, increase soil organic matter (CO_2 fixation) and biodiversity, improve the infiltration, increase water holding capacity and reduce the runoff and direct evaporation from the ground, thus improving the quality of the water.

Conservation Agriculture has a double effect on the reduction of greenhouse gases concentration in the atmosphere. On the one hand, the changes introduced by the CA increase the carbon in the soil, reducing its emissions into the atmosphere. On the other hand, the drastic reduction of tillage along with the ceased mechanical alteration of the soil, lead to reduction of the

Table 2. Comparison of different agricultural practices regarding environmental problems. Adapted from Gonzalez Sanchez et al. (2015). * Abbreviations: CT: Conventional tillage; GC: Groundcovers; NT: no-tillage; MT: minimum tillage. GC 30%: Groundcovers present in 30% of the surface between the rows of trees; GC 60%: idem 60%; GC 90%: idem 90%. Effect on the environment: + slightly positive; +++++ very positive; - negative or indifferent.

Crops	Intensity of environmental benefit regarding environmental problems							
	Soil management	Erosion	Soil organic matter	Compaction	Climate change mitigation	Biodiversity	Water quality	Safety of plant protection products application
Annual	CT*	+	+	++	-	-	+	+
	MT	+	+	++	-	++	++	++
	NT	++++	++++	++++	++++	+++	++++	++++
	NT+GC	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
Woody	GC 30%	++	++	++	++	++	++	++
	GC 60%	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	GC 90%	+++++	++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++

CO_2 emissions derived from the energy saving and lower fuel consumption, and the reduction of the mineralization processes of the organic matter.

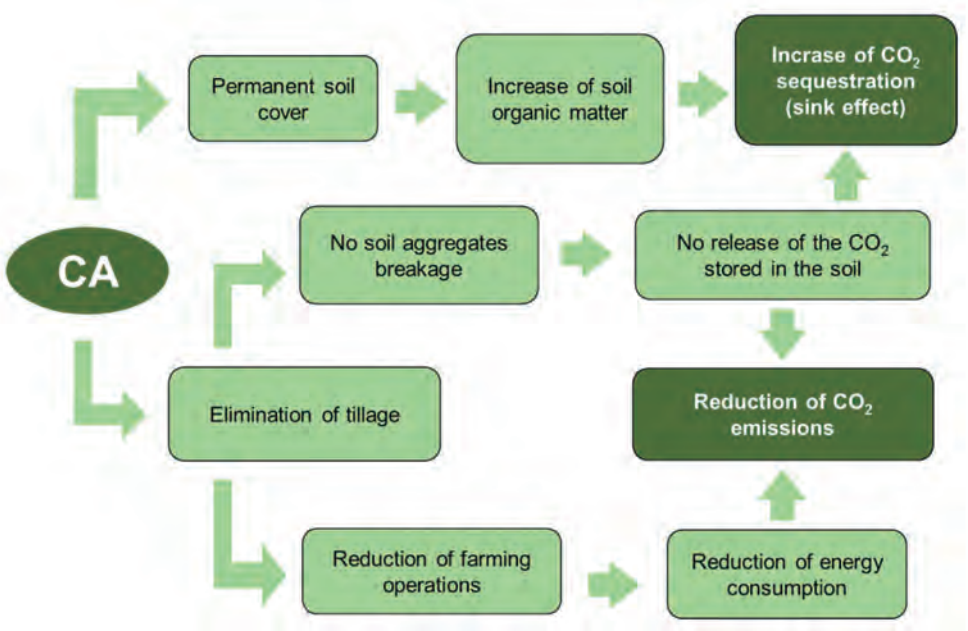


Figure 4. Mitigating climate change mechanisms through Conservation Agriculture.

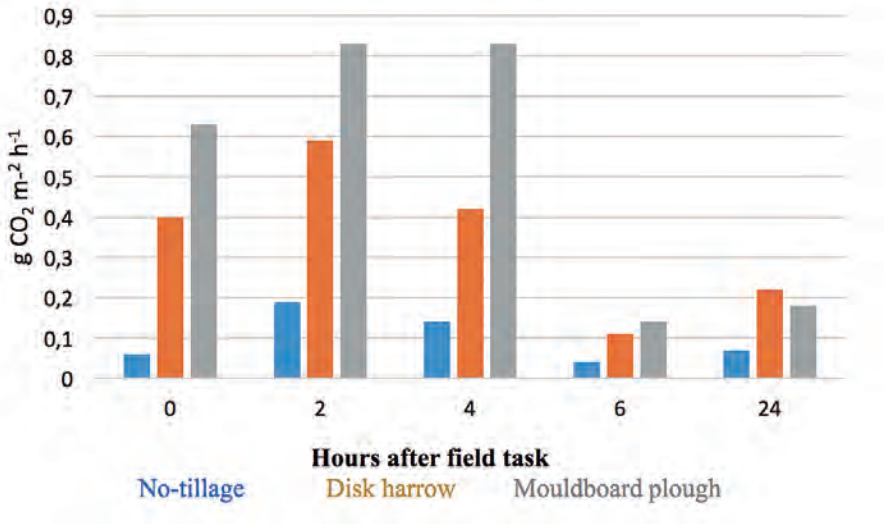


Figure 5. CO_2 emissions per hour during soil tillage operations in different cropping systems. (Each value represents the average of 14 readings). Source: Carbonell-Bojollo et al. (2011).

A meta-analysis carried out in Spain shows that during the first 10 years of Conservation Agriculture it is possible to fix up to 3.14 more tons of CO_2 per hectare per year in annual crops, and 5.68 more tons of CO_2 per hectare per year with groundcovers in woody crops, compared to systems based on soil tillage. Afterwards, it reaches a less pronounced growth phase, but still not insignificant.

Table 3. Atmospheric CO_2 sequestration coefficients implementing CA techniques. Source: Adapted from González-Sánchez et al. (2012).

Agricultural practice	CO_2 sequestration coefficients (t ha^{-1} $year^{-1}$)	Periodo (años)
No-tillage	3.12	<10
	0.59-1.47	>10
Groundcovers	5.65	<10
	1.28	>10

The estimation of CO_2 sequestration by soil carbon fixation (SOC) regarding conventional tillage systems as well as the maximum potential derived from the implementation of the best CA techniques are shown in the following table.

Table 4. Current area in Spain cultivated using techniques of Conservation Agriculture, organic carbon in the soil, fixed CO_2 and fixing potential compared to conventional agricultural techniques. Source: Own elaboration, based on the values indicated in González-Sánchez et al. (2012) and the surface with this technique extracted from MAPAMA 2015 (The Spanish Ministry of Agriculture, Food and Environment). * Average values obtained through studies with fixation data up to 10 years. CO_2 = carbon x 3.67.

Conservation Agriculture Practice	Increase of soil organic carbon* (t ha^{-1} $year^{-1}$)	Fixed CO_2 (t ha^{-1} $year^{-1}$)	Current area (ha)	Current fixed CO_2 (t $year^{-1}$)	Potential area (ha)	Potential CO_2 (t $year^{-1}$)
No-tillage	0,85	3,12	619.373	1.932.134	7.998.655	24.951.804
Groundcovers	1,54	5,65	1.275.888	7.211.064	4.961.981	28.044.124
Total				9.143.198		52.995.928

If we put these values in the context of the Kyoto Protocol, and in the commitments that Spain acquired during the period 2008-2012, they become very significant. In that period, in Spain, CO_2 emissions exceeded the allowable emissions in more than 165 million tons, which meant that the State disbursed more than € 800 million. The price for ton of CO_2 was around € 5.

If carbon sequestration produced by Conservation Agriculture (without taking into account the lowest emissions by lower consumption of fuels) was taken into account and taking the 2015 data for the period 2008-2012 (5 years), the estimated CO_2 would have reached more than 45 million tons, which would have meant about € 225 million in cost savings. The most favorable case in which the entire potential area (grain cereals, sunflower, forage maize, other fodder and legumes) was under Conservation Agriculture techniques, the fixing potential for the referred period would have been more than 264.5 million tons of CO_2 (52.9 per year over 5 years), 99.5 million tonnes above that needed to offset excess emissions, representing over 160% of the excess of 165 million tonnes of CO_2.

In the Kyoto Protocol, the base year is 1990, in the Paris Agreement, the reference is made regarding the emissions of the year 2005. According to the Roadmap of the Diffuse Sectors in Spain, the emissions from these sectors

exceeded 221 million tonnes of CO_2. According to data obtained from the Spanish Government, the agricultural sector was responsible for 47.26 million tons of CO_2. If the potential of Conservation Agriculture were reached in our country, the emission of about 52.9 million tons could be avoided. Therefore, around 112% of agricultural emissions would be offset by Conservation Agriculture.

Table 5. Emissions from diffuse sectors in Spain in 2005. Source: MAPAMA (The Spanish Ministry of Agriculture, Food and Environment), 2014.

	Thousands of tons of CO_2
Residential, commercial and institutional	30.619
Transport	95.788
Waste management	11.721
Agriculture	47.261
Fluorinated gases	5.822
Industry not subject to emissions trading	29.824
Total	**221.035**

In 2013, there were 965,002 farms in Spain (Spanish Statistical Office, 2013), where 73% of work was done by family members, the farmer and relatives, and in many cases their labour was not compensated because of the low profitability of the farm. With respect to conventional agriculture, the reduction of working time per hectare in Conservation Agriculture is in most cases greater than 50%. The reduction of working hours and costs per hectare thanks to Conservation Agriculture, allows more time for other activities both inside and outside the farm (family, training, leisure, activities for the community, etc), improving the economic and welfare conditions of farmers and their families. On the other hand, increasing the use of technology induces indirect and more qualified work (machinery dealers, workshops, supplies, etc.), transferring employment from the agricultural sector to other sectors with greater added value.

ESSENTIAL TOOLS FOR CONSERVATION AGRICULTURE

Machinery

Since Conservation Agriculture avoids tillage, it is necessary to have adequate tools to plant in conditions with abundant plant remains. Therefore the development of mechanization, especially of machinery for sowing, has had special relevance in the implementation of the CA. One of the keys to success in Conservation Agriculture is the no-tillage sowing machine and its accessories which allow farmers to plant under optimum conditions on different types of soils and the different groundcovers.

In general, no till seeders must have the following characteristics:

- Enough weight to go over groundcovers.
- Ability to open a groove wide enough and deep enough to place the seed in the hole properly. It will be different if it is used for fine (~ 3 cm) or thick (~ 5 cm) seed.
- Possibility to regulate the dosage and spread of seeds of different size and ensure their adequate covering.
- Possibility to modify its configuration to adapt it to different crops and to accept the inclusion of fertilizers and treatments.
- Rigidity and resistance of its elements to withstand the highest loads.

Table 6. Incidence in the use of agricultural machinery by the change to Conservation Agriculture (no tillage).

Conventional agriculture	Conservation agriculture
High energy requirements (fuel and manufacturing of implements).	It does not require tillage, suppression of soil preparation work.
Necessary to do several primary and secondary soil tillage passes for seed bed preparation.	Management of adventitious herbs with phytosanitary, greater use of short-term sprays, medium-term optimization.
Mechanical control of adventitious herbs, in addition to chemical control.	Reduces working hours on the field up to 50%, less use of the tractor.
Dependence of ground movement equipment.	Significantly improves energy efficiency and productivity.
Many of hours of machinery work on the field, greater use of the tractor.	In most cases, there is reduction of more than 50% of fuel consumption.

The evolution of the market of no-till seeders is an indicator of the acceptance of the CA system. In Spain, both new machinery and transfers between farmers, as well as the addition of other machines to agriculture, are calculated by the Official Records of Agricultural Machinery. There have been registered around 3000 machines so far, and the market continues positively increasing. In the last year the amount of no-till equipment used in Spanish agriculture reached 300 units. Castilla y León with 121 units and Aragon with 75 are the autonomous communities with the largest number of registered machines.

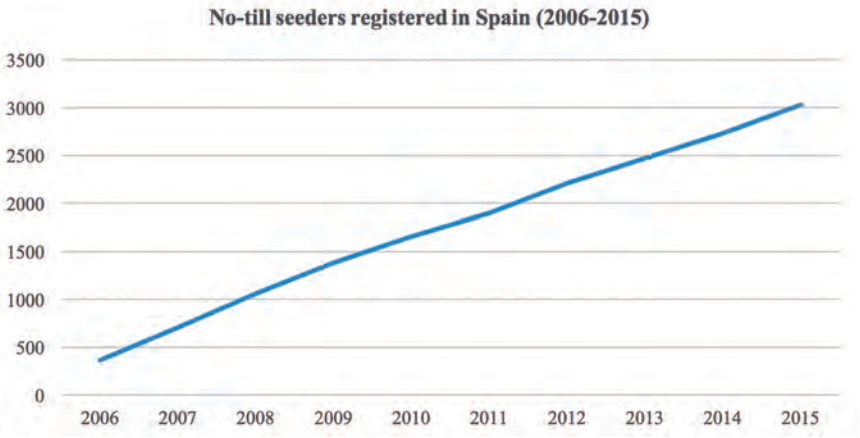


Figure 6. Number of new no-till seeders registered by the Official Register of Agricultural Machinery. Own elaboration based on data from the Official Register of Agricultural Machinery. In most cases, there is reduction of more than 50% of fuel consumption. (2007 to 2016).

Phytosanitary

Tillage-based agriculture uses passes of various ploughs to control weeds and prepare the seed bed for the crop. In this way, it leaves the ground bare, without groundcovers which protect it from erosion caused by the rain and wind. On the other hand, tillage is not necessary in Conservation Agriculture. It is evident that this significant change in the soil management, also requires a change of technology. Conservation Agriculture uses specific seeders, capable of planting on land with groundcovers, and the numerous work passes are changed by the use of plant protection products to control weeds. Therefore, herbicides have been, and remain, an essential element in the development of CA systems. In addition to the products used in the pre-planting of the crop, glyphosate alone or in combination with other herbicides, such as hormones, is the most common choice among farmers. Glyphosate controls many of the weeds in the fields where CA is practiced and leaves no residue on the soil that can prevent or delay plantings. The low toxicological characteristics of this active substance, its excellent weed control, its wide availability of numerous brands made by many companies, since its patent expired in 2000, make treatments with this base inexpensive and well-known in all the world, recognized as an essential product to control weeds. Without glyphosate the cultivation hectares in CA would be at risk, and the development of this sustainable system would be limited, where in addition,

its use is made in a more resilient environment than the conventional one. The implementation of CA would be significantly hampered, and would depend on the use of other herbicides with a less favorable ecotoxicological profile and a higher cost to the farmer.

In Spain some researchers have studied the cost of preparing the seed bed according to different soil management systems. Fundamentally, the compared systems were: conventional agriculture, based on intensive tillage; agriculture based on minimum tillage, and Conservation Agriculture. In conventional agriculture, a mouldboard plough pass is required, as well as cultivator and spring cultivator passes. In the case of minimum tillage, it is necessary to do at least two field operations: a chisel plough and a spring cultivator. On the contrary, no-tillage is properly prepared using only an herbicide pass (depending on the weeds: glyphosate alone, or in mixture with other herbicides). Based on Conservation Agriculture, which is the most economical way to prepare the land for sowing (€ 20.85 per hectare), € 154 per hectare was spent on conventional tillage and € 73 more on case of minimum tillage. According to these studies, the implementation of no-tillage involves a total crop cost savings of 24% compared to conventional tillage and 8.7% over minimum tillage.

CAPÍTULO 2

EL CAMBIO CLIMÁTICO

AEAC.SV
Asociación Española
Agricultura de Conservación
Suelos Vivos

2.1. INTRODUCCIÓN

El estudio del clima es un campo de investigación complejo y en constante evolución que debido a la gran cantidad de factores que intervienen, hacen que no sea un sistema estático y difícil de determinar sus efectos. Cualquier circunstancia que induzca fluctuaciones temporales y/o espaciales de uno o varios de los componentes del clima causaría una variación climática a escala regional o global, originando un cambio climático a dicha escala.

Como consecuencia de los cambios en el balance energético, el clima se encuentra sometido a variaciones en todas las escalas temporales, desde decenios a miles y millones de años. En torno a las alteraciones del consumo energético y nuestro modo de producción, existe un consenso científico, casi generalizado, que está generando una variación climática global, provocando, no solo, efectos medioambientales sobre la tierra sino que a su vez, induce a serios impactos sobre los sistemas socioeconómicos de los países.

En los últimos años, hay un llamamiento generalizado a tomar conciencia sobre el cambio que las condiciones climáticas están experimentando y de las consecuencias que afectan a nuestro estilo de vida. Pero nuestro planeta ha experimentado variaciones climáticas a escala global que no siempre han sido producidas por la actividad humana, como el calentamiento global acontecido en el Jurásico con temperaturas medias de 5ºC por encima de las actuales pasando por las glaciaciones del Pleistoceno, en las que gran parte de Norteamérica, Europa y Norte de Asia quedaron cubiertas bajo una gruesa capa de hielo en la llamada Pequeña Edad de Hielo ocurrida desde el siglo XIV al XIX.

El cambio climático es una permutación significativa y duradera de los patrones locales o globales del clima. Entre las causas que afectan al clima pueden ser naturales (variaciones energéticas del Sol, erupciones volcánicas, circulación oceánica, procesos biológicos, etc.) e influencia antrópica (incremento de las emisión de CO_2 y otros gases de efecto invernadero, alteración del uso de grandes extensiones de suelos, etc.). Los efectos del cambio climático nos afecta a todos siendo el impacto potencial desmesurado, con vaticinios de falta de agua potable, grandes cambios en las condiciones productivas de alimentos e incrementos en los índices de mortalidad producidos por las inundaciones, tormentas, sequías y olas de calor. Pero estos efectos no solo afectan a escala medio ambiental sino que a la vez conlleva consecuencias económicas y sociales en todo el mundo.

La Convención Marco de las Naciones Unidas usa el término cambio climático para referirse a las modificaciones que ocurren en el presente y sólo atribuidas directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos comparables. Durante el tratado se incorporó una línea muy importante de uno de los tratados multilaterales sobre medio ambiente el Protocolo de Montreal de 1987, en virtud de la cual los estados miembros están obligados a actuar en interés de la seguridad humana incluso a falta de certeza científica.

En la última cumbre sobre el clima celebrada en Marrakech (7-18 de Noviembre 2016), España estuvo presente en la COP22 reafirmando su compromiso en la lucha frente el cambio climático al firmar el Acuerdo de París, enviado el 11 de noviembre de 2016 al Parlamento para su ratificación. Los países implicados en la lucha contra el cambio climático impulsarán una ley que recoja “los compromisos e instrumentos necesarios para que la economía española pase a ser una economía baja en carbono, crezca y cree empleo”. El Gobierno se comprometió a reducir las emisiones en un 26% antes de 2030.

> “Es necesario tomar una serie de medidas que permitan mitigar el cambio climático”

Es necesario, por tanto, tomar una serie de medidas que permitan mitigar el cambio climático y adaptarnos a los posibles escenarios que se den como consecuencia del calentamiento global.

2.2. REPERCUSIONES A NIVEL MUNDIAL

La búsqueda de la sostenibilidad es un objetivo común en todo el mundo. La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo redactaron el informe Brundtland (Naciones Unidas, 1987), que señala que el camino tomado por la sociedad está destruyendo el medio ambiente afectando en gran medida a aquellos países poco desarrollados. La concordancia entre la igualdad social, la protección medioambiental y el desarrollo económico son pilares fundamentales a tener en cuenta en la lucha frente al cambio climático. No obstante queda mucho por hacer. Los avances en materia de cooperación internacional, el intercambio de datos en tiempo casi real y los progresos en la ciencia de la atribución climática están comenzando a posibilitar la indagación de la influencia que ejerce el cambio climático sobre las actividades humanas.

Actualmente el clima global está experimentando cambios a un ritmo acelerado, donde el desarrollo económico y social no está en concordancia respecto a los recursos naturales, esencialmente limitados. El incremento de la población mundial y la forma de alimentarla sin agotar los recursos naturales será sin duda un reto complejo de confrontar con las condiciones climáticas en constantes cambios.

En lo que atañe al clima, recientes informes de la NASA, por un lado y de la Organización Meteorológica Mundial han corro-

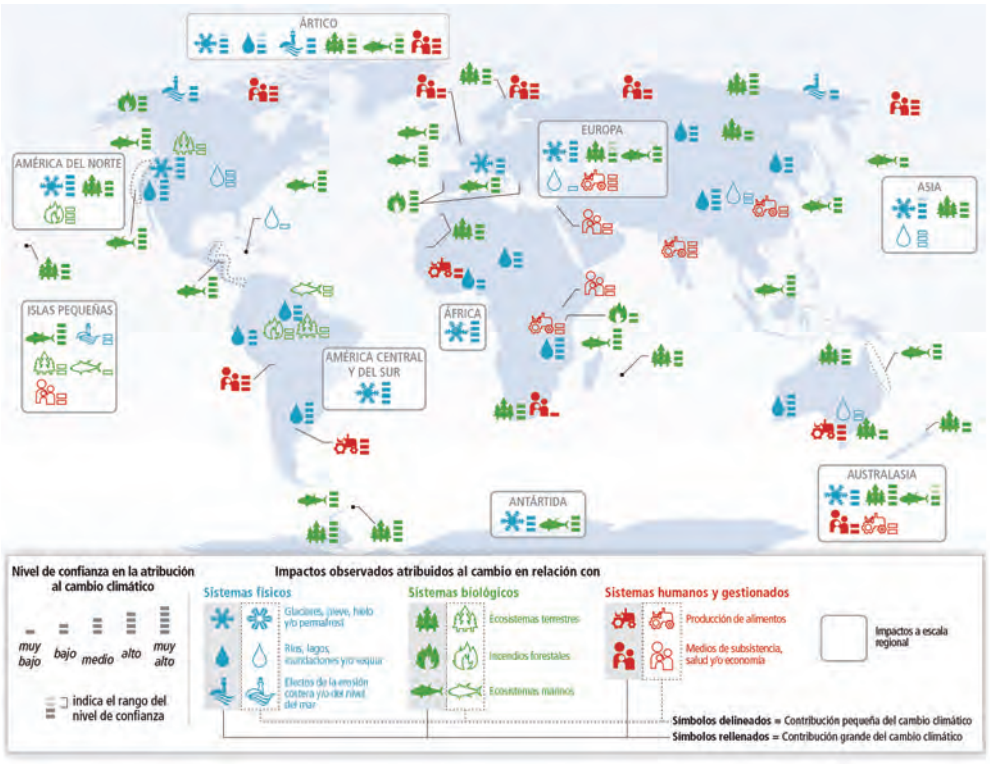


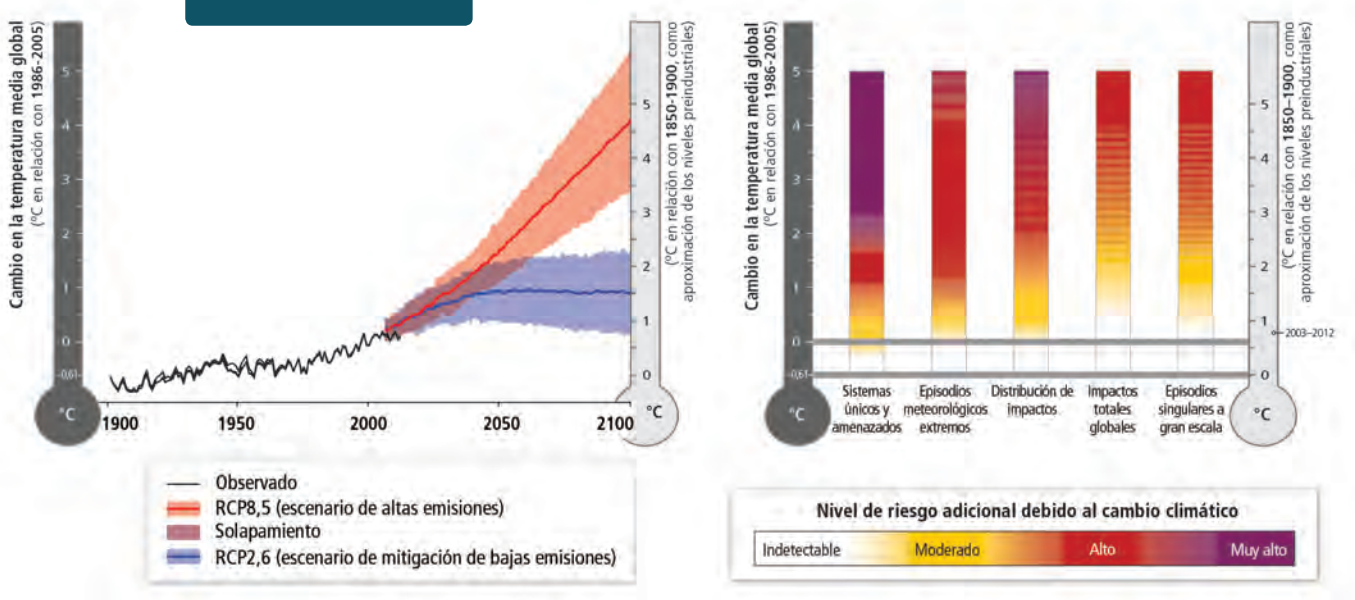
Fig. 2.1. Patrones globales de los impactos en los últimos decenios atribuidos al cambio climático. Fuente IPCC 2014.

borado que en el año 2016, el registro de las temperaturas batió todos los récords modernos. Este fue el año más cálido de los 137 años de los que se tiene registros climáticos (1860). Cabe destacar que a nivel mundial, los años más cálidos desde que se conservan registros han ocurrido en el periodo comprendido entre 1998 y 2009.

En el informe publicado por Organización Meteorológica Mundial de las Naciones Unidas, las temperaturas globales de enero a septiembre de 2016 han sido de 0,88°C por encima de la media del período de referencia de 1961-90 y aproximadamente 1,2°C por encima de las del período preindustrial (1850-1999), pronosticando el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) que las temperaturas a finales del siglo XXI serán entre 1,1ºC, en el mejor de los casos, y 6,4ºC, en el peor, más cálidas que en los niveles preindustriales acaecidos a finales del 1800. Todo ello puede parecer incrementos térmicos pequeños, pero cabe mencionar que el incremento de las temperaturas que propicio la última edad del hielo en el planeta fue inferior a la actual en tan sólo 5ºC. Esta edad de hielo produjo que la capa de hielo polar cubriera gran parte del continente europeo, Asia y Norteamérica.

Fueron especialmente cálidos en los primeros meses del año con registros térmicos anómalos a los que se tiene constancia. A mediados de año hasta finales (mayo-octubre) se registró un descenso de la temperatura global causados por el fenómeno de El Niño manteniendo un temperatura del planeta constante de 0,7°C por encima del registros lo que hace muy probable que las temperaturas globales para dos mil dieciséis superen el récord de 0,77°C establecido por encima de la media.

Fig. 2.2. Perspectiva global sobre los riesgos conexos al clima. Fuente IPCC-2014.



En otras muchas Árticas y Subárticas de Rusia, Alaska y Noroeste de Canadá se registraron valores de 3°C por encima de la media y valores de 1°C superiores a la media en los trópicos y en el 90% de las áreas terrestres del hemisferio Norte. Sin embargo las anomalías de la temperatura de la tierra fueron menos extremas en el hemisferio Sur, pero muchas áreas todavía estaban 1°C o más por encima de la media en el caso del continente americano, Este de Australia y Sur de África. La única área donde se registraron temperaturas inferiores a la media se dio en la zona subtropical de América del Sur (Argentina, Paraguay y Bolivia).

A escala continental, dos mil dieciséis ha sido el año más cálido en América del Norte y Asia. No obstante, África se encuentra cerca de alcanzar niveles récord para el año hasta la fecha. Asia ha padecido su primavera y verano mientras que Oceanía han sido su verano y otoño más cálido. En el caso del continente Americano, América del Sur ha registrado su verano más cálido, y en América del Norte el invierno más cálido.

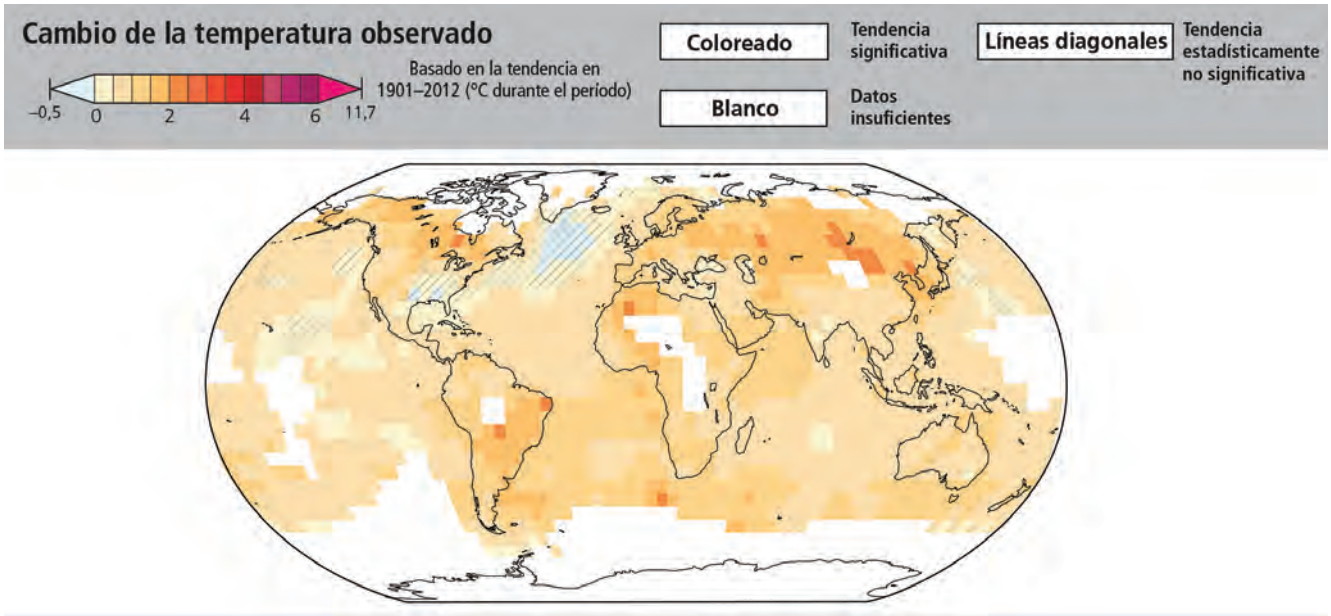


Fig. 2.3. Mapa del cambio observado en la temperatura media anual de 1901-2012. Fuente IPCC-2014.

Respecto a los datos climáticos aportados por la Organización Meteorológica Mundial, en Rusia se registró el año más cálido desde que se tienen datos, con valores de temperatura de 2,16ºC por encima de la media observada. China también registró valores de temperatura fuera de los datos anteriores en 10 provincias. Sin embargo, en el caso de Europa, dos mil quince fue el año más cálido en Estonia, Finlandia y España o uno de los tres años más cálidos en Alemania, Francia, Eslovenia, Moldavia, Hungría y Serbia.

África y Oceanía también registraron valores altos de temperatura. Dos mil quince ha sido el segundo año más cálido desde que se tienen datos. Por el contrario, pocas zonas terrestres observaron condiciones frías. Es el caso de la Antártida, donde la fase positiva del Modo Anular del Sur perduró varios meses y en la fase positiva, los vientos del Oeste se intensificaron y se contrajeron hacia la Antártida, lo que provocó un enfriamiento en el Este Antártico a la vez de un calentamiento en la península Antártica. En octubre se observó un cambio hacia valores menos extremos hasta el final del año y un calentamiento en comparación con el promedio en el continente. Algunas zonas del Noreste de América del Norte alcanzaron temperaturas más frías de lo normal durante el año.

Conforme las temperaturas continúen en ascenso y el clima se haga cada vez más cálido, la tasa de evaporación de las masas de agua también se incrementará. Por un lado, este aumento de la evaporación afectará a la disponibilidad de las reservas de agua dulce, entre el 11% y el 38% de los ecosistemas, a la vez que se incrementarán las zonas en riesgo de desertización. La desaparición de los glaciares registrará descensos en el caudal de los arroyos montañosos de áreas como Reino Unido, Dinamarca y Estados Unidos. Este fenómeno será especialmente

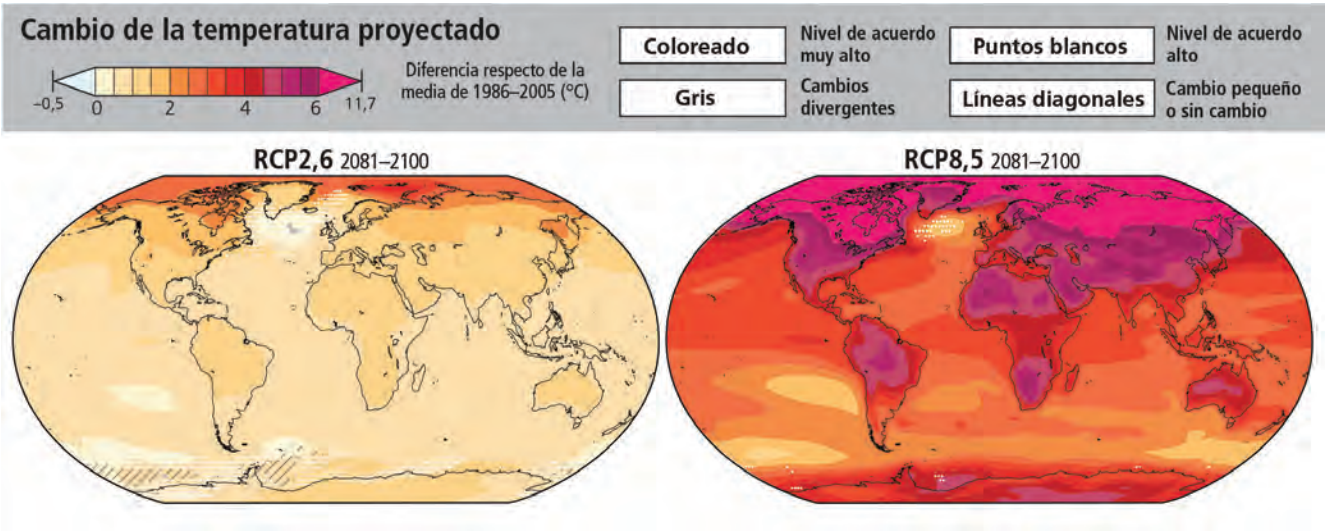


Fig. 2.4. Temperatura media anual global observada y futura proyectada en relación con 1986-2005. Fuente IPCC-2014.

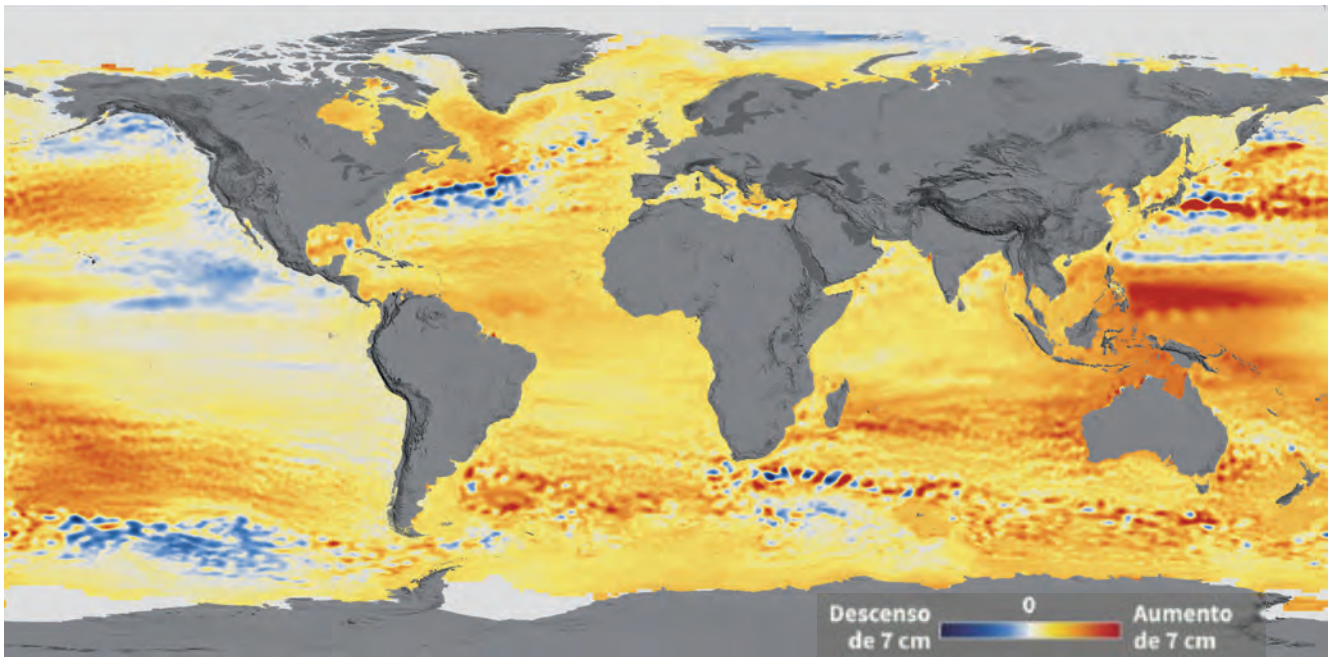


Fig. 2.5. Aumento del nivel del mar en relación periodo 1992-2005. Fuente: NASA 2015.

relevante en las partes meridionales de Europa, dando lugar a mayores periodos de sequías y un mayor número de olas de calor. Por el otro, el incremento de la temperatura global causará un aumento de las precipitaciones.

Cabe destacar que el calentamiento global está provocando el aumento del nivel del mar, por un lado, influyendo en la temperatura de los océanos, lo que condiciona su expansión que, al requerir más espacio, aumenta el nivel. Por el otro, el derretimiento de los glaciares y placas de hielos está produciendo el vertido de agua a los océanos. Esto último interviene en el aumento del riesgo de corrimiento de tierras y la reducción de la disponibilidad de agua dulce.

El análisis de los datos muestra que el incremento del nivel del mar se está produciendo actualmente. En el siglo XX, el nivel medio del mar ascendió a una velocidad de 1,7 mm año^{-1}. Sin embargo, observaciones realizadas por satélite, han mostrado que dicho aumento se sitúa en torno a los 3 mm año^{-1} a partir de 1993. Las proyecciones a nivel global apuntan que el nivel del mar podría subir entre 26 y 82 centímetros por encima de los niveles actuales a finales del siglo XXI, una horquilla mayor que la aportada en el año 2007, cuando se hablaba de una subida de entre 18 y 59 centímetros, dado que se ha mejorado el conocimiento sobre el comportamiento de los glaciares y las capas de hielo de la Antártida y Groenlandia, lo que tendrá impactos especialmente significativos en las zonas costeras en forma de inundaciones, erosión e intrusión de agua salada en las cuencas hidrográficas.

