FICHA TÉCNICA Nº5

IMPLANTACIÓN DE CULTIVOS BAJO AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN Y PRECISIÓN

EXPERIENCIAS EN EL MARCO DEL PROYECTO LIFE + AGRICARBON

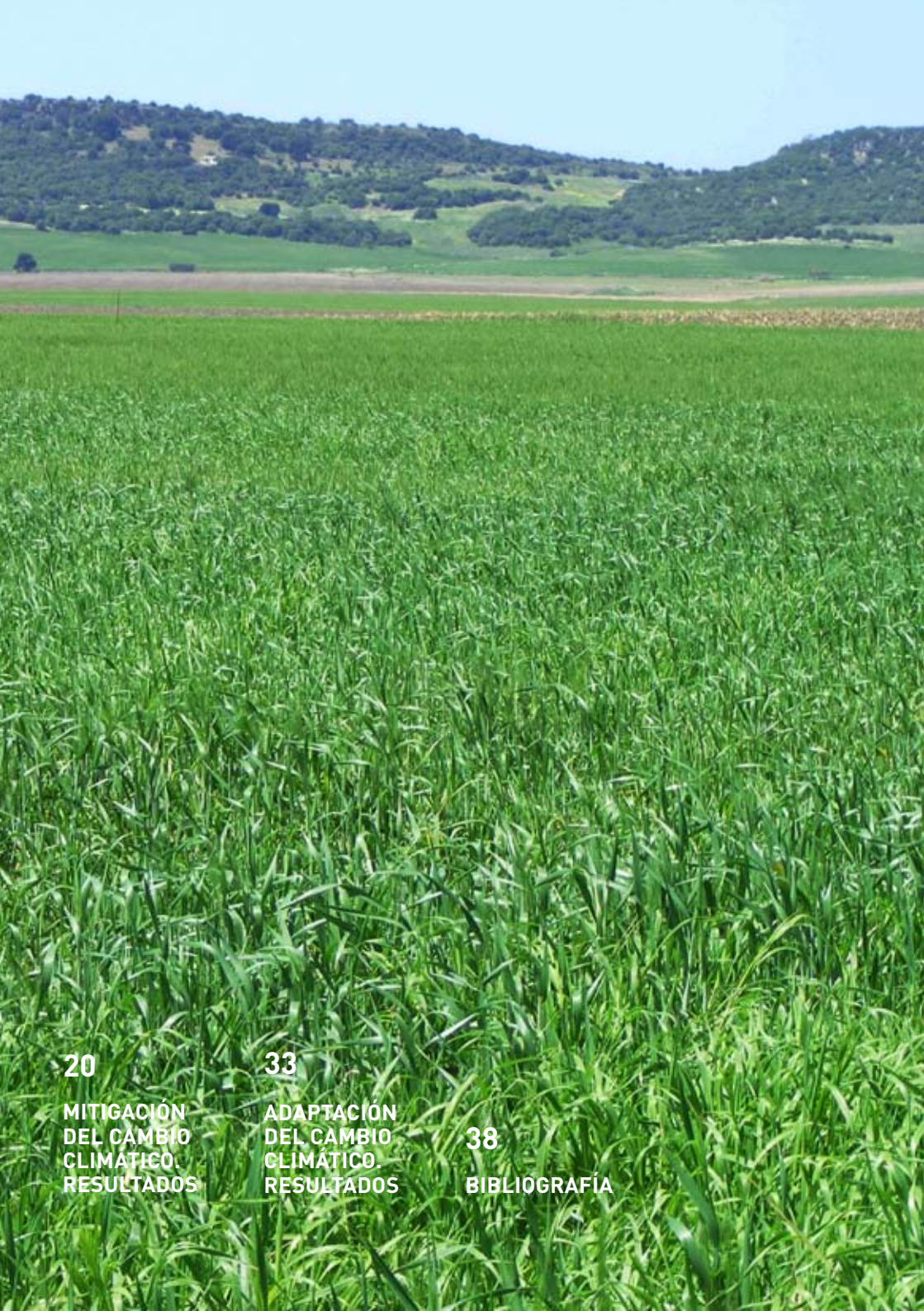
IMPLANTACIÓN DE CULTIVOS BAJO AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN Y PRECISIÓN

EXPERIENCIAS EN EL MARCO DEL PROYECTO LIFE + AGRICARBON

6
INTRODUCCIÓN

8
LOCALIZACIÓN DE LAS FINCAS PILOTO

11
TRABAJO DE CAMPO, LABORATORIO Y GABINETE



20
MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO. RESULTADOS

33
ADAPTACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO. RESULTADOS

38
BIBLIOGRAFÍA

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

COORDINACIÓN GENERAL
Emilio J. González Sánchez (AEAC.SV), Jesús A. Gil Ribes (Universidad de Córdoba), Rafaela Ordóñez Fernández (IFAPA)

AUTORES
Francisco Márquez García (UCO), Manuel R. Gómez Ariza (AEAC.SV), Rosa Mª. Carbonell Bojollo (IFAPA).
Esta ficha ha sido realizada en el marco del proyecto Life + AGRICARBON: Agricultura sostenible en la aritmética del carbono (LIFE08/ENV/E/000129) con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Depósito Legal: CO 2369-2013
ISBN: 978-84-695-9455-1

PRÓLOGO

Desde que se iniciara allá por el año 2010 el proyecto Life+ AGRICARBON, han sido multitud los datos analizados en aras de verificar los beneficios que el uso conjunto que la Agricultura de Conservación y Agricultura de Precisión tienen respecto a la mitigación de la concentración de Gases de Efecto Invernadero en la atmósfera en general, y del CO_2 en particular.

Resultado de todo el trabajo realizado, en sus manos tiene un resumen de los resultados alcanzados hasta la fecha en cada una de las fincas piloto en las que se han implantado los cultivos bajo los sistemas de manejo anteriormente mencionados. Dichos resultados han permitido extraer una serie de conclusiones, las cuales se exponen en esta ficha técnica y que vienen a demostrar la capacidad de la Agricultura de Conservación y la Agricultura de Precisión para fijar el carbono atmosférico en el suelo, reducir las emisiones de CO_2, a la vez que favorecer la adaptación del cultivo a las futuras condiciones que podrían derivarse como consecuencia del cambio climático.

Con la presente publicación, se cierra una colección de cinco fichas técnicas cuya finalidad ha sido la de servir de nexo de unión entre el proyecto Life+ AGRICARBON y el agricultor, permitiendo así avanzar hacia la sostenibilidad del sector agrario a través de la transferencia de conocimiento . Así pues, y gracias a las fichas publicadas, se ha mostrado la relevancia de la agricultura respecto al fenómeno conocido como el cambio climático, se han dado a conocer las prácticas agrarias utilizadas en el marco del proyecto de cara a contribuir a su mitigación y adaptación, se han explicado cómo ponerlas en práctica de una manera sencilla y comprensible para el lector para, por último, mostrar los resultados alcanzados respecto a la reducción de las concentraciones de CO_2 atmosférico, el mantenimiento de las producciones y la mejora en el uso y eficiencia del agua derivados de su implantación en las fincas piloto utilizadas en el contexto del proyecto.

A tenor de los datos que aquí se muestran, queda demostrado que existen sistemas de manejo que pueden contribuir a hacer de la agricultura una actividad sostenible en una Europa cada vez más comprometida con la preservación del medio ambiente y la competitividad del sector agrario, a través de las directrices que se marcarán en la nueva PAC 2014-2020.

Emilio J. González Sánchez
Director Ejecutivo de la AEAC.SV
Coordinador del proyecto Life+ AGRICARBON

INTRODUCCIÓN

La agricultura se considera uno de los sectores que puede verse más afectado por el cambio climático como consecuencia de la estrecha relación que existe entre las actividades agrarias y el clima. Los cambios previstos podrían afectar a los rendimientos agrícolas, así como a la elección de los cultivos y lugares dedicados a las producciones. La vulnerabilidad del sector agrario al cambio climático varía entre regiones, ya que depende de su exposición a las presiones climáticas adversas y su capacidad para encontrar soluciones adaptativas. En este sentido, la COM (2007) 2 final de la Comisión Europea (EC, 2007), identifica a las regiones de la Europa meridional como las más sensibles al calentamiento global, previéndose una disminución de la productividad de los cultivos. Esto se debe a que los países con clima Mediterráneo son muy susceptibles a los efectos adversos del cambio climático, debido a que los fenómenos climáticos que lo caracterizan (sequías plurianuales, precipitaciones irregulares, altas temperaturas estivales, olas de calor, sequía estival, inundaciones,…), se intensificarán de forma severa al aumentar la temperatura, reducirse la precipitación anual e incrementarse la torrencialidad.

La Agencia Europea de Medio Ambiente, en su informe nº 13 publicado en octubre del año 2012, adelantó que las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) procedentes del sector agrario supusieron en el año 2011 el 9,9% del total de emisiones en la Europa de los 27, constituyendo así la cuarta actividad emisora en el conjunto de la UE por detrás del sector eléctrico, el transporte y los procesos de combustión industrial (EEA, 2012). Asimismo, en España, y según el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, la agricultura supuso el 10,9% del total de emisiones de GEI para el total nacional, colocándola también como la cuarta actividad emisora del país (MAGRAMA, 2012).

Ante este escenario, la Agricultura de Conservación (AC), basada en la reducción total o parcial de las labores de arado en campo, unida al mantenimiento de una cubierta vegetal protectora del suelo, y la Agricultura de Precisión (AP), en la que se realiza un uso más eficiente de insumos a través de la disminución de solapes entre los distintos pases de las máquinas y las técnicas de distribución variable ó sitio-específicas, gracias al apoyo de las TIC y los sistemas de posicionamiento global, constituyen un conjunto de técnicas agrarias sostenibles que contribuyen a la preservación del medio ambiente sin menoscabo de los niveles de producción y rentabilidad de las explotaciones agrarias.

Los efectos beneficiosos que ambas prácticas tienen sobre el medio ambiente, como la reducción drástica de la erosión, la preservación de los recursos suelo, agua y aire, el ahorro energético, el aumento del efecto sumidero del carbono atmosférico, y la notable reducción de las concentraciones de GEI en la atmósfera, se ven reforzados por las sinergias producidas por su utilización conjunta.

Este es el enfoque del proyecto europeo Life+ AGRICARBON, el cual trata de demostrar el potencial mitigador y adaptador de sistemas agrícolas implantados bajo AC, en concreto en Siembra Directa (SD) con apoyo de las técnicas de AP en las regiones mediterráneas, en tres fincas piloto situadas en el Valle de Guadalquivir, y cuyos resultados se muestran a lo largo de la presente publicación.

LOCALIZACIÓN DE LAS FINCAS PILOTO

Las fincas piloto en las cuales se han implantado los cultivos bajo SD y AP se encuentran en el Valle del Guadalquivir, en tres explotaciones representativas de comarcas agrícolas andaluzas *(Imágenes 1 y 2)*, cuyas coordenadas son las siguientes:

• Finca 1, situada en el término municipal de Córdoba:
37º 55' 50,4" N 4º 43' 07,7" O.