En este sentido, se estima que el deshielo marino del Ártico continúe en ascenso, lo que supone que, a finales del verano en los próximos 15 o 20 años, el deshielo de la capa de hielo del polo Norte, se sitúe en torno al 43%

para los más indulgentes y del 94% para los más pesimistas. Contrariamente a la disminución que se ha producido en el incremento de la temperatura superficial, el aumento del nivel del mar se acelera, según los modelos manejados por el IPCC. En todos los escenarios analizados se considera muy probable que el ritmo de aumento del nivel del mar sea mayor que en los últimos 40 años. Ya en el periodo 1901-2010, el nivel del mar subió 19 centímetros, a un ritmo mucho mayor que en los dos milenios anteriores.

Los estudios más recientes predicen que debido al cambio climático, es probable que aumenten los episodios de precipitaciones de mayor intensidad y localizadas en los próximos años. Esto se debe a que a mayor temperatura, las masas de aire son capaces de retener una mayor cantidad vapor de agua, la cual ante condiciones cambiantes de presión o temperatura, precipitará de forma intensa y en áreas localizadas dando lugar a lluvias torrenciales. El patrón de comportamiento futuro de las precipitaciones es menos claro que el de las temperaturas. Según las últimas investigaciones sugieren que en el siglo XX aumentaron las precipitaciones en las latitudes medias del hemisferio Norte disminuyendo en las regiones subtropicales y tropicales.

La distribución de lluvias en un año normal es sumamente variable a escala regional y local y 2015 no fue diferente. En el Reino Unido, el Centro Hadley del Servicio Meteorológico observaron precipitaciones extremas, que en algunos casos ocasionaron inundaciones y sequías, afectando a muchas regiones del mundo.

Los últimos informes publicados por la NASA han analizado los datos registrados durante los últimos diecinueve años sobre precipitación y humedad ambiental entre otros. Han concluido que en los lugares más húmedos, el cambio climático incidirá con mayor humedad y lluvias frente a escasez de precipitaciones y más sequedad en los lugares secos, el resultado refleja extremos más marcados. Se calcula que las precipitaciones se incrementaran hasta un 13% durante este siglo, dato que contrasta con el 3% como máximo que refleja el informe elaborado por la NASA en el que se analizaron los datos correspondientes a las precipitaciones y humedad ambiente entre otros, registrados en los últimos diecinueve años. El IPCC prevé que la concentración global de vapor de agua y las precipitaciones se incrementarán durante el siglo XXI. Para la segunda mitad del siglo XXI es probable que las precipitaciones en invierno se incrementen en latitudes medio-altas y en la Antártida. En las bajas latitudes habrá tanto incrementos como decrecimientos regionales según diferentes áreas. En la mayoría de las áreas serán probables variaciones interanuales y se espera un incremento en las precipitaciones.

Por lo tanto, la incidencia del cambio climático no sólo afectará a la cuantía total de las precipitaciones, sino que además también se

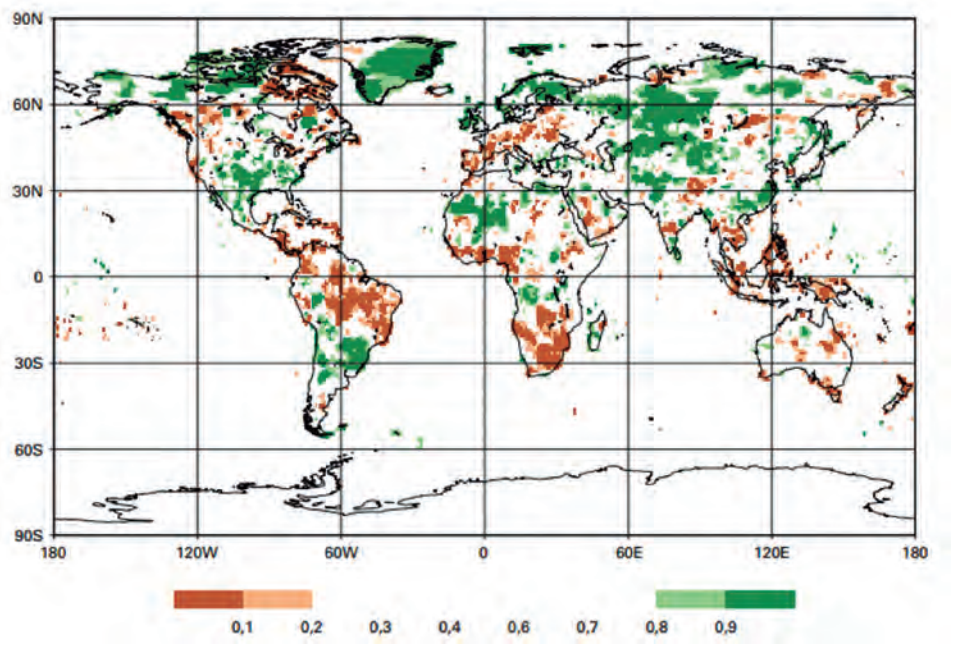


Fig. 2.6. Valores totales de la precipitación anual expresada como un percentil del período de referencia de 1951 a 2010. Fuente: Centro Mundial de Climatología de las Precipitaciones.

verán modificadas sus patrones de distribución espacio-temporal. Todo ello dará lugar a fenómenos meteorológicos extremos más intensos y frecuentes, como inundaciones y tormentas. Según los científicos, estos cambios no pueden explicarse si se intenta ignorar el efecto del cambio climático inducido por el hombre y, además, pueden haber tenido ya efectos significativos en los ecosistemas, la agricultura y la salud humana en regiones que son sensibles a los cambios de las precipitaciones.

Otros efectos menos evidentes que produciría el calentamiento global son los cambios en la distribución de la flora y fauna del planeta. Aunque se valora de forma positiva alguno de los efectos beneficios que el cambio climático conllevaría con el aumento térmico y de las concentraciones de CO_2 sobre la productividad de los ecosistemas. El incremento de la biomasa producida podría disminuir en gran medida la biodiversidad lo que, desde el punto de vista de la economía humana, conllevaría a un incremento de la biomasa en detrimento de las cosechas. Uno de los modelos del IPCC determina que mayores concentraciones de CO_2 podrían instigar la flora en áreas donde los factores limitantes sean el agua y los nutrientes, incluso revertir el efecto beneficioso.

En lo que a la fauna respecta, los cambios térmicos del clima provocan modificaciones morfológicas de numerosos animales. Es el caso del oso polar o con algunas especies de anfibios que se están adaptando a las nuevas condiciones ambientales para poder sobrevivir. El oso polar cuyo tamaño craneal se ha visto mermado causado por el deshielo o la tasa de infestación parasitaria que está sufriendo la población de lémures en Madagascar, donde su proliferación representa una amenaza para la especie y, a su vez, para la salud pública, pues son vector de enfermedades que pueden afectar al ser humano.

El aumento global de las temperaturas afectaría a la variación en la distribución de la flora y fauna lo que conllevaría ampliar el radio de extensión de enfermedades que la fauna porta. La búsqueda de condiciones propicias permitirá la proliferación de enfermedades como la malaria, dengue o la fiebre amarilla en lugares no

aptos en la actualidad. Afectaría también a algunas especies que colonicen nuevas regiones, bien sea por la huida del hábitat donde se encontraban o porque las nuevas condiciones climáticas permiten su expansión a nuevos lugares. Es lo que sucede con la llegada de especies propias de los países tropicales a Francia o Bélgica, como es el caso de la viuda negra que está ganando territorio por su capacidad para adaptarse al clima de estos países, por otro lado similar.

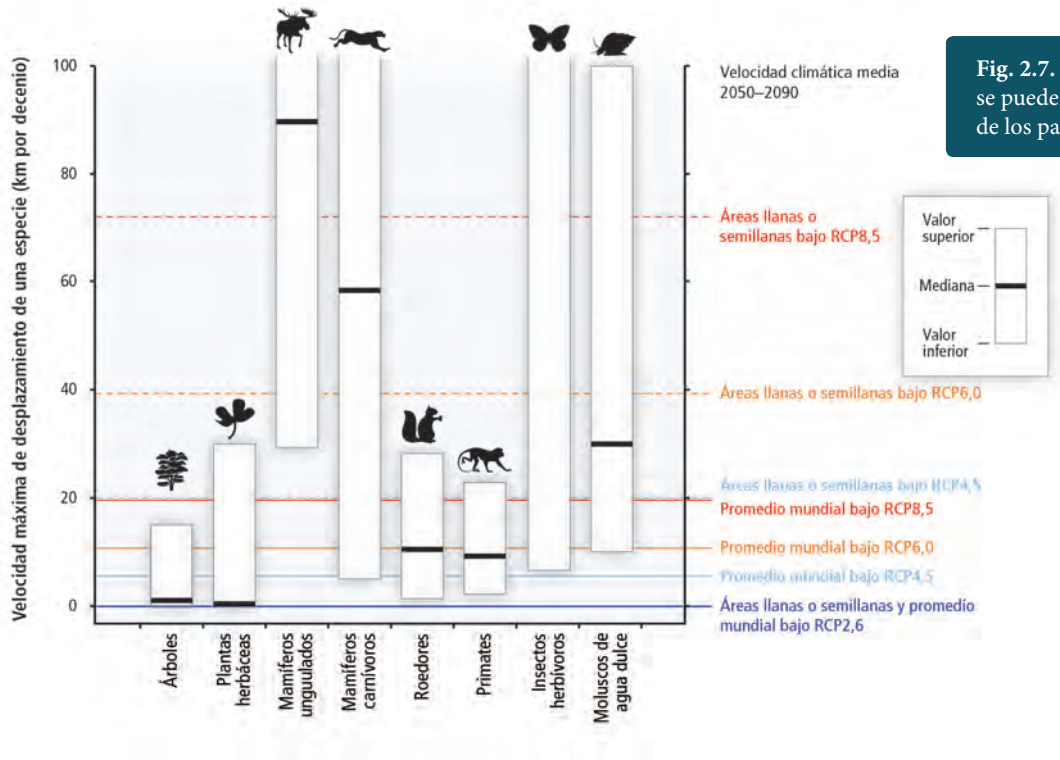


Fig. 2.7. Velocidades máximas a las que se pueden desplazar las especies a través de los paisajes. Fuente IPCC 2014.

En lo que respecta a la principal fuente de alimento de la población mundial, la agricultura es extremadamente vulnerable y desempeña un papel clave en la lucha contra el cambio climático frente a las preocupaciones estratégicas globales. Entre las amenazas ambientales más graves relacionadas con la agricultura se encuentra la degradación de los suelos, perdida de la biodiversidad, la calidad y disponibilidad del agua y la mitigación y adaptación al cambio climático. En los países subdesarrollados o en vías de desarrollo el cambio climático afectará al rendimiento de los cultivos más importantes conduciendo a aumentos adicionales de precios en cultivos tales como el arroz, trigo, maíz y soja. Esto implica una acentuación en los costes de la alimentación animal, traduciéndose en un incremento de los precios de la carne.

Los efectos del cambio climático a largo plazo, podría afectar a la agricultura en diversas formas, y casi todas son un riesgo para la seguridad alimentaria de las personas más vulnerables del mundo:

- Complicaría la planificación de las actividades agrícolas.
- Mayor presión en los sistemas agrícolas frágiles.
- Pérdida de superficie agrícola debido a la subida del nivel del mar.
- Reducción de la diversidad biológica en manglares y selvas tropicales.
- Modificación de las zonas climáticas y agroecológicas.
- Desequilibrio productivo de alimentos en regiones templadas, frías, tropicales y subtropicales.
- Incremento de plagas y enfermedades de los cultivos.

La producción agrícola y por tanto la seguridad alimentaria se encuentra influenciada por las variaciones en los periodos de lluvias, térmicos y de otras condiciones climáticas. Zonas como Asia y América del Sur, son proclives a los cambios climáticos. Los climas extremos como tormentas, inundaciones, sequias, etc., siguen en aumento y tienen efectos graves en la agricultura. Se calcula que su frecuencia y magnitud se incrementarán y que probablemente afecten de forma considerable a todas las regiones del planeta. Existe un riesgo serio de conflictos futuros por tierras habitables y recursos naturales. El cambio climático está afectando a la distribución de plantas, especies invasivas, plagas y enfermedades y es posible que aumenten la incidencia y la localización geográfica.

2.3. EL CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPAÑA

En lo que a España se refiere, dada sus características geográficas y socioeconómicas, es especialmente vulnerable al cambio climático. En el último siglo, la temperatura media se ha visto incrementada en 1,5ºC, lo que supone el doble de la media térmica global. Los modelos predicen que España posee un mayor riesgo de sufrir olas de calor, incendios e inundaciones. La temperatura se verá incrementada entre 3 y 4ºC durante los inviernos y entre 5 y 7ºC en los veranos, dándose estas condiciones más acusadas hacia el interior peninsular que en las costas. La frecuencia de temperaturas máximas aumentará lo que afectará a los recursos hídricos disminuyendo la cantidad y periodicidad temporal.

En 2015 España presentó uno de los años más cálidos desde que se tiene registro y 2016 ha sido aún más cálido que el anterior. Entre los meses de mayo a septiembre de 2016, la península se vio afectada por una ola de calor durante el mes de mayo que estableció un nuevo récord mensual. Las temperaturas alcanzadas fueron de 42,6ºC en el aeropuerto de Lanzarote y Valencia superando las anteriores temperaturas máximas de mayo en 6ºC. En España, se registró la ola de calor más larga de que se tenga constancia comprendida entre los meses de junio a julio (del 27 al 22 respectivamente). Noviembre y diciembre fueron meses excepcionalmente cálidos en España. En diciembre se registraron temperaturas elevadas sin precedentes.

En lo que respecta al nivel del mar, en áreas como las costas del Cantábrico y las del Océano Atlántico, la subida del nivel del mar se está produciendo a un ritmo de 1 a 1,5 mm y 0,7 mm en el Mediterráneo. El aumento de los océanos entre 10 y 68 cm producirá la desaparición de los deltas de los ríos. Además, durante el siglo pasado los glaciares pirenaicos han experimentado un retroceso del 75%.

Los modelos proyectan para España una tendencia progresiva a la disminución del régimen de precipitaciones que será más acusada a partir de mitad de siglo. Podría llegarse a reducciones de más del 20% de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, especialmente en el Sur, un 5% en la mitad Norte, y cercanos al 10% en el Suroeste entre los años 2011-2040, hasta alcanzar en el último tercio del siglo (2070-2100) reducciones en media de precipitaciones anuales del 15% al 25% en las regiones de la mitad Norte y del 20% al 30% en el tercio Sur peninsular. Por el contario, las irregularidades de las crecidas en las cuencas del interior y del Mediterráneo experimentarán un aumento. Los procesos erosivos también se verán afectados, agravando las condiciones de desertificación donde ya existen.

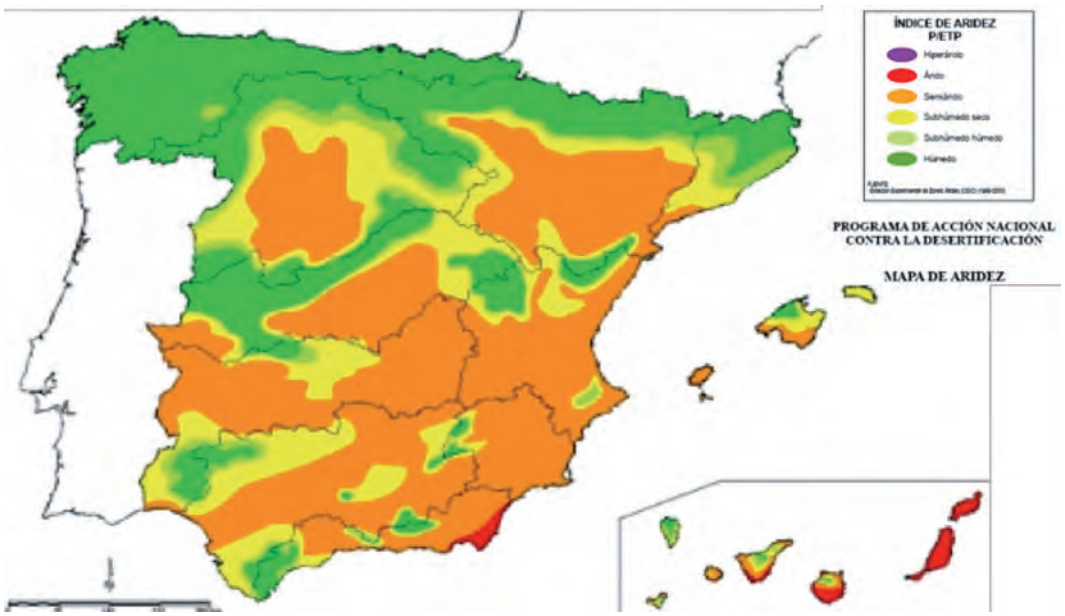


Fig. 2.9. Impacto del Cambio Climático en la Agricultura en España. Fuente MAGRAMA 2005.

En 2015, enero fue lluvioso en grandes zonas del Norte de España. Entre el 20 y el 24 de marzo, cayeron 300 mm de lluvia en algunas zonas de la provincia de Castellón. En el Norte de España, las precipitaciones de nieve se han reducido un 50% desde 1975. Los glaciares activos de los Pirineos han perdido casi el 90% de superficie desde principios del siglo XX. Solo persisten dieciocho de los treinta y cuatro glaciares descritos en 1982.

Referente a la agricultura, el calentamiento global ya ha alterado la duración de la estación de crecimiento de los cultivos en gran parte de la península. Las épocas de floración y cosecha de los cereales se adelantan varios días. Es previsible que estos cambios sigan produciéndose en muchas regiones.

El cambio climático disminuirá la producción agrícola aunque los efectos no serán igual en todos los territorios. Debido a las concentraciones globales de CO_2 en la atmósfera aumentarán las temperaturas, esto afectará de forma positiva a las plantas cultivadas, estimulando la fotosíntesis. No obstante, en el Sur de la península estos escenarios de temperaturas incrementarán la tasa de evapotranspiración lo que afectará negativamente las tasas fotosintéticas, incrementándose las necesidades de riego en algunos casos, al mismo tiempo, el aumento de la temperatura conlleva el aumento de las fitopatologías por los insectos dañinos y se incrementará la capacidad de resistencia de las plagas durante el invierno al eliminarse su control natural por heladas que serán más virulentas para los cultivos de primavera.

Existe variabilidad en cuanto al alcance de plagas y enfermedades de los cultivos según la geografía española. La modificación de las temperaturas puede producir el desplazamiento a latitudes mayores de algunas enfermedades. Todos estos factores provocarán fluctuaciones en los rendimientos de los cultivos y en la oferta local de alimentos.

2.4. REFERENCIAS

Informe Bruntland (1987). Comisión Mundial para el Desarrollo y el Medio Ambiente. Our common future (Ed: Oxford University Press).

International Panel on Climate Change (IPCC) (2001). Cambridge University Press; Cambridge, UK. Climate change: the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change.

International Panel on Climate Change (IPCC) (2014). Cambio Climático. Impacto, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables políticos. Contribución del grupo de trabajo II al quinto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.

International Panel on Climate Change (IPCC) (2013). Cambio Climático. Bases físicas. Resumen para responsables políticos. Contribución del grupo de trabajo ii al quinto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2010). Secretaría de Estado de Cambio Climático. Inventario de Gases de efecto invernadero de España. Edición (serie 1990-2008). Sumario de Resultados. MARM 2010.

Programa de acción nacional contra la desertificación. (2008). Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación. www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/.../pand_agosto_2008_tcm7-19664.

Spyridoula Ntemiri, John Van Aardenne (2015). Approximated European Unión greenhouse gas inventory: Proxy GHG emission estimates for 2015. European Environment Agency (EEA). EEA report No 23/2016.

CAPÍTULO 3

AGRICULTURA Y CAMBIO CLIMÁTICO

AEAC.SV
Asociación Española
Agricultura de Conservación
Suelos Vivos

3.1. RELACIONES ENTRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA AGRICULTURA

El sector agrario contribuye al cambio climático y se ve afectado por él, sin embargo, la agricultura puede ejercer como agente mitigador al poder ir disminuyendo las emisiones de CO_2 debido a los factores productivos utilizados, así como por la fijación del carbono en el suelo mediante un manejo adecuado de la explotación.

En 2012, aproximadamente el 10% de los gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a escala global provenían de la Unión Europea (UE). De esos GEIs emitidos por la UE, alrededor del 9% corresponden a la agricultura, la cual constituye la cuarta actividad emisora en el conjunto de la UE por detrás de los sectores asociados a la energía, el transporte y la combustión industrial (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2012).

Para finales del siglo XXI, la gran mayoría de los modelos del sistema climático apuntan hacia un calentamiento global del orden de 2ºC a 5ºC y hacia aumentos en la precipitación global que oscilan entre el 5 y el 25% (IPCC 2007). Además se proyectan cambios en la distribución, intensidad y frecuencias de fenómenos extremos tales como olas de calor o sequías. Sin embargo, cabe recordar que existen grandes diferencias regionales. En Europa, dentro del proyecto CLIMATECOST. (http://www.climatecost.cc) se han modelizado los cambios en la productividad de los cultivos para las distintas regiones agro-climáticas europeas. Para ello se han considerado un conjunto de escenarios proyectados para distintas sendas de emisiones representativas y distintos modelos climáticos para la década de 2080.

3.2. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGRICULTURA

Si hay alguna actividad productiva que dependa directamente del clima y de su variabilidad ésta es, sin duda, la agricultura. Un cambio de los patrones de comportamiento de las temperaturas y precipitaciones, o del incremento de la concentración del CO_2 atmosférico, afectará de manera significativa al desarrollo de los cultivos. Se estima que a nivel global la variabilidad climática es responsable de entre el 32% y el 39% de la variabilidad en los rendimientos (*Ray et al, 2015*), efecto que es más acentuado en regiones como en la que se sitúa gran parte de la Península Ibérica.

Si bien algunos aspectos del cambio climático, como el incremento de las estaciones de crecimiento y el aumento de la temperatura pueden resultar beneficiosos, la falta de disponibilidad de agua así como la ocurrencia de fenómenos climatológicos extremos de manera más frecuente tendrán a su vez impactos negativos y adversos sobre la agricultura. No obstante, el cambio climático puede suponer oportunidades o riesgos para el sector agrícola según la zona considerada, en base a las características climáticas de la región, los cultivos y los cambios potenciales que puedan producirse. El efecto del cambio climático en los cultivos de una región

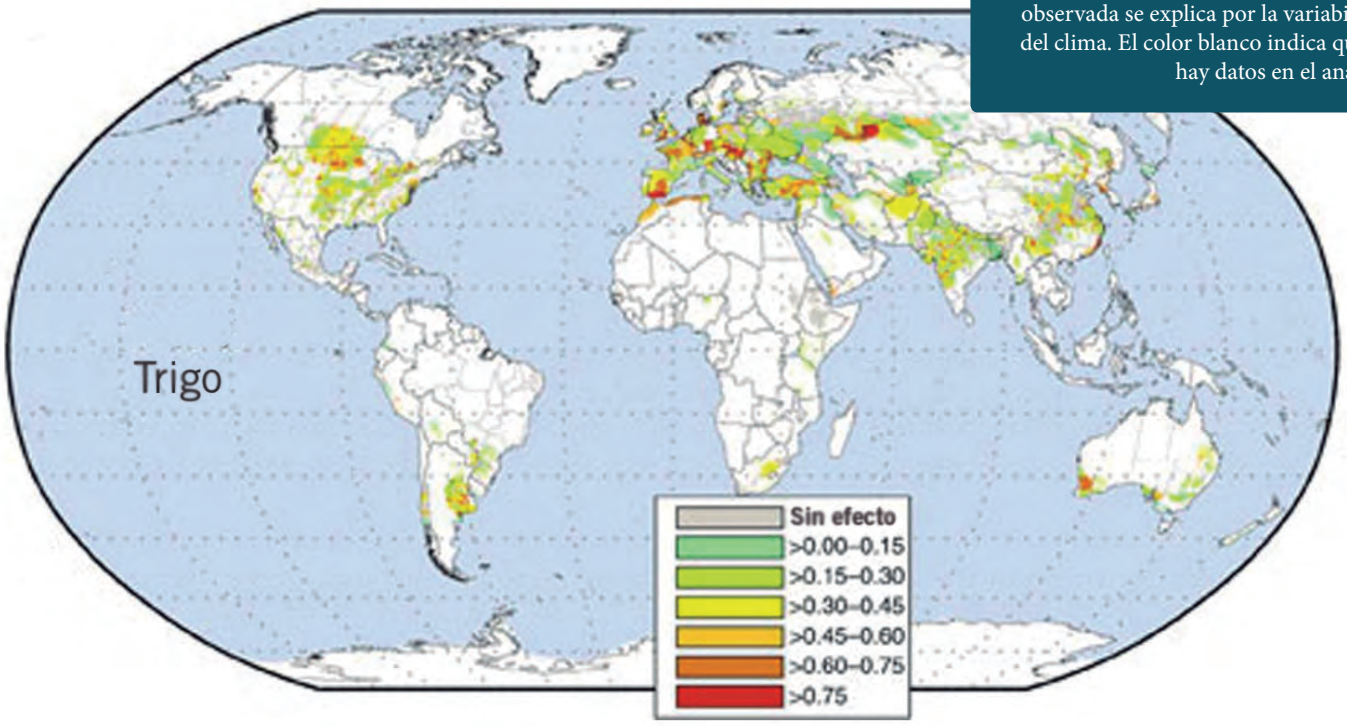


Fig. 3.1. Variabilidad del rendimiento del cultivo de trigo debido a la variabilidad del clima en el periodo 1979-2008. Un valor de 1 implica que toda la variabilidad observada se explica por la variabilidad del clima. El color blanco indica que no hay datos en el análisis.

puede resultar positivo o negativo dependiendo de las características del clima, los cultivos actuales y los cambios potenciales.

En el caso de Europa, las regiones septentrionales experimentarán veranos más cálidos y secos e inviernos más húmedos, además de un aumento del nivel del mar. Esto dará lugar a estaciones de crecimiento más prolongadas, pero también un mayor riesgo de inundaciones. Mientras tanto, las regiones mediterráneas serán las más afectadas por altas temperaturas y por la disminución de precipitaciones, cuyos eventos serán además de naturaleza torrencial. Todo ello conllevará una disminución en la superficie de suelo apta para el cultivo, no sólo por las condiciones climáticas adversas, sino por el aumento de la erosión y la pérdida de calidad de los suelos y del agua como consecuencia de los eventos extremos de lluvia.

Por una parte, se podría considerar que el aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera podría favorecer a la productividad agraria, incrementando su biomasa y su eficiencia en el uso del agua, estudios recientes destacan que los fenómenos directos del CO_2 ocurren en condiciones de cultivo donde las plantas se encuentran sometidas a otros factores limitantes que hacen que la producción final decline. El incremento de las temperaturas de 1 a 3ºC, repercute en una menor disponibilidad de agua para la planta, aumento de la incidencia de plagas o enfermedades y empeoramiento de la calidad del suelo y del agua. La siguiente tabla resume los posibles efectos beneficiosos y adversos que el cambio climático produciría sobre la capacidad productiva de los cultivos.

Evidentemente, los potenciales beneficios y efectos adversos descritos en la tabla anterior no se producirán en todas las regiones sino que dependerá en gran parte de lo que el cambio climático suponga respecto a las condiciones de partida de cada región.

Tabla 3.1. Posibles efectos positivos y negativos causados por el cambio climático. *Fuente: Iglesias et al 2007.*

Factor de cambio	Posibles efectos positivos	Posibles efectos negativos
Aumento de la temperatura	• Periodos de crecimiento más largos. • Periodos de crecimiento más rápidos. • Nuevos cultivos en zonas frías.	• Aumento del estrés térmico por las temperaturas ambientales. • Aumento de malas hierbas, plagas y enfermedades. • Problemas de floración y cuajado por daños en la vernalización.
Variación de las precipitaciones	• Aumento de la productividad. • Disminución de la demanda de agua. • Aumento de las garantías de abastecimiento de agua.	• Aumento de las inundaciones y salinización. • Aumento de la frecuencia de sequías. • Aumento de malas hierbas, plagas y enfermedades. • Aumento de la erosión.
Aumento de la concentración de GEI	• Incremento de la fertilización por la mayor concentración de CO_2 atmosférico.	• Efectos negativos de otros gases.

Realizando un rápido análisis de la situación cabría reflexionar que, por lo general, se producirían cambios en la zonificación y productividad de los cultivos, produciéndose un desplazamiento de las áreas óptimas de desarrollo de los mismos hacia zonas más septentrionales, estableciéndose así un nuevo mapa de cultivos, en los que los países más fríos pasarán a ocupar el papel agrícola que hasta ahora estaban desempeñando los países cálidos y templados.

La tabla contigua recoge el grado de certeza para cada uno de los riesgos y oportunidades que supone el cambio climático en Europa en base a la zona agroclimática considerada:

Tabla 3.2. Grado de certidumbre para cada riesgos y oportunidades que supone el cambio climático en Europa. *Fuente: Iglesias et al, 2007.*

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

3.3. INICIATIVAS INTERNACIONALES

En los últimos años, la atención de los decisores en la lucha frente al cambio climático y de las consecuencias que éste conlleva ha acelerado el interés por este tema, aunque este proceso no ha estado carente de conflictos y reticencias por parte de algunos hasta que las evidencias científicas los han persuadido.

Tabla 3.3. Cronología de acciones a nivel global respecto al clima. Elaborado a partir de la web de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). http://unfccc.int/.

El proceso climático en retrospectiva	
1979	Se celebra la primera Conferencia Mundial sobre el Clima.
1988	Se establece el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).
1990	Se publica el primer informe de evaluación del IPCC. El IPCC y la segunda Conferencia Mundial sobre el Clima solicitan un tratado mundial sobre el cambio climático. Comienzan las negociaciones de la Asamblea General de las Naciones Unidas en torno a una convención marco.
1991	Se celebra la primera reunión del Comité Intergubernamental de Negociación (CIN).
1992	El CIN adopta el texto de la Convención del Clima. En la Cumbre de la Tierra celebrada en Río, la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMNUCC) queda lista para la firma junto con el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CNUDB) y la Convención de Lucha contra la Desertificación (CNULD).
1994	Entra en vigor la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
1995	Se celebra la primera Conferencia de las Partes (COP1) en Berlín.
1996	Se establece la secretaría de la Convención para apoyar las acciones de la Convención.
1997	Se adopta oficialmente el Protocolo de Kioto en la COP3 en diciembre.
2001	Se publica el tercer informe de evaluación del IPCC. Se adoptan los acuerdos de Bonn siguiendo el Plan de Acción de Buenos Aires de 1998. Se adoptan los Acuerdos de Marrakech en la COP7, que detallan las reglas para poner en práctica el Protocolo de Kioto.
2004	Se acuerda el Programa de trabajo de Buenos Aires sobre las medidas de adaptación y de respuesta en la COP10.
2005	Entra en vigor del Protocolo de Kioto. La primera reunión de las Partes en el Protocolo de Kioto (CMP 1, por sus siglas en inglés) se celebra en Montreal. De acuerdo con los requisitos del Protocolo de Kioto, las Partes iniciaron las negociaciones en torno a la siguiente fase del mismo en el marco del Grupo de Trabajo Especial sobre los nuevos compromisos de las Partes del anexo I con arreglo al Protocolo de Kioto (GTE-PK).
2006	Se adopta el programa de trabajo de Nairobi.
2007	Se publica el cuarto informe de evaluación (AR4) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). El público se sensibiliza sobre la ciencia del cambio climático. En la COP13 las Partes acuerdan la Hoja de Ruta de Bali, que marca el camino hacia una situación mejorada después de 2012 a través de dos corrientes de trabajo: el Grupo de Trabajo Especial sobre los nuevos compromisos con arreglo al Protocolo de Kioto (GTE-PK) y otro grupo creado en el marco de la Convención, el Grupo de Trabajo Especial sobre la Cooperación a Largo Plazo (GTE-CLP).
2009	Se inicia la redacción del Acuerdo de Copenhague en la COP15 celebrada en Copenhague. La Conferencia de las Partes «toma nota» del mismo y posteriormente los países presentan promesas no vinculantes de reducción de las emisiones o promesas de medidas de mitigación.
2010	Se redactan los Acuerdos de Cancún que son ampliamente aceptados por la COP en la COP16. En dichos acuerdos los países formalizaron las promesas que habían hecho en Copenhague.
2011	Décimo séptima Conferencia de las Partes (COP17) en Durban, Sudáfrica.
2012	Décimo octava Conferencia de las Parte (COP18) en Doha, Catar. La enmienda de Doha al Protocolo de Kioto es adoptada por la CMP en la CMP 8. Se tomaron varias decisiones para abrir una puerta a una mayor ambición y acción a todos los niveles.
2013	Las decisiones fundamentales adoptadas en la COP19 / CMP 9 en Varsovia incluyen decisiones sobre el avance de la Plataforma de Durban, el Fondo Verde para el Clima y las Finanzas a Largo Plazo, el Marco de Varsovia para REDD Plus y el Mecanismo Internacional para Pérdidas y Daños. Con arreglo a la Plataforma de Durban, las Partes acordaron presentar "contribuciones nacionales previstas", conocidas como INDC.
2014	En la COP20 celebrada en Lima en 2014, las Partes adoptaron la "Llamada a la Acción de Lima", que elaboró elementos claves del próximo acuerdo en París.
2015	En diciembre de 2015 se celebraron intensas negociaciones en el marco del Grupo Ad Hoc sobre la Plataforma de Acción Ampliada de Durban durante el período 2012-2015 y culminaron con la aprobación del Acuerdo de París (COP21).
2016	Como continuación del acuerdo de París se celebra la COP22 en Marrakech

Los científicos fueron los primeros en dar la voz de alarma sobre las amenazas del cambio climático. Desde principios del siglo XIX se comenzó a descubrir cambios naturales en el paleoclima y se identificó el efecto invernadero natural. A partir de mediados del siglo XX se constató el aumento de las concentraciones de CO_2 en la atmósfera, aumento que ha continuado hasta nuestros días.

A continuación se recoge cronológicamente las acciones llevadas a cabo a nivel global en la lucha frente al cambio climático por los Países miembros del IPCC.

A finales del 2015 se celebró en París la 21ª sesión de la Conferencia de las Partes (COP21) y la undécima sesión de la Conferencia de la Partes en calidad de reunión de las Partes al Protocolo de Kioto (CMP). Esta concluyó con la adopción de un acuerdo histórico para combatir el cambio climático e impulsar medidas e inversiones para un futuro bajo en emisiones de carbono, resiliente y sostenible.

El objetivo principal del acuerdo se centró en mantener el aumento de la temperatura en este siglo por debajo de los 2ºC sobre los niveles preindustriales e impulsar los esfuerzos conjuntos para limitar el aumento de la temperatura incluso por debajo de 1,5ºC, reduciendo considerablemente los riesgos y el impacto del cambio climático. Además, el acuerdo buscó reforzar la capacidad de la sociedad a la hora de afrontar las consecuencias que el cambio climático conlleva a la vez de ofrecer a los países en desarrollo una mejor y más permanente ayuda internacional a la adaptación.

La restauración de las tierras agrícolas degradadas y el aumento de la tasa del carbono en el suelo juegan un papel importante en el tratamiento del triple desafío que constituyen la seguridad alimentaria, la adaptación de los sistemas alimentarios y de las personas al cambio climático, y la mitigación de las emisiones producidas por los humanos. En este marco, cobra sentido la "Iniciativa 4 por 1000, suelos para la seguridad alimentaria y el clima", impulsada por el Gobierno de Francia en la COP21.

La Iniciativa 4 por 1000 tiene como objetivo asegurar que la agricultura juegue un papel relevante en la mitigación y adaptación al cambio climático. Con el crecimiento anual de un 4 por 1000 (0,4%) del carbono orgánico del suelo (COS), se busca demostrar que incluso un pequeño incremento en el almacenamiento de carbono en los suelos es crucial para mejorar la fertilidad de los mismos y la producción agrícola, y contribuir así a conseguir el objetivo a largo plazo de limitar el incremento de la temperatura media global a un máximo de 1,5 o 2°C. Uniéndose a la Iniciativa 4 por 1000, las partes interesadas se comprometen a hacer una transición hacia una agricultura resiliente mediante una gestión del suelo sostenible que genere empleos y ganancias, y que asegure el desarrollo sostenible.

En la COP22 (Marrakech, 2016), se ha progresado en la redacción de las normas de aplicación, o manual, del Acuerdo de París. El acuerdo exige una importante mejora de la transparencia de la acción, entre otras cosas para las mediciones y la contabilidad de las reducciones de las emisiones, la provisión de financiación para hacer frente al cambio climático y para el desarrollo y transferencia de tecnología.

También incluye la labor de diseñar comunicaciones sobre la adaptación, que es el principal vehículo para compartir esfuerzos individuales de adaptación y para atender necesidades en el marco del Acuerdo de París.

El 30 de noviembre de 2016, las Cortes Generales Españolas aprobaron por unanimidad la ratificación del Acuerdo de París de lucha contra el cambio climático, lo que supone el inicio de un proceso de reformas estructurales. La primera contribución de reducción de emisiones en el marco del mismo, implica una disminución de gases en los sectores difusos (transporte, agricultura, residuos o edificación) de un 26% y de un 43% en el sector industrial, ambas para 2030 respecto a los niveles de 2005.

3.4. REFERENCIAS

European Environment Agency (EEA) (2011). Technical Report N13/2012. Approximated EU GHG inventory: Early estimates.

United Nations Framework Convention on Climate Change (Unfccc), (2016). Visitado el 29 Diciembre 2016. http://unfccc.int/essential_background/items/6031.php.

Iglesias, A.; Avis, K.; Benzie, M.; Fisher, P.; Harley, M.; Hodgson, N.; Horrocks, L.; Moneo, M. y Webb, J. (2007). Adaptation to Climate Change in the Agricultural Sector. AGRI-2006-G4-05. Report to European Commission Directorate-General for *Agriculture and Rural Development*. ED05334. Issue Number 1. AGRI/2006-G4-05.

Iglesias, A., Quiroga, S., Sotes, V. (2011). La agricultura española y el cambio climático. *Climate Research*, 34, 47-57.

Ray, D. K. et al. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. Nat. Commun. 6:5989 doi: 10.1038/ncomms6989.

CAPÍTULO 4

LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

AEAC.SV
Asociación Española
Agricultura de Conservación
Suelos Vivos

4.1. ORÍGENES DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL MUNDO Y EN ESPAÑA

Las culturas antiguas basaban su agricultura en la siembra en suelo virgen con palos u otros elementos puntiagudos para hacer pequeños orificios donde colocar las semillas (*Derpsch, 1998*). Durante siglos la afección al suelo para la siembra fue mínima, sin producirse pérdidas de suelo por labores preparatorias.