• Fincas 2, situada en el término municipal de Carmona (Sevilla):
37º 25' 31,0 N 5º 38' 01,2" O.

• Finca 3, situada en el término municipal de Las Cabezas de San Juan (Sevilla):
36º 56' 37,8" N 5º 55' 13,6" O.

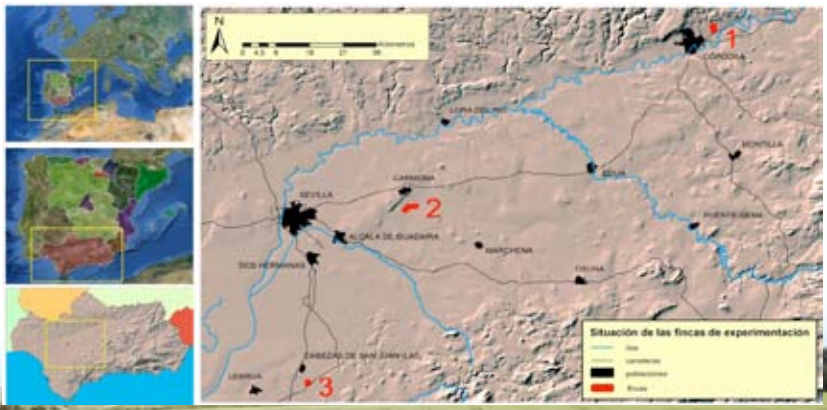


Imagen 1. Ubicación de las fincas piloto.

Imagen 2. Disposición de las fincas piloto.

La zona en la cual se localizan las fincas piloto se encuentra bajo un clima Mediterráneo, caracterizado por un periodo frío y húmedo, que coincide con los meses otoñales e invernales y que concentra el 80% de las precipitaciones, y otro muy cálido y seco, que corresponde con la primavera y el verano, en el que se produce un importante déficit hídrico. El régimen de temperaturas es térmico. Existe una gran variabilidad tanto intra, como interanual de las precipitaciones, alternando periodos relativamente húmedos, con ciclos de sequías de varios años. *(Figura 1)*

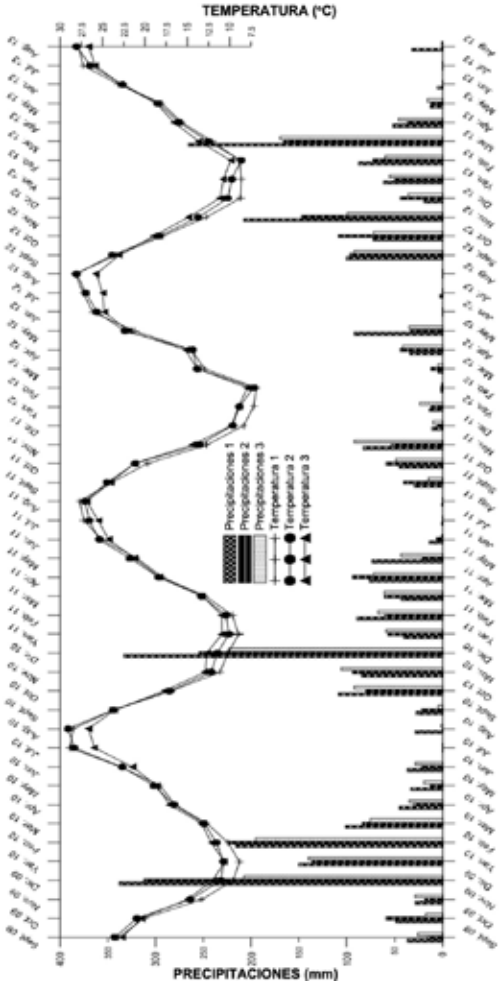


Imagen 1. Precipitaciones y temperaturas en las fincas piloto durante las campañas agrícolas de estudio.

TRABAJO DE CAMPO, LABORATORIO Y GABINETE

DISEÑO EXPERIMENTAL DE LAS PARCELAS DEMOSTRATIVAS.

En cada finca se han instalado 6 parcelas demostrativas de 5 ha; 3 bajo AC+AP, y 3 manejadas con Laboreo Convencional (LC), lo que hace un total de 30 ha por finca y 90 ha en el proyecto conjunto. Los ensayos en ambos sistemas de manejo mantienen la rotación típica de la campiña andaluza, trigo-girasol-leguminosa, y se manejan según las pautas de los propietarios con el fin de obtener unos resultados reales en cada campaña *(Tabla 1)*.

Finca piloto		Manejo de suelo	Área (ha)	Campaña 2009/2010	Campaña 2010/2011	Campaña 2011/2012	Campaña 2012/2013
Finca 1 Rabanales (Córdoba)	Parcela 1	LC	4	Girasol *(Helianthus annuus)*	Haba *(Vicia faba)*	Trigo duro *(Triticum durum)*	Girasol *(Helianthus annuus)*
		SD+AP	4				
	Parcela 2	LC	5	Trigo duro *(Triticum durum)*	Girasol *(Helianthus annuus)*	Haba *(Vicia faba)*	Trigo duro *(Triticum durum)*
		SD+AP	5				
	Parcela 3	LC	5	Garbanzo *(Cicer arietinum)*	Trigo blando *(Triticum aeastivum)*	Girasol *(Helianthus annuus)*	Haba *(Vicia faba)*
		SD+AP	5				
Finca 2 Carmona (Sevilla)	Parcela 1	LC	6	Haba *(Vicia faba)*	Girasol *(Helianthus annuus)*	Girasol *(Helianthus annuus)*	Girasol *(Helianthus annuus)*
		SD+AP	6				
	Parcela 2	LC	5	Girasol *(Helianthus annuus)*	Haba *(Vicia faba)*	Trigo duro *(Triticum durum)*	Girasol *(Helianthus annuus)*
		SD+AP	5				
	Parcela 3	LC	7	Trigo duro *(Triticum durum)*	Girasol *(Helianthus annuus)*	Haba *(Vicia faba)*	Girasol *(Helianthus annuus)*
		SD+AP	7				
Finca 3 La Pluma (Sevilla)	Parcela 1	LC	5	Trigo duro *(Triticum durum)*	Girasol *(Helianthus annuus)*	Guisante *(Pisum sativum)*	Trigo duro *(Triticum durum)*
		SD+AP	5				
	Parcela 2	LC	5	Girasol *(Helianthus annuus)*	Garbanzo *(Cicer arietinum)*	Trigo blando *(Triticum aeastivum)*	Girasol *(Helianthus annuus)*
		SD+AP	5				
	Parcela 3	LC	5	Garbanzo *(Cicer arietinum)*	Trigo duro *(Triticum durum)*	Girasol *(Helianthus annuus)*	Guisante *(Pisum sativum)*
		SD+AP	5				

Tabla 1. Diseño experimental de las parcelas del proyecto (LC: Laboreo Convencional, AC+AP: Agricultura de Conservación + Agricultura de Precisión).

Imagen 4. Cartel identificativo de la Finca "Rabanales" (Córdoba).

Imagen 5. Cartel identificativo de la finca situada en Carmona (Sevilla).

Imagen 6. Cartel identificativo de la Finca "La Pluma". Las Cabezas de San Juan (Sevilla).

Imagen 7. Parcela demostrativa de girasoles de la Finca "Rabanales" (Córdoba).

FINCA 1 (RABANALES-CÓRDOBA)

CAMPAÑA 2009/2010						CAMPAÑA 2010/2011						CAMPAÑA 2011/2012						CAMPAÑA 2012/2013					
PARCELA	1		2		3	1		2		3		1		2		3		1		2		3	
CULTIVO	Girasol		Trigo		Leguminosa	Leguminosa		Girasol		Trigo		Trigo		Leguminosa		Girasol		Girasol		Trigo		Leguminosa	
SISTEMA DE MANEJO	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP
Vertedera		1		1				1										1					
Chisel						1				1		1		1								1	
Escarificador		1		1					1														
Grada de discos						1				1		1		3						1		1	
Vibrocultivador		2		1		1		1		1		2				2		1	1			1	
Sembradora	1	1	1	1		1		1	1	1		1		1		1	1	1	1	1	1	1	
Rulo																1		1					
Bina																							
Barra de tratamientos con herbicida	3	1	2	1		1		1	2	1	4	3	2	1	4	2	4	1	1	2	2	1	
Barra de tratamientos con fungicida																					2	2	
Abonadora	1	1	3	3		1	1	1	1	3	3	3	3	1	NO	1	1			3	1		
Cosechadora	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	NO	1	1	1	1	1	1	1	
Hileradora				1						1		1								1		1	
Empacadora				1		1				1		1										1	

Tabla 2. Operaciones realizadas en cada sistema de manejo. Rabanales (Córdoba).

FINCA 2 (CARMONA-SEVILLA)

CAMPAÑA 2009/2010									CAMPAÑA 2010/2011									CAMPAÑA 2011/2012									CAMPAÑA 2012/2013								
PARCELA	1		2		3		1		2		3		1		2		3		1		2		3		1		2		3	
CULTIVO	Leguminosa		Girasol		Trigo		Girasol		Leguminosa		Girasol		Girasol		Trigo		Leguminosa		Girasol		Trigo		Leguminosa		Girasol		Girasol		Girasol	
SISTEMA DE MANEJO	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC
Vertichisel																											1			
Chisel											1			1																
Semichisel		2		2		1		2						1						1				1		1			1	
Grada de discos				1				2		2		1		1		2		1											1	
Cultivador																										1				
Picatil																								1		1				
Vibrocultivador						1		1		1			1				1			1				1		1			1	
Sembradora	1		1	1		Se Abona		Se Abona		Se Abona		Se Abona		Se Abona		Se Abona		1		1	Se Abona			1	1	1	1	1	1	1
Rulo																									1		1			
Bina								1				1																		
Barra de tratamientos con herbicida	2	1	3	1	2	3	3	2	4	2	3	3	1	3				2							1	1	1	1	1	1
Barra de tratamientos con fungicida	1	1						2	2																					
Barra de tratamientos con plaguicida			1	1																1					1	1	1	1	1	1
Abonadora			1	1	3	3									2	2														
Cosechadora	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	NO	NO	1	1	NO	NO			1	1	NO	NO	1	1	1	1	1	1
Hileradora						1				1						1						1								
Empacadora						1				1						1						1								

Tabla 3. Operaciones realizadas en cada sistema de manejo. Carmona (Sevilla).