En la década de 1930, en las llanuras centrales de EE.UU, tras años de sequía extrema se produjeron eventos de erosión eólica muy intensa conocidos como *Dust Bowl*, donde se perdieron millones de toneladas de suelo. Estos eventos fueron filmados por el cineasta Pare Lorentz para el *United States Department of Agriculture* (USDA) en la película "El arado que rompió las llanuras", donde ya se relacionaba la acción del laboreo como causa principal de la erosión (*Lorentz, 1936*). Como respuesta a este fenómeno, se desarrollaron en América del Norte nuevos equipos de laboreo que descompactaban el suelo y controlaban las malas hierbas sin invertir el suelo, lo que permitía mantener restos vegetales en superficie. Este método se expandió de manera vertiginosa por todas las zonas secas de EE.UU. Además de combatir la erosión del suelo, conservaba en mejores condiciones la humedad en el mismo. Otro hito en este camino fue la creación en 1935 del Servicio de Conservación del Suelo de los EE.UU.

En los años sucesivos este Servicio estimuló la creación de equipos de investigación dedicados a la Agricultura de Conservación (AC) en numerosas universidades americanas (*Hill et al., 1994*). Así mismo, la publicación del libro Plowman´s Folly (*Faulkner, 1943*) incrementó la sensibilidad de los problemas de un laboreo excesivo y ayudó a difundir las técnicas de AC. Durante los años 40, Universidades, USDA y empresas del sector iniciaron una intensa labor investigadora que pronto empezó a dar frutos: en 1946 se desarrolló en la Universidad de Purdue la primera sembradora de siembra directa (la M-21); en los años 50 se introdujo comercialmente el disco de corte ondulado así como los tratamientos con atrazina y paraquat. Ya en la década de los 60 se presentaba la siembra directa como técnica viable para su aplicación en parcelas reales (*McKibben, 1968*).

En los países del Norte de Europa, la combinación de los efectos negativos causados por el laboreo excesivo, particularmente en suelos húmedos, junto a la disminución de la población rural y el aumento de los costes de maquinaria, llevó a muchos investigadores a plantearse una reducción de las labores, iniciándose experiencias en Alemania (*Baeumer, 1970*), Holanda (*Ouwerkerk y Perdok, 1994*) y Reino Unido (*Christian, 1994*). Una solución fueron las técnicas que necesitaban menores labores del terreno,

aunque sin los herbicidas adecuados las hierbas adventicias se convirtieron en un factor limitante para el desarrollo de dichos sistemas de laboreo (*Allen, 1981*). La superación de este problema se consiguió con la aparición de los herbicidas *paraquat* y *diquat*, desarrollados por la *Imperial Chemical Industries* (ICI) a finales de la década de 1950. Con estos productos ya no se necesitaba labrar para controlar las hierbas, ya que su acción total las eliminaba sin riesgo para el cultivo posterior. Esto hizo factible sustituir las labores por el control químico de las hierbas (*Hood et al., 1963, Boon, 1965*). De esta forma, surge el concepto de la siembra directa, al poder controlar las hierbas adventicias y sembrar con un equipo adaptado a la presencia de restos vegetales en superficie.

A pesar de estos avances, la idea de suprimir totalmente las labores era vista con mucho escepticismo por los agricultores, quedándose estas prácticas restringidas al ámbito de la investigación. Hubo que esperar hasta mediados de los 60 para que las ventajas agronómicas y económicas de estas nuevas técnicas fueran percibidas por un sector más amplio del mundo agrario (*Moody et al., 1961*), iniciándose entonces nuevos programas de desarrollo e introducción de estos sistemas en diversos países europeos.

En España, los primeros estudios sobre AC en cultivos anuales de los que se tienen constancia, datan de 1976 en la finca "Haza del Monte" en Sevilla. En estos ensayos, enfocados a conseguir un adelanto de la fecha de siembra en segunda cosecha, se evaluó la siembra directa (SD) de la soja sobre rastrojo de cereal (*Fernández-Quintanilla, 1997*). Los ensayos sobre SD en cereales se inician en España en 1980 en la finca 'El Encín' (Madrid), llevados a cabo en base a un convenio entre la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos (ETSIA) de la Universidad Politécnica de Madrid y el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto que la práctica de la SD no afectaba al rendimiento de los cereales, consiguiendo reducir en un 80% los consumos energéticos (*Juste et al., 1981*). Este tipo de ensayos se extendió a otras regiones españolas, destacando los realizados por el Servicio de Investigación Agraria de Andalucía (actual Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, IFAPA) y la ETSIAM de la Universidad de Córdoba en la finca 'Tomejil' (Carmona, Sevilla). Estos ensayos comenzaron en el año 1982 y se mantienen en la actualidad, obteniéndose en las parcelas no labradas unos rendimientos superiores a los obtenidos con el laboreo tradicional (*González et al., 2010*). Igualmente se realizaron ensayos por el Instituto Técnico y de Gestión Agraria en Navarra, y en Castilla León por los departamentos técnicos de empresas relacionadas con el sector agrario (*Fernández-Quintanilla, 1997*). Un hito clave en la introducción de la AC en España fue la celebración en 1986 del I Simposio sobre Mínimo Laboreo (ML) en Cultivos Herbáceos, donde se estableció el "estado del arte" sobre estos temas. A partir de ese momento se multiplicaron los trabajos de investigación y se extendieron a otras zonas geográficas.

En febrero de 1995 un grupo de agricultores, técnicos y científicos, muchos de ellos participantes de los proyectos antes mencionados, fundaron la Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV). Gracias al desarrollo de proyectos europeos como los LIFE 96ENV/E/338 y LIFE 99ENV/E/308 y al apoyo del sector privado, se realizaron un buen número de actividades con un alto grado de regularidad y de conocimiento técnico-científico. Cabe destacar como hito el 1er Congreso Mundial de Agricultura de Conservación, celebrado en Madrid en 2001, que contó con el apoyo de la FAO, la UE y el gobierno español.

4.2. PRINCIPIOS GENERALES Y DEFINICIONES

La AC es una de las agro-ciencias más estudiadas y con mayor desarrollo en el mundo (*Lichtfouse et al., 2010*). Su sencillez y complejidad se aúnan en tres principios básicos que fundamentan la obtención de beneficios económicos para el agricultor, ambientales en materia de mejora de recursos naturales (aire, agua, suelo), biodiversidad y lucha contra el cambio climático, además de los beneficios sociales derivados del mantenimiento del empleo y población en el ámbito rural.

Los principios de la AC son los siguientes:

- Realizar la siembra sin remover el suelo. En la práctica se traduce en hacer SD (no labrar). Al menos el 30% del suelo debe quedar cubierto tras la siembra, para protegerlo eficazmente contra la erosión. No obstante, son deseables coberturas mayores al 60% para tener un control casi total sobre este proceso de degradación del suelo.

- Mantener una cobertura vegetal sobre el suelo durante todo el año. Esto se traduce en el mantenimiento de los rastrojos en cultivos herbáceos y en la siembra o conservación de cubiertas vegetales entre hileras de árboles en los cultivos leñosos. De esta forma, se aumenta la materia orgánica (MO) del suelo, se inhibe la nascencia de algunas malas hierbas, se aumenta la infiltración de agua al suelo y se limita la evaporación de agua desde el suelo.

- Programar rotaciones o diversificación de cultivos en cultivos anuales. De esta forma, se controlan mejor plagas y enfermedades, rom-

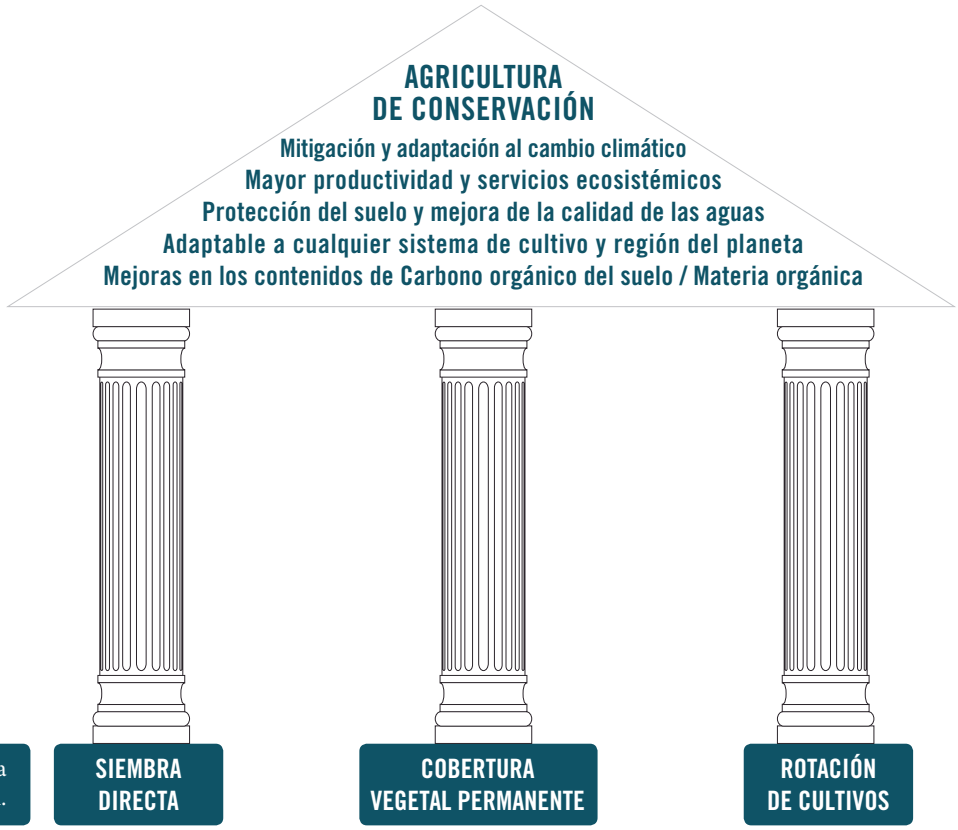


Fig. 4.1. Bases y beneficios de la Agricultura de Conservación.

piendo ciclos que se mantienen en monocultivos, además de incorporar cultivos que puedan mejorar la fertilidad natural del suelo y la biodiversidad.

La base de los beneficios que se pueden obtener gracias a la aplicación en campo de la AC radica en el mantenimiento de restos vegetales en superficie. A mayor cantidad de residuos, mayor protección del suelo, como se puede observar en la figura 4.2. Existen umbrales de cubierta en el entorno del 30% y 60% donde se reducen significativamente las pérdidas de suelo. Esto justifica la necesidad de mantener al menos un 30% del suelo cubierto durante toda la campaña.

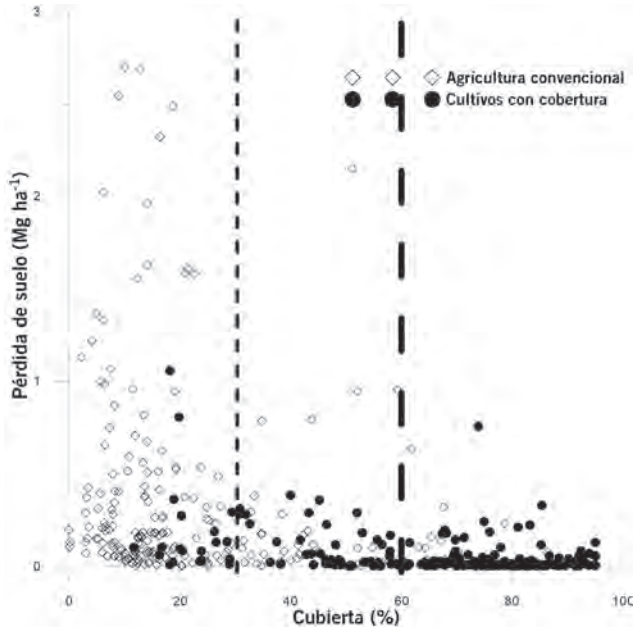


Fig. 4.2. Relación entre porcentaje de cobertura y pérdida de suelo. *Fuente: Marquez-Garcia et al., 2013.*

Fig. 4.3. Cereal de verano en siembra directa. Agricultura de Conservación en cultivos anuales.

4.2.1. Definición de Agricultura de Conservación

La AC se define como un sistema de producción agrícola sostenible que comprende un conjunto de prácticas agronómicas adaptadas a las exigencias del cultivo y a las condiciones locales de cada región, cuyas técnicas de cultivo y de manejo de suelo lo protegen de su erosión y degradación, mejoran su calidad y biodiversidad, contribuyen a la preservación de los recursos naturales agua y aire, sin menoscabo de los niveles de producción de las explotaciones.

Esta definición está alineada con organismos internacionales como la FAO (2016). Los efectos beneficiosos para el medio ambiente derivados de la AC han sido ampliamente estudiados y difundidos por la comunidad científica desde hace décadas. En términos de erosión (*McGregor et al., 1990*), en torno al aprovechamiento del agua (*Blanco-Canqui y Lal, 2007*) y a su calidad (*Jordan y Hutcheon, 1997*), en mejoras de biodiversidad (*Valera Hernández et*

al., 1997) y lucha contra el cambio climático (*Lal, 2005; González Sánchez et al., 2012; Carbonell Bojollo et al., 2011*). Igualmente existen estudios sobre la viabilidad económico-productiva (*Cantero et al., 2003; Van den Putte et al., 2010*) y acerca de la necesidad del cambio de modelo agrícola debido a los problemas ocasionados por la degradación de los suelos (*Bakker et al., 2007; Van-Camp, 2004*).

La práctica agronómica más representativa de la AC en cultivos anuales es la SD, estando especialmente implantadas en España en cereales de invierno (cebada y trigo), cereales de primavera (maíz), leguminosas dentro de una rotación con cereales (guisante, veza) y oleaginosas (girasol). La práctica agronómica más representativa en cultivos leñosos son las cubiertas vegetales, destacando su implantación en los cultivos de olivar, cítricos y almendros.

La AC es un sistema agrícola que se puede considerar en la actualidad como global. La expansión de la siembra directa se refleja en la rapidez de su aceptación por parte de agricultores de todas las partes del mundo, pasando de 45 millones de hectáreas en 1999, a casi 157 millones en 2016 (FAO, 2016). El margen de crecimiento es amplio e inminente en potencias mundiales como China, a la par que se constatan incrementos de superficie constantes en países de Europa, como es el caso de España. Los motivos para este aumento, se derivan principalmente de los beneficios económicos que conlleva la práctica de la AC, basados en la reducción drástica de operaciones mecanizadas, que comporta un menor consumo de combustibles y tiempos de trabajo (*González Sánchez et al., 2010*). En esta expansión, la confianza en el mantenimiento de las producciones en comparación con el laboreo convencional ha sido puesta de manifiesto por numerosos autores (*Basch et al., 2015; González Sánchez et al., 2015; Kassam et al., 2012*).

4.2.2. Definición de Siembra Directa

La SD se define como práctica agronómica de AC en cultivos anuales, en la que no se realizan labores; al menos el 30% de su superficie se encuentra protegida por restos vegetales, y la siembra se realiza con maquinaria habilitada para sembrar sobre los restos vegetales del cultivo anterior. La SD se trata de la mejor opción para lograr un elevado grado de conservación en cultivos anuales, en la que la supresión de las labores mecánicas sobre el suelo es total.

Según estudios realizados en España *(Márquez-Garcia et al., 2013; Ordóñez-Fernández et al., 2007*) el umbral del 30% de restos vegetales necesarios para proteger el suelo concuerda con el *Conservation Technology Information Center* (*CTIC, 2016*).

4.2.3. Cubiertas vegetales en cultivos leñosos

Se trata de la práctica agronómica de AC más representativa en cultivos leñosos, mediante la cual, la superficie de suelo entre las hileras de los árboles permanecen protegidas ante la erosión hídrica generada por el impacto directo de las gotas de lluvia. Al menos, un 30% de la superficie del suelo, se encuentra protegida por una cobertura vegetal.

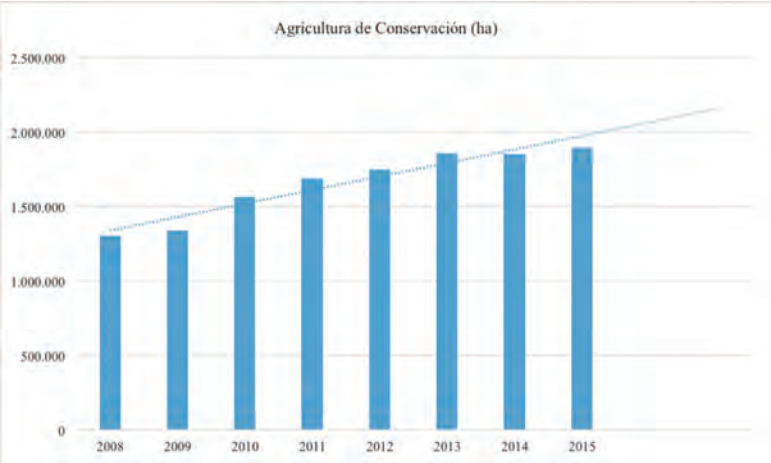


Fig. 4.4. Evolución de la adopción de la Agricultura de Conservación en España (cultivos herbáceos y leñosos). Adaptado de Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos, MAPAMA (2009 a 2016a).

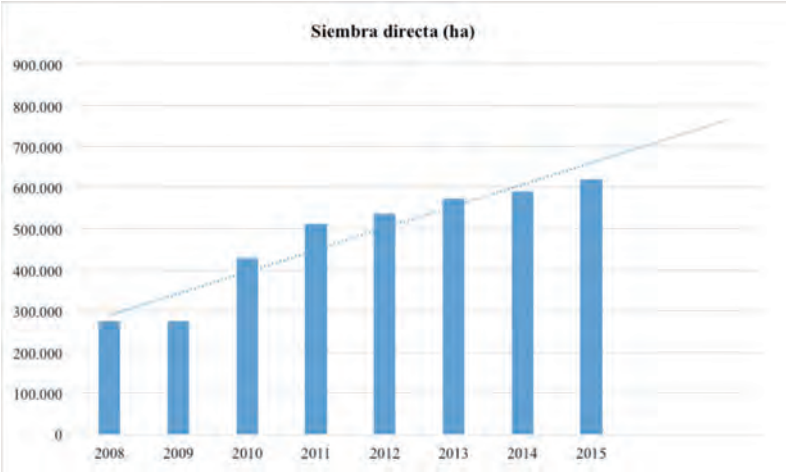


Fig. 4.5. Evolución de la siembra directa en cultivos herbáceos en España. Adaptado de Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos, MAPAMA (2009 a 2016a).

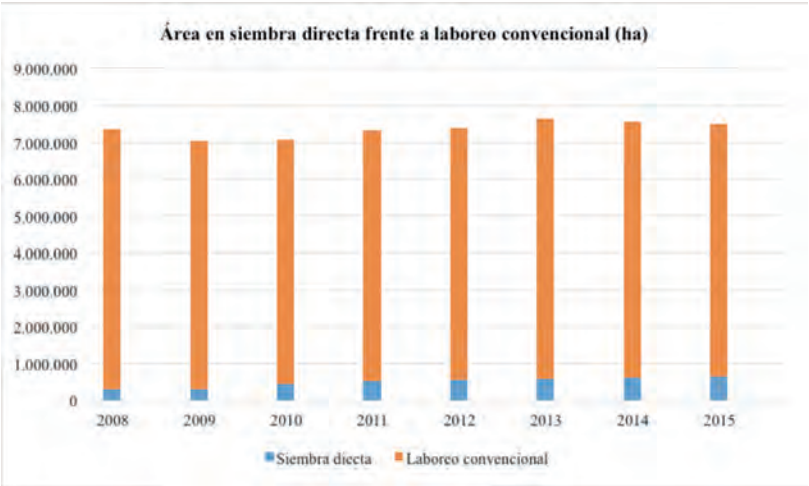


Fig. 4.6. Comparación de superficie en siembra directa y laboreo convencional en España. Adaptado de Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos, MAPAMA (2009 a 2016a).

Fig. 4.7. Evolución de las cubiertas vegetales en cultivos leñosos en España. Adaptado de Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos, MAPAMA (2007 a 2016a).

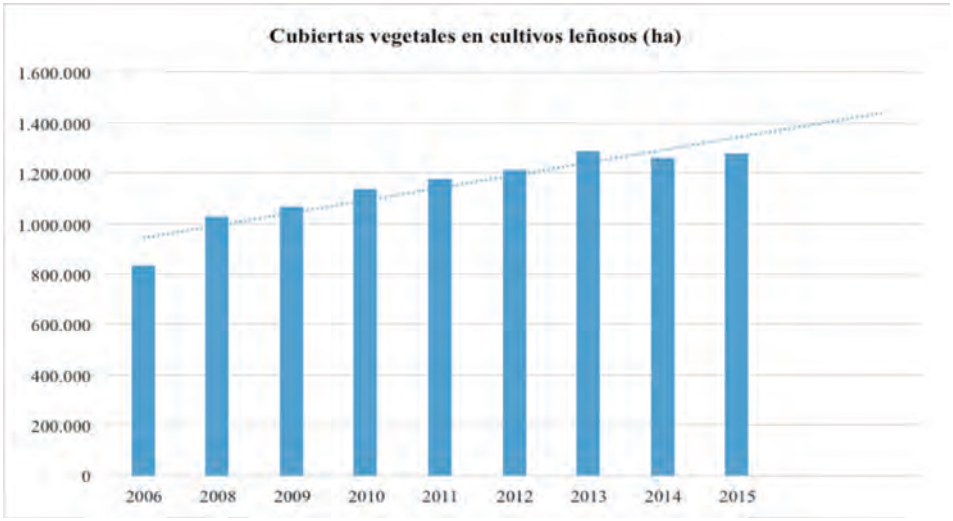


Fig. 4.8. Comparación de superficie bajo cubiertas vegetales y laboreo convencional en España. Adaptado de Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos, MAPAMA (2007 a 2016a).

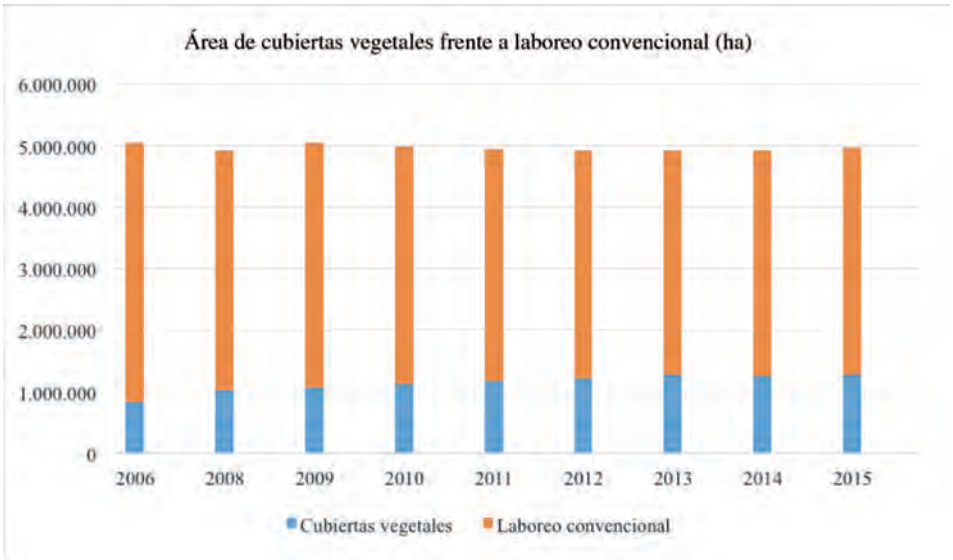


Fig. 4.9. Agricultura de Conservación en olivar con cubiertas vegetales.

4.3. ¿QUÉ NO ES AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN?

En España, las denominaciones y definiciones de las prácticas de AC se han adoptado de países donde se desarrolló este sistema agrario. En ocasiones, la interpretación de los principios de la AC ha derivado en problemas conceptuales, al ser España un país de tradición labradora.

Dado que la base técnica primordial de la AC es el mantenimiento de coberturas sobre el suelo, que evitan la erosión y lo nutren de MO, para ello es necesario desechar técnicas que se basan en la labranza del suelo para preparar el lecho de siembra. Es muy importante por tanto conocer qué prácticas cumplen esos requisitos y, por tanto, se pueden incluir en la AC. Este hecho es de especial relevancia en los momentos en los que nos encontramos, donde tenemos que dar respuesta a retos globales como el cambio climático, la lucha contra la desertificación y degradación de suelos y la preservación y mejora de las aguas y la biodiversidad. La combinación de los tres pilares de la AC pueden ofrecer los servicios al ecosistema necesarios para mejorar la situación actual.

El desconocimiento de la terminología en unos casos, o la laxitud en la precisión a la hora de identificar técnicas, conlleva a que se encuentren zonas en las que a trabajos de arados de vertedera que profundizan en la labor de volteo en torno a 15 cm, en lugar de los tradicionales 20 cm o más, son presentados como equipos aptos para conservar suelo o de mínimo laboreo. Así mismo, equipos que realizan la preparación del lecho de siembra en una sola pasada sobre el campo arando el suelo de manera convencional, se muestran como equipos de SD.

En la Tabla 4.1, se muestran diversas técnicas comunes y sinónimos con una indicación de si se pueden considerar como AC.

Mientras que con la SD y las cubiertas vegetales existe un acuerdo mayoritario sobre los beneficios agroambientales que conlleva su aplicación, el mínimo laboreo es hoy en día una práctica en entredicho. La reducción de labores derivadas del mínimo laboreo debe ir acompañada de la presencia de un 30% de restos vegetales en superficie después de la siembra.

Tabla 4.1. Prácticas agrarias, sinónimos y elegibilidad dentro de Agricultura de Conservación.

Cultivos	Técnica	Sinónimos	¿AC?	Observaciones
Herbáceos	Siembra Directa	No laboreo	Sí	Normalmente más del 30% de la superficie queda cubierta con restos vegetales tras la siembra.
		Cero labranza	Sí	
	Mínimo laboreo	Laboreo reducido	No	El mínimo laboreo normalmente incluye 3 o más pases de arado, que aunque no sea de inversión, no permite dejar más del 30% del suelo cubierto.
	Laboreo en franjas.		Sí	Normalmente se realiza un pequeño laboreo únicamente en la línea de siembra. Se realiza en cultivos monograno (maíz, girasol,…).
Leñosos	Cubiertas Vegetales.		Sí	Más del 30% del suelo está cubierto por restos vegetales.

Este requisito es muy difícil de cumplir en la mayoría de los casos, ya que las labores afectan en gran medida a los rastrojos. Además, los pases de arado son acumulativos en pérdida de resto vegetal, lo que hace muy difícil cumplir el requisito de mantener los restos en superficie por ejemplo, la vertedera, arado empleado en agricultura convencional, entierra entre 90–100% del rastrojo. El arado cincel, conocido comúnmente como chísel, es un arado de tipo primario que se emplea en mínimo laboreo, y en un solo pase entierra en torno al 50% de los restos vegetales que se encuentra en la superficie. Como no es posible hacer el lecho de siembra con un solo pase de laboreo primario, los pases de laboreo secundario necesarios en mínimo laboreo (entre 2 y 4, o más) impiden mantener al menos el 30% de residuo mínimo. Por tanto, podemos concluir que el laboreo reducido o mínimo no se debe considerar en la mayoría de las regiones de España una práctica de conservación de suelos.

4.4. HERRAMIENTAS ESENCIALES PARA LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

4.4.1. Las sembradoras directas

Dado que en SD se evita el laboreo, es necesario contar con herramientas adecuadas para sembrar en unas condiciones con abundantes restos vegetales. Es por ello, que en la implantación de la AC ha tenido especial relevancia el desarrollo de la mecanización, sobre todo de maquinaria para la siembra. Una de las claves del éxito en la SD reside en el conocimiento de la sembradora, y los accesorios que deben colocarse en ella para poder realizar una siembra en condiciones óptimas sobre diferentes tipos de suelos y las diferentes cubiertas de residuos vegetales procedentes del cultivo anterior.

Tabla 4.2. Comparación de diversas prácticas agrarias frente a problemas medioambientales. Adaptado de González Sánchez et al., (2015). * Abreviaciones: LC: Laboreo Convencional; CV: Cubiertas Vegetales; SD: Siembra Directa; ML: mínimo laboreo. CV 30%: cubierta vegetal presente en el 30% de la superficie entre las hileras de árboles; CV 60%: ídem 60%; CV 90%: ídem 90%. Efecto sobre el medio ambiente: + ligeramente positivo; +++++ muy positivo; - negativo o indiferente.

Cultivo	Intensidad del beneficio ambiental en referencia a problemas ambientales							
	Manejo	Erosión	MO	Compactación	Mitigación cambio climático	Biodiversidad	Calidad de aguas	Seguridad en el uso de fitosanitarios
Anual	LC*	+	+	++	-	-	+	+
	ML	+	+	++	-	++	++	++
	SD	++++	++++	++++	++++	+++	++++	++++
	SD+CV	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
Leñoso	CV 30%	++	++	++	++	++	++	++
	CV 60%	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	CV 90%	+++++	++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++

En general, las sembradoras directas deben reunir las siguientes características:

- Peso suficiente para atravesar los restos vegetales en superficie.
- Capacidad de abrir un surco lo suficientemente ancho y profundo como para albergar adecuadamente la semilla. Será diferente si se dedica a grano fino (≈ 3 cm) o grueso (≈ 5 cm).
- Posibilidad de regular la dosificación y esparcimiento de semillas de distinto tamaño y asegurar su adecuado recubrimiento.
- Poder modificar su configuración para adaptarse a diferentes cultivos y aceptar la inclusión de elementos de abonado y tratamientos.
- Rigidez y resistencia de sus elementos para soportar las mayores cargas que se producen.

Existen en el mercado una oferta de sembradoras adaptadas a diversas condiciones de suelo y que pueden clasificarse en base a varios aspectos.

- Sistema de distribución de semillas (mecánico o neumático).
- Tipo de siembra (precisión o monograno y chorrillo o grano fino).
- Distancia entre líneas de siembra.
- Elementos de corte de residuos y apertura de surco (rejas o discos).

Agricultura convencional	Agricultura de Conservación
Altos requerimientos energéticos (combustible y fabricación de implementos).	No requiere laboreo, supresión de las labores de preparación de suelo.
Necesidad de realizar varios pases de laboreo primario y secundario de suelo para la preparación del lecho de siembra.	Manejo de hierbas adventicias con fitosanitarios, mayor uso de pulverizadoras a corto plazo, optimización a medio plazo.
Control mecánico de hierbas adventicias, además del control químico.	Reduce hasta un 50% las horas de trabajo en campo, menor uso del tractor.
Dependencia de equipos de movimiento de suelo.	Mejora notablemente la eficiencia y productividad energética.
Elevado número de horas de trabajo en campo de maquinaria, mayor uso del tractor.	Reducción de más de un 50% del consumo de combustible en la mayoría de los casos.

Tabla 4.3. Incidencia en el uso de la maquinaria agrícola por el cambio a Agricultura de Conservación (siembra directa).

4.4.1.1. Funciones de la sembradora directa

La finalidad perseguida es la correcta ubicación de la semilla para que el cultivo tenga una buena nascencia e implantación. Para ello, una sembradora directa debe realizar las siguientes funciones.

a) Manejo de los restos y crear la línea de siembra

En la línea de siembra se realiza la única intervención mecánica del suelo buscando colocar la semilla en óptimas condiciones para la germinación. Para ello se disponen de elementos para retirar o cortar los restos vegetales antes de que los abre-surcos actúen sobre el suelo, o bien esta operación se realiza en los mismos abre-surcos de siembra no siendo por lo tanto necesaria su presencia.

Fig. 4.10. Barre-rastrojo montado en el tren de siembra.

Fig. 4.11. Disco cortador.

Fig. 4.12. Sembradora equipada con disco abridor único y rueda neumática de control de profundidad.

Para retirar el residuo de la línea de siembra y así mejorar la siembra y nascencia (mayor temperatura en la línea) se pueden utilizar elementos barre-rastrojos que desplazan los restos hacia los lados.

Estos elementos se suelen utilizar cuando tenemos gran cantidad de paja y en sembradoras monograno, donde las líneas están lo suficientemente separadas para que el desplazamiento del resto vegetal no interfiera en las líneas contiguas (Figura 4.10).

Los elementos cortadores están constituidos por discos que indicen sobre los rastrojos en sentido vertical descendente cortándolos a la vez que abren un pequeño surco, cuya anchura viene dada por la forma del disco, y la profundidad es función del tipo y humedad del suelo, peso que gravita sobre él y su diámetro (Figura 4.11).

En terrenos secos, la penetración se ve dificultada por la alta resistencia que opone el suelo a la acción de corte, en este caso es necesario aumentar la carga de los muelles que regulan la profundidad o lastrar la máquina. Los tipos de disco más utilizados son los de borde ondulado. Los discos abridores pueden montarse en la parte delantera del chasis de la máquina o en un bastidor independiente situado entre la sembradora y el tractor. En el segundo caso es importante mantener perfectamente alineados los discos abridores con los de siembra.

b) Creación del lecho de siembra

La formación del lecho de siembra se realiza mediante sistemas que pueden clasificarse en dos grandes grupos: discos o rejas.

Discos

Los abre-surcos de siembra pueden ser simples o dobles. En ambos casos van montados de manera inclinada con respecto al plano del suelo y a la dirección de avance. Las máquinas de disco simple no suelen llevar elemento abridor cortador delantero ya que él mismo realiza las funciones de corte y apertura del surco de siembra (Figura 4.12). El borde a su vez puede ser liso o acanalado, en este segundo caso con objeto de cortar mejor la paja. Lateralmente disponen de una pequeña reja por donde caen las semillas al fondo del surco.

Mediante la presión de un muelle se puede conseguir aumentar la penetración en suelo y en algunos modelos mediante una rueda lateral, bien de goma o metálica se limita la profundidad de trabajo.

Las de doble disco abren el suelo en forma de V por la acción combinada de ambos (Figura 4.13). Entre ellos se sitúa el tubo de caída que deposita las semillas en el fondo del surco. Si hay gran cantidad de restos, este sistema suele necesitar disco cortador de modo que requieren más peso que las de disco único para alcanzar la misma profundidad.

Fig. 4.13. Sembradora de chorrillo equipada con doble disco de apertura del surco.

Rejas

El segundo gran grupo de sembradoras son las que disponen de rejas para la creación del surco de siembra. Las diferencias con respecto a las anteriores se centran en que actúan sobre el suelo ejerciendo el corte en sentido vertical ascendente, lo que reduce considerablemente su peso para la misma anchura de trabajo. Las rejas van montadas sobre brazos que se unen al bastidor. En el primer caso el ángulo de ataque se mantiene siempre constante independientemente de la profundidad de trabajo, lo que permite abrir homogéneamente el surco. La adaptación a terrenos pedregosos es mejor que las de discos aunque tampoco están exentas de inconvenientes en estas circunstancias.

Fig. 4.14. Tren de siembra en máquina monograno.

Fig. 4.15. Sembradora de rejas.

c) Cierre del surco

Una vez depositada la semilla, es necesario cubrirla con tierra fina lo suficientemente apretada como para que absorba la humedad del suelo y se inicie el proceso de germinación. El cierre del surco se lleva a cabo normalmente mediante ruedas compactadoras ya sean simples o dobles, fabricándose tanto de goma, como de nylon endurecido o metal.

Algunas máquinas montan rastras con objeto de igualar la cobertura de restos vegetales sobre el terreno y dejar el surco tapado cubierto de agregados con la intención de evitar encostramiento. El diseño debe permitirles poder evitar acumulaciones de paja delante de las púas para lo cual la presión que ejercen sobre el suelo ha de ser previamente controlada.

Fig.4.16. Detalle cierre de surco mediante disco doble.

4.4.1.2. Consideraciones previas a la siembra

Para facilitar el trabajo de la sembradora, se deben propiciar unas condiciones lo más homogéneas posibles del lecho de siembra para una correcta implantación del cultivo. En SD también se buscan esas condiciones homogéneas, pero a través del manejo de los rastrojos. Para ello se precisa que desde la cosecha el manejo de los restos del cultivo sea tal que no tengamos cambios bruscos en la cubierta, ya que la regulación de la sembradora no es igual cuando se dispone de un espesor grande de restos que cuando estos son escasos. Para tal fin se han de disponer los accesorios necesarios en la cosechadora para picar y esparcir los restos del cultivo (Figuras 4.17 y 4.18).

Fig. 4.17. Detalle sistema esparcidor de restos en cosechadora de cereal.

Fig. 4.18. Detalle de deflector trasero.

En la cosecha es necesario tomar en cuenta cuál será el siguiente cultivo en la rotación, el tipo de sembradora y el manejo de la cubierta, para así optar por un corte más o menos alto y un mayor o menor picado de los restos del cultivo cosechado.

4.4.1.3. El mercado de sembradoras directas

La evolución del mercado de sembradoras directas es un indicador de la aceptación del sistema de AC. En España, tanto la maquinaria nueva como las transferencias entre agricultores, así como la incorporación de otras máquinas a la agricultura, se contabilizan a través de los Registros Oficiales de Maquinaria Agrícola (ROMA). Estos Registros están ubicados en todos los Servicios Provinciales y dependen de las Consejerías de Agricultura de las Comunidades Autónomas. En la Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente se coordina y recopila toda la información con la que se procede a la elaboración de un informe mensual con un avance de los datos más significativos y de un informe anual. De acuerdo al Ministerio, son de obligada inscripción en el registro las siguientes máquinas:

- Tractores agrícolas y forestales de cualquier tipo y categoría.
- Motocultores.
- Tractocarros.
- Máquinas automotrices de cualquier tipo, potencia y peso.
- Máquinas arrastradas de más de 750 kg de masa máxima con carga admisible del vehículo en circulación (MMA).
- Remolques agrícolas.
- Cisternas para el transporte y distribución de líquidos.
- Equipos de tratamientos fitosanitarios arrastrados o suspendidos, de cualquier capacidad o peso.
- Equipos de distribución de fertilizantes arrastrados o suspendidos, de cualquier capacidad o peso.
- Las máquinas no incluidas en algunos de los apartados anteriores, para cuya adquisición se haya concedido un crédito o una subvención oficial.
- Aquellas máquinas no contempladas anteriormente y que determinen las comunidades autónomas.

Es de reseñar por tanto que las máquinas específicas para AC, las sembradoras directas, no tienen obligación de ser inscritas en el ROMA. En los primeros informes, el Ministerio estimaba que el ROMA reflejaba el 50% de las máquinas adquiridas, mientras que en los últimos años, estiman que el 100% de las máquinas se inscriben en el Registro. En base a la revisión de estos informes anuales, se han elaborado las siguientes figuras sobre la evolución del mercado de sembradoras directas. Por lo expuesto con anterioridad, no reflejan las ventas reales, pero sí indican tendencias de cómo evoluciona el sector. La incorporación a la agricultura española de equipos de SD se ha incrementado el último año (300 unidades en 2015). Castilla y León con 121 unidades y Aragón con 75 son las comunidades con mayor número de máquinas inscritas.

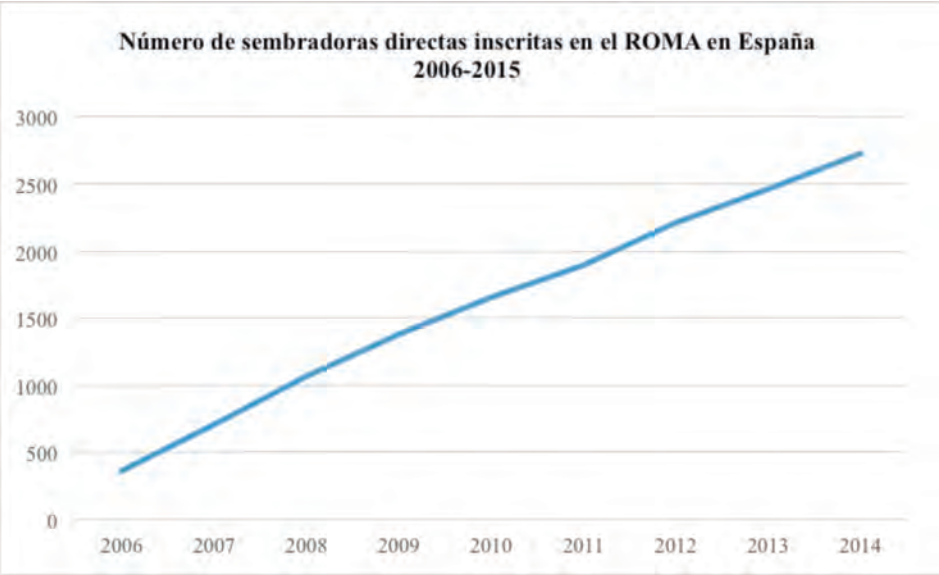
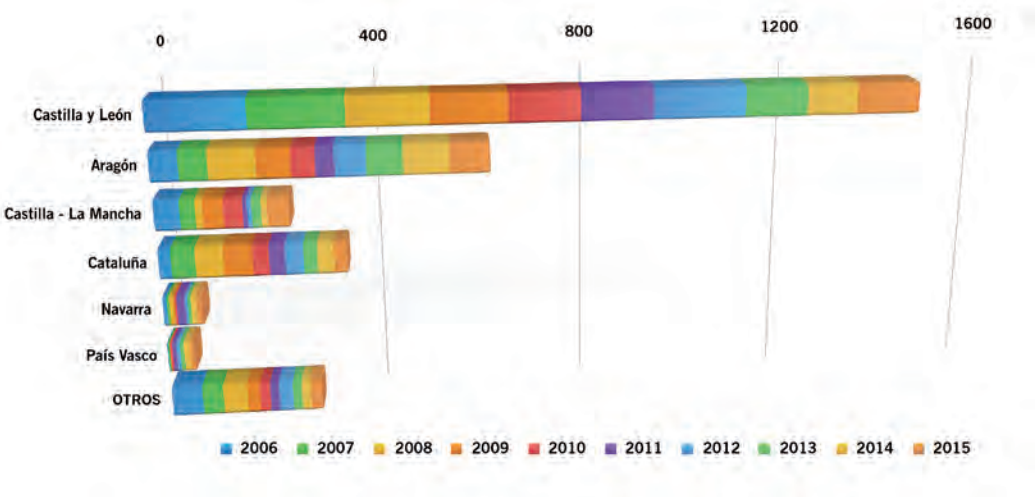


Fig. 4.19. Número de sembradoras directas de nueva inscripción en el Registro Oficial de Maquinaria Agrícola (ROMA). Elaboración propia a partir de datos de Registro Oficial de Maquinaria Agrícola (ROMA). MAPAMA (2007 a 2016b).

Fig. 4.20. Número de sembradoras directas de nueva inscripción en el Registro Oficial de Maquinaria Agrícola (ROMA) por Comunidades Autónomas. Elaboración propia a partir de datos de Registro Oficial de Maquinaria Agrícola (ROMA). MAPAMA (2007 a 2016b).



4.4.2. Uso sostenible de fitosanitarios en Agricultura de Conservación

4.4.2.1. ¿Qué son los productos fitosanitarios? Su regulación en Europa

Son mezclas químicas que contienen una o varias sustancias activas y otros ingredientes, y cuyo objetivo es proteger los vegetales y sus productos de organismos nocivos. También se consideran productos fitosanitarios a las sustancias que destruyen las plantas, regulan o inhiben la germinación.

Los fitosanitarios contribuyen a aumentar los rendimientos en la agricultura, controlando malas hierbas a través de herbicidas, así como plagas y enfermedades mediante insecticidas y fungicidas que ayudan a asegurar una buena calidad en los alimentos. Con la finalidad de que su utilización no tenga efectos desfavorables en la producción vegetal ni pueda entrañar riesgos para los seres humanos, los animales o el medio ambiente, para poder comercializar y usar los productos fitosanitarios es necesario una autorización que conlleva realizar una estricta evaluación de riesgos, según el Reglamento (CE) nº 1107/2009, de aplicación en la Unión Europea. También existen normas comunitarias que definen los límites máximos de residuos (LMR) de productos fitosanitarios en alimentos y piensos, como en el Reglamento (CE) nº 396/2005 del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de febrero de 2005 relativo a los límites máximos de residuos de plaguicidas en alimentos y piensos de origen vegetal y animal y que modifica la Directiva 91/414/CEE del Consejo, donde se define el límite máximo de residuos (LMR) como *"el límite legal superior de concentración de un residuo de plaguicida en alimentos o piensos establecido de conformidad con el presente Reglamento, basado en las buenas prácticas agrícolas y la menor exposición del consumidor necesaria para proteger a todos los consumidores vulnerables"*.

Hoy en día existe una iniciativa a nivel europeo que contempla, entre otras normas, la Directiva 2009/128/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas. De acuerdo con lo indicado en el artículo 4 de la citada directiva, en España se estableció en 2012 el Plan

de Acción Nacional para el Uso Sostenible de Productos Fitosanitarios (PAN), donde se identifican objetivos, medidas, calendarios e indicadores para introducir criterios de sostenibilidad en el uso de productos fitosanitarios para el periodo comprendido entre los años 2013 a 2017. Dentro de las buenas prácticas agrarias que se promueven, la AC tiene un encaje fundamental.

4.4.2.2. Las hierbas adventicias. Aspectos generales.

Las hierbas adventicias, comúnmente conocidas como malas hierbas, son plantas que crecen donde no se desea que crezcan, se caracterizan por su alta capacidad de dispersión, gran persistencia y por ser muy competitivas. En general, disminuyen el rendimiento del cultivo, y en muchos casos en los procesos de cosechado y comercialización, reduciendo el precio que el agricultor recibe por su producto.

Estas hierbas son tan antiguas como la agricultura misma, y se han ido adaptando a los diferentes sistemas de cultivo conforme se han ido introduciendo, desapareciendo algunas especies y apareciendo otras diferentes. Es necesario tener una aproximación integral a estas hierbas, donde se tenga en cuenta su biología, el conocimiento de la interacción de la mala hierba con el cultivo y la adopción de las medidas apropiadas para su control.

Antes de establecer cualquier estrategia de control de malas hierbas es necesario identificar cuáles son las especies verdaderamente dañinas, teniendo en cuenta las históricamente problemáticas en cada parcela, para lo cual es recomendable hacer un buen seguimiento de la evolución de las diferentes especies de malas hierbas mediante prospecciones periódicas para tomar las medidas oportunas.

El conocimiento de la biología de las diferentes especies es importante para adoptar las medidas correctas para su control, así el momento de la germinación de las malas hierbas es un factor a tener en cuenta, de forma que en algunos casos será interesante retrasar la siembra del cultivo poniendo una variedad de ciclo corto, para asegurar que antes de la siembra del cultivo tengamos la mayoría de la población de malas hierbas germinadas

y las podamos controlar aplicando herbicidas en presiembra. La dormancia de las semillas de malas hierbas que hace que estas puedan estar en el suelo durante varios años sin germinar es otro factor a tener en cuenta sobre todo al pensar en la rotación de los cultivos.

Por último, y quizás más importante, dentro de la biología, es el ciclo de vida y su reproducción. En efecto, la estrategia de control es muy diferente si se trata de hierbas anuales que se reproducen por semillas, en cuyo caso es fundamental evitar que lleguen a maduración porque dejarían el suelo sembrado de semilla para varios años, que si las hierbas adventicias son perennes y se reproducen por rizomas, tubérculos u otros órganos subterráneos, para lo que a partir de la floración inician una acumulación de fotosintetizados en dichos órganos reproductivos. En éste último caso la estrategia de control adecuada es aplicar herbicidas con gran poder de translocación hacia los órganos reproductivos, así como evitar la maduración de las semillas que también puedan servir para la reproducción.

La interacción de las especies no deseadas con el cultivo es otro factor a tener en cuenta. Como se ha mencionado anteriormente, las malas hierbas se adaptan a los diferentes sistemas de cultivo por lo que las poblaciones

nunca son constantes a lo largo del tiempo, así las especies gramíneas, por ejemplo, aumentan mucho cuando se repite la misma parcela con cultivo de cereal durante varios años seguidos. Establecer estrategias de rotación amplias es siempre recomendable.

La adopción de medidas apropiadas para el control de malas hierbas es muy variada. En efecto, se deben tener en cuenta medidas preventivas, como son el empleo de semillas libres de hierbas, de buena calidad y alto poder germinativo que nos asegure una rápida cobertura del suelo, sombreándolo y evitando nuevas germinaciones de hierbas adventicias. Evitar en lo posible el estercolado y el pastoreo ya que el ganado es una fuente de infestación de malas hierbas, puesto que muchas semillas son viables después de pasar por el aparato digestivo de los animales.

El seguimiento de las poblaciones de malas hierbas y su control antes de que lleguen a ser un problema, como por ejemplo en el caso de hierbas perennes, que al dejar de labrar aumenta su población considerablemente, normalmente en rodales, que son fáciles de controlar con un herbicida apropiado. Por otro lado, una medida muy efectiva para el control de malas hierbas es la rotación de cultivos, que a su vez tiene enormes ventajas agronómicas y económicas en las que no vamos a entrar, pero volviendo al control de malas hierbas la rotación de cultivos nos permite el empleo de diferentes herbicidas con modos de acción completamente diferentes que mejoran el control de malas hierbas y además reducen significativamente el riesgo de aparición de hierbas resistentes.

También podemos manejar la fecha de siembra según diferentes situaciones, atrasándola en algunos casos que nos convenga dejar que germine la mayor cantidad posible de hierbas para posteriormente usar un herbicida que las controle, o bien el caso contrario adelantar la siembra de modo que rápidamente se cubra el suelo impidiendo la germinación de malas hierbas. Del mismo modo la apropiada separación entre líneas de los cultivos ayuda a una mejor cobertura del suelo y al control de las malas hierbas.

Finalmente, el empleo racional de los herbicidas que están autorizados en cada cultivo es una herramienta a tener en cuenta para el control de las malas hierbas. Éstos se deben emplear siguiendo estrictamente los usos autorizados que se reflejan en la etiqueta de cada producto.

4.4.2.3. Control de hierbas adventicias en Agricultura de Conservación

La pérdida de MO y biodiversidad en los suelos tienen como origen la forma de preparar los terrenos para la siembra y la estrategia para controlar las hierbas adventicias antes de la siembra (presiembra). La agricultura basada en el laboreo, emplea pases de diversos arados para controlar las hierbas y preparar el lecho de siembra donde se instalará el cultivo. De esa forma, deja el terreno desnudo, sin ningún resto vegetal que cubra el suelo y lo proteja frente a la erosión provocada fundamentalmente por las lluvias, pero también por el viento. Este laboreo intensivo, ha provocado erosiones constantes que han derivado en la pérdida de las capas más fértiles de los suelos en España. En el conjunto de la Unión Europea, se estima que la pérdida de suelo es de 970 millones de toneladas anuales (*Panagos et al., 2015*).

La AC, en cambio, promueve una forma de cultivar basada en el mantenimiento de restos vegetales sobre el suelo, donde la protección del suelo frente a la erosión, mejora de la calidad de las aguas y del balance del líquido elemento para los cultivos, captura de CO_2 (carbono) en el suelo y fomento de la biodiversidad, son sus señas de identidad medioambiental. Todo ello, permitiendo el sustento de los agricultores, a través de mejoras en la productividad y la sostenibilidad del sector que es capaz así de fijar población en el ámbito rural.

Es evidente que esta profunda transformación en la gestión de los suelos, requiere también un cambio en la tecnología. Se emplean sembradoras específicas para AC, como las que se han descrito en el apartado anterior por un lado, y por otro lado se prescinde de labrar de forma intensiva, y se pasa a emplear productos fitosanitarios para controlar las malas hierbas. En este sentido, los herbicidas han sido, y siguen siendo, un elemento esencial en el desarrollo de los sistemas de AC.

Fig. 4.21. Germinación de malas hierbas en campo en siembra directa (izquierda) y laboreo convencional (derecha). Finca Rabanales, Córdoba, otoño 2016.

El correcto empleo de herbicidas es uno de los factores críticos para el éxito económico del cultivo, tanto en agricultura convencional como en la AC. La seguridad de su uso está suficientemente garantizada tanto por las evidencias científicas disponibles, así como por las medidas que se incluyen en la legislación vigente expuesta en el apartado (1.4.2.1). En la actualidad, la legislación europea en materia de productos fitosanitarios es muy exigente, prestando una atención especial a la protección del aplicador, del consumidor y del medio ambiente. Además, las mejoras en la biodiversidad y en el suelo que se fomentan gracias a la AC, resultan en un uso seguro y optimizado de los insumos que están a disposición de los agricultores. En efecto, y de acuerdo a revisiones recientes de documentos científicos, los principios de la AC, la SD, las rotaciones de cultivos y los restos vegetales en superficie producen una menor infestación de malas hierbas en AC (*Nichols et al., 2015*). Los sistemas de AC acumulan semillas cerca de la superficie del suelo donde son más propensas a germinar, pero también están expuestas a una menor incidencia negativa debido a efectos de la variabilidad climática y la depredación. Este balance es favorable a que en siembra directa haya menos malas hierbas.

Dentro de los productos empleados en la presiembra del cultivo, el glifosato solo o en mezcla con otro tipo de herbicidas, como pueden ser los hormonales, es la elección más habitual entre los agricultores. Glifosato controla muchas de las malas hierbas en los campos en los que se practica la AC y no deja residuos en el suelo que puedan impedir o retrasar las siembras. El bajo perfil toxicológico de esta sustancia activa, su excelente control de las malas hierbas, unido a la amplia disponibilidad en numerosas marcas de multitud de empresas, desde que su patente expiró en el año 2000, hace que los tratamientos con esta base sean poco costosos y se hayan extendido, siendo un producto esencial para controlar las malas hierbas. Sin glifosato podrían reducirse las hectáreas de cultivo en AC y se incrementaría el uso de otros herbicidas con un perfil eco-toxicológico menos favorable.

Según datos de la Asociación Empresarial para la Protección de las Plantas (AEPLA), el precio medio a distribuidor de glifosato permanece sin grandes variaciones, en torno a 3,5 €/l. Los tratamientos en presiembra, que son los que se realizan en vez del laboreo, no suelen superar los 1,5 l/ha de glifosato, lo que supone un coste directo del control herbicida de malas hierbas en presiembra de 5,25 €/ha. En España se han estudiado qué coste conlleva preparar el lecho de siembra según diferentes sistemas de manejo de suelo (Arnal, 2014). Fundamentalmente, se ha comparado la agricultura convencional, basada en el laboreo intensivo, la agricultura basada en el mínimo laboreo y la AC. En agricultura convencional, se requiere de un pase de vertedera, además de pases de cultivador y vibrocultivador. En el caso de mínimo laboreo, se necesita dar un pase de arado cincel (conocido como chísel), más un pase de vibrocultivador. Por el contrario, únicamente con un pase de herbicida (glifosato sólo, o en mezcla con otros herbicidas según las hierbas que se encuentren) se prepara correctamente la SD. Tomando como base la AC, que resulta la forma más económica de preparar el suelo para la siembra, se gastaron 154 € por hectárea más en el caso del laboreo convencional, y 73 € más en el caso del mínimo laboreo.

Por otro lado, el consumo de combustible para el control de malas hierbas en presiembra se ve reducido de manera muy importante, como se puede comprobar en la tabla 4.4., donde se incluyen los consumos de combustible de los diferentes aperos de labranza.

Operación	Consumo de combustible (l/ha)	Sistema de manejo de suelo
Vertedera	22,5±4,1	LC
Chísel	14,1±0,8	LC
Grada de discos	7,7±1,1	LC
Cultivador	6,4±1,5	LC
Sembradora de siembra directa	7,7±1,0	AC
Sembradora convencional	6,0±1,6	LC
Barra de aplicación de fitosanitarios	1,1±0,3	LC y AC
Abonadora	0,9±0,4	LC y AC
Cosechadora	11,4±0,9	LC y AC

Tabla 4.4. Operaciones y consumos de combustible asociados. AC empleado en Agricultura de Conservación; LC, empleado en Laboreo Convencional. Datos del proyecto LIFE+ Agricarbon. www.agricarbon.eu.

Hay que reseñar que el agricultor bien usaría un arado de vertedera o un chísel, más al menos dos pases o bien de grada de discos o de cultivador. Esto supone no menos de 30 l/ha de consumo de gasoil, que pueden llegar a 40 l/ha, frente al escaso 1 l/ha del pase con barra de aplicación de fitosanitarios. Ahorro de combustible que además del beneficio económico para el agricultor, antes reseñado, supone un disminución en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en una cantidad de 3,03 kg/ha de CO_2 equivalente por litro de combustible.

4.5. LIFE+ Agricarbon: Agricultura Sostenible en la Aritmética del Carbono

Proyectos internacionales, como el proyecto LIFE+ Agricarbon, que recibió el XVII Premio Andalucía Medio Ambiente, ha comparado sistemas convencionales con la AC. En total, se establecieron en torno a 90 hectáreas de cultivo, donde se han comparado las técnicas convencionales basadas en el laboreo del suelo, con las propuestas por el LIFE+ Agricarbon, basadas en AC, durante 4 campañas agrícolas. En todos los casos, las parcelas eran adyacentes, por lo que los resultados son comparables. Además, se han establecido de acuerdo a criterios estadísticos fiables.

En términos de producción, la media global de las producciones de las cuatro campañas agrícolas, contando la rotación completa, ha sido un 5% mayor para la AC en comparación con las técnicas convencionales. Las mayores diferencias por cultivos se han producido en el trigo que ha mejorado un 7,3 % y sobre todo en las leguminosas con una mejora del 7,9%. La rentabilidad a favor de la AC ha sido considerable, dado que estas producciones se han logrado además ahorrando costes. Se estima por cada campaña un ahorro de 59,6 €/ha en el trigo, 72,7 €/ha en el caso del girasol y 62,0 €/ha en leguminosas. En porcentajes, los ahorros de costes fueron del 9,5% en trigo, 21,6% en girasol y 15,4% en leguminosas.

Un análisis más profundo nos indica que además las técnicas propuestas por el proyecto LIFE+ Agricarbon han sido más eficientes en el trabajo de campo, necesitando entre un 57% y un 63% menos tiempo para realizar todas las ta-

reas propias de cada cultivo. En consumos de combustibles, las técnicas sostenibles han registrado menores necesidades. En las leguminosas, se ha ahorrado un 55,7% en gasoil (28,5 l/ha), seguido del girasol con una bajada del 52,9% (24,9 l/ha) y finalmente el trigo ha necesitado un 51,6% menos combustible (25,7 l/ha).

Gracias al empleo de la AC en este proyecto, se ha potenciado el efecto sumidero de carbono del suelo, aumentando hasta en un 56% sus contenidos en comparación con la agricultura convencional. La media de esta mejora se ha situado en un 30%. Además, no solo se ha fijado carbono al suelo, sino que además se han reducido las emisiones de CO_2 desde el suelo en un 19% comparado con la agricultura convencional.

Con respecto a la utilización de la energía, se ha ahorrado de manera considerable. Se estima en un 12% en trigo, 26,3% en girasol y 18,4% en la leguminosa. Estos ahorros causaron menores emisiones de CO_2, correspondientes a 176 kg/ha para el trigo, 73 kg/ha para girasol y 86 kg/ha para leguminosa.

Aplicando a la superficie total de cultivos bajo SD en España y los coeficientes relativos al potencial de fijación de las técnicas de AC recogidas en el artículo científico elaborado en el marco del proyecto "*Meta-analisys on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture*" (*González-Sánchez et al., 2012*) anualmente se fijarían 1,77 millones de toneladas de CO_2, lo que supone, en términos de emisiones anuales per cápita en el año 2011 para la Europa de los 27 (7,4 t CO_2 / habitante), compensar las emisiones correspondientes a una población cercana a los 240.000 habitantes. En el total del proyecto se ha conseguido compensar las emisiones de 1.200.000 ciudadanos europeos. Si ponemos estas cifras en el contexto del Protocolo de Kioto, y en los compromisos que, por ejemplo, España adquirió durante el periodo 2008-2012, éstas adquieren una mayor relevancia si cabe. En el periodo 2008-2012, en España se excedieron las emisiones permitidas en más de 165 millones de toneladas de CO_2, lo que supuso el desembolso de 812 millones de euros para las arcas del Estado. La tonelada de CO_2 costó en torno a 5 €.

Si se hubiese contemplado la fijación de C producida por la AC (sin tener en cuenta las menores emisiones por un menor consumo de combustibles) y tomando como referencia los datos de 2015, para el periodo 2008-2012 (5 años), la estimación de CO_2 fijado hubiera sido más de 46 millones de toneladas de CO_2, lo que al precio pagado hubiera supuesto un ahorro de 225,8 millones de euros. El caso más favorable en el que toda la superficie de cultivos estuviese bajo técnicas de AC, el potencial de fijación para el periodo referido hubiese sido de más de 327.973 millones de toneladas de CO_2, cifra por encima de la necesaria para compensar el exceso de emisiones.

Toda la información de este proyecto se encuentra disponible en:
www.agricarbon.eu

4.6. REFERENCIAS

Arnal Atares, P., (2014). Ahorro energético, de tiempos de trabajo y de costes en agricultura de conservación. Agricultura de Conservación 27, 36-43.

Allen, H. P., (1981). Direct drilling and reduced cultivations. Farming Press Limited, Suffolk.

Baeumer, K., (1970). First experiences with direct drilling in Germany, Neth. J. Agric. Sci. 18, 283–292.

Bakker, M. M., Govers, G., Jones, R. A., Rounsevell, M. D. A., (2007). The effect of soil erosion on Europe's crop yields, Ecosystems. 10, 1209–1219.

Basch, G., Friedrich, T., Kassam, A., González-Sánchez, E. (2015). Conservation agriculture in Europe. In Conservation Agriculture. Muhammad Farooq Kadambot H. M. Siddique (Eds). Springer International Publishing, pp. 357-389.

Blanco-Canqui, H., Lal, R., (2007a). Impacts of long-term wheat straw management on soil hydraulic properties under no-tillage. Soil Science Society of America Journal. 71 (4), 1166-1173.

Boon, W. R., (1965). Diquat and paraquat-new agricultural tools. Chemistry & Industry. 782.

Cantero-Martínez, C., Angas, P., Lampurlanes, J., (2003). Growth, yield and water productivity of barley (hordeum vulgare l.) affected by tillage and N fertilization in Mediterranean semiarid, rainfed conditions of Spain. Field Crops Research. 84, 341–357.

Carbonell-Bojollo, R., González-Sánchez, E. J., Veroz-González, O. Ordóñez-Fernández, R., (2011). Soil management systems and short term CO2 emissions in a clayey soil in southern Spain. Science of the Total Environment. 409, 2929-2935.

Christian, D. G., (1994). Experience with direct drilling and reduced cultivation in England, in Proceedings of the EC- Workshop-I-, Giessen, 27-28 June, 1994, Experience with the applicability of no- tillage crop production in the West-European countries. Wissenschaftlicher Fachverlag, Giessen, pp. 25- 31.

Conservation Technology Information Centre (CTIC) (2016). Tillage Type Definitions. Visitado el 30 Diciembre 2016. http://ctic.paqinteractive.com/resourcedisplay/322/

Derpsch, R., (1998). Historical review of no-tillage cultivation of crops, in JIRCAS Working Rep. 13. Japan Int. Res. Ctr. for Agric. Sciences, Ibaraki, Japan, pp. 1–18.

FAO, (2016). Conservation Agriculture. Visitado el 29 Diciembre 2016. http://www.fao.org/ag/ca/6c.html.

Faulkner, E. H., (1943). Plowman's folly. Grosset & Dunlap Pub, New York.

Fernández Quintanilla, C., (1997). Historia y evolución de los sistemas de laboreo. El laboreo de conservación, in: García Torres, L., González Fernández, P. (Eds.), Agricultura de Conservación: Fundamentos Agronómicos, Medioambientales y Económicos. Asociación Española Laboreo de Conservación/ Suelos Vivos, Córdoba, pp. 1-12.

González, P., Ordóñez, R., Perea, F. y Giráldez, J. V., (2010). Estudio comparativo de las cosechas recogidas a lo largo de 26 campañas en un ensayo con distintos manejos del suelo. In Proceedings of the European Congress on Conservation Agriculture. Towards Agro-Environmental, Climatic and Energetic Sustainability, pp. 433-440.

González Sánchez, E. J., Martínez-Aljama, F., Gómez Ariza, M., Márquez García, F., Veroz González, O., Gil Ribes, J., (2009). Preserving European Environment through Conservation Agriculture. In Proceedings of the IV World Congress on Conservation Agriculture, New Delhi, India, pp 407.

González Sánchez, E. J., Pérez García, J. J., Gómez Ariza, M., Márquez García, F., Veroz González, O., (2010). Sistemas agrarios sostenibles económicamente: el caso de la siembra directa. Vida Rural. 312, 24-27.

González-Sánchez, E. J., Ordóñez-Fernández, R., Carbonell-Bojollo, R., Veroz-González, O., Gil-Ribes, J. A., (2012). Meta-analysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture. Soil and Tillage Research, 122, pp. 52-60.

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 (PB), pp. 204-212.

Hill, P. R., Griffith, D. R., Steinhardt, G. C., Parson, S. D., (1994). The evolution and history of no-till farming. National Conservation Tillage Digest .1(4), 14-15.

Hood, A. E. M., Jameson, H. R., Cotterel, R., (1963). Destruction of pastures by paraquat as a substitute for ploughing. Nature. 197, 748.

Jordan V. W. L., Hutcheon, J. A., (1997). Alternative farming method (arable): a study of the effect of an integrated arable management system on level of herbicide and nutrients reaching "controlled waters". Journal Environment Agency, Technical Report No. P17, Bristol.

Juste, F., Sánchez-Girón, V., Hernanz, J. L., (1981). Estudio comparativo de la siembra directa con el cultivo tradicional de los cereales. 13 Conferencia Internacional de Mecanización Agraria, Zaragoza, pp. 133-145.

Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R., Lahmar, R., Mrabet, R., Basch, G., González-Sánchez, E.J., Serraj, R., (2012). Conservation agriculture in the dry Mediterranean climate. Field Crop Res. 132, 7–17.

Lal, R., (2005). Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. Land Degrad. Dev. 17, 197–209.

Lichtfouse, E., Hamelin, M., Navarrete, M., Debaeke, P., Henri, A., (2010). Emerging agroscience. Agronomy for Sustainable Development. 30, 1-10.

Lorenz, P., (1936). The Plow that Broke the Plains. US Resettlement Administration. Visitado el 30 Diciembre 2016. http://www.youtube.com/watch?v=fQCwhjWNcH8&feature=related.

MAPAMA, (2007 a 2016a). Encuesta Nacional de Superficies y Rendimientos. Análisis de las Técnicas de Mantenimiento del Suelo y Métodos de Siembra en España 2006 a 2015. Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. España. Visitado el 30 Diciembre 2016. http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/informes-sectoriales/default.aspx.

MAPAMA, (2007 a 2016b). Inscripciones de maquinaria agrícola en el ROMA en España 2006 a 2015. Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. España. Visitado el 30 Diciembre 2016. http://www.mapama.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/maquinaria-agricola/estadisticas/#para0.

Márquez-García, F., González-Sánchez, E. J., Castro-García, S., Ordoñez-Fernández, R. (2013). Improvement of soil carbon sink by cover crops in olive orchards under semiarid conditions. Influence of the type of soil and weed. Spain J Agric. Res 11(2), 335-346.

McGregor, K. C., Bengtson, R. L., Mutchler, C. K., (1990). Surface and incorporated wheat straw effects on interrill runoff and soil erosion. Trans. ASAE. 33(2), 469–474.

McKibben, G.E., (1968). No-tillage planting is here - suitable equipment is on market most practices are little different from what good farmers are already doing advantages are many and it works. Crops and Soils Magazine. 20, 19.

Moody, J. E., Shear, G. M., Jones, Jr. J. N., (1961). Growing corn without tillage. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25, 516–517.

Nichols, V., Verhulst, N., Cox, R., Govaerts, B., (2015). Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. Field Crops Research. Volume 183, November 2015, Pages 56–68

Ordóñez Fernández, R., González Fernández, P., Giráldez Cervera, J. V., Perea Torres, F., (2007). Soil properties and crop yields after 21 years of direct drilling trials in Southern Spain. Soil Till Res. 94, 47–54.

Ouwerkerk, van C., Perdok, U.D., (1994). Experiences with minimum and no-tillage practices in the Netherlands. I: 1962-1971. In: Proceedings of the EC- Workshop- I-, Giessen, 27-28 June, 1994, Experience with the applicability of no- tillage crop production in the West- European countries, Wiss. Fachverlag, Giessen, pp. 59- 67.

Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. Environmental Science & Policy 54: 438–447.

Valera Hernández F., Rey Zamora, P. J., Sánchez Lafuente, A. M., Alcántara Gámez, J. M., (1997). Efecto de los sistemas de laboreo sobre las aves, in: García Torres, L., González Fernández, P. (Eds.), Agricultura de Conservación: Fundamentos Agronómicos, Medioambientales y Económicos. Asociación Española Laboreo de Conservación/ Suelos Vivos, Córdoba, pp. 225-242.

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/1, 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 (3), 231-241.

CAPÍTULO 5

LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN COMO MITIGADORA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

AEAC.SV
Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos

5.1. INTRODUCCIÓN

Si bien es indudable el avance que ha supuesto el modelo basado en el laboreo mecanizado para la agricultura española, este sistema iniciado hace más de medio siglo, en la actualidad se demuestra como insostenible, al constituir un modelo emisor de gases de efecto invernadero (GEI) y no contribuir a la conservación y mejora de los recursos naturales: aire, suelo y agua.

Una de las consecuencias de estos sistemas de manejo basados en el laboreo en relación al cambio climático, es la reducción del efecto sumidero del suelo, cuya consecuencia directa es la disminución del contenido de carbono orgánico (CO), principal componente de la materia orgánica (MO), capital en todos los procesos que se dan en el suelo y en su calidad, ya que mejora su estructura, fertilidad y capacidad de almacenamiento de agua, siendo por ello ampliamente aceptado como un indicador de la calidad del suelo (*Podmanicky et al., 2011*).

Esta disminución es el resultado:

- Del menor aporte de MO en forma de rastrojo del cultivo.
- De la mayor tasa de mineralización del humus provocada por el laboreo. Las labores facilitan la penetración de aire en el interior del suelo y por tanto la mineralización del humus, proceso que comprende una serie de reacciones de oxidación, generando como principal subproducto el CO_2, parte del cual queda atrapado en el espacio poroso del suelo, y parte se libera a través de mecanismos de difusión entre zonas del suelo con diferente concentración.
- De la mayor tasa de erosión, que provoca importantes pérdidas de MO junto con la mineral. En la agricultura convencional, las labores de preparación del suelo para la siembra, dejan durante largos periodos de tiempo a la superficie desnuda del suelo expuesta a la acción de los agentes erosivos.

Lo anterior, sin tener en cuenta la quema del rastrojo, práctica frecuente en la agricultura convencional de algunas zonas. Heenan *et al.*, (2004) estimaron pérdidas de 8,2 t ha^{-1} en el horizonte superficial de un suelo Chromic Luvisol continuamente labrado para el cultivo de cereales y en el que se quemaba el rastrojo y por el contrario incrementos de 3,8 t ha^{-1} en el sistema de siembra directa (SD).

En este sentido, son varios los autores que coinciden al afirmar que la perturbación del suelo por labranza es una de

las mayores causas de la disminución de CO del suelo (*Balesdent et al., 1990, Six et al., 2004, y Olson et al., 2005*). Por su parte, Reicosky (2011), afirma que la agricultura intensiva ha contribuido a la pérdida entre un 30% y un 50% del CO del suelo en las últimas dos décadas del siglo XX. Kinsella (1995), estima que, en sólo 10 años de labranza, se pierde el 30% de la MO que originariamente tenía el suelo. En Europa, existen varias estimaciones en lo que respecta a la pérdida de carbono (C) en los suelos agrícolas, así pues, Janssens *et al.*, (2003) estimaron una pérdida de 300 Tg de C al año para la superficie agrícola europea que se extendía hasta los montes Urales. Usando una metodología similar, Vleeshouwers y Verhagen (2002), estimaron una media de pérdida de C al año para la Unión Europea de 78 Tg de C. Ya en España, Janssens *et al.*, (2005), en un estudio a nivel europeo, estimaron que las tasas medias anuales de pérdidas de CO en suelos agrícolas eran de 47 kg/ha, lo que significa que cada año, en toda la superficie nacional se pierden 79,8 Gg de C. Por su parte, Ordóñez *et al.*, (2007) observaron que diez años de laboreo continuado, provocan un descenso del contenido de MO del 18 % en los 20 centímetros más superficiales de un vertisol en la Vega de Carmona (Sevilla).

Otra consecuencia que conlleva la intensificación de las labores sobre el suelo propia de la agricultura basada en el laboreo, son las mayores emisiones de CO_2 a la atmósfera, resultado de varios aspectos. Así pues, el laboreo tiene una influencia directa sobre las emisiones de CO_2 del suelo a la atmósfera tanto a corto plazo (inmediatamente después de labrar) como a largo plazo (durante la campaña del cultivo). Ello se debe a que el laboreo estimula la producción y acumulación de CO_2 en la estructura porosa del suelo a través de los procesos de mineralización de la MO. La acción mecánica del laboreo supone una rotura de los agregados del suelo, con la consiguiente liberación del CO_2 atrapado en el interior de los mismos y su posterior emisión a la atmósfera. De entre los primeros estudios sobre emisiones de CO_2 durante las labores destacan los llevados a cabo por Reicosky y Lindstrom (1993) y Reicosky (1997) en la zona centro de EEUU. Estos autores

demostraron que el incremento de CO_2 observado justo después de labrar era debido a cambios en la porosidad del suelo y, por tanto, proporcional a la intensidad del laboreo (profundidad y rugosidad del suelo generada).

Por otro lado, el consumo energético asociado a las diferentes prácticas agrícolas (laboreo, aplicación de abonos y enmiendas, riego, tratamientos fitosanitarios…) se lleva a cabo, básicamente, con el uso de combustibles fósiles, especialmente gasóleo, lo que implica, inevitables emisiones a la atmósfera de GEI. Así pues, el laboreo convencional implica un mayor consumo de combustibles fósiles respecto a la Agricultura de Conservación, lo que conlleva una mayor contaminación atmosférica, debido a la emisión de CO_2 procedente de dicha combustión, con el consiguiente efecto potencial de esta contaminación sobre el cambio climático global.

En base a todas estas consideraciones, las acciones de mitigación desde el sector agrario pasan por fijar el C que se encuentra dentro del compuesto oxidado en el suelo, a la par que reducir las emisiones de GEI en general. En este sentido, las prácticas agrarias a adoptar por los agricultores para conseguir este doble propósito, han de ir encaminadas a los siguientes principios:

- Ir a prácticas que aumenten el contenido de MO de los suelos y potenciar así el potencial sumidero.
- Reducir el número de labores que alteren el suelo de cara a disminuir las emisiones de GEI a la atmósfera procedentes del mismo.
- Reducir el consumo de combustible e ir a procesos más eficientes energéticamente para disminuir las emisiones de GEI asociadas a los mismos.

Científicos de todo el mundo están de acuerdo en que cuanto menos se labra, el suelo absorbe y almacena más C, y por consiguiente sintetiza más MO, lo que a largo plazo aumenta su capacidad productiva. Además, está comprobado que los restos de cosecha sobre la superficie y la no alteración mecánica del suelo, trae como consecuencia directa una reducción en la tasa de descomposición de los rastrojos; una disminución de la mineralización de la MO del suelo, debido a una menor aireación y menor accesibilidad de los microorganismos a la misma; y un incremento del C del suelo. Al mismo tiempo, el no labrar **disminuye el CO_2 que se libera a la atmósfera, ya que las continuas labores oxigenan el terreno en exceso, lo que favorece la oxidación del carbono, que se emite en forma de CO_2.**

Por otro lado, y conocido que todo proceso energético conlleva emisión de CO_2 a la atmósfera, toda actuación encaminada al ahorro de energía y combustible, como la reducción del número de labores, optimización del uso de insumos agrarios y correcta ejecución de las operaciones, repercute directamente en una reducción en la emisión de GEI.

La Agricultura de Conservación (AC) representa una solución integral a todas las cuestiones planteadas anteriormente, contribuyendo a la mitigación del cambio climático al ser una medida de doble acción frente al aumento de la concentración de GEI en la atmósfera. Por un lado, los cambios introducidos por la AC en la dinámica del C en el suelo, traen como consecuencia directa un incremento del C del suelo, lo que convierte a estas técnicas en una actividad sumidero de C. Por otro lado, la reducción drástica del número de labores junto con la no alteración mecánica del suelo, suponen una reducción de las emisiones de CO_2 derivada del ahorro energético y de la reducción de los procesos de mineralización de la MO (Figura 5.1).

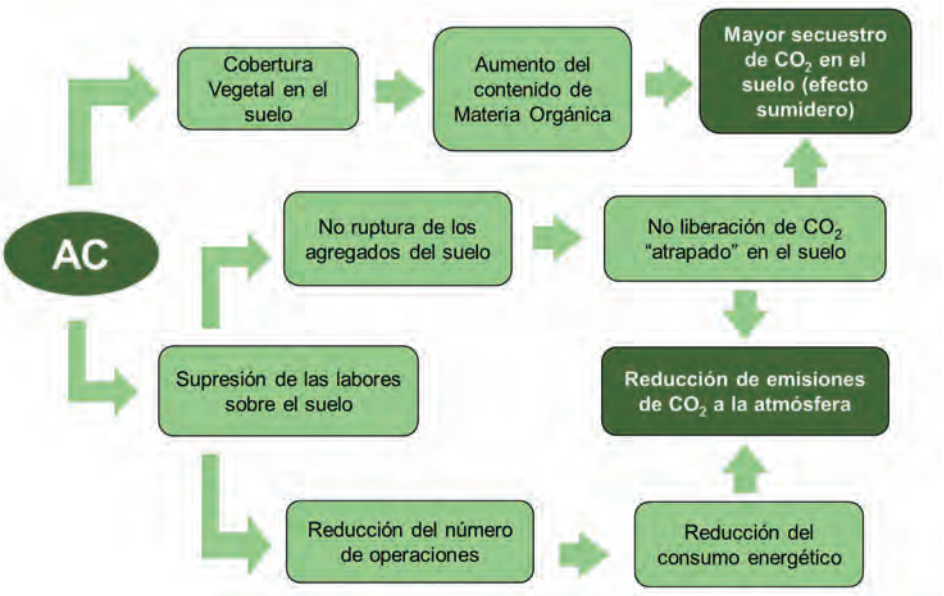


Fig. 5.1. Mecanismos de mitigación del cambio climático de la Agricultura de Conservación.