FINCA 3 (LA PLUMA-LAS CABEZAS DE SAN JUAN-SEVILLA)

PARCELA	CAMPAÑA 2009/2010						CAMPAÑA 2010/2011						CAMPAÑA 2011/2012						CAMPAÑA 2012/2013					
	1		2		3		1		2		3		1		2		3		1		2		3	
CULTIVO	Trigo		Girasol		Leguminosa		Girasol		Leguminosa		Trigo		Leguminosa		Trigo		Girasol		Trigo		Girasol		Leguminosa	
SISTEMA DE MANEJO	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC
Chisel		1		1		1		1										1				1		2
Grada de discos		2		2		2		1		2		1				1				1		2		2
Escarificador																	1	1						
Vibrocultivador		1		1				1		2		2		2		1	1	1		1				1
Sembradora	Se Abona	1	1	1	1	1	1	1	Se Abona	Insecticida	Se Abona	1	Se Abona	1	1	1	1	1	Se Abona	1	1	Se Abona	Se Abona	Se Abona
Bina					2					2														
Rulo														1				1			1			1
Barra de tratamientos con herbicida	2	1	2	1	2	1	3	2	2		2	2	2	1	2	1	4	3	2	2	2	2	2	2
Barra de tratamientos con fungicida	1	1			2	2			2	2	1	1												
Abonadora	2	3								1	2	3	1	2	3				2	3				
Cosechadora	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hileradora		1									1	1	1		1	1				1			1	1
Empacadora		1									1	1	1			1				1			1	1

Tabla 4. Operaciones realizadas en cada sistema de manejo. La Pluma (Las Cabezas de San Juan-Sevilla).

MEDIDAS REALIZADAS EN LAS PARCELAS DEMOSTRATIVAS

MEDIDAS PARA VERIFICAR LA CAPACIDAD DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

En cada una de estas parcelas se han realizado estudios sobre los siguientes mecanismos que proveen a las técnicas de SD y AP la capacidad mitigadora frente al cambio climático:

• **Secuestro del carbono atmosférico en el suelo, motivado por la presencia de restos vegetales cubriendo la superficie del suelo**. Dicho proceso se verifica mediante medidas del contenido de materia orgánica en el perfil de suelo en cada uno de los sistemas de manejo ensayados. Para ello se han localizado en cada una de las parcelas 20 puntos (10 en SD+AP y 10 en LC). En cada parcela, se han tomado muestras compuestas de suelo, georreferenciadas con un GPS, a las profundidades de 0-5, 5-10, y 10-20 cm, en las que se ha analizado el contenido en materia orgánica.

• **Reducción de emisiones de CO_2 a la atmósfera desde el suelo, al no realizar operaciones de laboreo que alteran mecánicamente su perfil**. Para cuantificar estas reducciones, se han realizado por un lado, con una periodicidad mensual y en los mismos puntos donde se ha efectuado un muestreo de suelo, controles de emisiones de CO_2 para los dos sistemas de manejo y tres tipos de cultivos de la rotación considerados en el estudio, y por otro, en una de las parcelas demostrativas de cada finca piloto, medidas puntuales de flujo del gas en las labores preparatorias del terreno y en las de siembra. Las medidas se han realizado con un analizador absoluto y diferencial de gases por infrarrojo portátil EGM-4 unido a una cámara de respiración de suelos.

• **Disminución de emisiones de CO_2 a la atmósfera ligado a la reducción del consumo energético, consecuencia de la supresión del laboreo y realización más eficiente y homogénea del resto de operaciones gracias a la utilización de AP**. Para cuantificar la reducción en el consumo energético se han instrumentado 3 tractores, uno por cada finca colaboradora, con diferente tecnología, estudiando varios indicadores

EQUIPAMIENTO INSTALADO	INDICADORES MEDIDOS
GPS modelo GM-48 UB Sanav	Tiempo de duración de la operación Superficie trabajada Trayectoria del tractor Velocidad media del tractor Capacidad de trabajo real Capacidad de trabajo teórica Rendimiento Solapes
Caudalímetro de aforo modelo AIC-4008 Veritas	Consumo de combustible
Potenciómetro modelo JX-PA-30-N14-21S Unimeasure	Posición del enganche tripuntal trasero del tractor

Tabla 5. Equipamiento instalado en los tractores e indicadores medidos en cada operación.

Además, en los tractores se ha instalado una barra de ayuda al guiado AgGPS EZ-Guide 500 de Trimble, que se utiliza en aquellos tratamientos en los que se practica la AP. Como sistema de adquisición de datos se utiliza un sistema Data Taker (DT 85) programable y con capacidad para interpretar y almacenar 48 entradas distintas de datos tanto analógicos, como digitales. *(Imágenes 7, 8 y 9).*

La información almacenada sobre las operaciones se transmite vía modem, con tecnología 3G, a un ordenador dotado del soporte lógico necesario *(Figura 2)*. Además, como complemento de toda la información adquirida, se ha monitorizado la producción de los cultivos implementado en la cosechadora un monitor de rendimiento Ceres 8.000i de RDS. Para la obtención de los mapas de rendimiento se empleó el programa Farm Works versión 2010,1.433.

De forma complementaria, se fueron anotando y registrando las incidencias originadas durante la labor y otros aspectos como la dosis en operaciones de distribución de insumos (semillas y agroquímicos). Mediante el soporte lógico desarrollado al efecto, "Reporter Life", se ha estudiado cada operación por separado determinando finalmente la energía asociada a la propia labor y al consumo de insumos agrarios en los dos sistemas analizados, SD+AP y LC.

Imagen 7. Sistema de montaje del Datataker.

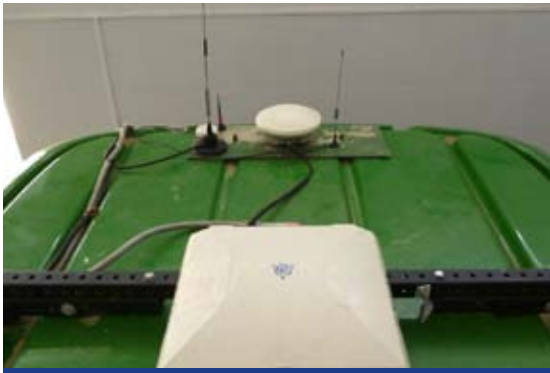


Imagen 8. Diferentes antenas utilizadas (GPS, radio, módem).

Imagen 9. Barra de ayuda al guiado.

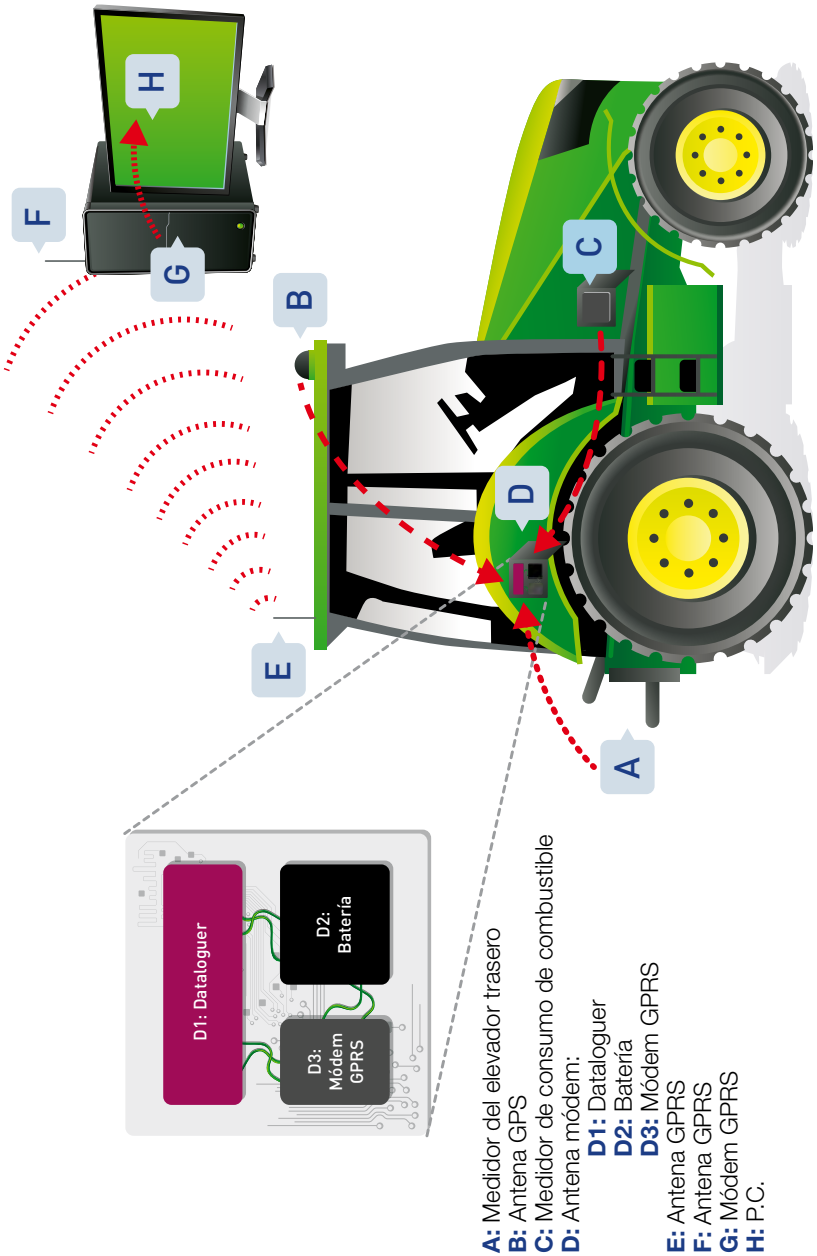


Figura 2. Esquema del tractor instrumentado.

La metodología seguida en el análisis energético ha sido la propuesta en 1973 relacionada con la International Federation of Institutes for Advanced Studies (IFIAS, 2011), que asocia cantidades de energía no renovable a cada uno de los factores de un proceso (Hernanz, 2005). En ella se definen dos tipos de energías: energía de uso directo, ligada al uso de combustible, y la energía de uso indirecto, relacionada con la fabricación y mantenimiento de equipos mecánicos, fertilizantes, semillas y fitosanitarios.

Este análisis considera dos parámetros principales: Eficiencia Energética (EE), definiéndose como el cociente entre la energía calorífica contenida en el producto final y la requerida para su obtención. Productividad Energética (PE), la cantidad de producto obtenido (kg/ha) por unidad de energía aportada (MJ/ha).

Una vez realizado el balance energético, y con los valores de los coeficientes de conversión dados por Lal (2004), que asume que el consumo de 1MJ en cualquier proceso energético supone la emisión de 74 g de CO_2 equivalente, ha sido 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.

MEDIDAS PARA VERIFICAR LA CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Para verificar y demostrar la mayor adaptación de los cultivos bajo técnicas de AC y AP frente al cambio climático que aquellos implantados bajo laboreo se han realizado los siguientes estudios:

• Mejora del balance hídrico del perfil del suelo en los cultivos implantados bajo AC, lo que supondrá mayor disponibilidad de agua en periodos secos. Para la medición de la humedad se ha utilizado una sonda Diviner 2000 (Sentek Pty Ltd) la cual se introduce en una serie de tubos de PVC instalados en las fincas piloto. La sonda va registrando la medida de la humedad en intervalos de 10 cm de manera automática, datos que acumula en la memoria interna y luego pueden descargarse al ordenador mediante un software específico. La profundidad efectiva de medición automática es hasta los 90 cm, pudiéndose tomar medidas puntuales de manera manual anotando directamente la lectura de la pantalla de la unidad de visualización de la sonda.

• Mantenimiento de la producción y de la calidad del grano con el cambio de sistemas de laboreo a sistemas de SD+AP. Para ello se han realizado muestreos en cada una de las parcelas de ensayo, en las zonas en donde el cultivo es homogéneo y representativo de esa parte de la parcela. En cereal y leguminosa las muestras se han tomado con un marco de 1 m^2, cosechando todas las plantas e introduciéndolas en un saco de rafia para su posterior procesamiento y análisis. En función del volumen ocupado se han recogido una o dos muestras de 1 m^2 por punto. En el cultivo de girasol se han recolectado 10 metros de dos líneas contiguas, cosechando los capítulos e introduciéndolos igualmente en sacos de rafia.

MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO. RESULTADOS

SECUESTRO DEL CARBONO ATMOSFÉRICO

Tras cuatro campañas agrícolas, se ha observado como la siembra directa, manejada eficientemente, contribuye a aumentar los porcentajes de materia orgánica del suelo, favoreciendo el secuestro de carbono y mitigando; en consecuencia, el efecto invernadero. Los restos vegetales de los cultivos al no ser alterados son descompuestos lentamente por los organismos del suelo, haciendo que se acumule materia orgánica. Por otro lado, la ausencia de laboreo no solo hace que esa materia orgánica no disminuya drásticamente, sino que propicia su aumento. *(Figura 3).*

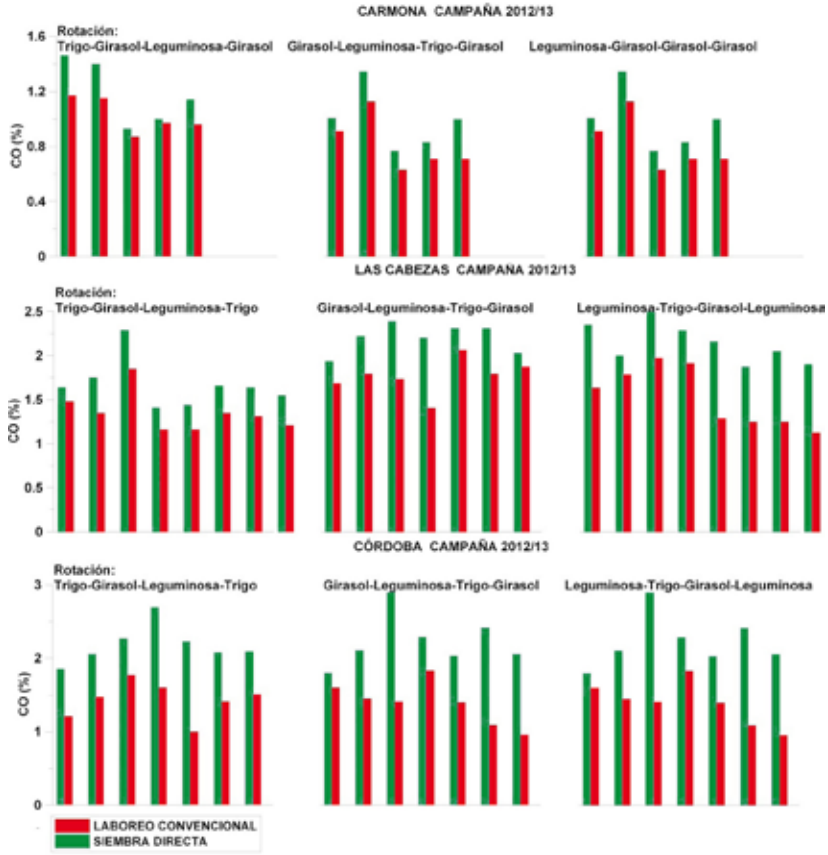


Figura 3. Contenido en carbono orgánico para ambos sistemas de cultivo en las fincas objeto de estudio y para las diferentes rotaciones llevadas a cabo durante la campaña 2012/2013.

Como se aprecia en la figura 3, los suelos bajo siembra directa han presentado siempre valores por encima de los de laboreo convencional. Al disminuir la labor en el suelo, la superficie de los agregados está menos expuesta a la atmósfera, lo que disminuye la degradación de los compuestos orgánicos y se mantiene una mayor humedad que favorece la actividad de los microorganismos.

Estas diferencias han llegado a ser en muchas ocasiones muy significativas. Así se han contabilizado contenidos en los suelos bajo siembra directa en carbono orgánico de hasta un 54% superior en comparación con los suelos manejados convencionalmente en el caso de la finca 1 (Córdoba), un 29% en los suelos de la finca 2 (Carmona), y un 36% en la finca 3 (Las Cabezas de San Juan). Como ya se dijo anteriormente, dejar los restos vegetales de la cosecha anterior sobre la superficie, hace que estos se vayan descomponiendo lentamente, se mineralizan más lentamente y al no estar incorporados con el suelo mediante labor, los microorganismos no tienen fácil acceso a ellos. Todo ello contribuye a que los niveles de materia orgánica aumenten en dichos suelos.

Al finalizar la campaña 2012/2013 las diferencias que se observaron en las diferentes parcelas del ensayo en cuanto al contenido que presentaban en carbono orgánico fueron las siguientes:

Finca Piloto	Finca 1 (Córdoba)			Finca 2 (Carmona)			Finca 3 (Las Cabezas de San Juan)		
Rotación	G/L/T/G	T/G/L/T	L/T/G/L	L/G/G/G	G/L/T/G	T/G/L/G	T/G/L/T	G/L/T/G	L/T/G/L
SD + AP (%)	2,06	2,09	2,14	1,5	1,3	1,55	1,14	1,25	1,25
LC (%)	0,96	1,51	0,98	0,9	1,2	1,21	0,96	0,89	0,8
Incremento de CO_2 secuestrado (kg/ha)	2.568	1.484	2.701	1.450	377	910	525	914	1.103

Tabla 6. Porcentaje de carbono orgánico existente en cada parcela en la campaña 2012/2013 y su equivalencia en el incremento de CO_2 secuestrado (kg/ha) en las parcelas bajo Siembra Directa (SD) y Agricultura de Precisión (AP) respecto al Laboreo Convencional (LC). (G: Girasol, L: Leguminosa, T: Trigo)

Los datos de carbono orgánico corresponden solamente a los primeros 5 cm del perfil del suelo, es decir, si las diferencias se calculasen para un perfil de 60 cm, éstas serían cercanas a las 8 toneladas en el caso de la finca situada en Córdoba, 5 toneladas en la finca situada en Carmona y de 3,5 toneladas en el caso de la finca situada en Las Cabezas de San Juan.

Como se puede observar las diferencias en el contenido en carbono orgánico para ambos sistemas de cultivo son muy elevadas.

DISMINUCIÓN DE EMISIONES DE CO_2 A LA ATMÓSFERA PROCEDENTES DEL SUELO

Cuando el suelo es alterado debido a la acción de cualquier tipo de maquinaria utilizada, bien en las labores preparatorias o bien en la siembra, parte de sus agregados se rompen y se produce la liberación de parte del gas que se encuentra en los espacios porosos del suelo. Este flujo de gas que se escapa hacia la atmósfera, no se libera en su totalidad al efectuarse la alteración del suelo, sino que se va emitiendo a lo largo de las horas siguientes. Normalmente se observa un máximo de emisión que se produce en el intervalo comprendido entre la operación de manejo realizada y las siguientes 4 horas, alcanzándose el equilibrio a las 24 horas que es cuando el suelo vuelve a emitir en los mismos rangos que lo hacía antes de realizar la labor (Álvaro et al, 2007; Carbonell et al, 2009).

Por su parte, el clima modifica notablemente la índole y la rapidez de la descomposición de los restos vegetales y con ello del dióxido de carbono que se emite a la atmósfera. La humedad y la temperatura se cuentan entre las variables más determinantes (Brinson, 1977), Kononova (1975). Citando otras publicaciones, se llega a la conclusión de que la intensidad máxima de la descomposición de la materia orgánica se observa en condiciones de temperatura moderada (alrededor de 20°C) y con un contenido de humedad de alrededor del 60-80% de su capacidad máxima de retención de agua. Por todo ello, a la hora de analizar los resultados obtenidos, se han relacionado los datos con las precipitaciones y temperaturas de la zona.

Imagen 10. El laboreo produce rotura de los agregados del suelo, liberando el CO_2 atrapado en los mismos y favoreciendo la mineralización de la Materia Orgánica.

Para facilitar la comprensión de los resultados obtenidos, se presentan los datos de medidas de emisiones de CO_2 a la atmósfera procedentes del suelo en la finca piloto situada en Las Cabezas de San Juan (Sevilla) a lo largo de las cuatro campañas agrarias de estudio y para todos los cultivos de la rotación.

En la mayor parte de las fechas y para todos cultivos, las diferencias se muestran claramente entre ambos sistemas de manejo *(Figura 4)*. Los suelos en laboreo convencional presentan un mayor flujo de CO_2 que los del sistema de siembra directa. En concreto se puede decir que, considerando el conjunto de valores de emisión de las distintas parcelas en cada una de las localidades en que se han instalado los ensayos y para las cuatro campañas de toma de datos, los suelos en laboreo convencional han emitido un 70% más que los de siembra directa. En el caso de las otras dos localidades donde se desarrolla este trabajo, en la finca piloto de Carmona (Sevilla) esta diferencia se eleva hasta casi el 90% y es del 70% para los suelos de la finca piloto situada en Córdoba.

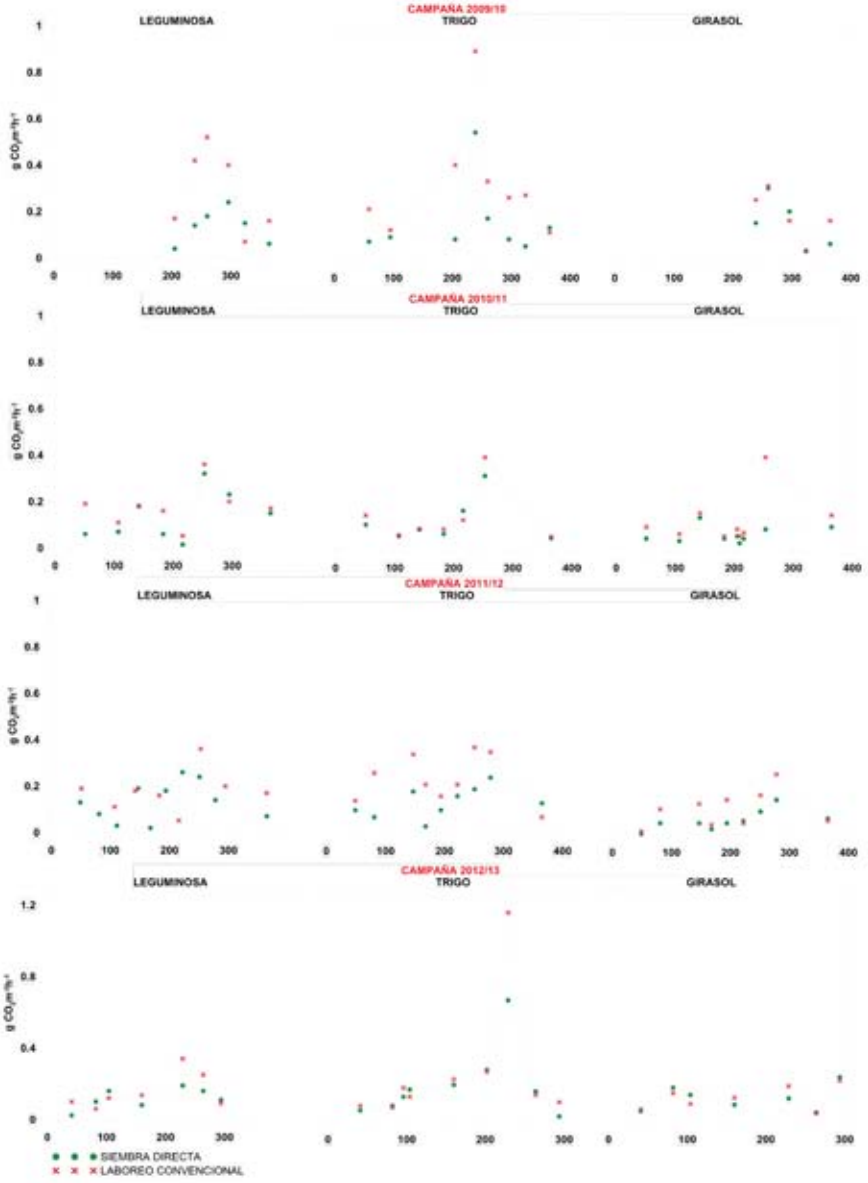


Figura 4.Evolución de las misiones de CO_2 a lo largo de las cuatro campañas de estudio en las parcelas de Las Cabezas de San Juan (Sevilla).