5.2. EFECTO SUMIDERO

La AC, al dejar los restos de las cosechas en superficie, induce a una dinámica de la MO análoga a la que se produce en los ecosistemas naturales. El resultado es que con la AC se produce un incremento de la estratificación de la MO en su distribución vertical, estratificación que se toma como índice de la recuperación de la calidad de los suelos agrícolas degradados por laboreo (*Franzluebbers, 2002; Moreno et al., 2005*). Una parte importante de esta MO humificadas superficial, es incorporada hacia el interior del suelo por las lombrices, cuya población se ve muy favorecida por la AC (*Cantero et al., 2004; Bescansa et al., 2005*).

Por otra parte, mientras menos se labra el suelo, éste absorbe y almacena más C, que previamente ha sido fijado en la planta gracias a la fotosíntesis,

sintetizando más MO, lo que a largo plazo aumenta su capacidad productiva, y al mismo tiempo disminuye el CO_2 que se libera a la atmósfera.

En uno de los trabajos desarrollados por Lal (2004), se estima la potencialidad en la fijación de C que tendría la migración a escala a mundial hacia los sistemas de conservación, concluyendo que si 1.500 millones de ha pasasen de un sistema basado en el laboreo a sistemas de AC, se fijarían entre 0,6-1,2 Pg de C al año.

En España, en la campiña andaluza, después de 19 años de ensayo, Ordóñez *et al.*, (2007) observaron un incremento de 18 t ha^{-1} en el contenido de CO bajo SD en una rotación trigo-girasol-leguminosa, mientras que en laboreo convencional no se apreció incremento alguno. Un comportamiento similar se observó en condiciones semiáridas del centro de Aragón donde después de 9 años de SD en un monocultivo de cebada se observó un incremento de más de 4 t ha^{-1} de CO en los primeros 20 cm de suelo, mientras que el contenido de CO en laboreo convencional permaneció constante a lo largo del tiempo. En Navarra, en un experimento también en condiciones de clima semiárido, Bescansa *et al.,* (2006) observaron en los primeros 15 cm de suelo un contenido de MO significativamente mayor en sistemas de AC que en laboreo convencional. En otro experimento en la provincia de Sevilla, Moreno *et al.*, (2006) encontraron un mayor contenido de CO en los primeros 10 cm de suelo en un sistema de AC en comparación con un sistema de laboreo convencional.

La mayoría de los trabajos relativos a este tema realizados por equipos de investigación españoles, se han incluido en tres meta-análisis realizados por: Álvaro-Fuentes y Cantero Martínez (2010), que valoraron las experiencias realizadas en 8 estudios del territorio nacional en condiciones de secano; González-Sánchez *et al.*, (2012), en el que se han revisado 29 referencias sobre estudios realizados en el territorio nacional; y el realizado por Aguilera *et al.*, (2013), en el que los artículos revisados han sido 79 y los estudios son a nivel mundial en zonas de clima mediterráneo. En las revisiones realizadas por estos autores se ha valorado el incremento de C en el suelo promovido por las prácticas de manejo de conservación (siembra directa, laboreo reducido y cubiertas vegetales) respecto al manejo convencional.

A este respecto, y de cara a poder cuantificar el CO_2 secuestrado que representa los valores de C Orgánico fijado en el suelo, Tebruegge (2001), afirma que a través de los procesos de oxidación microbiológica que tienen lugar en el suelo, se generan 3,7

toneladas de CO_2 a partir de 1 tonelada de C, por lo que en base a los incrementos de MO observados en los sistemas de manejo de conservación en relación a los sistemas de manejo basados en el laboreo, es posible determinar, a partir del CO, la cantidad de CO_2 que se ha dejado de emitir gracias al secuestro de C producido en los sistemas de conservación.

En base a estos datos, y a las cifras aportadas por González-Sánchez *et al.,* (2012) es posible afirmar que, durante los primeros 10 años de SD y cubiertas vegetales es posible fijar hasta **3,12 t más por ha al año de CO_2 y 5,65 t más por ha al año de CO_2** respectivamente respecto a los sistemas basados en el laboreo del suelo (Tabla 5.1).

5.3. REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO_2.

La adopción de Agricultura de Conservación supone una reducción drástica de las operaciones de labranza, reducción que, en el caso de la práctica de SD llega a la total supresión de las labores mecánicas de alteración del perfil del suelo. Dicha reducción influye sobre el volumen de emisiones de CO_2 que se da por un lado, debido a la ruptura de los agregados del suelo y el consiguiente intercambio gaseoso que se da tras la labor, y por otro, al consumo de gasoil y al consumo energético derivado de la realización de las labores.

Práctica agrícola	Coeficiente de secuestro de CO_2 ($t\ ha^{-1}\ año^{-1}$)	Periodo (años)
Siembra Directa.	3,12	<10
	0,59-1,47	>10
Cubiertas Vegetales.	5,65	<10
	1,28	>10

Tabla 5.1. Coeficientes de secuestro de CO_2 atmosférico con técnicas de AC. Adaptado de González-Sánchez et al., (2012).

5.3.1. Emisiones de CO_2 desde el suelo

La emisión de CO_2 derivada de la acción mecánica sobre el perfil del suelo está directamente relacionada con la estabilidad de los agregados del mismo. En condiciones naturales, la MO se encuentra encapsulada en el interior de los agregados, no resultando accesible al ataque de los microorganismos presentes en el suelo. Cuanto menos estable sea un agregado, menor será su resistencia ante procesos de alteración que puedan ocasionar su rotura y, por tanto, más fácilmente será accesible la MO de su interior a los microorganismos, favoreciéndose los procesos de mineralización y de generación de CO_2 como subproducto que se emitirá a la atmósfera.

La adopción de prácticas alternativas de AC ha permitido no sólo un mayor control de la erosión del suelo sino también un descenso de las pérdidas de MO y de emisiones de CO_2 que se dan como consecuencia del laboreo intensivo del suelo. La no alteración del suelo que conllevan las prácticas de conservación, mejora la estructura del mismo, aumentando la estabilidad de los agregados frente a los procesos de desagregación, permitiendo una mayor protección de la MO frente a los ataques de los microfauna edáfica, y manteniendo "atrapa-

do" en el espacio poroso del suelo, el CO_2 resultante de los procesos de mineralización de la MO.

Por tanto, la disminución del laboreo reduce y ralentiza la descomposición de los restos vegetales, consiguiéndose un almacenamiento del CO_2 atmosférico (fijado en la estructura del cultivo y devuelto al suelo en forma de resto vegetal) en el suelo. De esta manera, el suelo tendrá la función de almacén de CO_2 atmosférico ayudando así, a mitigar las emisiones de GEI generadas por otras actividades.

En trabajos de investigación llevados a cabo en Estados Unidos *(Reicosk y et al., 2007)*, se evaluaron los efectos a corto plazo que, sobre las emisiones de CO_2, tenían dos sistemas de manejo de suelo, uno de ellos basado en la utilización del arado de vertedera y otro bajo SD. Las investigaciones dieron como resultado una mayor emisión tanto a corto como a medio plazo, de las parcelas labradas con respecto a las parcelas bajo SD, con valores que fueron desde emisiones 3,8 veces superiores a las cuantificadas en SD cuando la labor realizada fue más superficial (10 cm) hasta emisiones 10,3 veces mayores que las medidas en SD en el caso de labores más profundas (28 cm). En este sentido, la figura 2 muestra un trabajo de Reikosky (1997), en el que se comparaban las emisiones acumuladas de CO_2 procedentes del suelo 5 horas después de la realización de un pase con distintos aperos de labranza con un suelo manejado bajo SD.

En España, caben destacar los ensayos llevados a cabo en Andalucía y en zonas de Aragón y Cataluña por equipos de investigación del Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA) y de la Universidad de Lleida en colaboración con el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, respectivamente.

Así pues, en experimentos llevados a cabo en la finca Tomejil (Sevilla) por Carbonell-Bojollo *et al.* (2011), los suelos en SD emitieron un menor flujo de gas en comparación con los suelos labrados. En concreto, en la operación de siembra, las parcelas bajo un manejo de suelo basado en el laboreo, emitieron entre un 34% y un 75 % más de CO_2 que las parcelas manejadas bajo SD, dándose los picos de emisión después de 4 horas de realizar la operación (Tabla 5.2).

Basándose en un estudio en el que se compararon diferentes sistemas de manejo del suelo, Prior *et al.,* (2000) sugirieron que el aumento de los flujos de CO_2 que ocurren después de la labranza se relaciona con la profundidad de la operación y con el grado de alteración del suelo. Esto coincide con los resultados obtenidos por Carbonell-Bojollo *et al.,* (2011) (Figura 5.3), dado que, en la comparación de los dos sistemas de labranza, se observó que la operación con arado de vertedera, el cual alcanzó hasta 40 cm de profundidad, fue la que produjo las mayores emisiones. Con todo ello, las emisiones de CO_2 producidas tras la operación realizada con arado de vertedera y con grada de discos fueron respectivamente 10,5 y 6,7 veces superiores a las emisiones producidas en las parcelas bajo SD.

Respecto a los ensayos llevados a cabo en Aragón y Cataluña, se observó que, a largo plazo, los flujos medios fueron inferiores en las parcelas de SD y superiores en las parcelas bajo laboreo convencional. A corto plazo, los flujos de CO_2 en SD fueron bajos y constantes a lo largo del experimento ya que el suelo en este sistema no se alteró. Desde el inicio hasta 48 horas después del laboreo la emisión de CO_2 acumulada en el sistema de laboreo convencional ascendió a 45 g CO_2 m^{-2}, sin embargo, para ese mismo periodo las emisiones de CO_2 bajo SD alcanzaron los 24 g CO_2 m^{-2}, resultando un 40 % inferior al sistema de laboreo convencional (Álvaro-Fuentes et al., 2007).

5.3.2. Emisiones de CO_2 ligadas al consumo energético

Otro mecanismo de reducción de emisiones de CO_2 a la atmósfera en la AC es la vía del ahorro energético. La aplicación práctica de la AC se basa en la supresión del laboreo, esto posibilita que dichos sistemas requieran una menor cantidad de energía que el laboreo convencional, siendo, en este último, el mayor consumo de combustible en la preparación del terreno el responsable de esta diferencia. A igualdad del resto de los factores de producción, ésta última es tanto mayor cuanto mayor es el número de las labores efectuadas.

A la postre, el consumo energético se traduce en emisiones de CO_2 a la atmósfera. Gracias a los valores de los coeficientes de conversión dados por Lal (2004), que

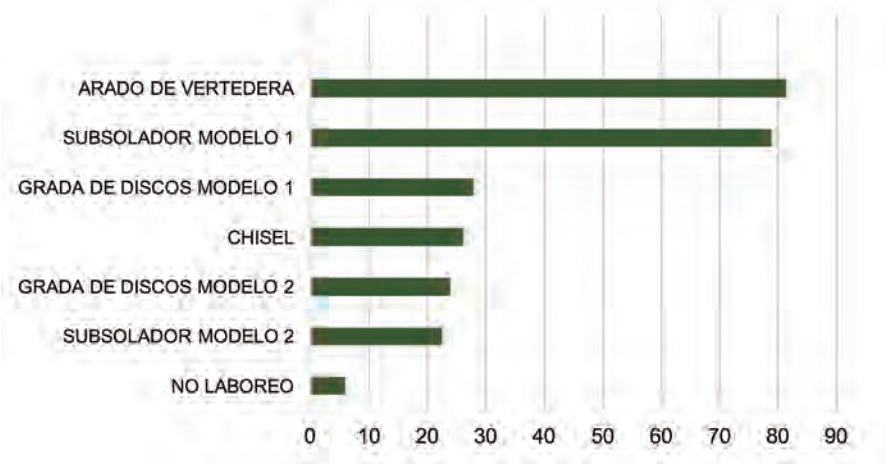


Fig. 5.2. Emisiones acumuladas de CO_2 (g/m^2) 5 horas después de realizar la labor. Fuente: Reicosky (1997).

Tabla 5.2. Emisiones diarias de CO_2 producidas en la operación de siembra y máximas diferencias entre los sistemas de manejo evaluados (SD: Siembra Directa, LC: Laboreo Convencional). Fuente: Carbonell-Bojollo et al., (2011).

Cultivo	Fecha de siembra	Emisión diaria de CO_2 ($kg\ ha^{-1}$)		Máxima diferencia de emisiones (horas desde la operación)
		LC	SD	
Guisante	17/01/2007	8	3	75 % (4 h)
Trigo	17/12/2007	14,6	10	41 % (4 h)
Girasol	24/03/2009	23	5	49 % (4 h)
Guisante	27/11/2009	33	21	34,5 % (4 h)

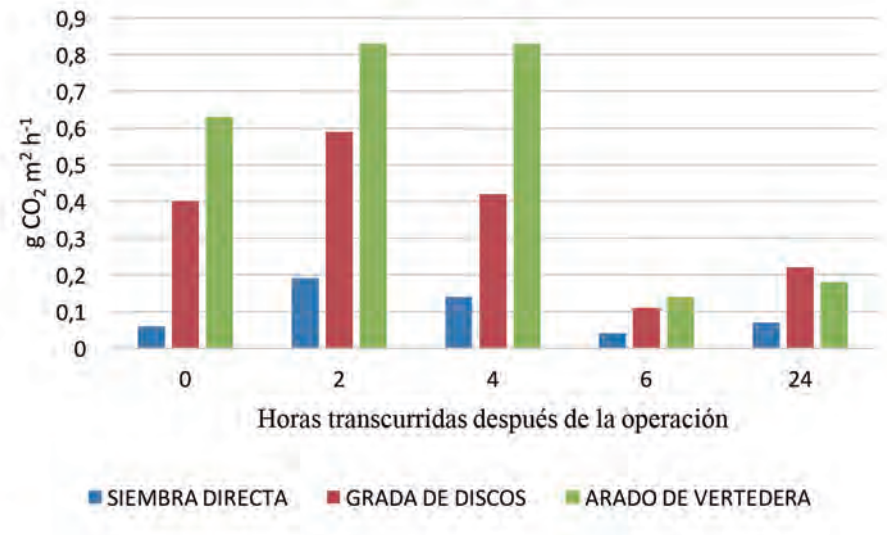


Fig. 5.3. Aumento de las emisiones de CO_2 por hora durante las operaciones de labranza en el suelo en los diferentes sistemas de cultivo. (Cada valor representa la media de 14 lecturas). Fuente: Carbonell-Bojollo et al., (2011).

asume que el consumo de 1 MJ en cualquier proceso energético supone la emisión de 20 g de C equivalente, es posible determinar la diferencia en emisiones de CO_2 de un sistema de manejo respecto al otro, debido a las diferentes operaciones realizadas, partiendo de sus consumos de combustible y de energía.

A nivel mundial, ya se han realizado algunos estudios sobre lo que en términos de emisión de C equivalente supone el consumo energético en las operaciones de preparación para la siembra. En base a ello, se han estimado en 35,3 kg ha^{-1} las emisiones de C equivalente en el laboreo convencional, en 7,9 kg ha^{-1} un mínimo laboreo basado en la utilización del arado cincel, y en 5,8 kg ha^{-1} en un sistema de manejo basado en la SD, lo que supone una reducción del 83,57% de emisiones con respecto a la agricultura convencional (*Lal, 2004*).

En análisis energéticos realizados en diversas zonas de España, el ahorro energético de los sistemas de AC respecto al laboreo convencional varió entre el 5% y el 50% según la región y el cultivo considerado *(Hernanz et al., 1997*).

Ya en estudios más recientes realizados en España, en el marco del proyecto LIFE+ Agricarbon (LIFE08 ENV/E/000129) "Sustainable agriculture in carbon arithmetics" los resultados obtenidos en cultivos de secano (rotación trigo/girasol/leguminosa) ubicados en el Valle de Guadalquivir, tras cuatro campañas agrícolas, en donde se comparaban los consumos energéticos de parcelas en SD con parcelas en laboreo convencional, y analizando todos los datos relativos a la realización de las operaciones agrícolas, arrojaron un balance positivo en lo que a consumo energético y emisiones de CO_2 se refiere de las prácticas de AC respecto al LC. Así, en las parcelas en las que se implantó SD, las emisiones de CO_2 ligadas al consumo energético se redujeron de media de un 12% en el cultivo de trigo, un 26,3% en el cultivo de girasol y un 18,4% en el cultivo de leguminosa. **Significa que en una campaña agrícola en siembra directa, en el cultivo de trigo se emitieron 176 kg CO_2/ha menos, en el cultivo de girasol 73 kg CO_2/ha menos y en el cultivo de leguminosa 86 kg CO_2/ha menos**.

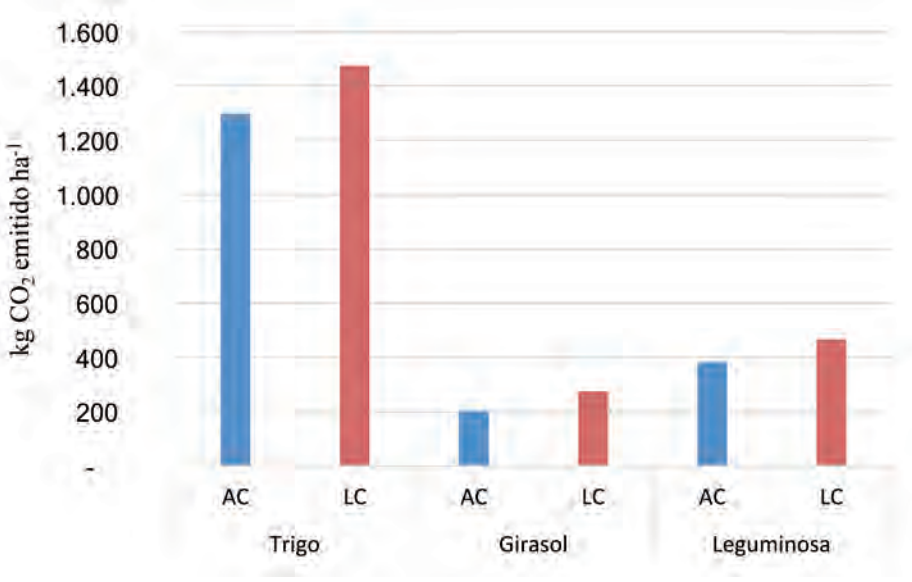


Fig. 5.4. Emisiones de CO_2 para cada cultivo como consecuencia del consumo energético de las operaciones realizadas. Fuente: Proyecto LIFE+ Agricarbon (2014).

5.4. REFERENCIAS

Aguilera, E., Lassaletta, L., Gattinger, A., Gimeno, B., (2013). Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis *Agriculture, Ecosystems & Environment 168*: 25-36.

Álvaro-Fuentes, J., Cantero-Martínez, C., (2010). Short communication. Potential to mitigate anthropogenic CO_2 emissions by tillage reduction in dryland soils of Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research 8*: 1271-1276.

Álvaro-Fuentes, J.; Cantero-Martínez, R.; López, M. V.; Arrúe, J. L. (2007). Soil carbon dioxide fluxes following tillage in semiarid Mediterranean agroecosystems *Soil and Tillage Research 96*: 331-341.

Balesdent, J.; Mariotti, A.; Boisgontier, D. (1990). Effects on tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ^{13}C abundance in maize fields. *J. Soil Sci*. 41, 584-596.

Bescansa, P.; Imaz, M. J.; Virto, I.; Enrique, A.; Hoogmoed, W. B. (2006). Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. *Soil and Tillage Research* 87: 19-27.

Bescansa, P.; Imaz, M. J.; Virto, I.; Enrique, A.; Briones, M. J. I. (2005). Influencia de laboreo de conservación y manejo de residuos en el desarrollo de poblaciones de lombrices en suelos semiáridos. En Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación: El reto de la agricultura, el medio ambiente, la energía y la nueva Política Agraria Común. Libro de Actas: 285-290. AEAC/SV, ECAF, Diputación de Córdoba. Córdoba.

Cantero-Martínez, C.; Ojeda, J.; Angás, P.; Santiveri, P. (2004). Efectos sobre las poblaciones de lombrices: Técnicas de laboreo en suelo en zonas de secano semiárido. Agricultura. *(866)*: 724-728.

R. Carbonell-Bojollo, R.; González-Sánchez, E. J.; Veróz-González, O.; Ordóñez-Fernández, R. (2011). Soil management systems and short term CO_2 emissions in a clayey soil in southern Spain. *Science of the Total Environment* 409: 2929–2935.

Franzluebbers, A. J. (2002). Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*. 66, Issue 2: 95-106.

González-Sánchez, E. J., Ordóñez-Fernández, R., Carbonell-Bojollo, R., Veroz-González, O., Gil-Ribes, J.A., (2012). Meta-analysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture. *Soil & Tillage Research* 122: 52-60.

Heenan, D. P.; Chan, K. Y.; Knight, P. G. (2004). Long-term impact of rotation, tillage and stubble management on the loss of soil organic carbon and nitrogen from a Chromic Luvisol. *Soil and Tillage Research*. 76, Issue 1: 59-68.

Hernanz Martos, J. L.; Sánchez-Girón Renedo, V. (1997). Utilización de la energía en diversos sistemas de laboreo. En García Torres L.; González Fernández P. (eds.) Agricultura de Conservación: Fundamentos Agronómicos, Medioambientales y Económicos: 243-257. Asociación Española Agricultura de Conservación/Suelos Vivos. Córdoba.

Janssens, I. A.; Freibauer, A; Schlamadinger, B.; Ceulemans, R.; Ciais, P., Dolman, A. J.; M. Heimann, M.; Nabuurs, G.-J.; Smith, P.; Valentini, R.; Schulze, E.-D. (2005). The carbon budget of terrestrial ecosystems at country-scale a European case study. *Biogeosciences*, 2: 15–26.

Janssens, I. A.; Freibauer, A.; Ciais, P.; Smith, P.; Nabuurs, G.-J.; Folberth, G.; Schlamadinger, B.; Hutjes, R. W. A.; Ceulemans, R.; Schulze, E.-D.; Valentini, R.; Dolman, A. J. (2003). Europe's terrestrial biosphere absorbs 7–12% of European anthropogenic CO_2 emissions. *Science* 300: 1538–1542.

Kinsella J. (1995). The effects of various tillage systems on soil compaction. In: Farming For a Better Environment: A White Paper. *Soil and Water Conservation Society*, Ankeny, IA: 15–17.

Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. Environment International 30: 981-990.

Moreno, F.; Murillo, J.M.; Girón, I. F.; Pelegrín, F. (2006). Long-term impact of conservation tillage on stratification ratio of soil organic carbon and loss of total and active $CaCO_3$. *Soil and Tillage Research* 85: 86-93.

Moreno, F.; Murillo, J. M.; Madejón, E.; Girón, I. F.; Pelegrín, F. (2005). Laboreo de conservación: efectos a largo plazo sobre la calidad del suelo. En Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación: El reto de la agricultura, el medio ambiente, la energía y la nueva Política Agraria Común. Libro de Actas: 515-520. AEAC/SV, ECAF, Diputación de Córdoba. Córdoba.

Olson, K. R.; Lang, J. M.; Ebelhar, S. A. (2005). Soil organic carbon changes after 12 years of no tillage and tillage of Grantsburg soils in sotuthern Illionois. *Soil & Tillage Research* 81, 217-225.

Ordóñez Fernández, R; González Fernández, P.; Giráldez 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.

Podmanicky, L.; Balázs, K.; Belényesi, M.;Centeri, Cs.; Kristóf, D.; Kohlheb, N. (2011). Modelling soil quality changes in Europe. An impact assessment of land use change on soil quality in Europe. Ecological Indicators 11 (1): 4-15.

Prior, S. A.; Reicosky, D. C.; Reeves, D. W.; Runion, G. B.; Raper, R. L. (2000). Residue and tillage effects on planting implement-induced short-term CO_2 and water loss from a loamy sand soil in Alabama. *Soil and Tillage Research* 54:197–9.

Reicosky, D. C. (2011) Conservation agriculture: Global environmental benefits of soil carbon management. In 'Fifth World Congress on Conservation Agriculture'. Vol. 1. pp. 3–12. (ACIAR: Canberra, ACT)

Reicosky, D. C. (1997). Tillage-induced methods CO_2 emissions from soil. Nutrient Cycl. Agoresyst. 49: 273-285.

Reicosky, D. C. and Archer, D. W. (2007). Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. *Soil and Tillage Research*. 94: 109-121.

Reicosky, D. C. and Lindstrom, M. J. (1993). Fall tillage methods: Effect on short-term carbon dioxide flux from soil. *Agronomy Journal*. 85*(6):* 1.237-1.243.

Six, J.; Ogle, S. M.; Breidt, F. J.; Conant, R. T.; Mosiers, A. R.; Paustian, K. (2004). The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term. *Global Change Biology 10*: 155-160.

Tebruegge, F. (2001). No-tillage visions- Protection of soil, water and climate and influence on management and farm income. En García-Torres, L. Benites, J. Martínez-Vilela, A. (eds.). I World Congress on Conservation Agriculture: Conservation Agriculture, a worldwide challenge. Volume *I*: 303-316. FAO, ECAF. Córdoba.

Vleeshouwers, L. M.; Verhagen, A. (2002). Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biol. 8:* 519–530.

CAPÍTULO 6

LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN Y SU ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

AEAC.SV
Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos

6.1. INTRODUCCIÓN

El término “adaptación” referido al cambio climático hace referencia a todos los ajustes que son necesarios realizar en un sistema (en nuestro caso, el sistema agrario) para dar respuesta a los cambios reales o previstos que se den como consecuencia del cambio climático, reduciendo así la vulnerabilidad de los mismos y aprovechando las oportunidades dadas por los nuevos escenarios climáticos.

Los agricultores, en su labor cotidiana, siempre han tenido que tomar decisiones para adaptar sus cultivos a las cambiantes condiciones meteorológicas que ya de por sí se dan de una campaña a otra. Hasta el momento, dichas decisiones se han basado en la alteración de los patrones de los cultivos o cambios en la gestión de los mismos, pero parece que estas medidas no serán del todo suficientes para afrontar los impactos esperados a corto y medio plazo, fruto de las consecuencias que, el cambio climático tendrá sobre los ecosistemas agrícolas.

Las estrategias de adaptación que se tomen han de tener en cuenta, lógicamente, los cambios esperados según la región agroclimática considerada, ya que nada tendrán que ver las medidas que puedan ser adoptadas en una región de clima continental con las adoptadas en una región con clima boreal. Por ejemplo, y centrándonos en las condiciones de la Península Ibérica, con predominio del clima mediterráneo, la tendencia de cambio augura incrementos de temperatura, disminución de la disponibilidad de agua y precipitaciones más concentradas e intensas. En este caso, los mayores riesgos para los agricultores podrían derivarse de la reducción de las cosechas y los conflictos en el suministro de agua, además de una progresiva degradación de los suelos, debido al impacto que, precipitaciones más intensas puedan tener sobre los suelos labrados, los cuales son fácilmente erosionables.

Así pues, la adaptación implica buscar estrategias a nivel local para responder a un problema de carácter global. Los ámbitos en los que dichas estrategias pueden englobarse en el sector agrario, van desde los medios de la producción agraria y ganadera, estructura del mercado, estado de valoración de riesgos del cambio climático en la explotación o el espacio relativo a los instrumentos públicos de apoyo.

Dentro del ámbito de la producción agraria y ganadera, las medidas de adaptación, pueden agruparse, según el objetivo que persigan en tres ejes fundamentales:

- Capacidad de adaptación de los agro-ecosistemas a las perturbaciones climáticas (resiliencia).
- Cambios en las estrategias de gestión agronómica de los cultivos.
- Diversificación de los medios de subsistencia.

La Tabla 6.1, muestra, de manera general, las medidas que cada uno de los ejes puede contemplar:

Tabla 6.1. Ejes y medidas de adaptación dentro del ámbito del la producción agrícola (En negrita, medidas que suponen la adopción de AC).

Eje	Medidas
Aumento de la resiliencia de los ecosistemas agrarios.	**Medidas de reducción de la erosión del suelo.** **Medidas que aumenten la fertilidad natural del suelo.** **Medidas que ayuden a conservar la humedad edáfica.** **Medidas de reducción de la contaminación difusa por nitratos y fósforo.** **Estrategias de conservación e incremento de la biodiversidad.**
Cambios en las estrategias de gestión agronómica de los cultivos.	Introducción de nuevos cultivos (ciclos más largos en herbáceos y replanteo en leñosos, variedades resistentes al calor, a la sequía y a la salinidad). **Rotaciones de cultivos orientadas a la optimización del uso del agua.** Migración de cultivo a zonas septentrionales. Adelanto de las fechas de siembra. Mejora de la gestión del riego (riegos de apoyo, riegos deficitarios…). Modificación de la estrategia de aplicación de fitosanitarios (aplicación adicional en invierno y reducción de aplicación en verano).
Diversificación de los medios de subsistencia.	Diversificación de cultivos: Introducción de cultivos energéticos en zonas no aptas para cultivos con fines alimentarios. Diversificación hacia actividades no agrícolas: nuevas empresas rurales.

La acción de la Agricultura de Conservación (AC) como sistema de manejo que contribuye a la adaptación de los cultivos al cambio climático, puede enmarcarse en dos de los tres ejes anteriormente mencionados: “Aumento de la resiliencia de los ecosistemas agrarios” y “Cambios en las estrategias de gestión agronómica de los cultivos”.

Se describen a continuación, las evidencias científicas de cada uno de los beneficios medioambientales de la AC, que justifican su papel como medida de adaptación en cada uno de dichos ejes.

Según Lal (2010) la AC constituye una buena estrategia no sólo para mitigar el cambio climático, sino para adaptar los ecosistemas agrarios a sus efectos, al aumentar la resiliencia de los cultivos frente a las variaciones climáticas. Gracias a su implantación, se reduce la erosión, se mejora la calidad y fertilidad de los suelos y se reduce la escorrentía, propiciando que el cultivo disponga de más agua en periodos secos. Todo ello hace que la capacidad de respuesta frente a los cambios climáticos sea mayor y por tanto, los cultivos bajo sistemas de AC tengan una mayor capacidad de adaptación.

6.2. REDUCCIÓN DE LA EROSIÓN

Gracias a la cobertura vegetal que la práctica de la AC provee al suelo, se minimiza el impacto directo de las gotas de lluvia, se favorece el incremento de la infiltración y la reducción de la escorrentía con la pérdida del poder erosivo del agua que esto conlleva. Esta disminución es tanto más efectiva cuanto mayor sea la cobertura del suelo y por tanto, cuanto menor sea el enterrado de los residuos a través de las operaciones de laboreo. Estudios realizados por al AEAC.SV muestran como a partir de un 30% de cobertura de suelo la erosión disminuye, y como con un 60% prácticamente desaparece.

En base a esta premisa, investigaciones realizadas en otros países, certifican reducciones de erosión de más del 90% en el caso de siembra directa (SD) (*Towery, 1998*), y más del 60% en el mínimo laboreo (*Brown et al., 1996*). Estudios más recientes (*Kertész et al., 2010*) muestran reducciones de erosión en SD de hasta el 98,3%.

El mantenimiento de la cubierta vegetal sobre el suelo también cumple un importante papel como freno a la erosión eólica. Según los resultados alcanzados hace ya algún tiempo por Fryear (1985), en un suelo cuya superficie estuvo cubierta en un 20% por restos vegetales, se redujeron las pérdidas de suelo en un 57%. En aque-

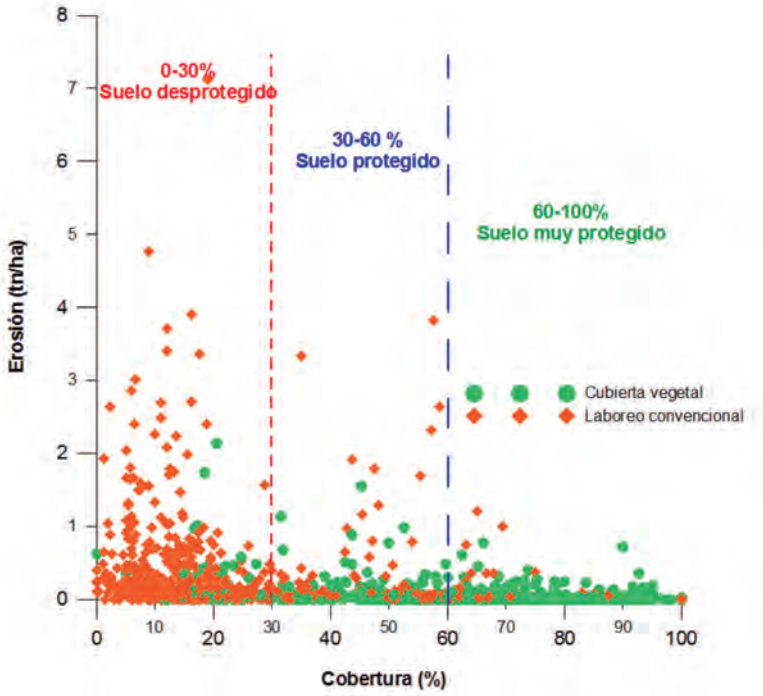


Fig. 6.1. Erosión del suelo en función del porcentaje de superficie cubierta por restos vegetales. Fuente: AEAC.SV.

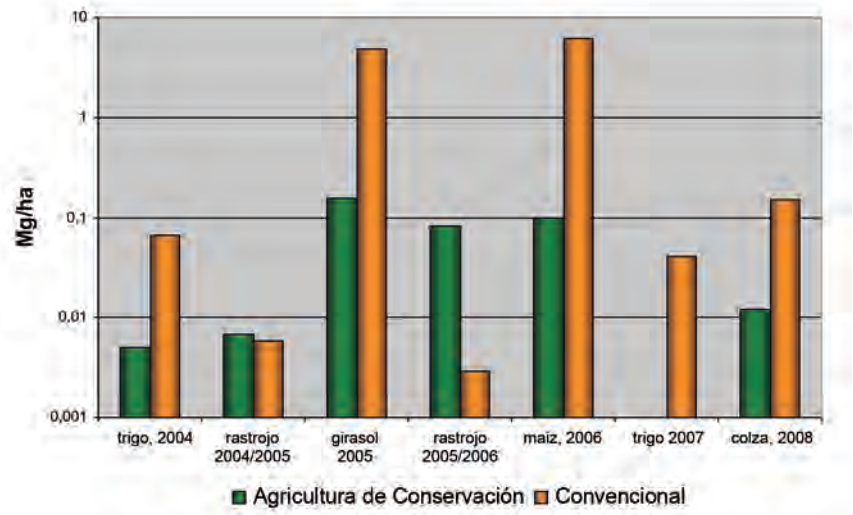


Fig. 6.2. Pérdida de suelo entre los años 2004 y 2008 en parcelas de ensayo con distintos cultivos y manejos de suelo. Fuente: Kertész et a.l. (2010).

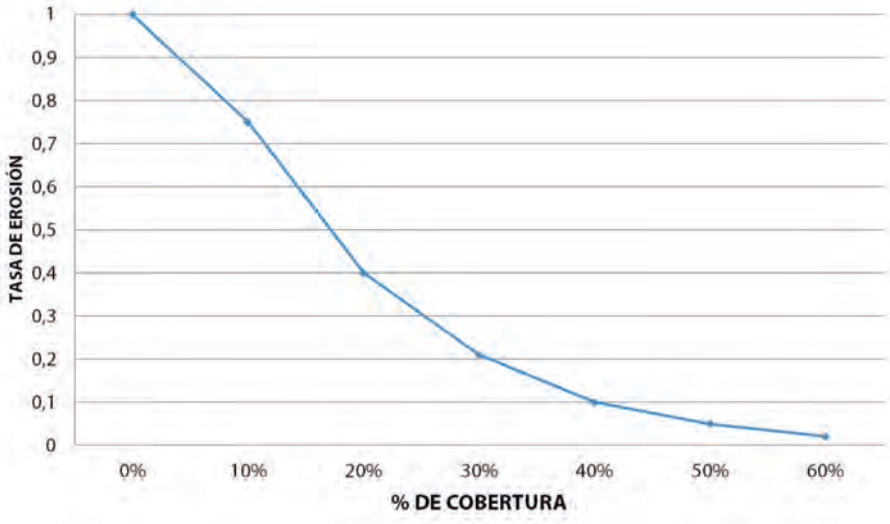


Fig. 6.3. Reducción de la tasa de erosión eólica según el porcentaje de superficie de suelo cubierta. Fuente: Fryrear (1985).

llos suelos cuya superficie estuvo cubierta en un 50% por restos vegetales, se redujo la erosión en un 95% (Figura 6.3).

Respecto a la influencia de las cubiertas vegetales en cultivos leñosos en la reducción de la erosión, son múltiples las investigaciones realizadas en España. Desde estudios en olivar en los que se han observado reducciones medias de erosión de hasta el 80,4% (*Márquez et al., 2013*), pasando por investigaciones en las que se han constatado pérdidas de suelo tres veces inferiores respecto a las parcelas que no tenían implantadas cubiertas entre calles (*Francia et al., 2000, 2006*), a estudios en almendro, con emisiones de sedimentos casi 10 veces superiores en el manejo con laboreo que en las cubiertas (*Martínez Raya et al., 2010*).

6.3. AUMENTO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

La reducción de la erosión que se da gracias a la implantación y desarrollo de la AC, conlleva un aumento en los contenidos de MO en el suelo, que además de constituir la base del efecto sumidero del C, supone una mejora de la calidad de los suelos, por cuanto libera nutrientes a la vegetación, aumenta la fertilidad química y física, favorece el desarrollo de la estructura o agregados, incrementando así la resistencia del suelo frente a la erosión y favoreciendo la infiltración de agua. Además, gracias a la capacidad del humus de retener cationes y de adsorber elementos pesados y nocivos, la MO actúa como un filtro para el agua, mejorando su calidad.

Así pues, está ampliamente comprobado que cuando se cambia de un sistema basado en el laboreo a un sistema de conservación, el contenido de MO aumenta con el tiempo, con todas las consecuencias que ello conlleva *(Giráldez et al., 1995; Smith et al., 2008)*.

Son pues, diversos los trabajos que ponen de manifiesto la incidencia de los sistemas de AC en la fijación de carbono (C) en el suelo y por tanto ganancia de MO. Lacasta et al., (2005) en una finca situada en la provincia de Toledo, encuentra que la SD, después de 21 años, incrementa el contenido de carbono orgánico (CO) de los 25 cm superficiales un 15%. López Fando ***et al.***,(2011), después de 16 años encontraron incrementos de 6,1 t ha^{-1} en el contenido de C respecto a los suelos labrados en los primeros 30 cm de profundidad. Ordóñez ***et al.*** (2007) observaron que, tras más de 19 años de SD en Carmona (Sevilla), incrementos de MO cercanos al 40%, lo que supone un incremento anual del orden de 1 t de CO por ha (Figura 6.5).

En cubiertas vegetales, Márquez ***et al***. (2013) observaron en parcelas de olivar, ganancias de un 45% de MO en los primeros 25 cm de suelo durante 4 años (Figura 6.6).

6.4. CONSERVACIÓN DE LA HUMEDAD EDÁFICA

En relación al balance hídrico del sistema suelo-cultivo, los estudios existentes determinan que los sistemas de AC mejoran la captación, conservación y mejor uso del agua disponible en el suelo por parte de los cultivos, gracias a que se favorece la infiltración, disminuye la escorrentía, se incrementa la capacidad de retención de agua y se reduce la evaporación. Todo ello se con-

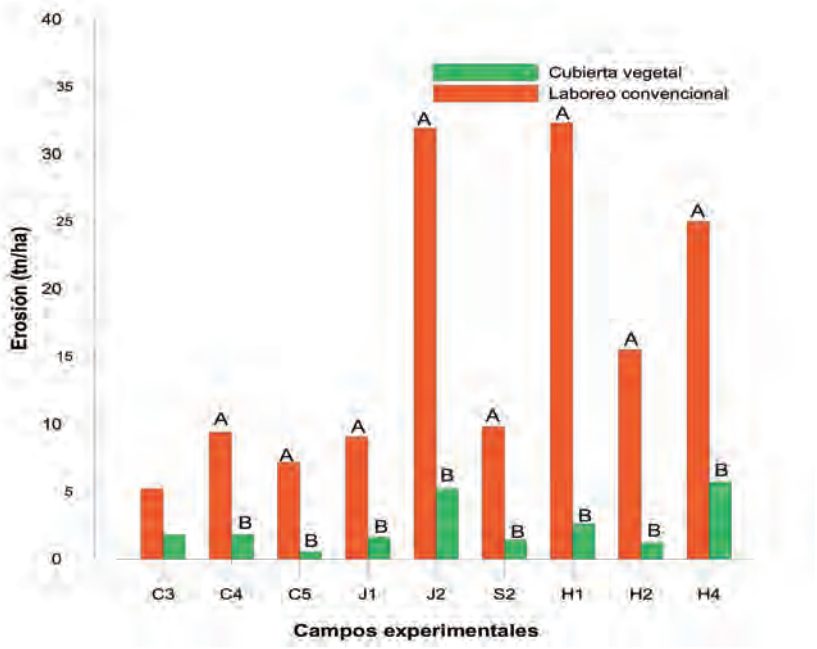


Fig. 6.4. Erosión acumulada en distintas parcelas de ensayo en cultivos leñosos. Fuente: Márquez et al. (2013)

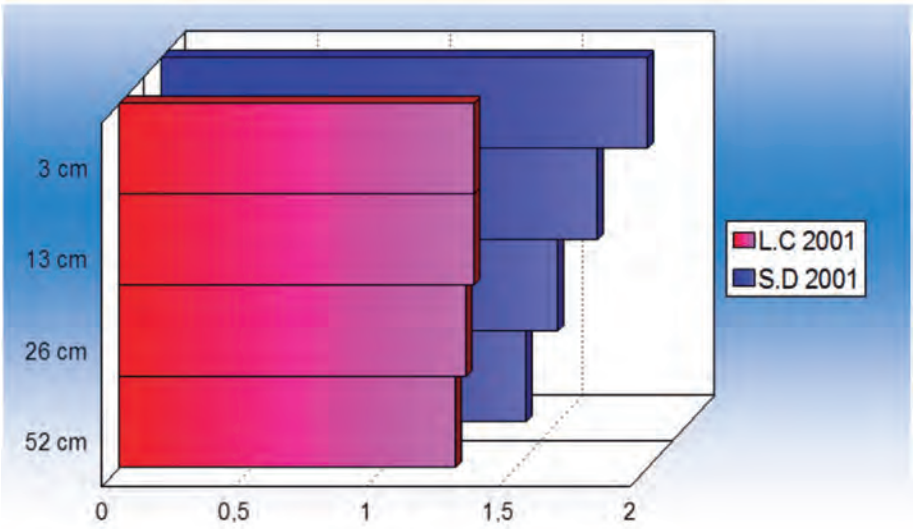


Fig. 6.5. Porcentaje de MO en el perfil de un suelo arcilloso para dos sistemas de manejo de suelo (L.C.: Laboreo Convencional, S.D.: Siembra Directa). Fuente: Ordóñez et al. (2007).

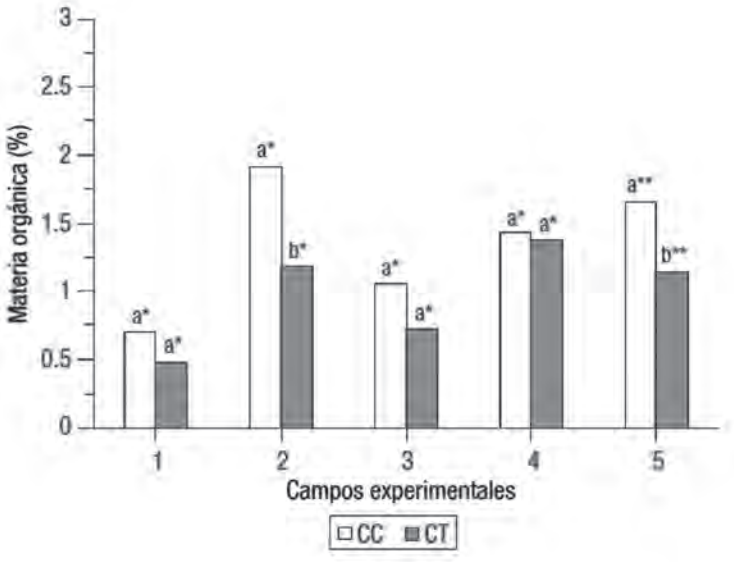


Fig. 6.6. Contenido porcentual de Carbono Orgánico en dos sistemas de manejo en olivar (L.C.: Laboreo Convencional, S.D.: Siembra Directa). Fuente: Márquez et al. (2013).

sigue debido al mantenimiento de restos vegetales en el suelo, que actúan según se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 6.2. Efectos de la cobertura sobre la humedad edáfica.

Efectos	Causas directas	Causas indirectas
Reducción de la evaporación	No incidencia directa de la radiación sobre el suelo húmedo.	
	Reducción de la transferencia turbulenta de vapor a la atmósfera.	
Aumento de la infiltración-reducción de la escorrentía	Mayor retención del agua de lluvia en el manto vegetal.	A través del aumento de MO, se mejora la resistencia a la disgregación y la estructura.
	Protección del suelo frente al sellado que puede provocar el impacto de las gotas de lluvia.	Aumento de la fauna del suelo (lombrices), que generan galerías y poros, favoreciendo la circulación del agua.

Estudios realizados durante 15 años en el Valle del Ebro oriental han mostrado contenidos hídricos en los sistemas de AC ligeramente más elevados que los sistemas de laboreo, especialmente tras la recarga de agua del suelo (entre julio y diciembre), siendo además mayor la recarga en el sistema de no laboreo y menor en un sistema de laboreo intensivo con arado de vertedera (*Cantero-Martínez et al., 2006*).

Muriel (2005) caracterizó la evolución del contenido de humedad del perfil del suelo hasta los 90 cm, en los tratamientos de SD y laboreo convencional (LC) a lo largo de las etapas de desarrollo del cultivo de girasol en un típico suelo de campiña andaluza. Por ejemplo, durante la campaña 2004/05, de extrema sequía (228 mm), los niveles de agua acumulados en el perfil permanecieron muy bajos. Los tratamientos de SD retrasaron la descarga hídrica del perfil, permitiendo al cultivo un aumento del tiempo de disponibilidad de agua, tal como ocurriera en la campaña anterior al llegar el periodo seco (Figura 6.7).

Esta mayor retención de agua se debe en parte a la reducción de la escorrentía, siendo dicha disminución del orden del 67% en SD (*Kertész et al., 2010*) y del 43% en cubiertas vegetales (*Márquez et al., 2010*) (Figura 6.8).

En conjunto, esta mejora en la eficiencia en el uso del agua, representa un factor clave de cara a la adaptación de los cultivos a futuros escenarios climáticos con precipitaciones menos cuantiosas, más erráticas, y mayores temperaturas.

6.5. REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA

Cabría pensar la posibilidad de que los aumentos en la infiltración de agua de lluvia, podrían incrementar el lixiviado de nitrógeno. Los estudios realizados por Kertész *et al.* (2010) en SD y por Márquez *et al.* (2008) muestran como las mejoras estructurales, centradas en una mejor relación entre los macro y microporos del suelo, aumentan la capacidad de retención de los fertilizantes en los poros someros del suelo y facilitan la asimilación de este

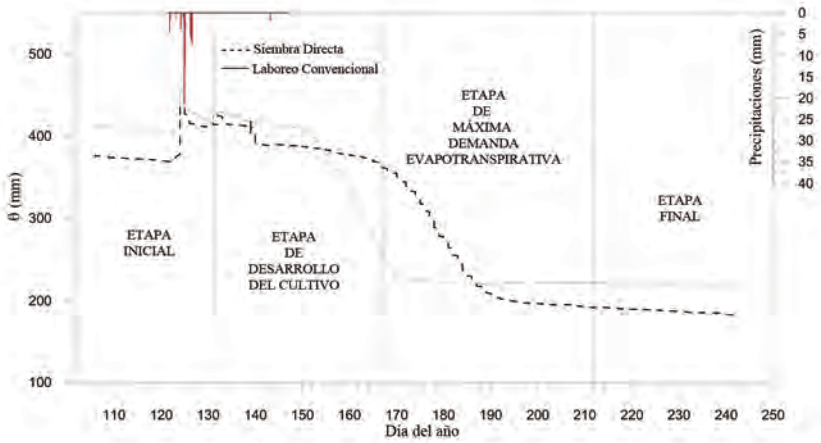


Fig. 6.7. Evolución del contenido de humedad del suelo bajo dos sistemas de manejo de suelo. Fuente: Muriel (2005).

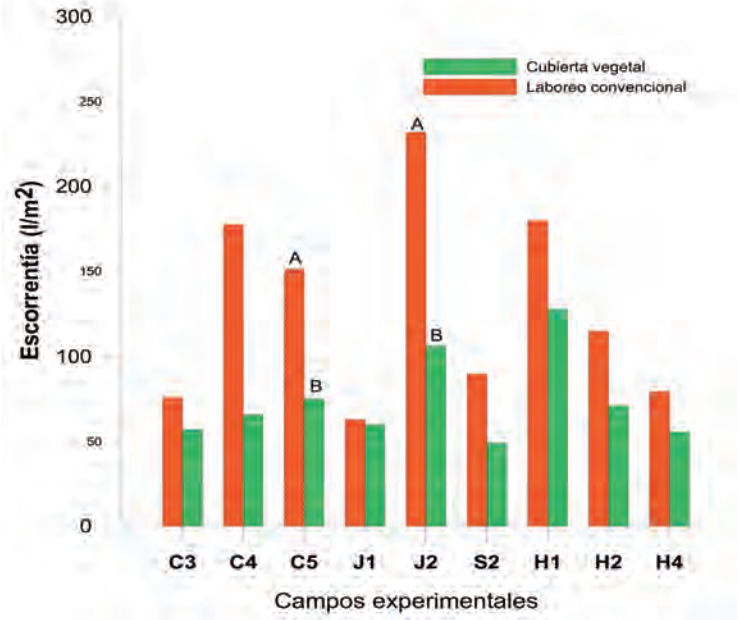
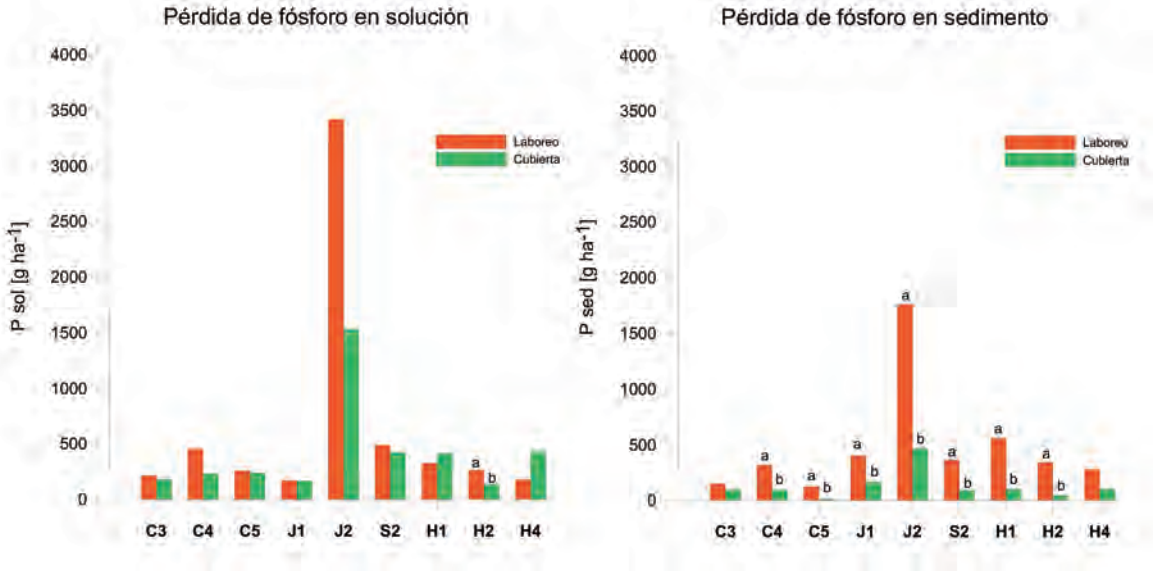


Fig. 6.8. Escorrentía ocasionada en varios campos experimentales de olivar bajo dos sistemas de manejo de suelo. Fuente: Márquez et al. (2010).

Fig. 6.9. Concentración de fósforo en solución y asociado al sedimento en dos sistemas de manejo en olivar. Fuente: Márquez et al. (2008).



elemento por la planta, reduciendo las pérdidas de nutrientes disueltos en escorrentía y adsorbidos en el sedimento.

Según los datos recabados en estas investigaciones, en SD, se reduce la pérdida de nitrógeno casi en un 89%, la de fósforo en un 95,6% y de potasio en casi un 79%. En el caso de las cubiertas, las reducciones con de un 38% en el caso del nitrógeno, un 52% en el caso del fósforo (Figura 6.9) y de un 57% en el caso del potasio.

En relación al nitrógeno, Goss *et al*., (1993), comprobaron como en parcelas manejadas bajo SD, las pérdidas por lixiviado se redujeron con respecto a las parcelas labradas, en un 21% (Figura 6.10). Aproximadamente el 95% del nitrógeno estaba presente en el agua infiltrada en las parcelas labradas, lo que da a entender que la mayor parte de este elemento se lixivió.

De la comparación de la SD con el laboreo convencional se ha comprobado también que el transporte de herbicidas en las aguas superficiales se reduce un 70%, el de sedimentos en un 93% y la escorrentía se ve también reducida en un 69% (ECAF, 1999). **Fruto de ello, en experiencias bajo siembra directa en cultivos de secano, se han constatado incrementos de agua en el suelo entre un 2% y un 18%.** Todos estos datos nos hacen ver que las técnicas de AC (SD y laboreo de conservación) evitan en gran medida la contaminación de las aguas, mejorando su calidad.

Así pues, el empleo de AC, retiene en gran medida los fertilizantes y productos fitosanitarios en la zona en que fueron aplicados, hasta que son utilizados por el cultivo o descompuestos en otros componentes inactivos. Así, las técnicas de conservación no sólo reducen muy considerablemente la escorrentía, sino que también propician una fuerte disminución de la cantidad de abonos, herbicidas, etc., disueltos en el agua de escorrentía o adsorbidos en el sedimento.

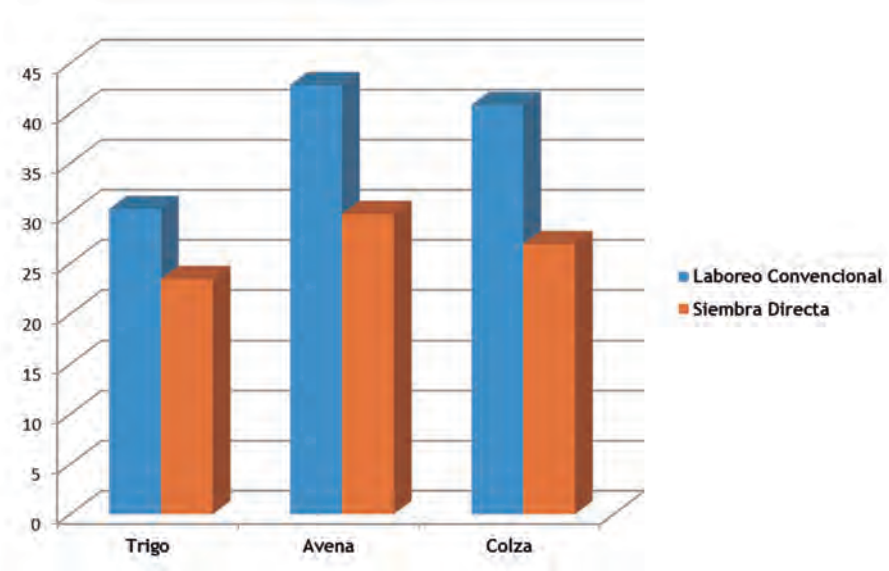


Fig. 6.10. Efectos de los sistemas de manejo de suelo sobre la cantidad de Nitrógeno lixiviado (kg ha^{-1}). Fuente: Goss et al. (1993).

6.6. CONSERVACIÓN Y MEJORA DE LA BIODIVERSIDAD

Los sistemas agrícolas con abundantes restos de cosecha sobre el suelo proveen alimento y refugio a muchas especies animales durante períodos críticos de su ciclo de vida. De ahí que con la AC prosperen gran número de especies de pájaros, pequeños mamíferos, reptiles, y lombrices, entre otros.

Asimismo, la agricultura de conservación permite el desarrollo de una estructura viva en el suelo, más estratificada, más rica y diversa en organismos tales como microorganismos, nematodos, lombrices e insectos. La gran mayoría de las especies que constituyen la fauna del suelo son beneficiosas para la agricultura y contribuyen de alguna forma a la formación del suelo, a la movilización de nutrientes y al control biológico de los organismos considerados como plagas.

Así, en estudios realizados en sistemas cerealistas bajo condiciones semiáridas en clima mediterráneo, López-Fando y Bello (1995) encontraron que la abundancia total de nemátodos bajo SD fue significativamente mayor en todos los tratamientos, siendo el aumento medio de la población de un 38% de media en 1.000 cm^3 de suelo.

Las poblaciones de microartrópodos del suelo también se ven incrementadas cuando se llevan a cabo prácticas de AC, al producir menos alteraciones en la estructura, temperatura y humedad del suelo (*Kautz et al., 2006*).

En el caso de lombrices, en ensayos realizados en nuestro país, en SD se han alcanzado 200 individuos por metro cuadrado en los primeros 20 cm de suelo, frente a los escasos 30 individuos en agricultura convencional (*Cantero et al., 2004*). En SD, esta cifra equivale a unos 600 kg de biomasa por hectárea, casi un 700% más que en convencional.

6.7. OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL AGUA MEDIANTE ROTACIONES

Uno de los pilares fundamentales en los que se basa la implantación y desarrollo de la SD, es la programación de rotaciones o diversificación de cultivos en cultivos anuales. De esta forma, se controlan mejor plagas y enfermedades, rompiendo ciclos que se mantienen en monocultivos, además de incorporar cultivos que puedan mejorar la fertilidad natural del suelo y la biodiversidad.

Pero la rotación de cultivos no sólo aporta beneficios en la gestión optimizada del agua y de la humedad edáfica, sino que además ofrece otras ventajas que contribuyen a que el ecosistema agrario, esté más y mejor preparado para los escenarios climáticos que se den fruto del calentamiento global, y por tanto, sea más sostenible. En este sentido, pueden destacarse las siguientes ventajas:

Los cultivos que rotan, al explorar distintos horizontes edáficos y tener necesidades hídricas diferentes, promueven sinergias entre ellos, favoreciendo que, en el cómputo global, las producciones sean mayores a medio y largo plazo.

La rotación se utiliza para reducir las plagas y las enfermedades en el sistema de cultivo y para controlar las malas hierbas.

Las rotaciones también pueden dar beneficios en términos de mejor calidad del suelo (raíces más profundas, exudados radiculares), mejor distribución de los nutrientes en el perfil del suelo (cultivos de raíces profundas movilizan nutrientes situados a más profundidad) y aumento de la actividad biológica.

A través de las rotaciones, los periodos de alta demanda de trabajo pueden reducirse, distribuyéndose mejor el trabajo a lo largo del año, si los momentos de siembra y cosecha son diferentes en los distintos cultivos utilizados en la rotación.

Las rotaciones de cultivos pueden disminuir el riesgo creado por eventos climáticos extremos tales como sequías o inundaciones y sus efectos, ya que su incidencia no afecta por igual a cada tipo de cultivo. En este caso, la rotación representa una manera de diversificar el riesgo.

Las rotaciones de cultivos pueden equilibrar la producción de restos vegetales mediante la alternancia de cultivos que producen pocos y/o restos fácilmente degradables con cultivos que producen muchos restos y/o duraderos.

Por todo ello, la rotación de cultivos promovida por la SD, aumenta la resiliencia del ecosistema agrario, mejorando de manera general las propiedades del suelo a la par que incrementando el potencial del cultivo para obtener mayores rendimientos.

6.8. REFERENCIAS

Brown, L.; Donaldson, G. V.; Jordan, V. W. L. y Thornes, J. B. (1996). Effects and interactions of rotation, cultivation and agrochemical input levels on soil erosion and nutrient emissions. Aspect of Applied Biology 47, *Rotations and Cropping Systems*, 409-412.

Cantero, C. Ojeda, L., Angás, P. y Santiveri, F. (2004). Efectos de las técnicas de laboreo de suelo sobre la población de lombrices en zonas de secano semi-árido. Agricultura. Nº 866: 724-729.

Cantero-Martínez, C.; Westfall, D. G.; Sherrod, L. A.; Peterson, G. A. (2006). Long-term crop residue dynamics in no-tilt cropping systems under semi-arid conditions. *Journal of Soil and Water Conservation* 61: 84-95.

ECAF (1999). Conservation Agriculture in Europe: Environmental, Economic and EU Policy Perspectives. Córdoba (España): European Conservation Agriculture Federation.

Francia, J. R.; Martínez, R. A.; Ruiz, G. S. (2000). Erosión en suelo de olivar en Fuertes pendientes. Comportamiento de distintos manejos de suelo. Edafología 7: 147-15.

Francia, J. R.; Durán, Z. V. H.; Martínez, R. A. (2006). Environmental impact from mountanious olive orchards under different soil-management systems (SE Spain). *Science of the Total Environment* 358: 46-60.

Fryrear, D. W. (1985). Soil Cover and Wind Erosion. Transactions of the ASAE. 28 (3): 0781-0784.

Giráldez, J. V., González, P. Ordóñez, R., de Haro J. M., y Laguna, A. (1995). Nutrient enrichment and straw evolution under reduced tillage in heavy clay soils of southern Spain. En: Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries. F. Tebrügge y A. Böhrnsen (Ed.) Actas de la II Reunión 15-17 Mayo Silsoe. Giessen. ISBN 3-930600-46-3: 69-80.

Goss, M. J.; Howse, K. R.; Lane, P. W.; Christian, D. G.; Harris, G. L. (1993). Losses of nitrate-nitrogen in water draining from under autumn-sown crops established by direct drilling or mouldboard ploughing. Journal of Soil Science, 44: 35–48. doi: 10.1111/j.1365-2389.1993.tb00432.x

Kautz, T.; López-Fando, C.; Ellmer, F. (2006). Abundance and biodiversity of soil microarthropods as influenced by different types of organic manure in a long-term field experiment in Central Spain. Applied Soil Ecology 33: 278–285.

Kertész, A.; Madarász, B.; Csepinszky, B.; Bádonyi, K. (2010). Conservation agriculture as a tool against soil erosion and for improving biodiversity. Proceedings of the European Congress on Conservation Agriculture. ISBN: 978-84-491-1038-2. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Asociación Española Agricultura de Conservación / Suelos Vivos: 501-506.

Lacasta Dutoit, C.; Meco Murillo, R.; Maire, N. (2005). Evolución de las producciones y de los parámetros químicos y bioquímicos del suelo, en un agrosistema

de cereales, sometidos a diferentes manejos de suelo durante 21 años. Actas I Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación. ISBN 84-930144-4-3. Asociación Española Agricultura de Conservación / Suelos Vivos: 429-436.

Lal, R. (2010). Enhancing Eco-efficiency in agro-ecosystems through Soil Carbon Sequestration. *Crop Science* 50: 120-131.

López-Fando C.; Pardo, M. T. (2011). Soil carbon storage and stratification under different tillage systems in a semi-arid region. *Soil & Tillage Research* 111, 224–230.

López-Fando, C.; Bello, A. (1995). Variability in soil nematode populations due to tillage and crop rotation in semi-arid Mediterranean agrosystems. *Soil & Tillage Research* 36: 59-72.

Marquez-Garcia, F.; Gonzalez-Sanchez, E. J.; Castro-Garcia, S.; Ordoñez-Fernandez, R. (2013). Improvement of soil carbon sink by cover crops in olive orchards under semiarid conditions. Influence of the type of soil and weed. *Spanish Journal of Agricultural Research* 11(2), 335-346.

Márquez, F.; Ordóñez, R.; Gil Ribes, J.; González, E.; Gómez, M. (2010). Implantación de cubiertas vegetales en olivar como sistema d conservación y mejora del agua. Proceedings of the European Congress on Conservation Agriculture. ISBN: 978-84-491-1038-2. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Asociación Española Agricultura de Conservación / Suelos Vivos: 545-554.

Márquez, F.; Giráldez, J. V.; Repullo, M. A.; Ordóñez, R.; Espejo, A. J. y Rodríguez, A. (2008). Eficiencia de las cubiertas vegetales como método de conservación de suelo y agua en olivar. VII Simposio del Agua en Andalucía. Baeza (España). pp. 631-641.

Martínez Raya, A.; Cárceles Rodríguez, B.; Francia Martínez, J. R. (2010). Manejo de los suelos en cultivos leñosos en pendiente: efecto de las cubiertas vegetales en la conservación de agua y suelo. En González Sánchez, E.J.; Ordóñez Fernández, R. Gil Ribes, J.A. Aspectos agronómicos y medioambientales. Agricultura de Conservación: 45-54. Madrid. Eumedia, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Muriel, J. L.; Vanderlinden, K.; Perea, F.; Jiménez, J. A.; García, I.; Pérez, J. J. (2005). Régimen hídrico en suelos arcillosos de campiña sometidos a distintos sistemas de manejo. Actas I Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación. ISBN 84-930144-4-3. Asociación Española Agricultura de Conservación / Suelos Vivos: 537-542.

Ordóñez Fernández, R; González Fernández, P.; Giráldez 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.

Smith, P.; Martino, D.; Cai, Z.; Gwary, D.; Janzen, H.; Kumar, P.; McCarl, B.; Ogle, S., O'Mara, F.; Rice, C.; Scholes, B.; Sirotenko, O.; Howden, M.; McAllister, T.; Pan, G.; Romanenkov, V.; Schneider, U.; Towprayoon, S.; Wattenbach, M.; Smith, J. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. Philosophical *Transactions of the Royal Society of London*, Series B 363, 789–813.

Towery, D. (1998). No-till´s impact on water quality. En: 6º Congreso Nacional Argentino sobre Siembra Directa (AAPRESID): 17-26, Mar de Plata, Argentina.

CAPÍTULO 7

BENEFICIOS DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN UN ENTORNO DE CAMBIO CLIMÁTICO

AEAC.SV
Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos

7.1 INTRODUCCIÓN

La agricultura es un sector fundamental que proporciona alimentos, tanto para las personas como los animales, produce fibras para el sector textil, y otros muchos productos y servicios indispensables para el mantenimiento de la humanidad como especie. Como cualquier actividad económica, la agricultura está ligada al entorno natural y social en el que se desarrolla, e interactúa con éste, causándole beneficios o daños.

En este contexto, el concepto de sostenibilidad ligado a cualquier actividad llevada por la humanidad comienza a extenderse de manera amplia por todo el mundo, en respuesta a los problemas que genera un modelo de desarrollo basado en la explotación intensiva de los recursos naturales. Según el Informe Brundtland (1987) de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, desarrollo sostenible es aquel que "satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas propias". En este sentido, hace ya décadas que el movimiento en favor de la protección del medio ambiente se centró de forma especial en la sostenibilidad. En aquellos años, el concepto se entendía en una única vertiente en la que el medio ambiente y el desarrollo sostenible constituían una unidad indisoluble.

En la actualidad la aproximación al tratamiento de la sostenibilidad de la agricultura desde un enfoque multidimensional resulta imprescindible para lograr un equilibrio entre la preservación y mejora del medio ambiente, la equidad social y la viabilidad financiera y económica y redundar así en el bienestar de todos los sectores de la sociedad.

Desde la perspectiva medioambiental toda práctica agrícola que contribuya a conservar y mejorar los recursos naturales de los que el sector agroalimentario hace uso, así como a realizar un uso racional de éstos, permitirá la mejora de la calidad medioambiental de los ecosistemas, la preservación de la biodiversidad y la conservación de los recursos genéticos. Al mismo tiempo no hay que olvidar que la agricultura genera paisajes considerados sistemas de alto valor ambiental y modelos de gestión sostenible.

Desde la perspectiva económica, cualquier sistema que se implante ha de permitir el desarrollo económico del sector y que tanto las explotaciones agropecuarias, como las industrias agrarias y los distintos agentes de la cadena agroalimentaria desarrollen una actividad competitiva y rentable. Es por ello que cualquier iniciativa que persiga la sostenibilidad en este sentido ha de basarse en tres pilares fundamentales que son el ahorro de costes, el mantenimiento de los niveles productivos y el incremento de ingresos.

Desde la perspectiva social, íntimamente ligada a la económica, se persigue mantener la actividad en los núcleos de población rurales cuya principal fuente de ingresos es el sector agroalimentario. Deben ser consideradas aquí múltiples vertientes: por una parte las comunidades que se sustentan sobre este sector encontrando en él su medio de vida (generación de empleo que repercute en el rejuvenecimiento y la profesionalización de la población rural), y por otra la responsabilidad del sector agroalimentario en cuanto a la seguridad alimentaria de los alimentos que proporciona a la sociedad. Igualmente no debe olvidarse que una agricultura sostenible perdurable en el tiempo implica la conservación y protección del legado cultural ligado a ella en el que la preservación y mantenimiento de las tradiciones son la clave para mantener la identidad local.

Por tanto hoy es necesaria una agricultura que siga siendo rentable y competitiva, al tiempo que fundamentada en la optimización de los recursos disponibles y la adaptación a los entornos agroambientales en los que se haya imbricada, haciendo frente a los desafíos planteados por el cambio climático.

Desde el punto de vista técnico hay soluciones para lograr una gestión más sostenible de los recursos y aumentar la sostenibilidad de los procesos, como la Agricultura de Conservación, que tal y como se irá desgranando a lo largo del capítulo, ofrece a los ecosistemas agrarios beneficios tanto en el plano medioambiental, como en el económico y social, contribuyendo a la sostenibilidad del sector en su conjunto.

7.2. BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES

El manejo de cultivos bajo la práctica de Agricultura de Conservación (AC) supone una mejora medioambiental considerable de los ecosistemas agrarios, sin que ello implique una merma en los rendimientos productivos de las explotaciones, tal y como se verá más adelante. Independientemente de los beneficios para el medioambiente, carecería de sentido permitir la puesta en práctica de las técnicas de AC si no constituyeran un sistema de producción viable desde el punto de vista económico y social.

Centrándonos en el aspecto medioambiental, la AC supone beneficios claros para suelo, aire y agua (Tabla 7.1).

Tabla 7.1. Principales beneficios medioambientales de la Agricultura de Conservación.

Para el suelo	Reducción de la erosión.
	Incremento del contenido de materia orgánica.
	Mejora de la estructura y porosidad.
	Mayor biodiversidad.
	Incremento de la fertilidad natural del suelo.
Para el aire	Fijación de carbono.
	Menor emisión de CO_2 a la atmósfera.
Para el agua	Reducción de la escorrentía.
	Mejora de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.
	Incremento de la capacidad de retención de agua.

A continuación se exponen los principales beneficios medioambientales de la AC sobre cada uno de los recursos naturales considerados y que justifican su adopción por parte del agricultor.

7.2.1. Beneficios para el suelo

7.2.1.1. Reducción de la erosión

La degradación de los suelos agrarios debido a los procesos de erosión y compactación es posiblemente el principal problema ambiental causado por la agricultura basada en el laboreo. En Europa, 106 millones de hectáreas están afectadas por la erosión hídrica, lo que representa el 16% de la superficie europea (excluyendo Rusia), y 42 millones de hectáreas están afectadas por la erosión eólica. Casi en el 20% de la superficie europea se producen pérdidas de suelo que exceden las 10 t ha^{-1} $año^{-1}$ (*Jones et al., 2012a*). Estudios realizados por el Joint Research Centre (*Bosco et al., 2015; Jones et al., 2012b*) utilizando la ecuación universal de pérdida de suelos revisada (RUSLE), han estimado pérdidas medias

de suelo por erosión hídrica de 2,76 t ha^{-1} $año^{-1}$ para la UE-27. Dichos estudios mostraron que las medias de erosión en los países de la cuenca mediterránea son significativamente superiores a la media global, tal y como se muestra en la figura 7.1. Lo más destacable de ello, es que a nivel europeo, algo más del 7% de las tierras cultivadas, están afectadas por un riesgo de erosión de moderado a alto. En este contexto, si tenemos en cuenta baja tasa de formación de suelo, cualquier pérdida de suelo superior a 1 t ha^{-1} $año^{-1}$, puede ser considerada como irreversible durante un periodo de entre 50 y 100 años (*Huber et al., 2008)*.

Las prácticas agrícolas juegan un importante papel en el control de la erosión. Por ejemplo, las tasas de pérdida de suelo se reducen de manera exponencial con el incremento de cobertura vegetal del suelo (*Gyssels et al., 2005*). Es por ello que el mantenimiento de los restos de cosecha del cultivo anterior sobre el suelo, actúa como una capa protectora. Al cubrir el suelo, se disipa la energía de las gotas de agua de la lluvia, minimizando el impacto directo sobre el suelo, evitando así su disgregación, reduciéndose la escorrentía, evitando así la pérdida de suelo. Además, la descomposición de las raíces propician la apertura de canales que favorecen una mayor infiltración reduciendo la escorrentía, y por tanto, sus procesos erosivos asociados (*Martínez Raya, 2005*). La efectividad de la protección del suelo contra la erosión será tanto más eficaz cuanto mayor sea la cobertura del suelo y, por tanto, cuanto menor sea el enterrado de los restos vegetales a través de las operaciones de laboreo.

En general, aunque existen variaciones en función del tipo de suelo y condiciones locales, en la literatura científica existe un amplio consenso en concluir que las técnicas de conservación (siembra directa, cubiertas vegetales) reducen la erosión del suelo de manera significativa, datándose tasas de reducción de hasta un 90% en comparación con el laboreo convencional (LC) (*Towery, 1998*). Concretamente, en estudios llevados a cabo en el área mediterránea, Gómez *et al.*, (2004), encontraron que la implantación de AC redujo un 20% la probabilidad de que se produjeran pérdidas de suelo en un rango de entre 5 y 12 t ha^{-1} $año^{-1}$.

Otros estudios a nivel europeo, se han centrado en como las prácticas de AC influyen en el factor C (Factor ordenación de los cultivos (cubierta vegetal), adimensional) de la ecuación de pérdida de suelo (RUSLE), determinando que la aplicación de técnicas de siembra directa (SD) o cubiertas vegetales (CV) puede reducir su valor de media en un 19,1% (*Panagos et al., 2015*), con lo que ello supone en el descenso del cálculo de pérdida de suelo. La figura 7.2 muestra la reducción que se da en el factor C gracias a la presencia de restos vegetales y de CV en los países de la UE.

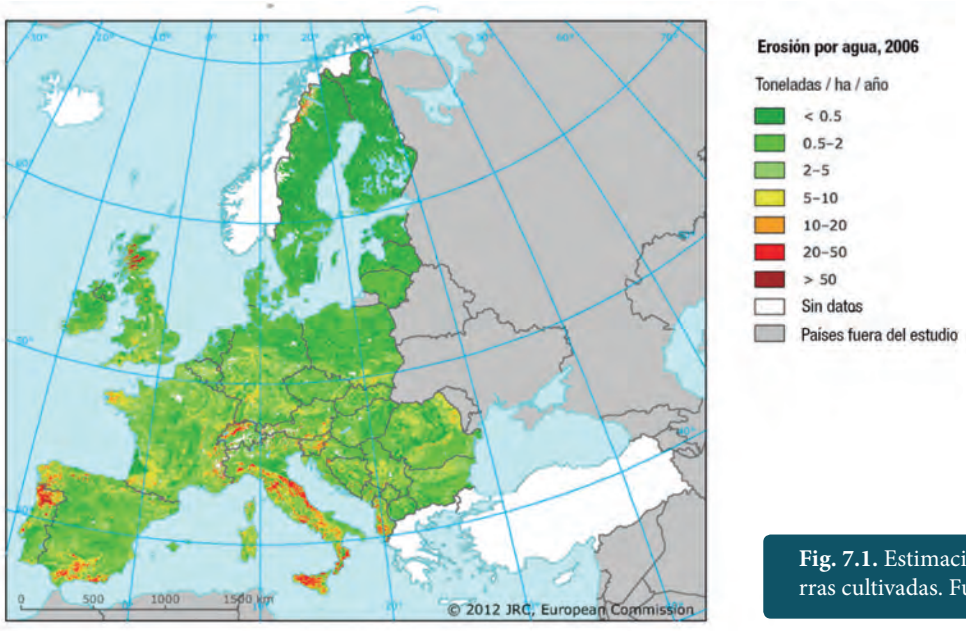


Fig. 7.1. Estimación de la erosión del suelo en tierras cultivadas. Fuente: JRC/ Bosco et al., (2015).

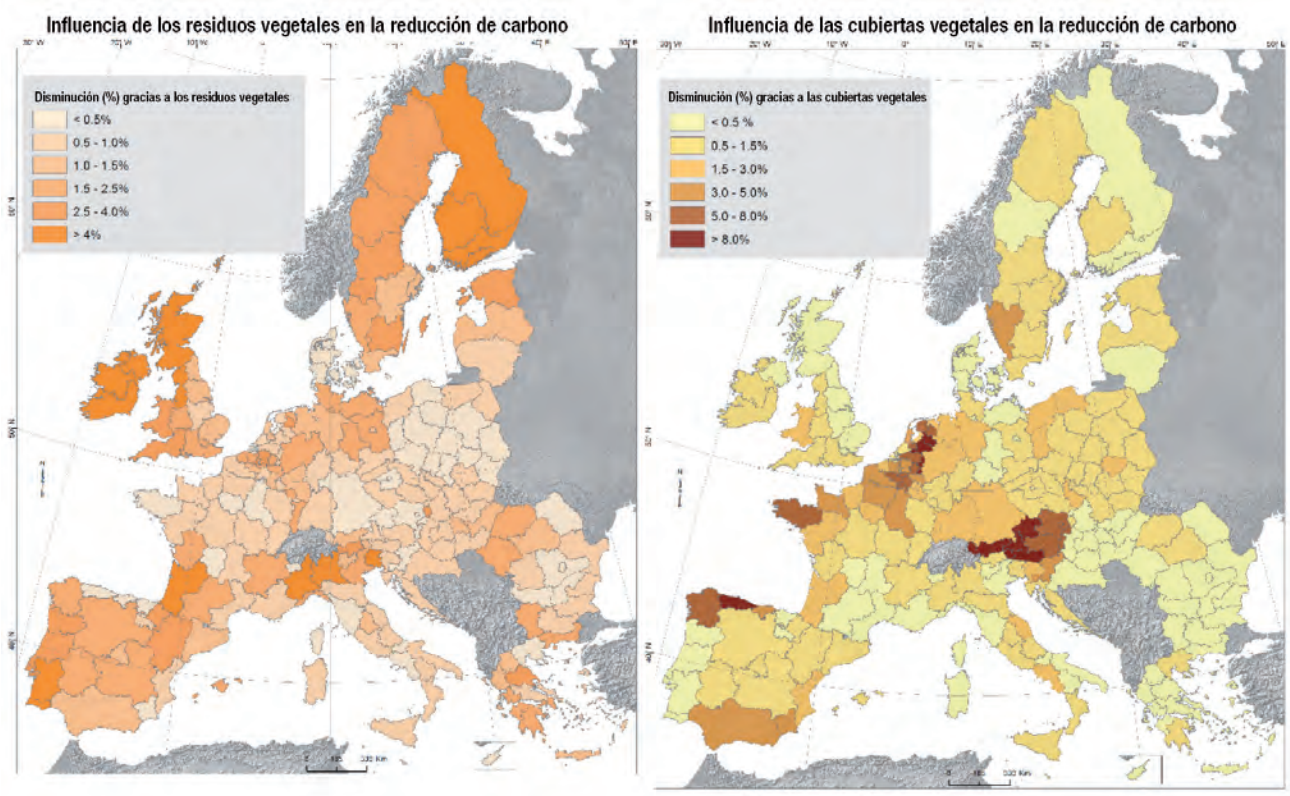


Fig. 7.2. Influencia del tipo de prácticas de laboreo y cubiertas vegetales en el factor C de la ecuación de la RUSLE. Fuente: Panagos et al., (2015).

7.2.1.2. Incremento del contenido de materia orgánica

El volteo del suelo que provoca las operaciones de laboreo aumenta el flujo de CO_2 a la atmósfera, disminuyendo el contenido de materia orgánica (MO) del suelo (*Schlsinger y Andrews, 2000; Lal, 2004; Álvaro-Fuentes et al., 2007; Cabrera, 2007; Lopez-Garrido et al., 20109*). En suelos cultivados, la MO puede ir disminuyendo progresivamente, una gran parte se retira anualmente (cosecha) y buena parte se pierde por mineralización, si el laboreo es muy agresivo, como el que ocasiona el volteo del suelo en LC (*Wallace, 1994; Causarano et al., 2008*).

La pérdida de MO de un suelo, además de un efecto negativo para el equilibrio entre los diferentes reservorios de carbono, afecta también a la calidad y fertilidad de los propios suelos, y su fertilidad puede verse seriamente comprometida. Esto se debe a la gran influencia de la MO sobre las propiedades del suelo: físicas, químicas y biológicas, necesarias para el desarrollo de sus funciones (*Bauer y Black, 1994; Magfoff y Weil, 2004*).

Para la fertilidad física de un suelo es fundamental la MO ya que interviene en la formación y estabilidad de agregados (*Gajri et al., 2002*). Es considerada fuente de energía para plantas y organismos del suelo (*Brady y Weil, 2002*). La cantidad, diversidad y actividad de la macro y meso fauna del suelo y microorganismos está directamente relacionada con cantidad de MO (*González et al., 2004*).

La MO es un indicador del estado de salud del suelo. Contenidos altos, mejoran la cohesión entre los diferentes elementos del terreno, lo que aumenta la fuerza de

unión de los mismos. En la AC, los restos de cosecha se van degradando lentamente lo que se traduce en un aumento del contenido de MO del suelo. El aumento en los primeros centímetros del perfil incrementa las reservas de nutrientes (*González, 1997; Rhoton, 2000*), que pueden ser liberados paulatinamente a un ritmo diferente al de los suelos labrados (*Fox y Bande, 1987*).

Según Girádez *et al.*, (2003), en un estudio en el que se evaluaba el contenido de MO del suelo en función del manejo de este, comprobaron que el contenido de MO se incrementaba en todo el perfil, respecto al sistema de LC en el que se reducía su porcentaje. Además, el tipo y cantidad de rastrojo en superficie y la climatología de la zona, son las causas principales que inducen la diferente cuantía y distribución en el perfil del suelo de la MO (*Giráldez et al., 2003*).

7.2.1.3. Mejora de la estructura del suelo

El deterioro global de la estructura edáfica se debe a que la compactación del suelo limita el crecimiento de las raíces, la capacidad de almacenamiento, la fertilidad, la actividad biológica y la estabilidad. Es por ello que, la compactación del suelo constituye una de las principales amenazas para el suelo identificada en la Estrategia Temática para la Protección del suelo (COM (2002) 179 final). Además, si las precipitaciones son fuertes, es imposible que el agua se filtre fácilmente en el suelo. En consecuencia, el elevado volumen de aguas de escorrentía incrementa el riesgo de erosión y, según algunos expertos, ha sido uno de los factores desencadenantes de algunas de las últimas inundaciones en Europa (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2001. Uso sostenible del agua en Europa). La compactación del suelo se da cuando está sometido a una presión mecánica fruto del uso de maquinaria pesada y del pastoreo excesivo, especialmente si el suelo está húmedo (*Huber et al., 2008*).

Otro de los factores que afecta a la estructura del suelo es la formación de costras superficiales, las cuales son responsables de la pérdida de la estabilidad estructural edáfica (*Micó et al., 2006*).

La puesta en práctica de AC implica una serie de beneficios sobre las propiedades físicas del suelo, que contribuye a la mejora de la estructura del suelo. Así pues, al mantenerse el suelo inalterado gracias a la supresión de las operaciones de laboreo, se favorece la generación de galerías producto de la degradación de las raíces, que junto a la cantidad superior de lombrices en un suelo bajo AC, forman lo que se conoce como bioporos. Éstos son canales preferenciales por los que al agua infiltra en profundidad.

Además, según López-Garrido, (2010), gracias a la AC, se mejora las propiedades relativas a la estructura del suelo, como distribución de tamaño de agregados, diámetro medio ponderado e índice de agregación. También mejora la estabilidad de los agregados de 1-2 mm de diámetro en húmedo, sólo en caso de no laboreo.

Por otro lado, está comprobado que la MO es capital en todos los procesos que se dan en el suelo y en su calidad, ya que mejora su estructura, fertilidad y capacidad de almacenamiento de agua, siendo por ello ampliamente aceptado como un indicador de la calidad del suelo (*Podmanicky et al., 2011*). El incremento en el contenido de MO en el suelo, mejora su estructura y favorece la estabilidad estructural. Es por ello, que la AC, debido al aumento de MO que su práctica implica, contribuye a la mejora estructural del suelo.

7.2.1.4. Mayor biodiversidad

La biodiversidad del suelo tiende a ser mayor en los bosques que en las praderas y en los suelos naturales sin

alterar que en los cultivados. La puesta en labor de un terreno con vegetación natural implica una serie de cambios en el suelo. La intensificación de la actividad agraria, derivada de la aplicación de la agricultura convencional, conlleva una potenciación de esos cambios, afectando decisivamente a la biodiversidad de los habitantes del suelo, entre los que se incluye la fauna epígea, que tiende a desaparecer.

Los suelos agrícolas bajo AC en términos de biodiversidad se pueden considerar intermedios entre los dos extremos anteriormente comentados (*Kladivko, 2001*). Gracias a la presencia de restos de cosecha en el suelo en el caso de la SD, o la existencia de una CV en cultivos leñosos, la práctica de AC supone que en el suelo se den las condiciones para proveer de alimento y refugio a muchas especies animales durante períodos críticos de su ciclo de vida, de ahí que prosperen gran número de especies de pájaros, pequeños mamíferos, reptiles, y lombrices, entre otros.

El análisis de investigaciones tanto propias como ajenas realizado por López-Fando (2010), ponen de manifiesto la gran importancia de la caracterización de las poblaciones de microflora y fauna edáfica, con especial referencia al estudio de su función en los diferentes niveles de organización en el sistema trófico. En particular, la dinámica estacional y estructura de las comunidades de organismos del suelo acusan los cambios de uso. Estos estudios han mostrado que la AC puede ser un medio eficaz para conservar y potenciar la biodiversidad.

Además de las investigaciones mencionadas en el capítulo correspondiente a las propiedades de la AC para favorecer la adaptación de los cultivos a los efectos del cambio climático a través de la mejora de la resiliencia del suelo, existen otras que estudian la influencia de la aplicación de AC sobre la micro, meso, macro y mega fauna. En la tabla 7.2 se dan algunas cifras del incremento de población que se da en diferentes tipos de organismos vivos con la aplicación de AC:

Tabla 7.2. Incremento en la población de diferentes tipos de organismos vivos gracias a la implantación de Agricultura de Conservación.

Tipo de fauna	Filo/ clase/ animal estudiado	Práctica de Agricultura de Conservación	Incremento	Fuente
Microfauna.	Nematodos.	Siembra Directa	++	López-Fando y Bello (1995)
	Ácaros.	Siembra Directa	+	Perdue y Crossley (1989)
Macrofauna.	Clitellata (lombrices de tierra).	Siembra Directa	+++	Cantero et al., (2004)
	Arácnidos.	Cubierta Vegetal	++	Campos et al., (2002)
	Colémbolos.	Siembra Directa	++	Shearin et al., (2007)
	Malacostraca (cochinilla de humedad).	Siembra Directa	+++	Alfaress (2002)
	Miriápodos.	Siembra Directa	+	Wolters y Ekschmitt (1997)
	Moluscos (caracoles y babosas).	Siembra Directa	+	Wolters y Ekschmitt (1997)
Megafauna.	Aves esteparias (sisón común).	Siembra Directa	++	Cantero-Martínez et al., (2007)

7.2.1.5. Incremento de la fertilidad natural

La degradación o pérdida de la calidad y cantidad de suelo está condicionada por la ocurrencia de diversos procesos como la erosión, la salinización, la contaminación, drenaje, acidificación, pérdida de la estructura, compactación o una combinación de ellos. Una gestión inadecuada del uso del suelo por parte del hombre puede desembocar en la ocurrencia de uno o de varios de estos procesos, los cuales afectan negativamente a su calidad y, por tanto, a su capacidad productiva o fertilidad natural. Uno de los ejemplos de gestión inadecuada del uso de suelo son las praxis agrícolas basadas en el laboreo intensivo, por cuanto contribuyen a que se den los fenómenos de degradación mencionados anteriormente. Por todo ello, las malas prácticas agrícolas afectan negativamente al contenido de MO y son contrarias al retorno de las extracciones de nutrientes, por lo que inducen a no optimizar la utilización de fertilizantes.

Por lo general, los parámetros edáficos que se utilizan de manera tradicional para evaluar el nivel de fertilidad de un suelo (MO, disponibilidad de nitrógeno-fósforo-potasio) evolucionan favorablemente cuando el suelo deja de labrarse y los rastrojos se integran al manejo productivo de los cultivos. Por todo ello, la AC se consigue mejorar la fertilidad del suelo ya que, la descomposición lenta de los restos vegetales superficiales, dan origen a una capa superficial rica en humos, la cual, a través de su mineralización, pondrá a disposición de los cultivos los nutrientes en él contenidos (*Roldán et al., 2003; Riley et al., 2005; Diekow et al., 2005*).

Agricultura de Conservación y materia orgánica

En la fertilidad natural del suelo juega un papel muy importante la dinámica de la MO. Esta se mineraliza, proporcionando nutrientes a las plantas y junto con la arcilla, constituye la fracción coloidal del suelo, responsable por un lado de su fertilidad química y por otro del desarrollo de la estructura o agregados que incrementan la resistencia del suelo frente a la erosión (*Ordoñez, 2010*).

Dentro de la MO del suelo se encuentra la MO particulada, muy relacionada con el desarrollo de la estructura del suelo y que es muy fácilmente destruida por el laboreo (*Mrabet et al., 2001*). Es por ello que con la AC, donde los restos vegetales se degradan lentamente induce una dinámica de la MO similar a la que se produce en los ecosistemas naturales.

Diversas investigaciones realizadas al respecto, ya mencionadas en el capítulo correspondiente a las propiedades que la AC para favorecer la adaptación de los cultivos a los efectos del cambio climático a través de la mejora de la resiliencia del suelo, han constatado incrementos en el contenido de MO y que se produce en el suelo al implantar prácticas de AC. A modo de resumen, la tabla 7.3 muestra el incremento porcentual en cada uno de dichos estudios.

Tabla 7.3. Incremento del contenido de materia orgánica en el suelo gracias a la implantación de Agricultura de Conservación.

Práctica de Agricultura de Conservación	Incremento de materia orgánica respecto al laboreo convencional (profundidad)	Años de estudio	Fuente
Siembra Directa	+15% (25 cm)	21 años	Lacasta et al., (2005)
Siembra Directa	+6,1 t ha-1 (30 cm)	16 años	López Fando y Pardo. (2011),
Siembra Directa	+40% (30 cm)	19 años	Ordóñez et al., (2007)
Cubiertas Vegetales	+45% (25 cm)	4 años	Márquez et al., (2013)

Agricultura de Conservación y disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio

La mayoría de los estudios a largo plazo realizados en España sobre los beneficios de la AC en el nitrógeno del suelo (*Lacasta et al., 2005; Sombrero et al., 2006; Ordóñez et al., 2007)*, señalan un aumento de este nutriente a favor de los suelos no labrados. No obstante, la intensidad y alcance de estas diferencias en el perfil del suelo dependen del clima, tipo de suelo y la rotación seguida en la explotación. En cualquier caso, existe una cierta controversia sobre la influencia del manejo de suelo en los procesos de nitrificación, desnitrificación y volatilización que son, a la postre, los que determinan la disponibilidad de nitrógeno en el suelo para la planta. La rotación de cultivos con leguminosas, práctica necesaria en SD, enriquece notablemente el suelo con nitrógeno orgánico que, a la larga y debido a los procesos de mineralización, se pone a disposición de los cultivos, por lo que puede ser éste un factor necesario para que, junto con las otras mejoras que provee la AC en relación al resto de nutrientes, se considere esta práctica como mejoradora de la fertilidad del suelo.

Tabla 7.4. Incremento del contenido de N en el suelo gracias a la implantación de Agricultura de Conservación.

Práctica de Agricultura de Conservación	Incremento de N respecto al laboreo convencional	Años de estudio	Fuente
Siembra Directa	+26%	15 años	Lacasta y Meco. (2005)
Siembra Directa	+25%	10 años	Sombrero et al., 2006

En lo que respecta al fósforo, el manejo continuado de los suelos en AC conduce a una mayor eficiencia del fertilizante fosfatado, aumentando la concentración y disponibilidad del fósforo, a causa de la estratificación de la MO en el horizonte superficial (*Philips, 1985*). Ordóñez *et al.,* (2007), Bravo *et al.,* (2006) y Saavedra *et al.,* (2007) observaron que, tras más de 19 años de SD, las concentraciones de fósforo y potasio disponibles para el cultivo, se incrementaron en el horizonte superficial respecto al LC.

7.2.2. Beneficios para el aire

7.2.2.1. Fijación de carbono

Los suelos del mundo, constituyen un enorme sumidero de carbono y desempeñan un papel importante en su ciclo global, influyendo en la concentración

de GEI (*Reicosky y Archer, 2007*). La acumulación de C orgánico en el suelo, implica mejoras importantes en la fertilidad química (*Gajri et al., 2002; Franzluebbers, 2004*).

La AC introduce cambios en la dinámica del carbono del suelo, y favorece el secuestro del mismo. Los restos de cosecha sobre la superficie y la no alteración mecánica del suelo, conlleva a una disminución de la tasa de descomposición y una reducción de la mineralización de la MO del suelo. Las técnicas de AC conllevan un mayor secuestro de carbono atmosférico en los horizontes más superficiales. El potencial de fijación de CO_2 no se mantiene constante a lo largo del tiempo, las tasas de fijación serán elevadas durante los 10 primeros años de implantación del sistema y continuará con un crecimiento más lento y constante hasta alcanzarse un equilibrio (*González-Sánchez et al., 2012*).

De la superficie de cultivo manejado mediante técnicas de AC en España, se obtuvo una tasa de fijación de carbono atmosférico superior en 2 Gg de Carbono $año^{-1}$ a la misma superficie cultivada en sistema convencional (*González-Sánchez et al., 2012*).

En los estudios realizados, se observan incrementos de carbono en el suelo de cultivos herbáceos bajo AC con tasas que oscilan entre 0,08 y 2,1 t ha^{-1} $año^{-1}$dependiendo de las condiciones edafoclimáticas y del tipo de cultivos implantados.

Así pues Álvaro-Fuentes y Cantero Martínez (2010) indican un incremento en el carbono secuestrado de 0,23 y 0,08 t ha^{-1} $año^{-1}$ para la SD y el mínimo laboreo respectivamente, respecto al LC. González-Sánchez *et al.*, (2012), distinguen entre zonas climáticas dentro del territorio nacional, estableciendo un incremento de la capacidad de fijación de C de 0,72 t ha^{-1} $año^{-1}$ de los suelos en no laboreo de clima mediterráneo continental y de 0,29 t ha^{-1} $año^{-1}$ para los suelos de clima mediterráneo marítimo, respecto del manejo convencional. Estos valores están en consonancia con los estimados por Aguilera *et al.*, (2013) que sitúan la tasa de secuestro de carbono en 0,44 t ha^{-1} $año^{-1}$ en suelos de clima mediterráneo.

En base al meta-análisis de González-Sánchez *et al.*, (2012), tomando el valor medio de fijación en el periodo de hasta 10 años y las superficies obtenidas de los datos del MAPAMA (2015a y 2015b), el secuestro de carbono de las superficies de cultivos herbáceos actualmente en SD es de 526.467 t $año^{-1}$ ([1]) y el potencial de fijación si toda la superficie cultivada estuviera en SD sería de 6.798.857 t $año^{-1}$ ([2]).

Respecto a las técnicas de AC en cultivos leñosos, y concretamente la que se refiere a la protección por establecimiento de CV entre las hileras de árboles, González-Sánchez *et al.,* (2012), en base a los trabajos revisados, indican una tasa de fijación superior en 1,54 t ha^{-1} $año^{-1}$ a la del manejo convencional, con lo que el secuestro de carbono en el suelo en cultivos leñosos con CV es de 1.964.868

1 En este análisis se consideran los cultivos de cereales grano, girasol, maíz forrajero y otros forrajes.
2 Además de las superficies totales de los anteriores cultivos incluimos las superficies sembradas de leguminosas, ya que son aptas para la siembra directa.

Tabla 7.5. Superficie actual cultivada en España bajo técnicas de Agricultura de Conservación y Potencial de fijación de COS respecto a las técnicas agrarias convencionales. Fuente: Elaboración propia, en base a los valores indicados en González-Sánchez et al., (2012) y la superficie con esta técnica extraída de MAPAMA 2015 a y b. *valores medios de estudios realizados con datos de fijación hasta 10 años.

Práctica Agrícola	Aumento de COS* (t ha^{-1} $año^{-1}$)	Superficie (ha)	COS fijado (t $año^{-1}$)	Superficie potencial (ha)	Potencial COS fijado (t $año^{-1}$)
Siembra Directa	0,85	619.373	526.467	7.998.655	6.798.857
Cubiertas Vegetales	1,54	1.275.888	1.964.868	4.961.981	7.641.451
Total			2.491.335		14.440.307

t $año^{-1}$ y el potencial de fijación si toda la superficie dispusiera de cubiertas sería de 7.641.450 t $año^{-1}$, por lo que el margen de mejora es considerable.

7.2.2.2. Disminución de las emisiones de CO_2 a la atmósfera

El laboreo estimula la producción y acumulación de CO_2 en la estructura porosa del suelo a través de los procesos de mineralización de la MO. La acción mecánica de los aperos, provoca una rotura de los agregados del terreno, con la consiguiente liberación de CO_2 atrapado en el interior de los mismos y posterior emisión a la atmósfera. Por otro lado, el consumo energético asociado a las diferentes prácticas agrícolas (laboreo, aplicación de abonos y enmiendas, riego, etc.) llevadas a cabo, se centra en el uso de combustibles fósiles, especialmente gasóleo, lo que implica emisiones a la atmosfera de GEI.

Teniendo en cuenta que en la AC, el número de operaciones sobre el suelo disminuye en gran medida respecto a la agricultura convencional, las emisiones GEI derivados de los efectos anteriormente comentados, decrecen notablemente por lo que la adopción de las prácticas de AC supone una medida adecuada para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. (*González-Sánchez et al., 2012*).

El laboreo reducido es una de las prácticas agrícolas para reducir la emisión de CO_2 y para el incremento del secuestro del carbono atmosférico (*Sainju et al., 2008*). De igual modo, se ha observado que el manejo del suelo sin laboreo con residuos en superficie puede disminuir aún más la cantidad de las emisiones producidas en comparación con el mismo tipo de sistema con suelo desnudo (*Al-Kaisi y Yin, 2008*).

Se han realizado numerosos trabajos que evalúan las emisiones de CO_2 provocadas por la actividad agrícola. Los resultados obtenidos por Carbonell-Bojollo *et al.,* (2011) muestran que la gestión de los suelos mediante no laboreo es una técnica favorable para reducir los flujos de CO_2 emitidos por estos suelos a la atmósfera comparado con los suelos sometidos a un manejo convencional. Esta diferencia se vio incrementada en las emisiones registradas después del trabajo realizado en el suelo en las parcelas con LC, que conlleva una fragmentación de los agregados del suelo y la liberación del gas atrapado en él. Estos incrementos se encontraron por encima del 80% en los suelos labrados.

Tabla 7.6. Potencial de fijación de CO_2 respecto a las técnicas agrarias convencionales. Fuente: Elaboración propia, en base a los valores indicados en González-Sánchez et al., (2012) y superficies extraídas de MAPA-MA 2015a y b. *valores medios de estudios realizados con datos de fijación hasta 10 años.

Práctica Agrícola	Aumento de COS* (t ha^{-1} $año^{-1}$)	Superficie (ha)	CO2 fijado (t $año^{-1}$)	Superficie potencial (ha)	Potencial CO_2 fijado (t $año^{-1}$)
Siembra Directa	0,85	619.373	1.932.134	7.998.655	24.951.804
Cubiertas Vegetales	1,54	1.275.888	7.211.064	4.961.981	28.044.124
Total			9.143.198		52.995.928

En otro estudio realizado por Reicosky *et al.*, (2007), en donde se evaluaron los efectos a corto plazo, sobre las emisiones de CO_2, en dos sistemas de manejo, uno basado en la utilización de arado de vertedera y otro bajo SD. Los resultados obtenidos de valores de emisión de CO_2 mostraron que se producían mayores emisiones en parcelas labradas, con una emisión de 3,8 veces superior a la de la SD (labor realizada a 10 cm de profundidad) y 10,3 veces mayor en el caso de labores más profundas (28 cm).

El CO_2 fijado y por lo tanto no emitido se obtiene multiplicando el COS fijado por el coeficiente 3,67, que resulta de la relación de pesos moleculares del CO_2 y C (44/12). En la tabla 7.6 y aplicando los coeficientes dados por González-Sánchez *et al.,* (2012) y las superficies reflejadas en el ESYRCE (MAPAMA) se muestran los valores de fijación de CO_2, tanto actuales como potenciales.

Otro aspecto en la emisión de CO_2 a la atmósfera viene dado por el consumo de combustibles de la maquinaria agrícola. En una serie de ensayos realizados por Arnal (2014), analiza los consumos de gasoil en las operaciones agrícolas comparando los sistemas convencionales, mínimo laboreo y SD en Aragón.

Analizando el consumo de gasoil de cada una de las operaciones incluido la cosechadora, se observaron unos consumos medios de 70, 52 y 38 l/ha en el LC, mínimo laboreo y SD respectivamente. Del LC a la SD hay una reducción de 32 l/ha, que representa casi el 50% del consumo del convencional (*Arnal, 2014*). Esta diferencia implica una reducción de aproximadamente 97 kg/ha de CO_2 emitido por la maquinaria agrícola.

7.2.3. Beneficios para el agua

El agua es un recurso fundamental e indispensable para la producción agrícola, constituyendo uno de los factores limitantes en las condiciones de secano mediterráneas, que son las más comunes en España.

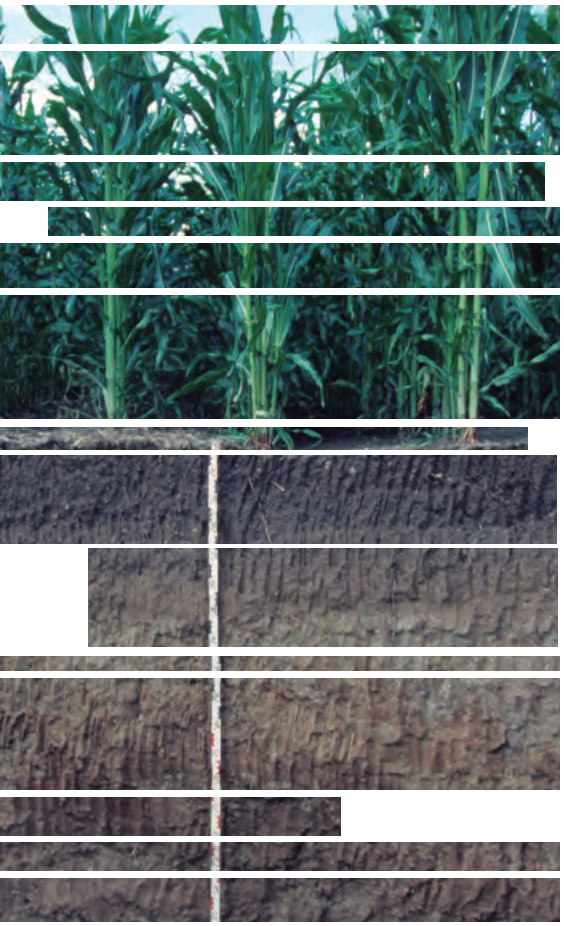
Mientras que en los sistemas de producción agrícola en regadío las estrategias tanto agronómicas como hidráulicas van encaminadas a mejorar aspectos como las distribución y eficiencia del agua aplicada en el cultivo, en secano, dichas estrategias se enfocan en optimizar al máximo la captación del agua y el uso por parte de las plantas, habida cuenta de que el clima mediterráneo, se caracteriza por la escasez e irregularidad de las precipitaciones, tanto inter anual como intra anual, a lo largo de la campaña agrícola.

En este sentido, los suelos juegan un papel muy relevante en las posibilidades hídricas de los cultivos, por su capacidad de almacenamiento según sus características físicas, químicas y biológicas. Así pues, cualquier práctica de manejo que suponga un incremento de su calidad, a través del incremento de MO, mejora de su estructura y de su biodiversidad, redundará de manera positiva en su capacidad para el almacenamiento de agua.

En general, los sistemas de AC, contribuyen a una mayor acumulación de agua en el perfil edáfico, motivado por las siguientes razones:

- Se reduce de manera considerable la escorrentía, incrementándose la infiltración.
- Se reduce la contaminación de las aguas superficiales, mejorando con ello, su calidad.
- Se produce un incremento de la capacidad de almacenamiento del suelo debido a los cambios estructurales o biológicos que se producen.
- Se reduce la evaporación del agua desde el suelo.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos en diversas investigaciones en cada uno de los puntos expuestos que fundamentan cada una de las afirmaciones realizadas en relación a la gestión del agua en los suelos por parte de los sistemas de AC.



7.2.3.1. Menor escorrentía e incremento de la infiltración

En AC se produce una menor escorrentía por un incremento de la infiltración de agua debido a las mejoras estructurales aportadas por estas técnicas junto con la gran cantidad de restos de cosecha sobre el suelo que frenan el flujo del agua sobre la superficie impidiendo la formación de costras superficiales que limitan la infiltración de agua.

Así pues, gracias a la presencia de restos vegetales sobre la superficie del suelo, la velocidad del agua por encima disminuye, reduciendo la escorrentía y aumentando el tiempo de oportunidad de infiltración. Además, dichos restos protegen al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, la cuales son las responsables en suelos desnudos, de disgregar los agregados, produciendo con ello un sellado de la superficie (encostramiento), fenómeno que limita la infiltración e incrementa la escorrentía.

Tal y como se ha expuesto en el capítulo correspondiente a los procesos que genera la implantación de la AC en aras de contribuir a la adaptación de los cultivos al cambio climático, se datan reducciones de escorrentía del orden del 67% en SD (*Kertész et al., 2010*) y del 43% en CV (*Márquez et al., 2010*).

7.2.3.2. Mejora de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas

Las prácticas de la agricultura convencional basadas en el laboreo contribuyen al deterioro de la calidad de las aguas superficiales (*Blevins et al., 1990; Sharpley et al., 1993; Douglas et al., 1998; Fleming y Cox, 1998*). En un estudio, Christensen (1995), clasifica como los contaminantes potenciales que tienen más incidencia en los ecosistemas acuáticos, en orden decreciente, los siguientes: sedimentos, nutrientes, patógenos, MO, metales pesados y fitosanitarios. Por tanto, el arrastre de partículas de suelo por efecto de la erosión hídrica, contribuye a contaminar los cauces fluviales empeorando las condiciones para la supervivencia de las especies en los ecosistemas acuáticos. Por otra parte, los abonos y fitosanitarios se aportan a los cultivos para incrementar su rendimiento. Cuando se transportan asociados al agua de escorrentía, los sedimentos pasan a ser el principal contaminante de las aguas superficiales.

Por todo ello, la disminución de la escorrentía que se da gracias a la práctica de AC, conlleva una reducción del riesgo de contaminación tanto por partículas de suelo en suspensión como de fitosanitarios disueltos en el agua de escorrentía.

De la comparación de la SD con el LC se ha comprobado que el transporte de herbicidas en las aguas superficiales se reduce un 70 %, el de sedimentos en un 93% y la escorrentía se ve también reducida en un 69 % (ECAF, 1999).

7.2.3.3. Mayor capacidad de retención de agua

Son diversos, los trabajos que han estudiado los efectos del manejo de suelo en la dinámica y conservación del agua. Según López-Garrido (2010), en los suelos bajo prácticas de AC, el contenido volumétrico de los primeros 20 cm es superior que en los suelos bajo LC. Por su parte, Muriel *et al.,* (2005) concluyeron que las técnicas de AC no sólo permiten una mayor retención del agua en el perfil del suelo, especialmente en los 30 primeros cm de profundidad, sino que además ralentizan el ritmo de descarga hídrica, lo que repercute de forma positiva en el desarrollo de los cultivos de primavera-verano, donde el factor limitante de la producción es, sin duda, la disponibilidad de agua. Dichas conclusiones van en la línea de otros estudios realizados en el Valle del Ebro, en donde se constató que los sistemas de SD alcanzaron contenidos hídricos superiores a los sistemas basados en LC, especialmente tras el periodo de recarga de agua en el suelo (entre julio y diciembre para cultivos de invierno en climas mediterráneos).

En la figura 7.3 se muestra la evolución de los contenidos de humedad para dos sistemas de manejo de suelo (SD: siembra directa y LC: Laboreo convencional), en la que queda patente, no sólo la mayor recarga de agua que se da en SD, sino la mayor descarga del suelo que se da bajo dicho sistema de manejo en la segunda parte de la campaña, debido a que en dicho caso, y gracias a la mayor disponibilidad de agua, el cultivo es capaz de satisfacer mejor la creciente demanda evapotranspirativa que se da en primavera y en verano.

Los sistemas de AC reducen la evaporación del agua, dado que impiden la incidencia directa de la radiación sobre el suelo húmedo y la reducción de la transferencia

turbulenta de vapor a la atmósfera. Gracias a ello los cultivos de secano pueden soportar mejor las condiciones de estrés, como constataron entre otros, Moreno *et al.,* (1997) y Murillo *et al., (*1998) bajo condiciones del secano andaluz, donde las temperaturas de primavera y verano son altas, este efecto positivo es especialmente notorio en años secos.

Así pues, los sistemas de AC, al mantener el suelo inalterado y cubierto por restos vegetales, provocan una disminución de la evaporación del agua del suelo durante los períodos de temperaturas elevadas, y esto se traduce en que el suelo permanece más húmedo durante el verano y comienzo de primavera (*Márquez et al., 2007*).

En la línea de estos estudios, Moret *et al.,* (2006) observaron, durante tres periodos de barbecho largo (16-18 meses), cómo un suelo bajo un sistema de laboreo intensivo con arado de vertedera pierde por evaporación, en las 24 horas después de las labores primarias, 14 veces más agua que un sistema de SD (Figura 7.4).

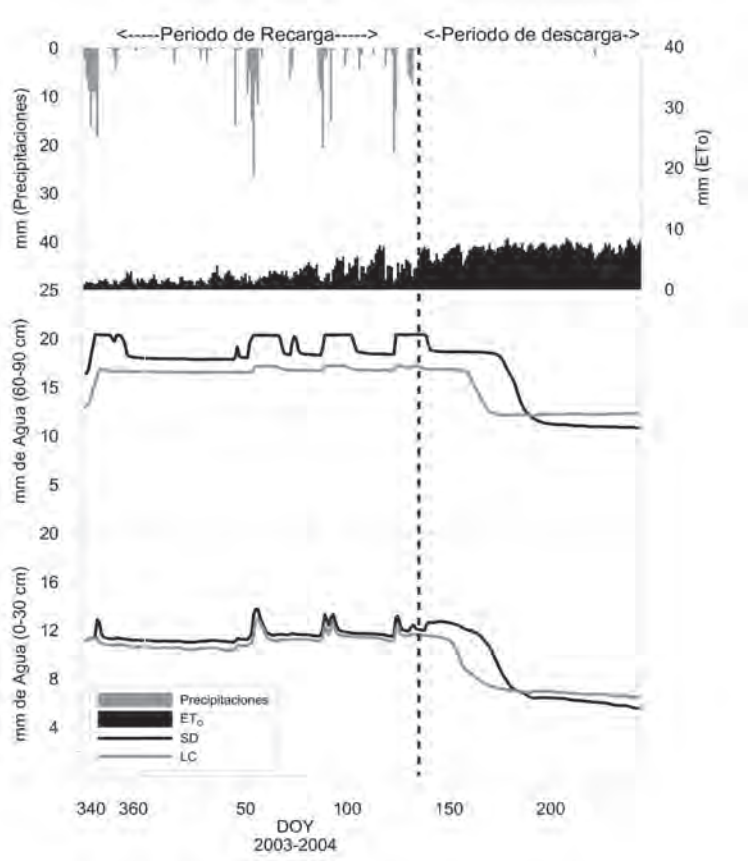


Fig. 7.3. Evolución delos contenidos de humedad en dos sistemas de manejo de suelo. (SD: Siembra Directa, LC: Laboreo Convencional). Fuente: García-Tejero et al., (2010).

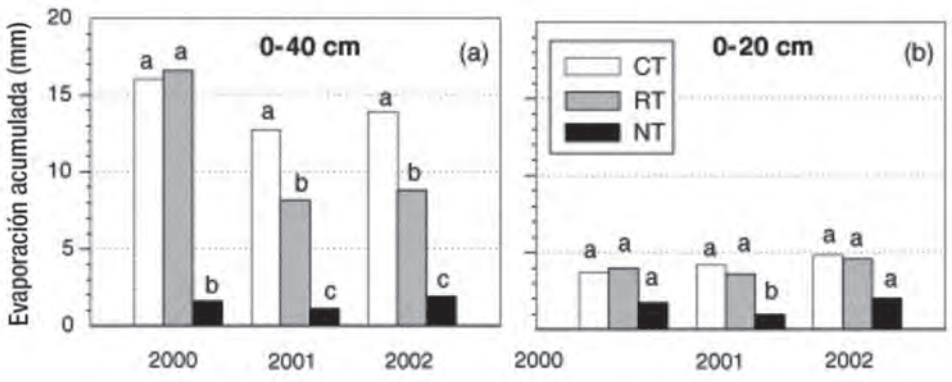


Fig. 7.4. Evaporación acumulada de agua del suelo medida 24 horas tras las labores primarias (a) y secundarias (b). CT: Laboreo convencional, RT: Agricultura de Conservación, NT: No Laboreo. Fuente: Moret et al., (2006).

7.3. BENEFICIOS ECONÓMICOS

La implantación de sistemas de AC conlleva diversos beneficios económicos, unos directos y cuantificables con relativa facilidad, como la mejora de los resultados contables de la explotación, y otros indirectos, pero no por ello menos importantes como el coste para las administraciones públicas derivados de la erosión, contaminación, pérdida de biodiversidad o la repercusión sobre las emisiones de CO_2 por poner algunos ejemplos.

El principal beneficio económico directo que percibe el agricultor proviene de la reducción de costes de producción ya que el rendimiento de los cultivos bajo AC es similar a los sistemas convencionales (*Domínguez Giménez, 1997*). Existen diversos estudios y experiencias en España en diferentes situaciones agroclimáticas que apoyan la reducción de costes. González-Sánchez (2010), obtiene que los gastos variables de un cultivo de girasol en SD son de 250,50 €/ha frente a los 323,50 €/ha del cultivo manejado mediante LC. Asimismo, para un cultivo de trigo duro en LC se obtuvo un gasto de 501,74 €/ha frente a los gastos del cultivo en SD que ascendieron a 458 €/ha.

En el marco del proyecto LIFE+ Agricarbon, se analizaron los sistemas de LC y la SD apoyada en la agricultura de precisión (AC+AP). La rentabilidad a favor de la SD ha sido considerable, dado que, manteniéndose las producciones, se ha producido un ahorro de costes respecto a los sistemas de manejo convencional. Se estima por cada campaña un ahorro de 59,6€/ha en el trigo, 72,7 €/ha en el caso del girasol y 62,0 €/ha en leguminosas. En porcentajes, los ahorros de costes fueron del 9,5% en trigo, 21,6% en girasol y 15,4% en leguminosas.

Si además de esto, tenemos en cuenta que el rendimiento horario (horas/ha) se ha reducido de media un 60% en los sistemas de AC+AP respecto a los sistemas de LC, el beneficio obtenido por hectárea aumenta aún más. Otros estudios que pueden servirnos de referencia, y que apuntalan las cifras obtenidas en el LIFE+ Agricarbon, son los realizados por Arnal (2014) en el valle medio del Ebro y presentados en la Jornada Internacional que se celebró en el marco del proyecto LIFE+ Agricarbon, en donde en un estudio de costes de tres sistemas de manejo de suelo, en el que se comparaban LC con laboreo reducido y SD, se obtenían para éste último incrementos de beneficios del 104% respecto al LC, teniendo en cuenta el coste total, ingresos y mano de obra. Este aumento supone aproximadamente 100 €/ha más de beneficio de la SD respecto al LC.

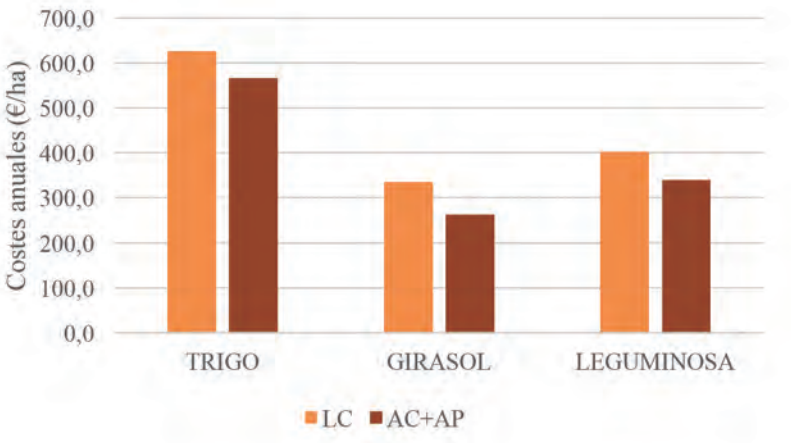


Fig. 7.5. Evaluación de costes (€/ha) obtenidos en las parcelas bajo AC+AP de las fincas demostrativas LIFE+ Agricarbon. Fuente: Universidad de Córdoba.

En Andalucía, sobre una rotación trigo-girasol, se compararon dos sistemas de manejo, uno de LC basado en la utilización de aperos de labranza como rulo, grada de discos, subsolador y escarificador, y otro de SD, con supresión total de las labores (Perea, 2000). En el estudio, se estimó en 70 l ha^{-1} el ahorro de consumo de combustible de la práctica de SD con respecto al LC en la rotación trigo-girasol. Respecto los tiempos de trabajo empleados para cada cultivo y sistema de manejo, la aplicación de la práctica de SD supuso una reducción del 54,8% en el cultivo de trigo y del 60% en el cultivo de girasol.

En Galicia, Bueno *et al.,* (1997), compararon sobre una rotación de maíz forrajero y pradera los costes de producción asociados a LC (arado de vertedera, rotocultor de eje vertical, rodillo compactador en maíz y grada de discos, rotocultor de eje horizontal y rodillo compactador en raigrás), con los asociados al sistema de SD (supresión total de labores). El ahorro en los costes de producción en SD fue del 18,59%, cifras similares a las obtenidas por Hernanz *et al.*, (1992) y Hernanz *et al.*, (1997) en la zona centro de España en la producción de trigo en rotación, y también a las obtenidas por Arnal (1992) con trigo y cebada en Navarra. El mayor coste de producción en el LC correspondió a la maquinaria (27,16%), seguido muy de cerca por los fertilizantes (27,36%) y la semilla (24,72%). En SD, los fertilizantes, con un 32,38%, y la semilla, con un 30,37%, fueron los que mayores costes representaron, en contraposición de la maquinaria, que sólo supuso un 10,28% del total de los costes. En estudios posteriores del mismo autor (*Bueno et al., 2005*) las reducciones obtenidas fueron más ligeras, situándose en un 2,6% en raigrás y en un 2,3% en maíz a favor de la SD.

Esta disminución de costes manteniendo los ingresos respecto al LC implica una mayor rentabilidad para el agricultor y por lo tanto una mejora de su economía. En este aspecto se puede avanzar mucho, ya que el grado de implantación de las técnicas de AC en España tiene un amplio recorrido. Según estadísticas oficiales del MAPAMA, las hectáreas en SD de los principales cultivos herbáceos extensivos representan un 8,26% de la superficie total de esos cultivos (tabla 7.7), en contraposición con los países de mayor implantación, como Argentina, donde la adopción está por encima del 80%. Factores tanto externos, como intrínsecos del agricultor, hacen a éste reticente al cambio. La incertidumbre de los mercados, la estricta regulación normativa, la incertidumbre al futuro - que crea inmovilismos -, inversiones con retorno a medio-largo plazo, etc. son algunas de las causas que explican este comportamiento.

Cultivos	Siembra Directa		Siembra Convencional		Sin Información		Total
	ha	%	ha	%	ha	%	ha
Cereales	546.859	8,67%	5.758.156	91,30%	1.596	0,03%	6.306.612
Girasol	23.476	3,07%	740.376	96,91%	137	0,02%	763.989
Maíz forrajero	3.802	4,09%	89.076	95,83%	72	0,08%	92.950
Otros forrajes	45.235	13,47%	285.842	85,10%	4.808	1,43%	335.886
TotaL	619.373	8,26%	6.873.450	91,65%	6.614	0,09%	7.499.437

Tabla 7.7. Distribución del método de siembra según cultivo. 2015. Fuente: MAPAMA 2015 b.

En lo que a cultivos leñosos se refiere, Gil *et al.,* (2007) han llevado a cabo estudios de rentabilidad económica en cultivos de olivar de sierra y campiña en Andalucía, comparando cuatro sistemas de manejo: LC (grada de púas, cultivador, rulo compactador), SD (supresión de labores y suelo desnudo mediante tratamientos herbicidas), cubierta vegetal espontánea y CV sembrada, ambas segadas mecánicamente. La reducción de costes en el sistema de CV espontánea con respecto al sistema de LC se situó en torno a 18 €/ha, mientras que el sistema de CV sembrada, supuso un sobrecoste respecto al LC de aproximadamente 20 €/ha. Cabe destacar que, en todos los casos, los mayores costes correspondieron a la utilización de maquinaria, situándose en cifras en torno al 50%, produciéndose el descenso de los costes globales en los sistemas de AC, por la disminución del tiempo de realización de labores. Este descenso es mayor si el control mecánico de la cubierta se sustituye por un control químico de esta (que además es más económico).

Los beneficios de los sistemas de AC en los cultivos leñosos, principalmente los debidos al uso de cubiertas, han sido mejor percibidos por los agricultores, lo que ha redundado en una mayor implantación de las mismas. En este sentido se observan en la tabla 7.8, los datos obtenidos del MAPAMA para cultivos leñosos, que del total de hectáreas (4.961.980 ha), el 25,7% presentan cubiertas (1.275.887 ha), destacando en número de hectáreas el olivar con 809.104 ha que representa el 31,1% de la superficie de este cultivo. La mayor implantación se registra en los frutales de pepita con un 81,1% del cultivo con cubiertas (47.156 ha).

No debemos finalizar este análisis de la relación del coste-eficiencia sin mencionar que la implantación de estas prácticas por parte de un agricultor que de manera

Tabla 7.8. Técnicas de mantenimiento de suelo en leñosos. Superficies en hectáreas en el año 2015.Fuente: MAPAMA 2015 a y b.

Manejo Suelo	Cultivos						
	Cítricos	Frutales de Pepita	Frutales de Hueso	Otros frutales	Viñedo	Olivar	Otros leñosos
Laboreo tradicional	11.950	1.743	14.747	168.424	264.610	301.356	4.728
Laboreo mínimo	52.479	3.044	38.014	349.535	606.892	1.008.719	12.690
Cubierta vegetal espontánea	97.877	43.891	74.876	131.748	46.346	774.571	6.376
Cubierta vegetal sembrada	931	2.959	1.378	8.364	2.123	6.456	1.916
Cubierta inerte	29.982	306	1.821	12.817	2.504	28.077	568
Sin mantenimiento	20.529	4.324	5.969	133.326	41.577	165.158	14.323
No laboreo	85.706	799	14.532	29.230	3.394	320.435	3.998
Sin información	64	1.089	79	1.743	288	480	120
Total	299.518	58.155	151.417	835.187	967.733	2.605.252	44.718

previa haya llevado a cabo un sistema de manejo convencional basado en el laboreo, requiere una inversión inicial en el caso de que opte por adquirir el equipamiento necesario. El mayor coste de inversión lo constituye la sembradora directa, cuyo gasto puede oscilar entre los 18.000 € y los 50.000 € dependiendo de las características del tren de siembra y de la anchura de trabajo. La recuperación de dicha inversión dependerá del número de horas de trabajo al año, por lo que puede ser recomendable para pequeños productores, contratar los servicios de una empresa externa para la realización de la operación de siembra. Una alternativa para aquellos agricultores que no deseen realizar un importante desembolso inicial es subcontratar las operaciones, existiendo ya en el mercado empresas de prestación de servicios que pueden dar respuesta a este tipo de demanda. Por otro lado en los primeros años es necesario por parte del agricultor formarse e informarse adecuadamente a fin de disminuir los riesgos y problemas que pudieran surgir al cambiar de sistema. En cualquier caso, lo que queda claro a la vista de los análisis de coste-beneficio expuestos anteriormente, es que el mayor coste de inversión queda compensado por el aumento del margen de beneficios obtenidos al cambiar de sistema de manejo, lo que supone que, desde el punto de vista económico, dichas prácticas no sólo sean interesantes desde el punto de vista medioambiental.

Respecto a los beneficios que repercuten en la sociedad, la fijación de carbono y por lo tanto su poder de mitigación, apoyan a las medidas contra el cambio climático. En el pasado, España ha tenido que hacer frente a sus compromisos con el protocolo de Kioto pagando por el exceso de emisiones. Así pues en el periodo 2008-2012 se emitieron 165.582 kt CO_2 (expresado como CO_2 equivalente) por encima de lo permitido, lo que supuso el desembolso de 812 millones de euros. En esa ocasión la tonelada de CO_2 costó 4,9 euros.

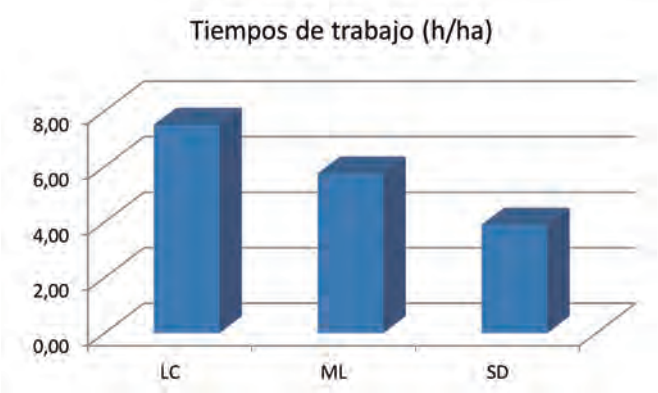
Si se hubiese contemplado la fijación de carbono producida por la AC (sin tener en cuenta las menores emisiones por un menor consumo de combustibles) y tomando como referencia los datos de 2015 expuestos en la tabla 7.6, para el periodo 2008-2012 (5 años), la estimación de CO_2 fijado hubiera sido 9.143,2 kt CO_2 $año^{-1}$ * 5 años = 45.715 kt CO_2, lo que al precio pagado hubiera supuesto un ahorro de 224 millones de euros. El caso más favorable en el que toda la superficie de cultivos estuviese bajo técnicas de AC, el potencial de fijación para el periodo referido hubiese sido de 264.979 kt de CO_2, cifra por encima de la necesaria para compensar el exceso de emisiones.

7.4. BENEFICIOS SOCIALES

La reducción de costes y la mejora de la rentabilidad hacen que aumente la competitividad de las explotaciones y por lo tanto sea una actividad sostenible en el tiempo, fijando población en el medio rural y creando riqueza. Si una actividad no es sostenible económicamente, no puede ser sostenible socialmente.

Como se ha expuesto anteriormente además de las experiencias del LIFE+ Agricarbon, se disponen de estudios como el de Arnal (2014) en los que la reducción de tiempos de trabajo en los cultivos es evidente. Sumando todos los tiempos de trabajo en las operaciones agrícolas del cultivo (a excepción de la cosechadora que se entiende que es alquilada), Arnal estimó que el tiempo medio de trabajo necesario para los cultivos analizados (herbáceos extensivos) era de 7,50 h/ha en el caso de un manejo convencional, 5,75 h/ha para el mínimo laboreo y 3,90 h/ha para la SD, lo que supone un descenso de 1,75 y 3,6 h/ha empleadas respecto al LC del mínimo laboreo y la SD respectivamente. Esta reducción implica que un manejo mediante SD emplea un 52% del tiempo necesario en agricultura convencional.

Fig. 7.6. Tiempos de trabajo empleado en las operaciones agrícolas en los sistemas analizados, laboreo convencional (LC), mínimo laboreo (ML) y siembra directa (SD). Fuente: Pedro Arnal, 2014.



En 2013 existían en España 965.002 explotaciones agrarias (INE, 2013) y como podemos ver en las figuras 7.7 y 7.8 la mayoría la mano de obra empleada es familiar, integrando al agricultor y a familiares y que en muchas ocasiones no percibe una adecuada remuneración por el trabajo realizado debido a la escasa rentabilidad de la explotación. La reducción de tiempo de trabajo por hectárea gracias a la AC además de la reducción de costes, permite más tiempo para otras actividades tanto dentro de la explotación como fuera de ella (familia, formación, ocio, actividades para la comunidad, etc.), mejorando las condiciones económicas y de bienestar de los agricultores y sus familias.

El menor número de horas de trabajo por hectárea no debe verse como un descenso de trabajo en el ámbito rural, ya que el uso de mayor tecnología induce trabajo indirecto y más cualificado en las proximidades (concesionarios de maquinaria, talleres, insumos, etc.), traspasando empleo del sector agrario a otros sectores con mayor valor añadido.

Otro aspecto importante frente a la sociedad, es que al requerir una formación más completa del agricultor, redunda en una mayor conciencia medioambiental, al ser conscientes de los riesgos que la actividad agraria conlleva y conocer técnicas para disminuirlos, "lo que no se conoce no se valora, y por lo tanto no se preserva".

Fig. 7.7. Distribución de las unidades de trabajo-año (UTA) según el tipo de trabajo realizado. Fuente: INE, 2013.

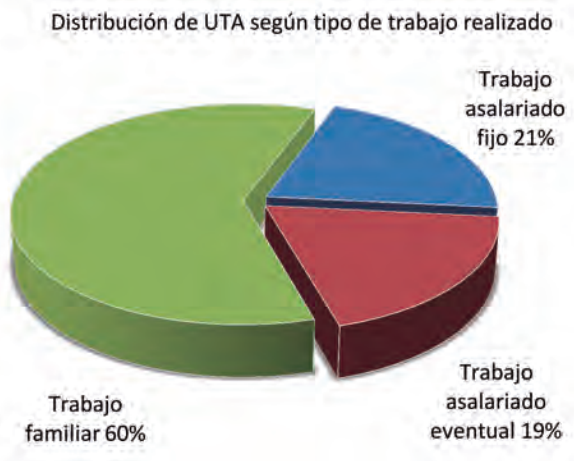


Fig. 7.8. Distribución de las explotaciones según el tipo de trabajo realizado. Fuente: INE, 2013.

7.5. REFERENCIAS

Aguilera, E., Lassaletta, L., Gattinger, A., Gimeno, B., (2013). Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis Agriculture, *Ecosystems & Environment* 168, 25-36.

Alfaress, S. (2002). Integrated pest management strategies for a terrestrial isopod*, Armadillidium vulgare*, in no-till soybean production. Tesis Doctoral Aleppo University. 73 pp.

Al-Kaisi M. M, Yin X., (2008). Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn–soybean rotation. *J Environ Qual* 34, 437–45.

Álvaro-Fuentes, J.; Cantero-Martínez, C. (2010). Potential to mitígate anthropogenic CO_2 emissions by tillage reduction in soils of Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2010 8 (4).

Álvaro-Fuentes, J.; Cantero- Martínez, C.; López, M. V.; Arrúe, J. L., (2007). Soil carbon dioxide fluxes following tillage and semiarid Mediterranean agroecosystem. *Soil and tillage research*, 96, 331-341.

Arnal, P. (1992). El no laboreo ahorra tiempo y dinero. *Navarra Agraria*. Sept.-Oct. 1992: 32-36.

Arnal Atares, P., (2014). Ahorro energético, de tiempos de trabajo y de costes en Agricultura de Conservación. Agricultura de Conservación 27, 36-43.

Bauer, A.; Black, A. L. (1994). Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Science society of America Journal* 58(1), 185-193.

Blevins, R. L.; Frye, W.W.; Baldwin, P.L.; Robertson, S.D. (1990). Tillage effects on sediment and soluble nutrient losses from a Maury silt loam soil. *J. Environ. Qual. 19*: 683-686.

Bosco, C., de Rigo, D., Dewitte, O., Poesen, J., y Panagos, P. (2015). Modelling soil erosion at European scale: towards harmonization and reproducibility, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15*, 225-245, doi:10.5194/nhess-15-225-2015.

Brady, N. C.; Weil, R. R., (2002). Carbon balance in the soil-plantatmosphere system. *The Nature* and Properties of soils, 524-542.

Bravo, C.; Giráldez, J.V.; González, P.; Ordóñez, R.; Perea, F. (2007). Long term influence of conservation tillage on chem-

ical properties of surface horizon and legume crops yield in a Vertisol of southern Spain. *Soil Science Vol 172 nº 2:* 141-148.

Bueno, J.; Amiama, C.; Resch, C. (2005). Reducción de costes de alimentación en las explotaciones de vacuno de leche con Agricultura de Conservación. En Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación: El Reto de la Agricultura, el Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria Común. Libro de Actas. 297-302. Asociación Española Agricultura de Conservación/ Suelos Vivos, Federación Europea Agricultura de Conservación, Diputación de Córdoba, Córdoba.

Bueno, J.; Hernanz, J. L. (1997). Costes de producción del maíz forrajero en laboreo de conservación y sistema convencional. En García Torres, L.; González Fernández, P. (eds.). Congreso Nacional Agricultura de Conservación y medidas agroambientales. Actas: 141-145. Asociación Española Agricultura de Conservación / Suelos Vivos. Córdoba.

Cabrera, F., (2007). Materia orgánica del suelo: papel de las enmiendas orgánicas. En: Componentes del suelo: estructuras y funciones en la agricultura y medio ambiente. 275-291.

Campos, M., González, B., Rodríguez, E., Fernández, F. y Civantos, M. (2002). Influencia del manejo del suelo en las poblaciones de artrópodos en el cultivo del olivo. I Conferencia Internacional de IFOAM sobre Olivar Ecológico.

Cantero, C. Ojeda, L., Angás, P. y Santiveri, F. (2004). Efectos de las técnicas de laboreo de suelo sobre la población de lombrices en zonas de secano semi-árido. *Agricultura. Nº 866*: 724-729.

Cantero-Martínez, C., Bota, G., Ponjoan, A., Mayals, J., Ribasés, I., Pijuan, C. y Carrillo, M. (2007). Incremento de la biodiversidad asociada a técnicas de Agricultura de Conservación. Congreso Europeo sobre Agricultura y Medio Ambiente. ASAJA/Sevilla y Humedales Sostenibles. 51-59.

Carbonell-Bojollo, R., González-Sánchez, E. J., Veroz-González, O., Ordóñez-Fernández, R., (2011). Soil management systems and short term CO_2 emissions in a clayey soil in southern Spain. *Science of the Total Environment*, 409 (15), pp. 2929-2935. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.04.003

Causarano, H. J.; Franzluebbers, A. J.; Shaw, J. N.; Reeves, D. W.; Raper, R. L.; Wood, C. W., (2008). Soil organic carbon fraction and agregation in the Southern Piedmont and coastal plain. *Soil science society of America Journal* 72, 221-230.

Christensen, B.; Montgomery, J. H.; Fawcett, R. S.; Tierney, D., (1995). Best management practices for water quality. Conservation Technology Information Center. West Lafayette, Indiana, USA. 3 pg.

Clark, W.R. y Young, R.E. (1986). Crop damage by small mammals in no till cornfields. *Journal of Soil Water Conservation 41*: 338-341.

Diekow, J.; Mielniczuk, J.; Knicher, H.; Bayer, C.; Dick, D.P.; Kogel-Knaber, I. (2005). Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil & Tillage Research 81:* 87-95.

Dominguez Giménez, J. (1997). El Laboreo de conservación en cultivos anuales: efecto sobre la producción. En Agricultura de Conservación. Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicoa. L García Torres y P. González Fernández (ed). 271-286.

Douglas, C. L.; King, K. A. y Zuzel, J. F. (1998). Nitrogen and phosphorus in surface runoff and sediment from a wheat-pea rotation in Northeastern Oregon. *J. Environ. Qual.* 27: 1170-1177.

ECAF (1999). Conservation Agriculture in Europe: Environmental, Economic and EU Policy Perspectives. Córdoba (España): European Conservation Agriculture Federation.

Fleming, N.K. and Cox, J.W. (1998). Nutrient losses off dairy catchments located on texture contrast soils. Carbon, phosphorus, sulphur and other chemicals. *Aust. J. Soil Res. 36*:979–995.

Fox, R. H.; Bandel, V.A., (1987). Nitrogen utilization with no-tillage. En: Spragne, M. A y Triplett, G. B. (ed). *Mo tillage and surface tillage agriculture*. Wiley interscience publication. New York, 115-148.

Franzluebbers, A. J., (2004). Tillage and residue management effect on soil organic matter. *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture,* 227-268.

García-Tejero, I.; Jimenez Bocanegra, J. A.; Durán-Zuazo, V. H.; García, J.; Fernández, M. A., Perea, F.; Muriel, J. L. (2010). Impacto de diferentes sistemas de manejo de suelos en la dinámica del agua bajo distintas condiciones climáticas. En: *Proceedings of the European Congress on Conservation Agriculture*. ISBN: 978-84-491-1038-2. Ministerio de Medio

Ambiente y Medio Rural y Marino. Asociación Española Agricultura de Conservación / Suelos Vivos: 399-405.

Gajri, P. R., Arora, V. K., Prihar, S. S., (2002). Tillage for sustainable cropping. International Book Distributing Co. Lucknow, India.

Gil Ribes, J.A.; Blanco Roldán, G. (2007). Evaluación de operaciones mecanizadas: costes y rendimientos. En Cubiertas vegetales en olivar. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla.

Giráldez, J. V., González, P., Ordóñez, R., (2003). Evolución de la materia orgánica en función del manejo del suelo. *Vida Rural 174*, 44-45.

Gómez, J. A.; Romero, P.; Giráldez, J. V., Fereres, E. (2004). Experimental assessment of runoff and soil erosion in an olive grove on a Vertic soil in southern Spain as affected by soil management. *Soil Use Manage. 20*: 426-431.

González, E. J.; Martínez-Vilela, A. y Rodríguez-Lizana, A., (2004). Agricultura de Conservación y Medioambiente. En Gil-Ribes J.A., Blanco Roldán G.L., Rodríguez-Lizana A. (eds.), Técnicas de Agricultura de Conservación, 9-14. Editado por Eumedia y MP, Madrid.

González, E. J.; Pérez, J. J.; Gómez, M.; Márquez, F.; Veroz, O., (2010). Sistemas agrarios sostenibles económicamente: el caso de la siembra directa. *Vida Rural 312*. Madrid. 24-27.

González-Sánchez, E. J., Carbonell, R., Veroz, O., Gil-Ribes, J. A., Ordóñez, R., (2012). Meta-Analysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture. *Soil and tillage Research 122*, 52-60.

González, P., (1997). Efecto del laboreo sobre la materia orgánica y las propiedad químicas del suelo. En: García, L. y González, P. (ed) Agricultura de Conservación AEAC/SV. Córdoba, 41-49.

Gyssels, G. ; Poesen, J. ; Bochet, E. ; Li, Y., (2005). Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Prog. Phys. Geogr. 29 (2)*: 189–217.

Hernanz, J. L. (1992). Comparación de los consumos energéticos y de los costes de producción en una alternativa cereal-leguminosa en la zona centro. 21 Conferencia Internacional de Mecanización Agraria. Volumen I: 103-114. Zaragoza.

Huber, S.; Prokop, G.; Arrouays, D.; Banko, G.; Bispo, A.; Jones, R. J. A.; Kibblewhite, M. G.; Lexer, W.; Möller, A.; Rickson, R. J.; Shishkov, T.; Stephens, M.; Toth, G.; Van der Akker, J. J. H.; Varallyay, G.; Verheijen, F. G. A.; Jophn, A. R. (eds), (2008). *Environmental Assessment of Soil Monitoring Volume I Indicators and Criteria.* EUR 23490 EN/1. Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg. 339 pp.

INE, (2013). Instituto Nacional de Estadística. Encuesta sobre la estructura de las explotaciones agrícolas.

Jones, A.; Panagos, G.; Barcelo, S.; Bouraoui, F.; Bosco, C.; Dewitte, 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 der Eeckhaut, M.; Van Liedekerke, M.; Verheijen, F.; Viestova, E.; Yigini, Y. (2012a). *The State of Soil in Europe*. JRC Scientific Report JRC68418. EUR 25186 EN. Office for Official Publication of the European Communities. Luxembourg.

Jones, A.; Bosco, C.; Yigini, Y.; Panagos, G.; Montanarella, L. (2012b). *Soil erosion by water: 2011 update of IRENE Agri-Environmental Indicator 21*. JRC Scientific Report JRC68729. European Commission, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Kertész, A.; Madarász, B.; Csepinszky, B.; Bádonyi, K. (2010). Conservation agriculture as a tool against soil erosion and for improving biodiversity. Proceedings of the European Congress on Conservation Agriculture. ISBN: 978-84-491-1038-2. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Asociación Española Agricultura de Conservación / Suelos Vivos: 501-506.

Kladivko E. J., (2001). Tillage systems and soil ecology. *Soil Tillage Res*. 61, 61-76.

Lacasta Dutoit, C.; Meco Murillo, R.; Maire, N. (2005). Evolución de las producciones y de los parámetros químicos y bioquímicos del suelo, en un agrosistema de cereales, sometidos a diferentes manejos de suelo durante 21 años. Actas I Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación. ISBN 84-930144-4-3. Asociación Española Agricultura de Conservación / Suelos Vivos: 429-436.

Lacasta Dutoit, C.; Meco Murillo, R. (2005). Interacción entre laboreo y rotaciones de cultivos en ambientes semiáridos en la producción del cereal y las propiedades químicas y bioquímicas del suelo. Actas I Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación. ISBN 84-930144-4-3. Asociación Española Agricultura de Conservación / Suelos Vivos: 417-4.

López-Fando, C., (2010). Efecto de la Agricultura de Conservación en la microflora y fauna del suelo. En Aspectos agronómicos y medioambientales de la Agricultura de Conservación, 111-125. Editado por Eumedia y Ministerio Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

López-Fando, C.; Bello, A. (1995). Variability in soil nematode populations due to tillage and crop rotation in semi-arid Mediterranean agrosystems. *Soil & Tillage Research 36*: 59-72.

López-Fando C.; Pardo, M. T. (2011). Soil carbon storage and stratification under different tillage systems in a semi-arid region. *Soil & Tillage Research* 111, 224–230.

López-Garrido, S., Madejón, E., Murillo, J. M., Moreno, F., (2010). Soil quality alteration by mouldboard ploughing in a comercial farm devoted to no-tillage under Mediterranean conditions. *Agriculture, ecosystem and environment*.

Magfoff, F., Weil, R. R., (2004). Soil organic matter management strategies. *Soil organic Matter in Sustainable Agriculture*. 45-65.

MAPAMA, (2015a). Encuesta sobre superficies y rendimientos de los cultivos. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-grarias/agricultura/esyrce/.

MAPAMA (2015b). Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Análisis de las técnicas de mantenimiento de los suelos y de los métodos de siembra en España. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/novedades/cubiertas2015_tcm7-411034

Marquez-Garcia, F.; Gonzalez-Sanchez, E. J.; Castro-Garcia, S.; Ordoñez-Fernandez, R. (2013). Improvement of soil carbon sink by cover crops in olive orchards under semiarid conditions. Influence of the type of soil and weed. *Spanish Journal of Agricultural Research* 11(2), 335-346.

Márquez, F.; Ordóñez, R.; Gil Ribes, J.; González, E.; Gómez, M. (2010). Implantación de cubiertas vegetales en olivar como sistema d conservación y mejora del agua. Proceedings of the European Congress on Conservation Agriculture. ISBN: 978-84-491-1038-2. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Asociación Española Agricultura de Conservación / Suelos Vivos: 545-554.

Márquez, F., González, E. J., Rodriguez, A.; Ordóñez, R., (2007). Incremento disponibilidad de agua mediante Agricultura de Conservación. *Agricultura de Conservación 5*. 24-26.

Martínez Raya, A. (2005). Influencia del manejo de los suelos agrícolas en clima mediterráneo en el control de la erosión y en la disponibilidad de agua para las plantas. Control de degradación de suelos. ISBN 84-689-2620-5: 53-72.

Micó, C.; Recatalá, L.; Peris, M.; Sánchez, J. (2006). Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere, 65*: 863-872.

Moreno, F., Pelegrin, F., Fernandez, J. E., Murillo, J. M., (1997). Soil prhysical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southerm Spain. *Soil and Tillage Research* 41(1-2), 25-42.

Moret, D.; Arrúe, J. L.; López, M. V.; Gracia, R. (2006). Influence of fallowing practices on soil water and precipitation storage efficiency in semiarid Aragon (NE SPAIN). *Agric. Water Manage. 82:* 161-176.

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 semiarid area of Morocco. Soil and Tillage Res. 57:225-235.

Muriel, J. L.; Vanderlinden, K.; Perea, F.; Jiménez, J. A.; García-Tejero, I.; Pérez, J. J. (2005). Régimen hídrico en suelos arcillosos de campiña sometidos a distintos sistemas de manejo. En: *Actas Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación:* 537-542. Ed AEAC.SV. Córdoba.

Murillo, J. M.; Moreni, F.; Pelegrín, F.; Fernández, J. E., (1998). Responses of sunflower to traditional and conservation tillage underrainfed conditions in souther Spain. *Soil and Tillage Research* 49(3), 233-241.

Ordóñez Fernández, R, González Fernández, P., Carbonell Bojollo, R., (2010). Evolución de la materia orgánica y propiedades químicas del suelo. En Aspectos agronómicos y medioambientales de la Agricultura de Conservación, 67-76. Editado por Eumedia y Ministerio Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Ordóñez Fernández, R; González Fernández, P.; Giráldez 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.

Panagos, P.; Borrelli, P.; Meusburger, C.; Alewell, C.; Lugato, E.; Montanarella, L. (2015). Estimating the soil erosion cov-

er-management factor at European scale. *Land Use policy journal. 48C*: 38-50.

Perdue, J.C. and Crossley, D. A. Jr. (1989). Seasonal abundance of soil mites (Acari) in experimental agroecosystems. Effects of drought in no-tillage and conventional tillage. *Soil & Tillage Research 15:* 117-124.

Perea Torres, F. (2000). Agronomía del Laboreo de Conservación en los Vertisoles de la Campiña Andaluza. Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba.

Phillips, R.E. (1985). Humedad del suelo. En Agricultura sin Laboreo. Ed Bellatera: 69-89.

Podmanicky, L.; Balázs, K.; Belényesi, M.;Centeri, Cs.; Kristóf, D.; Kohlheb, N. (2011). Modelling soil quality changes in Europe. An impact assessment of land use change on soil quality in Europe. *Ecological Indicators 11 (1)*, 4-15.

Reicosky, D. C.; Archer, D. C., (2007). Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. *Soil and tillage Research 94*, 109-121.

Rhoton, F. E., (2000). Influence of time on soil response to no-till practices. *Soil Sci. Soc. Am. J. 64*, 700-709.

Riley, H. C. F.; Bleken, M. A.; Abrahamsen, S.; Bergjord, A. K.; Bakken, A. K. (2005). Effects of alternative tillage systems on soil quality and yield of spring cereals on silty clay loam and sandy loam soils in cool, wet climate of central Norway. *Soil & Tillage Research 80:* 79-93.

Roldan, A.; Caravaca, F.; Hernández, M.T.; García, C.; Sanchez-Brito, C.; Velásquez, M.; Tiscareno, M. (2003). No-tillage, crop residue additions, legume cover cropping effects on soil quality characteristic under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). *Soil & Tillage Research 72*: 65-73.

Saavedra, C.; Velasco, J.; Pajuelo, P.; Perea, F.; Delgado, A. (2007). Effects of tillage on phosphorus release potential in a Spanish vertisol. *Soil Sci. Soc. Am. J. 71*: 56-63.

Sainju U. M, Jabro J. D, Stevens W. B., (2008). Soil carbon dioxide emissions and carbon contents as affected by irrigation, tillage, cropping system and nitrogen fertilization. J Environ Qual 37, 98-106.

Schlsinger, W. H.; Andrews, J. A., (2000). Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry 48*(1), 7-20.

Sharpley, A.; Smith, S.; Bain, W. (1993). Nitrogen and phosphorus fate long-term poultry litter applications to Oklahoma soils. *Soil Sci. Soc. Am. J. 57*:1131-1137.

Shearin A.F.; Reberg-Horton, S.C.; Gallandt, E.R. (2007). Direct effects of tillage on the activity density of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) weed seed predators. *Environ Entomol 36(5)*: 1140-6.

Sombrero, A.; De Benito, A.; González, I.; Álvarez, M.A. (2006). Influencia del laboreo sobre las propiedades químicas del suelo en Agricultura de Conservación. *Agricultura de Conservación* nº 2: 34-38.

Towery, D. (1998). No-till´s impact on water quality. En: *6º Congreso Nacional Argentino sobre Siembra Directa (AAPRESID)*: 17-26, Mar de Plata, Argentina.

Wallace, A., (1994). Soil organic matter is essential to solving soil and environmental problems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis 25*, 15-28.

Wolters, V. y Ekschmitt, K. (1997). Gastropods, isopods, diplopods, and chilopods: neglected groups of the decomposer food web. En Benckiser, G. (Ed.), *Fauna in Soil Ecosystems. Marcel Dekker.* 265-306.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES

AEAC.SV
Asociación Española
Agricultura de Conservación
Suelos Vivos

La Agricultura de Conservación es un sistema basado en la siembra directa, el mantenimiento del suelo con una cubierta protectora de forma permanente y la rotación y diversificación de cultivos. La técnica de Agricultura de Conservación que se aplica en cultivos herbáceos es la siembra directa, mientras que las cubiertas vegetales es la aplicación práctica para los cultivos leñosos.

El cambio climático es una amenaza global, cuyo impacto en el ámbito mediterráneo en general, y en España en particular, afectará negativamente a la producción agraria. Las menores precipitaciones, unidas al aumento de temperatura, causarán impactos desfavorables en el campo español. Gracias a la Agricultura de Conservación se pueden paliar estos efectos, dado que la Agricultura de Conservación facilita la captura en el suelo de entorno a 3 toneladas más por hectárea al año de CO_2 en siembra directa en cultivos anuales, y casi 6 toneladas más por hectárea al año de CO_2 con cubiertas vegetales en cultivos leñosos, respecto a la agricultura convencional.

Si ponemos estas cifras en el contexto del Protocolo de Kioto, y en los compromisos que España adquirió durante el periodo 2008-2012, éstas adquieren una mayor relevancia si cabe. En dicho periodo, la fijación de carbono producida por la Agricultura de Conservación hubiera sido más de 45 millones de toneladas de CO_2, lo que al precio pagado hubiera supuesto un ahorro alrededor de 225 millones de euros. El caso más favorable en el que toda la superficie potencial (cereales grano, girasol, maíz forrajero, otros forrajes y leguminosas) estuviese bajo técnicas de Agricultura de Conservación, el potencial de fijación para el periodo referido hubiese sido de más de 264,5 millones de toneladas de CO_2, fijando 99,5 millones de toneladas por encima de las necesarias para compensar el exceso de emisiones de España. Esta cifra representa más del 160% sobre el objetivo.

Acuerdos internacionales, como el de París 2015 y la Estrategia 4 por 1000, identifican como clave para poner freno al cambio climático el realizar una mejor gestión de los suelos agrarios. En este contexto, en torno a 100 de los 187 países firmantes han incluido en sus planes de reducción medidas relacionadas con los suelos. España tiene un compromiso en dicho acuerdo según el cual debe reducir sus emisiones en un 26% antes de 2030. La Agricultura de Conservación puede contribuir a disminuir estas emisiones, almacenando CO_2 en forma de carbono orgánico en los suelos.

En el Acuerdo de París, el año de referencia respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero es el 2005. De acuerdo a la Hoja de Ruta de Sectores Difusos de España, las emisiones de estos sectores superaron las 221 millones de toneladas de CO_2. Según datos del Gobierno de España, el sector agrario fue responsable de 47,26 millones de toneladas de CO_2. Si el potencial de la Agricultura de Conservación se alcanzara en nuestro país, se podría evitar la emisión de 52,9 millones de toneladas de CO_2. Por tanto, en torno al 112% de las emisiones agrícolas se verían compensadas gracias a la Agricultura de Conservación.

La Agricultura de Conservación tiene múltiples beneficios ambientales, como son el freno en más de un 90% a la erosión, la mejora de la calidad de los suelos y las aguas, el aumento de la biodiversidad, el freno al cambio climático, y todo ello unido a una mejora de la rentabilidad para los agricultores.

La gestión sostenible de los suelos que se realiza en Agricultura de Conservación hace que sea esencial para mitigar y adaptarse al cambio climático, dado que potencia el efecto sumidero de CO_2 en los suelos, reduce las emisiones de GEI por la disminución en el consumo de combustibles fósiles y mejora los balances de agua, de tal forma que los cultivos son capaces de soportar periodos con menor lluvia.

La Agricultura de Conservación es un sistema que promueve una intensificación sostenible de la producción agrícola, y que necesita de tecnologías esenciales para su aplicación en campo.

La aplicación de la Agricultura de Conservación supone un cambio en la gestión de los suelos, dado que no se labra ni para eliminar hierbas adventicias ni para preparar el lecho de siembra. Por tanto, son necesarios equipos de siembra adaptados a trabajar con restos vegetales en superficie, y sustancias activas herbicidas que ayudan a controlar especies arvenses que compiten con los cultivos y ponen en riesgo los rendimientos de las cosechas de los agricultores.

En el mercado existen diversos tipos de máquinas de siembra directa adaptadas a las condiciones de los suelos de España, y a los diferentes cultivos que se pueden sembrar en las rotaciones. Asimismo, herbicidas de amplio espectro, ampliamente adoptados por los agricultores y de perfil ecotoxicológico con bajo riesgo, como los formulados en base a glifosato, son herramientas esenciales para controlar hierbas adventicias evitando la degradación del suelo provocada por los laboreos intensivos comunes en agricultura convencional.

La Agricultura de Conservación conlleva una mayor eficiencia en el uso de insumos, lo que se traduce en ventajas económicas, además de las ambientales, para los agricultores. Según estudios realizados en España, el productor se puede ahorrar un 24% de los costes totales de cultivo respecto al laboreo convencional y cerca del 9% (8,7%) respecto al mínimo laboreo. Al ser un sistema en el que no se pierde cosecha, estos menores costes se traducen en mayor beneficio para los agricultores.