En los siguientes gráficos se ha representado el volumen de gas emitido a lo largo de un día completo cuando se realiza una labor y se compara con la emisión que se ha producido ese mismo día en las parcelas de siembra directa que lógicamente no han recibido labor ninguna y que por tanto nos muestra la respiración normal del suelo *(Figura 5)*.

Los datos recogidos pertenecen a las tres localidades y muestran todas las campañas del estudio.

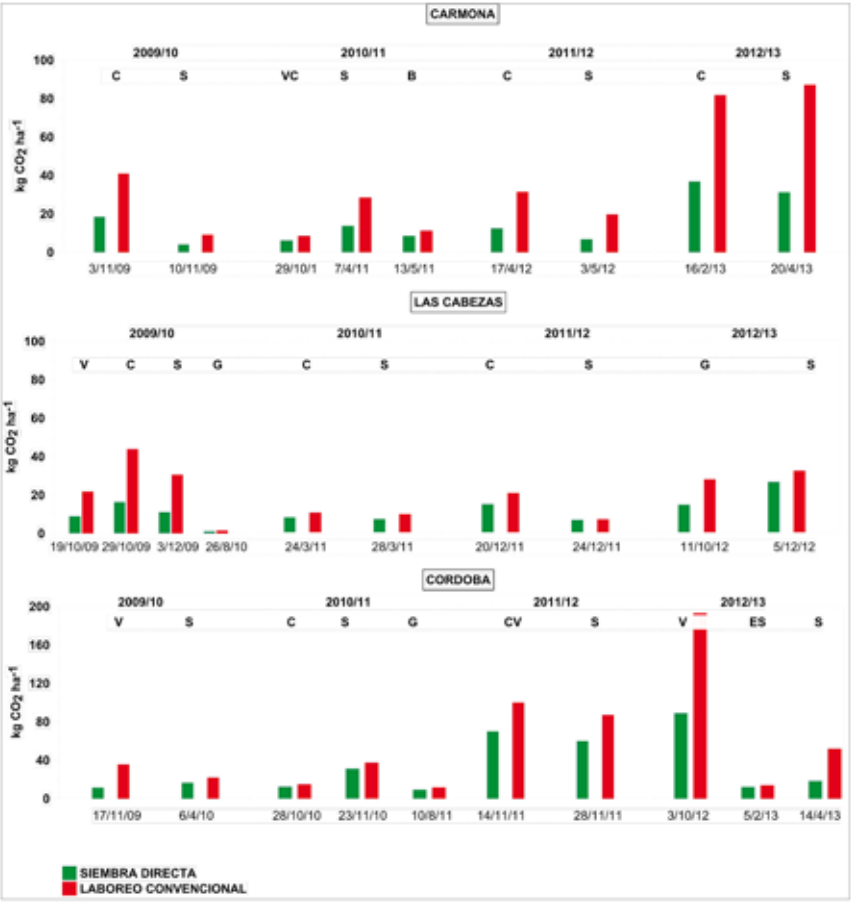


Figura 5. Datos de emisión diaria durante la realización de las labores en las diferentes fincas del estudio a lo largo de las cuatro campañas (C: Labor con chísel; S: Siembra; ES=Labor con escarificador; VC: Labor con vibrocultivador; B: Labor de bina; V: Labor con vertedera; CV: Labor con cultivador).

En la figura anterior se observa como, en todos los casos, los datos de emisión cuando la labor realizada ha sido la siembra, son sensiblemente inferiores a los estimados en las mismas parcelas cuando se realiza cualquier otra labor. Esto se debe a que en las operaciones de siembra, la profundidad que se alcanza con la sembradora es mucho más superficial, y por tanto, el volumen de suelo que se ve alterado es también menor. No obstante, la tendencia observada en el flujo de CO_2 es similar a la descrita para la labor, es decir, se aprecia un pico máximo y los valores más altos se estiman en los suelos manejados en el sistema convencional.

Por otra parte, en este apartado conviene señalar que la misma operación en el suelo que supone su alteración, no tiene el mismo efecto en el flujo de emisión de gases para las diferentes localizaciones. Esto da idea de la importancia de las características del suelo en las emisiones gaseosas. Las diferencias observadas, probablemente se deban a una combinación particular de disponibilidades de carbono y nitrógeno en cada caso, además de a una mayor proporción de microporos en los suelos de granulometría más fina, que condiciona la cantidad de gas contenido en los mismos. El significativo aumento en las emisiones de CO_2, que tiene lugar inmediatamente después de labrar o sembrar, responde a la liberación física de este gas atrapado en el espacio poroso del suelo.

En los gráficos se puede observar la importancia de la profundidad que se alcanza con la labor y que dependerá del apero utilizado. Mientras mayor profundidad alcancemos con la labor, mayor volumen de suelo estamos alterando y por tanto se libera una mayor cantidad del gas atrapado. Si se observa en el caso de la finca situada en Córdoba, en la última campaña que corresponde a 2012/2013, se realizó un pase de vertedera que alcanzó una profundidad de aproximadamente 40 cm, y esa labor originó una emisión superior a 180 kg de CO_2/ha, la más alta obtenida en el ensayo. El resto de labores que no han superado los 20 cm de profundidad no han llegado a generar en el caso más desfavorable ni el 50% del volumen emitido por el pase de vertedera. Aumentar al doble la profundidad de la labor supuso también doblar la cantidad de gas emitido a la atmósfera.

Imagen 10. Pase de vertedera en la finca situada en Córdoba.

Imagen 11. Detalle de la medida de emisión tras el pase de labor.

Las imágenes 10 y 11 fueron tomadas durante la labor de vertedera. Se aprecia como el terreno queda después de realizar el pase y las grietas que se produjeron en superficie las cuales posibilitaron el escape del gas atrapado en el suelo.

Hemos elegido para la elaboración de la tabla 7 la campaña 2010/2011, que es cuando se realizó la labor de vertedera a la que hacemos referencia anteriormente. En dicha tabla se muestran los datos de emisión debido a la realización de la labor y se ha comparado el cómputo total de emisiones para cada sistema de manejo, así como el momento de máxima diferencia de flujo de gas entre métodos de cultivo.

Tipo de labor	Emisión diaria de CO_2 Kg/ha		Máx. diferencia en emisiones LC-SD+AP	Temperatura lectura	Precipitación acumulada en el último mes (mm)
	LC	SD+AP			
Rabanales (Córdoba). Cultivo de seguimiento girasol					
Vertedera	34,8	10,8	Apertura (91%)	17	0,4
Siembra	19,2	15,4	2 horas (31%)	28	16,2
Carmona (Sevilla). Cultivo de seguimiento leguminosa					
Chísel	22,2	8	4 horas (87%)	24	0
Chísel	46,2	16,2	4 horas (82%)	27	33
Siembra	27,8	11	Apertura (60%)	25	0,4
Las Cabezas de San Juan (Sevilla). Cultivo de seguimiento trigo					
Chísel	34,2	13	Apertura (79%)	25	62
Siembra	23,8	20,8	2 horas (41%)	17	34,4

Tabla 7. Datos de emisión diaria registrados durante la realización de diferentes operaciones agrícolas y diferencias de emisión medidas entre ambos sistemas de cultivos.

En los puntos de máxima diferencia se han obtenido valores de dióxido de carbono entre un 31% y un 91% superiores en los suelos labrados con respecto a los que no se ha alterado el perfil. En concreto y considerando un periodo de 24 horas, los suelos en el manejo convencional han emitido 24,8 y 3,8 kg/ha más que los de agricultura de conservación para la labor de vertedera y la siembra respectivamente en el caso del cultivo de girasol en Rabanales. Prior et al. (2000), en un estudio donde comparaban diferentes sistemas de manejo del suelo, sugerían que el aumento de flujo que se ocasionaba tras el pase de labor estaba relacionado con la profundidad y el grado de alteración del suelo, esto explica en nuestro caso la gran diferencia que se ha producido de las emisiones en ambas labores, ya que la labor previa a la siembra, se realizó con vertedera que profundiza mucho más que la siembra, que se realiza de manera más superficial.

En el caso de Carmona, en la que la parcela demostrativa elegida para el seguimiento fue la que comenzó la rotación con una leguminosa, las diferencias observadas en las emisiones entre ambos sistemas de manejo del suelo han sido de 14,2 kg/ha, 30 kg/ha y 16,8 kg/ha más para el caso de los suelos

sometidos a laboreo convencional frente a los suelos bajo siembra directa. La mayor diferencia observada para la 2ª labor realizada se debe a la mayor pluviometría registrada, lo que hace que el perfil del suelo tenga más humedad y se vea favorecida la acción descomponedora de los microorganismos del suelo. Finalmente, para la parcela demostrativa elegida en la localidad de Las Cabezas de San Juan, que comenzaba la rotación con el cultivo de trigo, las diferencias producidas entre el laboreo convencional y la siembra directa fueron de 21,2 kg/ha y 3 kg/ha para cada una de las labores realizadas. Los resultados obtenidos en las medidas puntuales de emisión de CO_2 a la atmósfera para las cuatro campañas agrícolas de vigencia del proyecto, nos permiten indicar que la alteración del suelo que implica el modelo de cultivo basado en el laboreo favorece las emisiones de CO_2 a la atmósfera.

DISMINUCIÓN DE EMISIONES DE CO_2 A LA ATMÓSFERA LIGADO A LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

El primer factor que se ha de tener en cuenta al realizar un balance energético son las producciones de los cultivos al ser la fuente de producción de energía. Como se aprecia en la tabla 8, las producciones fueron muy variables entre los distintas parcelas demostrativas y años, situación que se debió a las condiciones meteorológicas tan singulares de los 4 años de estudio *(Figura 1)*.

			Producción (kg/ha)				
			Campaña 2009/2010	Campaña 2010/2011	Campaña 2011/2012	Campaña 2012/2013	Media/Finca
Trigo	Finca 1	SD+AP	1.196	1.124	2.125	3.730	2.044
		LC	896	1.832	2.000	2.548	1.819
	Finca 2	SD+AP	1.337	-	3.784	-	2.561
		LC	1.024	-	3.648	-	2.336
	Finca 3	SD+AP	2.620	4.060	870	3.040	2.648
		LC	2.972	2.922	1.378	3.144	2.604
Girasol	Finca 1	SD+AP	1.345	1.169	1.107	1.041	1.166
		LC	1.512	1.348	980	998	1.210
	Finca 2	SD+AP	1.332	901	-	1.177	1.137
		LC	1.292	1.131	-	1.156	1.193
	Finca 3	SD+AP	1.312	907	466	1.110	949
		LC	1.140	1.265	394	684	862
Leguminosa	Finca 1	SD+AP	-	1.846	-	780	1.313
		LC	-	1.500	-	825	1.163
	Finca 2	SD+AP	2.058	1.432	-	-	1.745
		LC	1.446	1.124	-	-	1.285
	Finca 3	SD+AP	492	558	860	420	583
		LC	1.282	833	980	620	929

Tabla 8. Producciones anuales y medias de las distintas parcelas demostrativas y cultivos.

Las dos primeras campañas fueron extraordinariamente húmedas, con precipitaciones cercanas a los 1.000 mm, la tercera muy seca, con precipitaciones totales por debajo de los 300 mm, y la cuarta de nuevo volvió a ser extremadamente húmeda *(Figura 1)*. Estos hechos ocasionaron que las producciones medias de los cultivos durante las cuatro campañas estuvieran por debajo de la media de la región, especialmente los cereales, no siendo tan acentuado para el girasol, ya que es un cultivo de primavera, que vegeta durante el verano lo que hace que se beneficie de inviernos muy húmedos. La media de la producción de cada cultivo durante los cuatro años de estudio y para cada sistema de manejo fue muy parecida, siempre sin mostrar diferencias estadísticamente significativas. Así, en el trigo hubo una diferencia de 153 kg/ha a favor de la SD, en el girasol 16 kg/ha y en la leguminosa 20 kg/ha, estos dos últimos a favor del LC.

Las operaciones realizadas variaron en función del cultivo, finca y costumbres de la zona. En la tabla 9 se muestra las operaciones más comunes realizadas en las parcelas demostrativas, su consumo de combustible, solape, tiempo operacional y el número de veces que se han llevado a cabo durante las cuatro campañas.

Operación	Combustible (l/ha)	Solape (%)	Tiempo de trabajo (horas/ ha)	n
Vertedera	22,5±4,1	16,2±3,7	2,40±0,58	5
Chísel	14,1±0,8	16,2±11,6	0,82±0,21	13
Grada de discos	7,7±1,1	35,1±7,8	0,45±0,09	35
Semichísel	6,7±3,1	4,7±1,3	0,41±0,09	9
Escarificador	6,4±1,5	6,4±2,0	0,75±0,10	10
Cultivador	6,1±1,2	12,5±11,3	0,37±0,05	25
Sembradora directa	7,7±1,0	5,5±5,9	0,49±0,09	35
Sembradora convencional	6,0±1,6	8,4±7,0	0,51±0,10	35
Barra de tratamientos utilizada en SD+AP	1,1±0,3	7,4±7,2	0,10±0,01	88
Barra de tratamientos utilizada en LC	1,1±0,4	12,7±9,7	0,10±0,02	64
Abonadora utilizada en SD+AP	0,9±0,4	5,5±3,6	0,10±0,02	30
Abonadora utilizada en LC	0,9±0,5	14,7±9,7	0,11±0,04	36
Cosechadora en SD+AP	11,4±0,9	-	0,50±0,10	32
Cosechadora en LC	10,0±0,7	-	0,50±0,10	32
Empacadora	5,2±0,2	-	0,46±0,02	15

Tabla 9. Consumo medio de combustible, solapes y tiempos de trabajo de las distintas operaciones estudiadas (n: número de repeticiones durante los 4 años).

Los datos obtenidos mediante el proyecto son similares a los resultados de otros estudios en condiciones similares. Los mayores consumos de combustible se midieron para las labores primarias (vertedera: 22,5 l/ha, y chísel: 14,1 l/ha), que además también presentaron los mayores tiempos de trabajo (vertedera: 2,4 horas/ha, y chísel: 0,82 horas/ha). Destaca el aumento en el consumo de combustible de la maquinaria de siembra en la SD, debido al mayor peso de la misma; que en la mayoría de ocasiones fue más del doble. Los tratamientos de herbicida y abonados mostraron un mayor solape para el LC al no usar barras de ayuda al guiado. El mayor solape se registró para la grada de discos, 35,1%, que fue la operación más empleada para el laboreo del terreno. La operación más común fue la barra de tratamientos en SD, ya que en estos sistemas de manejo de suelo se sustituyen los laboreos para erradicar las hierbas por el uso de herbicidas.

Sin embargo, la diferencia en el número de pases con la barra de tratamientos entre SD y LC, fue de 24; valor mucho menor al total de labores al terreno llevadas a cabo, que fueron de 115. Estos hechos motivaron un gran aumento en el uso de combustible y tiempos de trabajo del LC. Así el consumo de combustible se redujo de media con la aplicación de SD un 53% para los tres cultivos. En el caso de los tiempos de trabajo esta disminución fue aún mayor, del 60% *(Figura 6)*. En todos los casos se encontraron diferencias estadísticamente significativas a favor de la SD en estos dos parámetros.

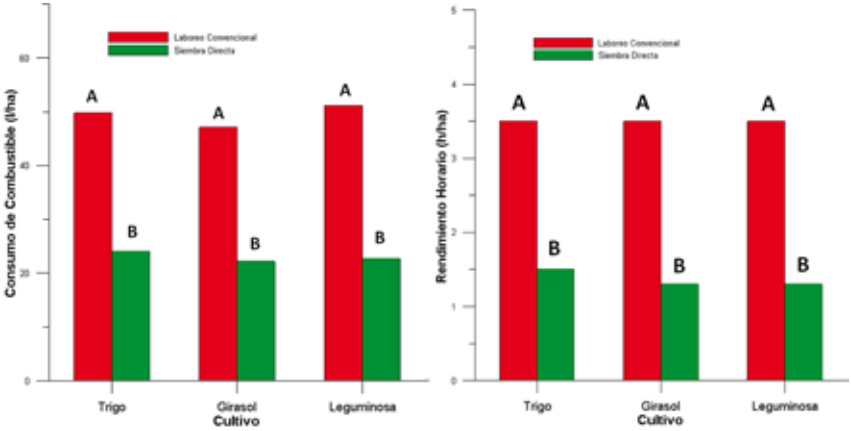


Figura 6. Consumo de combustible y tiempos de trabajo medios por cultivos.

En todos los cultivos estudiados, el mayor consumo de combustible y los mayores solapes en el LC, originó que en todas las ocasiones el gasto energético también fuera mayor *(Tabla 10)*. Esta tabla representa la energía contenida en la cosecha y la utilizada durante el ciclo de vida del cultivo. En ella se aprecia como los sistemas de agricultura sostenible (SD+AP), gastaron menos energía asociada al gasoil y mantenimiento de maquinaria. Y en el abonado, al reducir de manera importante el solape. La energía consumida en la semilla es muy

similar. Sin embargo, aumentó el gasto energético en los herbicidas, al sustituir las operaciones de laboreo por el uso de agroquímicos. Si bien es verdad que la importancia de este factor dentro del análisis energético es reducida.

El trigo no sólo fue el cultivo que más energía produjo, sino también el que más consumió, debido al elevado uso de fertilizantes nitrogenados, ya que estos productos requieren elevados consumos energéticos para su síntesis, hasta el punto de consumir entre un 60% y 80% de la energía total utilizada en el cultivo. En el girasol y la leguminosa el consumo de fertilizantes fue menor, por lo que el gasto energético se redujo. De manera general, la reducción media fue de un 12,0% para el trigo; un 26,3%% para el girasol y un 18,4% para la leguminosa. El trigo, a pesar de no ser el que menor reducción energética presentó, fue en el que en términos absolutos, más MJ se ahorraron (2.382 MJ), seguido de la leguminosa (1.164 MJ), y finalmente el girasol (983 MJ). A pesar de esto el girasol fue el cultivo que más optimizó el uso de energía, al obtener una Eficiencia Energética (EE) más de tres veces superior al cultivo de trigo y dos veces a la leguminosa. En todos los casos la EE y la Productividad Energética (PE) fue mayor para la combinación de AC y AP.

			Energía Consumida (MJ/ha)							
				Energía Indirecta						
Cultivo	Sistema de Manejo	Energía producida	Energía Directa	Maquinaria	Semilla	Fertilizante	Agroquímicos	Total	EE	PE (kg producto/ MJ)
Trigo	SD+AP	30.096	937	290	2.964	12.668	684	17.544	1,72	0,14
	LC	28.179	1.919	595	3.073	14.088	251	19.926	1,41	0,11
Girasol	SD+AP	14.981	857	266	139	610	876	2.748	5,45	0,39
	LC	15.234	1.849	573	143	656	511	3.731	4,08	0,29
Leguminosa	SD+AP	12.006	874	271	2.118	831	1.051	5.146	2,33	0,29
	LC	12.736	1.945	603	2.176	904	682	6.310	2,02	0,17

Tabla 10. Energía producida y consumida (MJ/ha) y la eficiencia energética (EE) y productividad energética (PE).

El consumo energético se traduce a la postre en emisiones de CO_2 a la atmósfera, y en virtud de los balances energéticos realizados en cada sistema de manejo y como se puede ver en la figura 7, en los sistemas de SD+AP se reducen las emisiones respecto al LC, llegando a ser de hasta el 26% en el cultivo de girasol, del 18% en el caso de la leguminosa, y del 12% en el caso del trigo.

Atendiendo a la distribución en el gasto energético de los diferentes factores de producción se aprecia como varían de manera notable para los diferentes cultivos estudiados. Así, para el trigo el mayor consumo en ambos manejos es el ligado a la utilización de fertilizantes.

En el girasol son importantes los agroquímicos y el combustible en AC, y en laboreo sobre todo el consumo de combustible. Para las leguminosas el mayor gasto energético es la semilla, seguido de los agroquímicos en SD+AP y el combustible en el LC *(Figura 8)*.

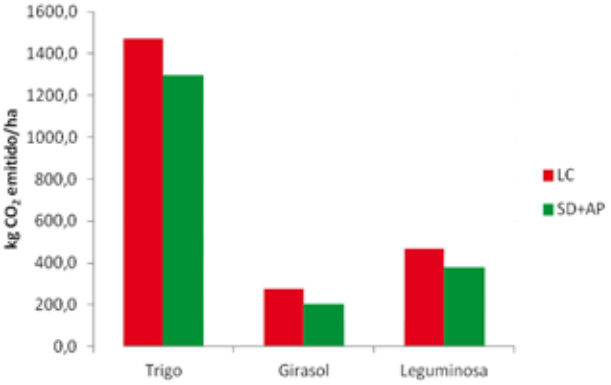


Figura 7. Emisiones de CO_2 (kg/ha) por cultivo y sistema de manejo.

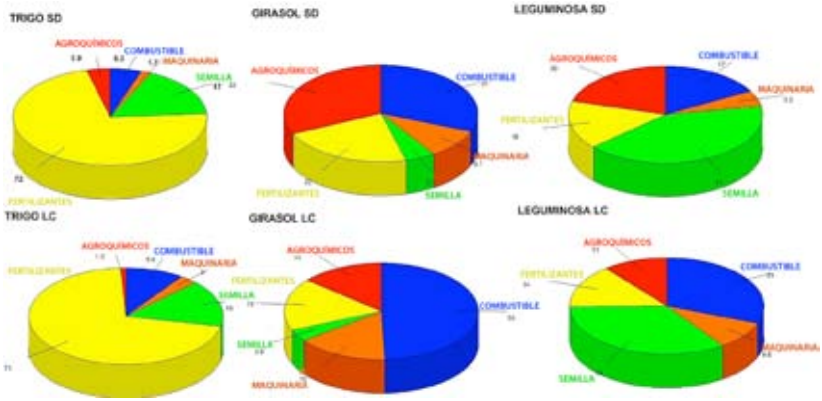


Figura 8. Distribución del consumo energético por cultivos y manejos de suelo.

Por tanto, en aquellos cultivos en los que el consumo energético ligado al combustible sea muy importante, sólo mediante la aplicación de AC conseguiremos un gran ahorro energético. Así en el cultivo de girasol y habas que tienen un escaso uso de fertilizante y un elevado consumo de combustible la reducción conseguida en el consumo energético global fruto de aplicar SD, fue del 95% y 89% respectivamente del total de ahorro. En el cultivo del trigo con un elevado consumo de fertilizante la reducción del consumo de combustible significó sólo un 36% del ahorro, siendo responsable del resto, 64%, la utilización de ayuda al guiado que disminuyó los solapes y redujo optimizó el uso de abono.

Sin embargo, este ahorro puede ser aún mayor. Por ejemplo, en el trigo que posee un elevado consumo de fertilizante, la aplicación de tecnologías de distribución variable de abonos mejorarían de manera notable la eficiencia energética en este cultivo. Como se muestra en la figura 9, la producción de los cultivos está muy ligada a las características físicas y químicas de la tierra donde se cultiva, así se aprecia como las zonas con más arena son las menos productivas y las que poseen más arcilla son las que arrojan mayores cosechas.

Figura 9. Mapas de contenido de arena y cosecha en una parcela de la Finca de Rabanales

En aquellos cultivos en los que no exista un uso elevado de abono: girasol y leguminosa, y que ya se aplique SD, si queramos mejorar aún más la EE deberemos recurrir a la distribución variable de herbicidas. Es decir aplicar producto sólo donde existan hierbas. Eso se puede conseguir con tecnologías basadas en la espectroscopia que con la ayuda de sensores montados en la barra de tratamientos, pueden detectar si existe o no en una determinada zona actividad fotosintética (hierbas) en tiempo real y aplicar herbicida o no.

Estas reducciones en el consumo energético de los cultivos no sólo significan una mejora ambiental importante, sino que también se traduce en una disminución de los costes de cultivo, debido al menor consumo de combustible y la optimización de la realización de operaciones mecanizadas.

Así por ejemplo, utilizando esta tecnología, en el cultivo de trigo se consiguió un ahorro de 59 €/ha, un 9,3% de su coste total. En el de girasol 48 €/ha, un 14,6%. En el de habas 25 €/h, un 8,1% y en el de garbanzos 77 €/ha, un 14%.

Imagen 12. Dispositivo de aplicación sitio específica de herbicidas implantado en el equipo de tratamiento fitosanitario.

Es interesante resaltar que la aplicación de tecnologías de distribución variable de abonos y herbicidas incrementarían de manera notable estas disminuciones del coste de producción de los cultivos.

	Trigo		Girasol		Habas		Garbanzo	
Sistema de Manejo	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC	SD+AP	LC
Coste (€/ha)	585	645	281	329	284	309	473	550
Diferencia (€/ha)	59		48		25		77	

Tabla 11. Costes medios (€/ha) de los cultivos estudiados.

ADAPTACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO. RESULTADOS

Dos son los aspectos analizados respecto al aumento de la separa verificar la adaptación de los cultivos bajo SD y AP a las condiciones climáticas esperadas en el futuro como consecuencia del calentamiento global. Por un lado se ha estudiado la evolución del contenido de humedad en el suelo como medida del aumento de la resiliencia, es decir, de su capacidad de respuesta ante cambios externos, y por otro, la producción y la calidad de grano como indicador del mantenimiento de la sostenibilidad económica ante un cambio a sistemas de manejo mitigadores del cambio climático.

MEJORA DEL BALANCE HÍDRICO DEL PERFIL DEL SUELO

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 consigue debido al mantenimiento de restos vegetales en el suelo, cuyas consecuencias sobre el balance hídrico se relacionan en la siguiente tabla:

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 galería y poros, favoreciendo la circulación del agua

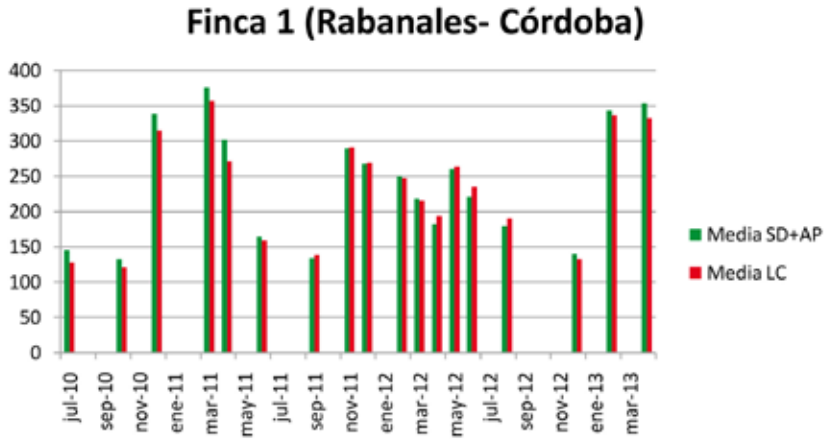
Tabla 12. Efectos de la cobertura vegetal sobre la economía del agua.

En las siguientes gráficas, se muestra el contenido medio de humedad (mm de agua) en los primeros 90 cm de profundidad de suelo para cada una de las fincas piloto y sistemas de manejo empelados en el proyecto. El comportamiento resulta dispar en cada finca habida cuenta de las diferentes condicionantes que a continuación se exponen:

Tanto en la finca piloto 1 como en la finca piloto 3, el contenido medio de agua en los primeros 90 cm de suelo fue superior en las parcelas demostrativas en SD+AP respecto a las parcelas demostrativas en LC en la mayoría de los muestreos, destacando la finca 3, donde hubo de media global un 18% más de humedad en SD+AP que en LC *(Figura 10)*.

En cambio, en la finca piloto 2, situada en Carmona (Sevilla), los resultados obtenidos difirieron de la pauta general, ya que tanto los cultivos como la rotación de los mismos, se vieron muy condicionados por la meteorología. Ello motivó que no se pudieran seguir las rotaciones correctamente en algunas de ellas y tener que sustituir cultivos *(Tabla 1)*, provocando una baja cantidad de restos en el suelo y por lo tanto una disminución de los efectos beneficiosos de la SD en relación al contenido de agua.

Ello no ha sido impedimento para que, precisamente en condiciones de menor humedad edáfica, y en la única parcela de esta finca piloto en la que se siguió la rotación, la producción de los cultivos en SD+AP fuera superior a la producción de los cultivos bajo LC, lo que nos indica que en condiciones de sequía, estas parcelas han sido más productivas.



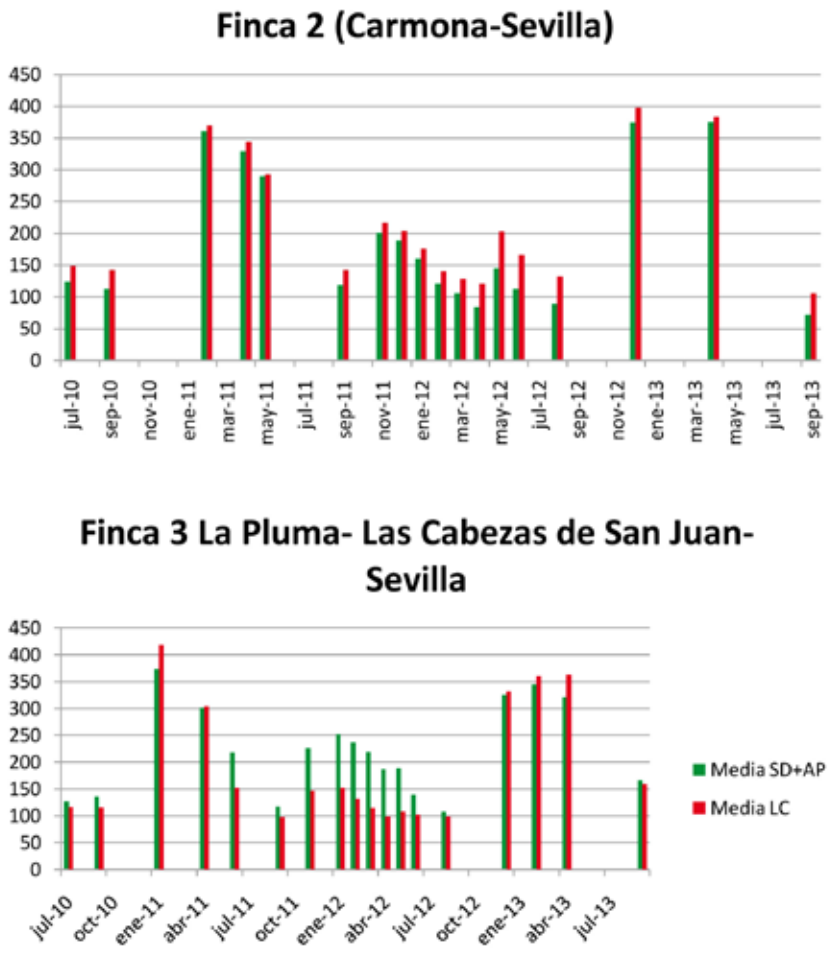


Figura 10. Contenido medio de humedad en los primeros 90 cm de suelo en cada una de las fincas piloto.

Si observamos las gráficas recogidas en la Figura 11, en las que se muestra la evolución del contenido de humedad del suelo en los primeros 20 cm de profundidad, podemos comprobar cómo en todos los casos, en la época de siembra e implantación de los cultivos, la humedad en el manejo bajo SD es mayor que en LC, lo que ha favorecido la implantación y posterior desarrollo del cultivo y que explica, por tanto, el mejor comportamiento en cuanto a los rendimientos obtenidos.

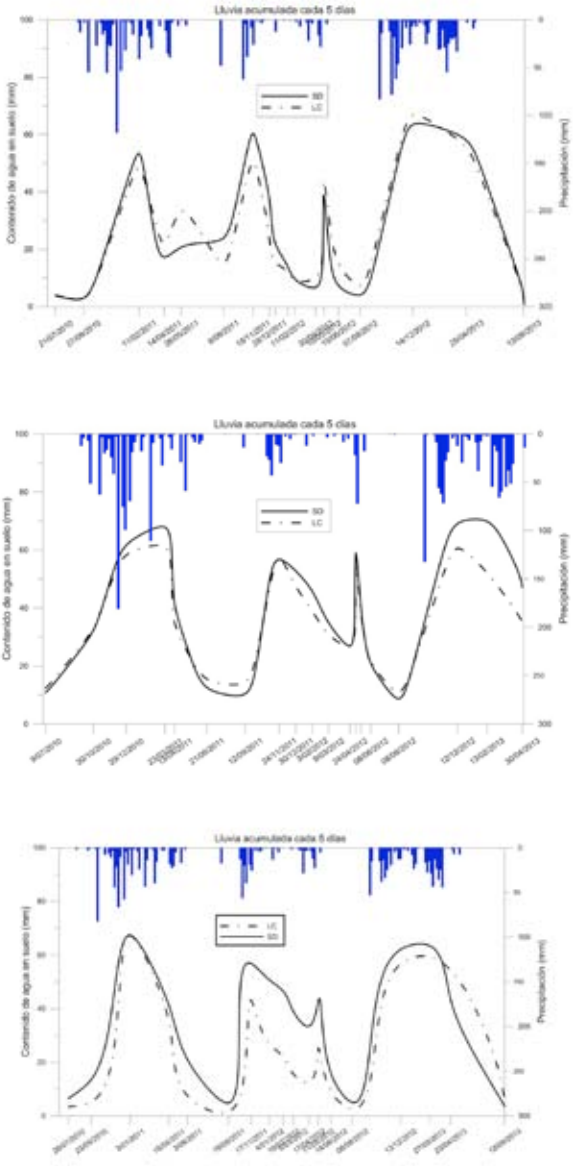


Figura 11. Evolución del contenido de agua en el perfil del suelo (0-20 cm) y lluvia acumulada correspondiente a la media de las parcelas en cada sistema de manejo. SD+AP (Siembra Directa+ Agricultura de Precisión), LC (Laboreo Convencional).

PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE GRANO

La gran variabilidad de precipitaciones registradas durante los cuatro años de estudio, con tres inviernos excepcionalmente húmedos y uno muy seco, como se ha comentado anteriormente, originaron que el rendimiento medio de los cereales y las leguminosas estuviera muy por debajo de la media de la región. El cultivo de girasol que vegeta durante el periodo estival se ve beneficiado por los inviernos muy húmedos, en los que el perfil del suelo se recarga en su totalidad, de ahí que fuera el cultivo en el que la producción se vio menos afectada.

En cuanto a los dos sistemas de manejo de suelo empleados, SD+AP y LC, no existieron diferencias estadísticamente significativas a favor de ninguno de ellos. Para el cultivo de trigo los sistemas de producción sostenibles incrementaron ligeramente la cosecha media de éste, con una diferencia de 153 kg/ha. En cuanto a los cultivos de girasol y leguminosa, la producción fue ligeramente superior en LC, con una diferencia de sólo 16 kg/ha para el girasol y de 20 kg/ha para la leguminosa *(Figura 12)*. Por tanto, las diferencias en la producción media de los cultivos para los distintos sistemas de manejo de suelo durante los cuatro años de estudio fueron prácticamente inapreciables, lo que nos confirma el hecho de que se tratan de sistemas de manejo mitigadores sostenibles desde el punto de vista económico.

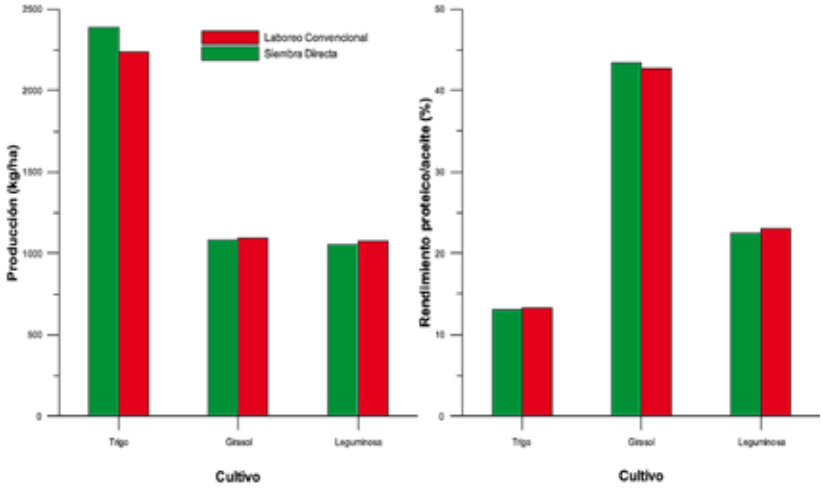


Figura 12. Producción media anual de los cultivos (kg/ha) y rendimiento proteico (trigo y leguminosa) y graso (girasol).

En cuanto a la calidad de la cosecha tampoco existieron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas de manejo de suelo, que arrojaron unos valores medios prácticamente iguales *(Figura 13)*. El trigo tuvo un rendimiento proteico por debajo del de la leguminosa, como era de esperar, ya que su producción media fue mayor y las leguminosas se caracterizan por tener un alto contenido de proteína, siendo clasificadas como proteaginosas. El girasol fue el que mayor concentración de nutrientes arrojó, ya que este cultivo tiene una elevada concentración de grasa, que de media se situó durante estos cuatro años en valores cercanos al 45% de rendimiento graso.

Como se aprecia en las gráficas, la calidad de la producción decreció con el aumento de cosecha como era previsible. Esta situación fue especialmente clara en el cultivo de trigo. Para el girasol, la reducción del rendimiento graso con el aumento de la producción no fue tan acentuada y para la leguminosa incluso aumentó el rendimiento proteico muy ligeramente cuando aumentó la cosecha en el LC.

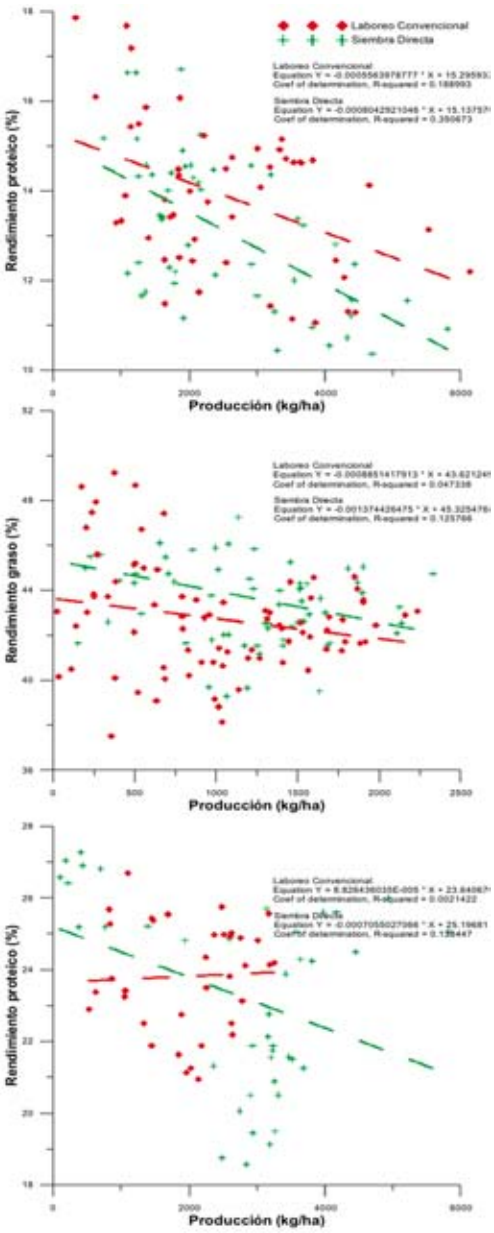


Figura 13. Relación entre el la cosecha y el rendimiento proteico o graso para los cultivos de trigo (arriba), girasol (medio) y leguminosa (abajo)

BIBLIOGRAFÍA

• Álvaro-Fuentes, J., Cantero-Martínez, R., Arrúe, J.L. (2007). Soil carbon dioxide flux following tillage in semiarid Mediterranean agroecosystems. Soil and Tillage Research 96: 331-341.

• Brinson, M.M. (1977). Decomposition and nutrient exchange of litter in an alluvial swamp forest. Ecol., 58: 601-609.

• Carbonell, R. (2009). Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y del manejo del suelo sobre el papel de la Agricultura en los procesos de fijación y emisión de carbono. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.

• Davidson, E. A. and Ackerman I. L. (1993). Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. Biogeochemistry 20: 161-193.

• EC (2007). Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. COM (2007) 2 Final. Limitar el Calentamiento Mundial a 2 ºC. Medidas Necesarias hasta 2020 y después. http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/l28188_es.htm

• EEA (2012). Aproximated EU GHG Inventory: Early estimate for 2011. EEA Technical report 13/2012. http://www.eea.europa.eu//publications/approximated-eu-ghg-inventory-2011

• Hernanz, J.L. (2005). Agricultura de conservación: Una revisión a la rentabilidad energética. Libro de actas del congreso internacional sobre agricultura de conservación. Asoc. Española Agric. Conservación (eds). España. 173-182.

• IFIAS. International Federation of Institutes for Advanced Study. (2011). http://www.ifias.ca/

• Kononova, M.M. (1975). Humus of virgin and cultivated soils. En Soil components Vol. I, ed. J.E. Gieseking. Nueva York, Springer-Verlag, 475-526.

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

• MAGRAMA (2012). Avance de la estimación de emisiones GEI 2011. http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/default.aspx

• 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 CO2 and water loss from a loamy sand soil in Alabama. Soil Till. Res. 54, 197-199.

• Reicosky, D.C. (1997). Tillage-induced methods CO2 emissions from soil. Nutrient Cycl. Agoresyst. 49: 273-285.

• 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.

CONTACTO
Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos
IFAPA Centro "Alameda del Obispo"
Avda. Menéndez Pidal s/n
14004 Córdoba
Tel: 957 422 099
Fax: 957 422 168
www.agricarbon.eu
email: info@agricarbon.eu

Esta publicación ha sido posible gracias a la contribución financiera del Programa Life de la Unión Europea

Con la colaboración de:

Life+AGRICARBON

Life

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Fundación Biodiversidad

AEAC.SV

UNIVERSIDAD D CÓRDOBA

ECAF

JUNTA DE ANDALUCIA

Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA