

Estudio

Evaluación de los beneficios relativos a ciertas medidas Agroambientales



Estudio realizado por la Asociación Española Agricultura de Conservación
Suelos Vivos para la Secretaría General de Agricultura, Ganadería y
Alimentación de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo
Sostenible de la Junta de Andalucía.

Córdoba 2019.

Índice

1. Introducción	1
2. Beneficios agronómicos, medioambientales, económicos y sociales de las medidas agroambientales	4
2.1. La Agricultura de Conservación en el PDR Andaluz: Operaciones 10.1.6, 10.1.7 y 10.1.8. 5	
2.2. Beneficios agronómicos	9
2.3. Beneficios medioambientales.....	14
2.4. Beneficios económicos.....	15
2.5. Beneficios sociales	16
3. Efectividad de las medidas agroambientales para la consecución de los objetivos establecidos en el PDR.....	18
3.1. Materiales y métodos	18
3.2. Resultados en la red de fincas	31
3.3. Resultados en relación a los objetivos perseguidos por la medida agroambiental	49
4. Conclusiones del estudio	50
5. Propuestas de acciones para el futuro	51
6. Bibliografía.....	53

Índice de tablas

Tabla 1. Beneficios de las Operaciones 10.1.4, 10.1.6 y 10.1.7 derivados de la implantación de las prácticas de Agricultura de Conservación.....	9
Tabla 2. Incremento del contenido de N en el suelo gracias a la implantación de Agricultura de Conservación.....	10
Tabla 3. Efectos de la agricultura de conservación en el balance de agua.....	11
Tabla 4. Beneficios medioambientales de la agricultura de conservación en relación a los objetivos de la Medida 10 del PDR de Andalucía.....	14
Tabla 5. Metodología de cálculo de los indicadores básicos.....	20
Tabla 6. Red de fincas demostrativas.....	27
Tabla 7. Superficie y años de implantación de la práctica de Agricultura de Conservación en cada finca de la Red.....	29
Tabla 8. Resultados obtenidos en los indicadores básicos en la parcela de siembra directa de la finca 1 cereal en la campaña 2015/2016 y 2018/2019.....	35
Tabla 9. Resultados obtenidos en los indicadores básicos en la parcela de Siembra Directa de la finca 2 cereal en la campaña 2015/2016 y 2018/2019.....	40
Tabla 10. Resultados obtenidos en los indicadores básicos en la parcela con Cubiertas Vegetales de la finca 1 olivar en la campaña 2015/2016 y 2018/2019.....	44
Tabla 11. Resultados obtenidos en los indicadores básicos en la parcela con Cubiertas Vegetales de la finca 2 olivar en la campaña 2015/2016 y 2018/2019.....	48
Tabla 12. Diferencia de valor en los indicadores relacionados con los objetivos de la Medida 10 entre las parcelas de Agricultura de Conservación y las parcelas de laboreo convencional.....	49

Índice de figuras

Figura 1. Principios de la aplicación de la Agricultura de Conservación.....	6
Figura 2. Evaporación acumulada de agua del suelo medida 24 horas tras las labores primarias (a) y secundarias (b).	12
Figura 3. Indicadores de la metodología INSPIA.....	19
Figura 4. Ejemplo de cálculo de un indicador básico.....	25
Figura 5. Ejemplo de cálculo de un indicador agregado en el nivel 1.....	25
Figura 6. Ejemplo de cálculo de un indicador agregado en el nivel 2.....	26
Figura 7. Ejemplo de cálculo del indicador global.	26
Figura 8. Ubicaciones de las fincas de la Red de estudio.	27
Figura 9. Ubicaciones de las fincas de cereal.	27
Figura 10. Ubicaciones de las fincas de olivar.	28
Figura 11. Valores de los indicadores agregados a nivel 1 y valor del indicador global en la campaña 2018/2019 en la finca 1 cereal para la parcela en laboreo convencional (arriba) y en Siembra Directa (abajo).	32
Figura 12. Valores de los indicadores básicos en la campaña 2018/2019 en la finca 1 cereal para la parcela en laboreo convencional (arriba) y en Siembra Directa (abajo).	33
Figura 13. Valores de los indicadores agregados por ámbitos en la campaña 2018/2019 para ambos sistemas de manejo en la finca 1 cereal.....	34
Figura 14. Evolución del indicador global de sostenibilidad en la parcela de Siembra Directa de la finca 1 cereal.....	35
Figura 15. Valores de los indicadores agregados a nivel 1 y valor del indicador global en la campaña 2018/2019 en la finca 2 cereal para la parcela en laboreo convencional.	36
Figura 16. Valores de los indicadores agregados a nivel 1 y valor del indicador global en la campaña 2018/2019 en la finca 2 cereal para la parcela en Siembra Directa.	37
Figura 17. Valores de los indicadores básicos en la campaña 2018/2019 en la finca 2 cereal para la parcela en laboreo convencional (arriba) y en Siembra Directa (abajo).	38
Figura 18. Valores de los indicadores agregados por ámbitos en la campaña 2018/2019 para ambos sistemas de manejo en la finca 2 cereal.....	39
Figura 19. Evolución del índice global de sostenibilidad en la finca 2 cereal.....	39
Figura 20. Valores de los indicadores agregados a nivel 1 y valor del indicador global en la campaña 2018/2019 en la finca 1 olivar para la parcela en laboreo convencional (izda.) y con Cubiertas Vegetales (dcha.).	41
Figura 21. Valores de los indicadores básicos en la campaña 2018/2019 en la finca 1 olivar para la parcela en laboreo convencional (arriba) y con Cubiertas Vegetales (abajo).	42
Figura 22. Valores de los indicadores agregados por ámbitos en la campaña 2018/2019 para ambos sistemas de manejo en la finca 1 olivar.	43
Figura 23. Evolución del índice global de sostenibilidad en la finca 1 olivar.	43
Figura 24. Valores de los indicadores agregados a nivel 1 y valor del indicador global en la campaña 2018/2019 en la finca 2 olivar para la parcela en laboreo convencional (arriba) y con Cubiertas Vegetales (abajo).	45

Figura 25. Valores de los indicadores básicos en la campaña 2018/2019 en la finca 2 olivar para la parcela en laboreo convencional (arriba) y con Cubiertas Vegetales (abajo). 46

Figura 26. Valores de los indicadores agregados por ámbitos en la campaña 2018/2019 para ambos sistemas de manejo en la finca 2 olivar. 47

Figura 27. Evolución del índice global de sostenibilidad en la finca 2 olivar. La línea verde marca el umbral de sostenibilidad. 47

Índice de imágenes

Imagen 1. Germinación de malas hierbas en campo en siembra directa (izquierda) y laboreo convencional (derecha). Finca Rabanales, Córdoba, otoño 2016. 6

Imagen 2. Cereal de invierno en Siembra Directa. 8

Imagen 3. Olivar con Cubierta Vegetal. 8

Imagen 4. Parcelas en Siembra Directa y laboreo convencional en las fincas 1 y 2 de cereal. 28

Imagen 5. Parcelas con Cubierta Vegetal (izda.) y en laboreo convencional (dcha.) en la finca 1 de olivar. 29

Imagen 6. Parcelas con Cubierta Vegetal (izda.) y en laboreo convencional (dcha.) en la finca 2 de olivar. 29

Imagen 7. Toma de muestras de suelo para el análisis del contenido de materia orgánica. 30

Imagen 8. Instalación de trampas para muestreo de biodiversidad. 31

Imagen 9. Detalle de las muestras de biodiversidad con artrópodos presentes en las trampas. 31

1. Introducción

Andalucía, con una superficie agraria útil (SAU) de 4.399.491 ha (INE, 2018)¹, constituye una de las regiones agrarias más importantes del territorio nacional. La importancia económica del sector agrario en la región se ve reflejada en las magnitudes macroeconómicas que, de forma periódica, publican los organismos oficiales europeos, españoles y andaluces. Así pues, el Valor Añadido Bruto (VAB) de la agricultura, ganadería y pesca en Andalucía representa algo más del 6,5% del VAB andaluz², muy por encima de su contribución en España (en torno al 3%)² y la UE (1,7%) (Eurostat, 2018)³. La Producción de la Rama Agraria alcanzó más de 13.200 millones de euros en 2018 en Andalucía, representando casi el 25% del total nacional (CAPDER, 2018)⁴. Por su parte, el VAB con más de 9.300 millones de euros, significa el 31% del valor nacional, y la renta agraria en Andalucía supone la tercera parte del valor de España.

No menos importante es la dimensión social de la agricultura. La población ocupada en Andalucía en el conjunto del sector agrario (incluyendo silvicultura y pesca) se situó en 2019 en el 6,6% del total de ocupados en la economía andaluza, casi el doble que en España (3,8%)² y la Unión Europea (3,7%)³. En consecuencia, la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca representa un 8,92% del empleo en nuestra comunidad autónoma, lo que sitúa al sector en tercer lugar en cuanto a volumen de trabajadores, precedido sólo por el Comercio y la Hostelería.

La perspectiva medioambiental en la agricultura es otra de las cuestiones de importancia capital. A este respecto, uno de los problemas medioambientales más graves que amenaza la sostenibilidad de los ecosistemas agrarios en Andalucía, es la degradación del suelo, un recurso natural esencial para el desarrollo de los cultivos. Así pues, y según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, casi el 90% de la superficie de suelo de Andalucía, es susceptible a la desertificación⁵, ocupando el 4º puesto en riesgo de desertificación en España para el conjunto de todas las comunidades autónomas. En este sentido, la erosión es uno de los procesos que más incidencia tiene en dicho problema. En Andalucía este fenómeno adquiere una gran relevancia, con tasas medias de erosión de 7,4 t/ha/año, muy por encima de la media española (3,7 t/ha/año) y de la media europea (2,4 t/ha/año)³. Para hacernos una idea de lo que la tasa de erosión andaluza significa en términos de pérdida de suelo, basta con decir que, en base a la tasa media de formación de suelo para un suelo agrícola productivo, la cual rondaría el valor de 1 t/ha/año (Morgan, 1997), son necesarios 7 años y medio para recuperar todo el suelo perdido en tan sólo un año. Ello por no hablar de la superficie que está sometida a procesos muy severos de erosión, con pérdidas potenciales de más de 50 t/ha/año, parte de la cual se localiza en las cuencas del Sur y del Guadalquivir⁶.

¹ INE. Anuario Estadístico de España 2018.

https://www.ine.es/prodyser/pubweb/anuario18/anu18_12agric.pdf

² Instituto Nacional de Estadística. Contabilidad regional de España. Base 2010.

³ Eurostat.

⁴ Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural (2018). Macromagnitudes Agrarias de Andalucía. Renta agraria de Andalucía. Año 2018.

https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Estimaci%C3%B3n%20Renta%20Agraria2018_Enero2019_REVISADO.pdf

⁵ Evaluación y seguimiento de la desertificación en España, Mapa de la Condición de la Tierra 2000-2010.

⁶ Programa de Acción Nacional contra la Desertificación. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino ahora Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Una de las consecuencias de la erosión sobre el suelo, es la pérdida de materia orgánica y del carbono orgánico del suelo (COS). Teniendo en cuenta que el COS 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, un bajo contenido de este elemento constituye un problema para el potencial productivo de nuestros suelos. Así, Loveland y Webb (2003), en una revisión sobre los valores críticos de materia orgánica en suelos agrícolas del área templada, sugirieron que un contenido de carbono del 1%, podía representar el umbral por debajo del cual, la producción de los cultivos se vería comprometido, incluso suministrando fertilizantes sintéticos. Estos mismos autores afirman, en el mismo estudio, que por debajo del 2% de contenido de COS, se pueden originar pérdidas importantes en la calidad del suelo.

A este respecto, Rodríguez Martín *et al.* (2009), en un estudio realizado para el INIA, determinaron el porcentaje medio de materia orgánica en cada provincia, a través del análisis de más de 4.000 muestras de suelo repartidas por toda la geografía nacional. El resultado fue concluyente respecto al mal estado de los suelos a nivel nacional. Así pues, los suelos de 16 provincias tenían un porcentaje de COS por debajo del 1%, y 28 provincias entre el 1% y el 2%, dibujando un panorama en el que 44 provincias, un 88%, están en riesgo de pérdidas importantes en la calidad de sus suelos. En Andalucía, exceptuando Cádiz, todas las provincias tienen de media un porcentaje de materia orgánica por debajo del 2%, siendo Almería, la provincia con un porcentaje medio más bajo (1,14%).

Otro de los retos a los que el sector agrario se enfrenta es el cambio climático y la necesidad de mitigarlo, así como de contribuir a la adaptación de los cultivos a sus efectos. No en vano, la agricultura es uno de los sectores socioeconómicos más dependientes del clima, ya que la mayor parte de la productividad y la calidad de la agricultura dependen directamente de diferentes factores climáticos (McArthur, 2016). La región mediterránea es una de las zonas más vulnerables al cambio climático en Europa (EEA, 2017), además, las proyecciones de cambio climático prevén que sus efectos en Andalucía se intensificarán en el futuro. La agricultura, además de sufrir los efectos del cambio climático, es una actividad emisora de Gases de Efecto Invernadero (GEI), siendo en Andalucía, con el 11% del total de emisiones, la tercera actividad emisora tras el sector industrial y el transporte.

Hay que reseñar que en los últimos años se ha puesto claramente de manifiesto las importantes emisiones de CO₂ y otros GEI que origina el laboreo del suelo, en particular el de inversión (arado de vertedera, grada de disco). Históricamente, el laboreo intensivo de las tierras agrícolas ha causado pérdidas sustanciales (desde un 30% al 50%) del carbono del suelo (Davidson *et al.*, 1993). Estas pérdidas de CO₂ se deben a la fragmentación del suelo que ocasiona el laboreo y que facilita el intercambio de CO₂ y O₂ desde el suelo a la atmósfera y viceversa. Asimismo, 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 implica un mayor consumo de combustibles fósiles, lo que conlleva una mayor contaminación atmosférica, debido a la emisión de CO₂ procedente de dicha combustión, con el consiguiente efecto potencial de esta contaminación sobre el cambio climático global.

Estas cuestiones medioambientales llevan abordándose en el sector agrícola a través de las sucesivas reformas de la PAC desde 1992. En este sentido, la PAC (2014-2020) claramente favorece a los sistemas agrarios que realicen un uso responsable de los recursos naturales para la producción de alimentos de calidad, planteando no sólo retos económicos (seguridad alimentaria, menor productividad de los cultivos, volatilidad de los precios y crisis económicas), sino también medioambientales (calidad del agua y del aire, evitar la degradación del suelo, mejora y conservación de hábitats y de biodiversidad y reducción de gases de efecto invernadero) y territoriales (diversificar la agricultura europea y revalorizar las áreas rurales). En este marco normativo, medidas como la condicionalidad no sólo se han mantenido, sino que incluso se han reforzado con nuevas medidas de obligado cumplimiento como las llamadas “pagos verdes o *greening*”. Los pagos verdes por hectárea son de obligado cumplimiento y representan el 30% del total de los pagos directos (Carmona, 2015).

El Pilar II también ha contribuido a este reforzamiento de las políticas medioambientales en el marco de la PAC a través de los Programas de Desarrollo Rural. Concretamente, Andalucía lleva históricamente aplicando una serie de medidas relacionadas con la conservación del suelo, sobre todo en cultivos leñosos y más recientemente, en cultivos herbáceos. Prueba de ello son las Operaciones 10.1.4. Sistemas sostenibles de cultivos herbáceos de secano, 10.1.6. Sistemas sostenibles de cultivos leñosos (permanentes) y 10.1.7. Sistemas sostenibles de olivar dentro de la Medida 10: Agroambiente y Clima.

De cara a demostrar la eficacia de las prácticas promovidas por dichas operaciones en la consecución de los objetivos perseguidos por la Medida 10 del Programa de Desarrollo Rural de Andalucía, para así justificar la idoneidad de su implantación y desarrollo, y continuar promoviendo en el futuro su aplicación en la PAC post 2020, es necesario acometer un conjunto de acciones que doten a la Administración competente de soporte científico y técnico. En esta línea, el presente informe realiza un estudio del impacto que las prácticas de Agricultura de Conservación, incluidas en las operaciones 10.1.4 y 10.1.7 tienen en las explotaciones agrícolas. Debido a que sus beneficios medioambientales, no sólo se limitan a la protección del suelo, sino que, además, mejoran la gestión y calidad del agua, contribuyen a la lucha contra el cambio climático y favorecen la biodiversidad de los ecosistemas agrarios, su implantación supone una buena forma de evaluar el grado de consecución de los objetivos marcados en la Medida 10 del Programa de Desarrollo Rural de Andalucía.

2. Beneficios agronómicos, medioambientales, económicos y sociales de las medidas agroambientales

El Programa de Desarrollo de Andalucía 2014-2020 (PDR) constituye el marco legal mediante el cual, se articulan diversas actuaciones y medidas que pretenden impulsar, durante el periodo 2014-2020, el Desarrollo Rural en la región de acuerdo a un esquema propuesto por la Comisión Europea a través de las Directrices Estratégicas Comunitarias, asumido por cada Estado a través de los Planes Estratégicos Nacionales.

Entre las actuaciones y medidas contempladas en el PDR, se encuentra la Medida 10, denominada “Agroambiente y Clima”, que persigue el mantenimiento de actividades beneficiosas para el medio ambiente frente al riesgo de abandono, así como la introducción de sistemas productivos que permiten un uso más sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible de los recursos genéticos en la agricultura. Concretamente, son tres los objetivos temáticos que persigue la medida:

- Favorecer la transición a una economía baja en carbono en todos los sectores.
- Promover la adaptación al cambio climático y la prevención y gestión de riesgos.
- Conservar y proteger el medio ambiente y promover la eficiencia en el uso de los recursos.

Estos objetivos están destinados a dar respuesta a diversas necesidades detectadas por el PDR, muy enfocadas a afrontar los retos de tipo medioambiental que tiene ante sí el sector agrario andaluz, y que son las siguientes:

- Mejorar la gestión de recursos y residuos, avanzando hacia sectores agrarios y silvícolas bajos en carbono, más competitividad y sostenibilidad.
- Fomentar prácticas agrícolas y ganaderas para la mitigación y/o adaptación al cambio climático y conservación de la biodiversidad.
- Mejorar de la gestión y conservación de suelos y de su cubierta vegetal.
- Fomentar estrategias que mejoren la gestión y/o calidad del agua.
- Restaurar, preservar y mejorar los ecosistemas relacionados con la agricultura y la silvicultura.
- Promover la eficiencia de los recursos y fomentar el paso a una economía baja en carbono y capaz de adaptarse al cambio climático en los sectores agrario, alimentario y forestal.

La Medida 10 contempla, además, dos submedidas, una relativa a pagos por compromisos agrarios y ambientales, y otra enfocada en la conservación de recursos genéticos en agricultura. Mientras que ésta última sólo contempla una operación, la primera submedida incluye total de 12 operaciones, en la que, a través de su puesta en marcha, se busca dar respuesta a las necesidades detectadas en el sector agrario andaluz.

De entre todas las operaciones, tres son las que incluyen la práctica de Agricultura de Conservación entre los compromisos a adquirir por los agricultores, concretamente la Operación 10.1.4. Sistemas sostenibles de cultivos herbáceos de secano, la Operación 10.1.6. Sistemas sostenibles de cultivos leñosos (permanentes) y la Operación 10.1.7.

Sistemas sostenibles de olivar. Esto no hace sino poner de manifiesto, como los beneficios provistos por dichas técnicas, ya sea la Siembra Directa en cultivos herbáceos, o las Cubiertas Vegetales en cultivos leñosos, contribuyen a alcanzar los objetivos fijados en la Medida 10, beneficios que no sólo se circunscriben al ámbito medioambiental, sino que también alcanza el ámbito agronómico, económico y social, como se expone a lo largo del presente apartado.

2.1. La Agricultura de Conservación en el PDR Andaluz: Operaciones 10.1.6, 10.1.7 y 10.1.8.

Principios de la Agricultura de Conservación

La Agricultura de Conservación es un sistema de prácticas agrarias basadas en la menor alteración posible del suelo y en el mantenimiento de una cobertura de restos vegetales. Según la FAO “La Agricultura de Conservación comprende una serie de técnicas que tienen como objetivo fundamental conservar mejorar y hacer un uso más eficiente de los recursos naturales, mediante un manejo integrado del suelo, agua, agentes biológicos e insumos externos”. En cuanto a España, en un estudio realizado por la Universidad de Córdoba y el entonces Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (actualmente Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), en el que participó la Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV), citado en bibliografía, se definen estas técnicas como “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”.

Los principios de la Agricultura de Conservación, sobre los que se fundamentan una implantación exitosa y unos beneficios reales sobre los ecosistemas agrarios, son los siguientes:

- **Supresión de las operaciones de laboreo del suelo.** En los sistemas de Agricultura de Conservación el suelo es concebido como un ente vivo capaz de proveer de numerosos servicios ecosistémicos al agro. No perturbarlo de manera mecánica encaja con este concepto de manera que, al no alterarlo, incrementamos su resiliencia, aumentamos el contenido de materia orgánica, se favorece la biodiversidad edáfica, se mejora su estructura y, en definitiva, se mejora su calidad.
- **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 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. **Al menos el 30% de la superficie 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.
- **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.

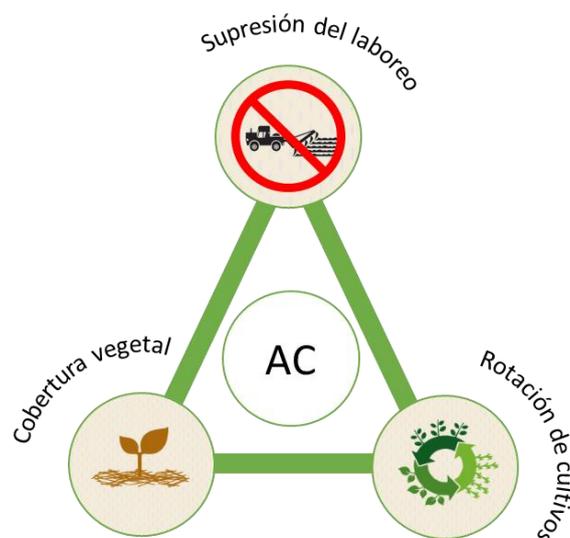


Figura 1. Principios de la aplicación de la Agricultura de Conservación.

Uso sostenible de productos fitosanitarios en Agricultura de Conservación

La Agricultura de Conservación supone para los ecosistemas agrarios indudables beneficios medioambientales, reportados ampliamente en la literatura científica tal y como se expondrá a lo largo del presente informe. No obstante, el requerimiento del uso de herbicidas para su desarrollo, parece resultar incómoda para algunos sectores de la sociedad que desconocen el balance global claramente positivo en los ecosistemas agrícolas manejados bajo estas prácticas agrícolas.

No obstante, y a pesar de que la utilización de los herbicidas en Agricultura de Conservación es indispensable para el éxito del sistema, la aplicación de los tres principios anteriormente expuestos, además de necesarios para su correcta implantación, suponen una estrategia clara de cara a poder optimizar el uso de herbicidas y reducir el impacto de las malas hierbas en el cultivo, gracias al control que ejerce una estrategia basada en la rotación de cultivos o a los beneficios derivados de la reducción de la contaminación en aguas superficiales que se da por el mantenimiento de una cubierta vegetal sobre el suelo (Imagen 1).



Imagen 1. Germinación de malas hierbas en campo en siembra directa (izquierda) y laboreo convencional (derecha). Finca Rabanales, Córdoba, otoño 2016.

En lo que respecta al control de las malas hierbas, la diferencia fundamental, respecto a la agricultura basada en el laboreo, radica en que cuando es necesario controlar la hierba, justo antes de sembrar, se recurre a la aplicación de un herbicida de baja peligrosidad y sin efecto residual en vez de realizar numerosos pases de labor que se dan de forma infundada y que tienen consecuencias ambientales netamente negativas. Una vez establecido el cultivo, el uso de fitosanitarios sigue las mismas pautas que un cultivo convencional. No se ha de olvidar que, gracias a la posibilidad de realizar este tratamiento, el suelo está cubierto permanentemente por residuos orgánicos, y mucho más tiempo por vegetación espontánea viva, que los sistemas de manejo de suelo basados en el laboreo.

Así pues, y en lo que respecta a los tratamientos realizados en presiembra, en las condiciones de clima mediterráneo, dada la escasa pluviometría estival, el control herbicida entre sucesivos cultivos anuales se simplifica notablemente. Prueba de ello es que, en el suroeste de Europa, una aplicación de herbicida de preemergencia es eficaz en años con una distribución normal de las precipitaciones, ya que la mayoría de las semillas que permanecen en la superficie del suelo, germinan antes de la siembra del cultivo en otoño (Calado *et al.*, 2010). Gracias a ello, el establecimiento de cultivos en siembra directa reduce también la infestación de malas hierbas en post-emergencia, ya que las semillas enterradas permanecen debajo de la capa superficial del suelo y no germinan. Además de ello, la mejora estructural que se da en los suelos bajo Agricultura de Conservación, permite una aplicación temprana de herbicidas a bajas dosis incluso en inviernos húmedos, garantizando un control eficaz de las malas hierbas después de la emergencia (Barros *et al.*, 2007, 2008).

Por poner un ejemplo de lo que ello representaría en los cultivos típicos de una rotación bajo clima mediterráneo, entre la cosecha de un cultivo de girasol y la siembra de un cultivo de trigo o colza, puede ser necesario la aplicación de un solo tratamiento herbicida no residual, salvo en el caso de otoños con precipitaciones tempranas y muy lluviosos. De igual manera, entre la recolección del cereal de invierno y la siembra del girasol, suelen necesitarse de 2 a 3 tratamientos herbicidas no residuales, si bien la posibilidad de realizar siembras tempranas, reduciría el número de tratamientos.

En este contexto, la adopción de Agricultura de Conservación, con todos los beneficios que ello conlleva, constituye, a través de sus tres principios, una estrategia adecuada para la optimización del uso de herbicidas, derivando todo ello en una reducción del riesgo de los impactos en el medioambiente, resultando en un uso más seguro de estos productos.

Prácticas de Agricultura de Conservación

Dos son las técnicas de referencia de la Agricultura de Conservación, la Siembra Directa en cultivos herbáceos o anuales, y las Cubiertas Vegetales en cultivos leñosos o perennes.

- Siembra Directa: Se trata de la práctica agronómica más representativa de la Agricultura de Conservación en cultivos anuales, 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).

Se trata de una práctica agronómica 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 Siembra Directa constituye 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 (Imagen 2).



Imagen 2. Cereal de invierno en Siembra Directa.

- **Cubiertas Vegetales:** Es la práctica agronómica de Agricultura de Conservación más representativa en cultivos leñosos, destacando su implantación en los cultivos de olivar, cítricos y almendros. En este caso, la superficie de suelo entre las hileras de los árboles permanece protegida 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 (Imagen 3).



Imagen 3. Olivar con Cubierta Vegetal.

La Agricultura de Conservación en el PDR de Andalucía

Tanto la Siembra Directa como las Cubiertas Vegetales están incluidos de manera explícita en tres operaciones contempladas en la Medida 10 “Agroambiente y Clima” del PDR de Andalucía, habiendo sido traspuestas a la normativa autonómica a través de la

Orden de 26 de mayo de 2015⁷ (Operación 10.1.7. Sistemas sostenibles de olivar) y la Orden de 16 de febrero de 2018⁸ (Operación 10.1.4. Sistemas sostenibles de cultivos herbáceos de secano, Operación 10.1.6. Sistemas sostenibles de cultivos leñosos (permanentes)). La implantación tanto de la Siembra Directa como de las Cubiertas Vegetales, suponen unos beneficios tanto en la explotación, como en el ecosistema agrario (Tabla 1), que contribuyen a que las medidas agroambientales cumplan los objetivos para los cuales fueron concebidas.

Tabla 1. Beneficios de las Operaciones 10.1.4, 10.1.6 y 10.1.7 derivados de la implantación de las prácticas de Agricultura de Conservación.

Ámbito	Beneficios
Agronómico.	Incremento de la fertilidad del suelo. Mejora de la estructura del suelo. Mayor conservación de agua en el perfil edáfico. Ahorro energético e incremento de la productividad energética.
Medioambiental	Incremento de la biodiversidad. Reducción de la erosión y escorrentía. Reducción de las emisiones de GEI y aumento del secuestro de C.
Económico.	Reducción de costes de combustible. Mantenimiento de las producciones.
Social	Mejora condiciones de vida laborales a través de la reducción de costes y la reducción del nº de horas de trabajo. Conservación y mejora de los ecosistemas agrarios.

Se detallan a continuación para cada ámbito, y basándose en la literatura técnica y científica, los beneficios que la Operaciones 10.1.4, 10.1.6 y 1.1.7 suponen para los agroecosistemas andaluces gracias a la utilización de las prácticas de Agricultura de Conservación.

2.2. Beneficios agronómicos

La mejora de las propiedades que tienen lugar en los recursos naturales suelo y agua gracias a la práctica de Agricultura de Conservación, redundan de manera positiva en las condiciones en las que se desarrollan los cultivos, contribuyendo a su viabilidad agronómica, al estar implantados en ecosistemas agrarios que resultan a la postre más resilientes.

Por otro lado, las estrategias de manejo basadas en la rotación de cultivos que se promueven desde la Siembra Directa, unido a las mejoras en los recursos naturales, hace posible una gestión más eficiente del uso de los insumos, favoreciendo un ahorro energético y, por tanto, una mayor productividad energética.

Las razones que, por tanto, promueven la obtención de beneficios agronómicos gracias a la implantación de las prácticas de Agricultura de Conservación, son las siguientes:

Incremento de la fertilidad natural del suelo

Por lo general, los parámetros edáficos que se utilizan para evaluar el nivel de fertilidad de un suelo (materia orgánica, disponibilidad de nitrógeno-fósforo-potasio) evolucionan favorablemente cuando el suelo deja de labrarse y los rastrojos se integran al manejo

⁷ BOJA núm. 102 del 29/05/2015

⁸ BOJA núm. 37 del 21/02/2018

productivo de los cultivos. Por todo ello, la Agricultura de Conservación 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).

Así pues, está ampliamente comprobado que cuando se cambia de un sistema basado en el laboreo a un sistema de conservación, el contenido de materia orgánica aumenta con el tiempo, con todas las consecuencias favorables que ello conlleva para la fertilidad natural del suelo (Giráldez *et al.*, 1995; Smith *et al.*, 2008), 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 materia orgánica actúa como un filtro para el agua, mejorando su calidad.

Por otro lado, la mayoría de los estudios a largo plazo realizados en España sobre los beneficios de la Agricultura de Conservación en el nitrógeno (N) 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 Siembra Directa, 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 Agricultura de Conservación en relación al resto de nutrientes, se considere esta práctica como mejoradora de la fertilidad del suelo.

Tabla 2. 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 <i>et al.</i> (2006)
Cubierta Vegetal (restos de poda)	+28%	2 años	Ordoñez <i>et al.</i> (2015)
Cubierta Vegetal (leguminosas)	+70%	4 años	Repullo <i>et al.</i> (2019)

En lo que respecta al fósforo, el manejo continuado de los suelos en Agricultura de Conservación conduce a una mayor eficiencia del fertilizante fosfatado, aumentando la concentración y disponibilidad del fósforo (P), a causa de la estratificación de la materia orgánica 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 Siembra Directa, las concentraciones de fósforo y potasio (K) disponibles para el cultivo, se incrementaron en el horizonte superficial respecto al Laboreo Convencional.

En cubiertas vegetales con restos de poda, Ordóñez *et al.* (2015), encontraron que el contenido de P y K se incrementó respecto a las parcelas labradas. Dichos incrementos fueron de hasta casi un 59% de P y hasta en un 27% de K en las capas superficiales de suelo, y de hasta casi el 98% en el caso del P, y de hasta un 28% en el caso del K en capas más profundas. Por su parte, Gómez-Muñoz *et al.* (2014), observaron que, en un olivar con cubiertas vegetales de leguminosas, la cubierta liberó al suelo después de un año de implantación, el 90% y el 80% de los residuos iniciales de K y P.

Mejora de la estructura del suelo

La puesta en práctica de Agricultura de Conservación 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 Agricultura de Conservación, 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 Agricultura de Conservación, 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 materia orgánica 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 materia orgánica en el suelo, mejora su estructura y favorece la estabilidad estructural. Es por ello, que la Agricultura de Conservación, debido al aumento de materia orgánica que su práctica implica, contribuye a la mejora estructural del suelo.

Conservación del agua

El contenido de agua del suelo es con frecuencia un factor limitante de la productividad agrícola, especialmente en zonas de secano. Numerosos informes científicos ponen de manifiesto que las técnicas conservacionistas, y en particular la Siembra Directa, aumentan el contenido hídrico del perfil del suelo en comparación con las técnicas convencionales (laboreo), sobre todo en años de baja pluviometría. El rastrojo mantenido sobre la superficie del suelo disminuye la evaporación del mismo, mientras que el laboreo la incrementa.

El impacto más significativo de la Agricultura de Conservación sobre la producción de cultivos, es la modificación favorable del balance de agua del suelo (Tabla 3). Los componentes más afectados de este balance son las pérdidas por evaporación y escorrentía, y la ganancia por mayor infiltración.

Tabla 3. Efectos de la agricultura de conservación en el balance de agua.

Causa	Efecto	Consecuencia	Resultado
Rastrojo en superficie.	Mayor albedo.	Menor calor latente.	Menor evaporación.
	Menor acción del viento.	Menor presión de vapor.	Menor evaporación.

Tabla 3. Continuación

Causa	Efecto	Consecuencia	Resultado
Rastrojo en superficie.	Menor energía de impacto de gota de lluvia.	Menor encostramiento.	Mayor infiltración. Menor escorrentía.
	Mayor tiempo de permanencia del agua en superficie.	Mayor oportunidad de entrada de agua al perfil del suelo.	Mayor infiltración. Menor escorrentía.
Ausencia de labores.	Estabilidad del sistema poroso e incremento de bioporos.	Mayor conductividad hidráulica saturada Mayor retención de agua.	Mayor infiltración. Menor escorrentía.

Reducción de la evaporación

Los sistemas de Agricultura de Conservación 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 Agricultura de Conservación, 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 Siembra Directa (Figura 2).

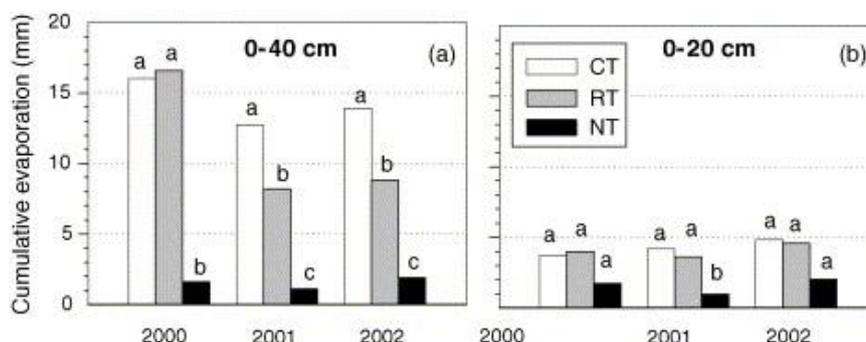


Figura 2. Evaporación acumulada de agua del suelo medida 24 horas tras las labores primarias (a) y secundarias (b).

CT: Conventional Tillage (Laboreo convencional), RT: Reduced Tillage (Mínimo laboreo), NT: No-tillage (Siembra Directa). Fuente: Moret *et al.* (2006).

Incremento de la tasa de infiltración

Por su parte, el incremento de la tasa de infiltración que se da en los suelos manejados bajo Agricultura de Conservación, posibilita que la recarga hídrica de los mismos tras los periodos de lluvia sea mayor que los suelos manejados bajo un sistema basado en

el laboreo. En este sentido, son diversos los trabajos que han estudiado los efectos del manejo de suelo en la dinámica y conservación del agua, concluyendo alguno de ellos, que el contenido volumétrico de los primeros 20 cm de suelo es superior en los suelos bajo prácticas de Agricultura de Conservación respecto a los suelos bajo laboreo convencional (López-Garrido, 2010). Por su parte, estudios realizados en Andalucía, Muriel *et al.* (2005) concluyeron que las técnicas de Agricultura de Conservación 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.

Reducción de la escorrentía

En Agricultura de Conservación tiene lugar una menor escorrentía, debido por un lado al incremento de la infiltración de agua que se produce por las mejoras estructurales que se dan en el suelo y por otro, al descenso de la velocidad del flujo del agua de escorrentía como consecuencia de la gran cantidad de restos de cosecha existentes en la superficie del suelo, aumentando el tiempo de oportunidad de infiltración. Además, dichos restos protegen al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, las 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.

Diversos estudios a nivel mundial refrendan la reducción de la escorrentía que se dan en los sistemas de Agricultura de Conservación, siendo dicha disminución del orden del 67% en Siembra Directa (Kertész *et al.*, 2010) y del 43% en Cubiertas Vegetales (Márquez *et al.*, 2010).

Ahorro energético e incremento de la productividad energética

La aplicación práctica de la Agricultura de Conservación se basa en una supresión del laboreo. A consecuencia de ello, se produce una reducción del consumo de energía en comparación al laboreo convencional y a igualdad del resto de factores de producción. Dicha reducción suele ser equivalente a la del combustible que se ha dejado de consumir, fruto de la no realización de las operaciones de laboreo. En términos relativos, la diferencia entre ambos sistemas tiende a reducirse, en función de la cantidad de insumos que se aplique, tanto en las operaciones destinadas a la fertilización del cultivo, como en las operaciones de control de las malas hierbas. En cualquier caso, y en base a los estudios realizados en España (Hernanz, 1997), los ahorros energéticos que se alcanzan en los sistemas de siembra directa frente al laboreo convencional, oscilan entre el 10% y el 50% según la región y el cultivo considerado.

Pero el ahorro de energía en un cultivo a lo largo de su ciclo de producción no tendría sentido si fuera acompañado de una pérdida de rendimiento tal que la energía necesaria para obtener la unidad de producto (es decir, la productividad energética) fuera considerablemente mayor. Esto significaría que, aunque en una determinada parcela se consumiera menor cantidad de energía, habría que emplear mayor superficie para obtener la misma cantidad de producto y gastar en términos absolutos más energía. En la misma revisión de trabajos realizada por Hernanz y Sánchez-Girón (1997), la productividad energética de los sistemas de Agricultura de Conservación es un 30% superior a los sistemas de laboreo convencional. Esto quiere decir que, para producir 1

kg de producto, en Siembra Directa hace falta un 30% menos de energía o, lo que es lo mismo, con la misma cantidad de energía, se obtiene un 30% más de producto en Agricultura de Conservación.

2.3. Beneficios medioambientales

La bibliografía científica aporta las suficientes evidencias científicas de los beneficios medioambientales que aportan las prácticas de Agricultura de Conservación (AC) a los ecosistemas agrarios. En este sentido, gracias a su aplicación, es posible contribuir a todos y cada uno de los objetivos planteados por la Medida 10, tal y como se expone en la tabla 4.

Tabla 4. Beneficios medioambientales de la agricultura de conservación en relación a los objetivos de la Medida 10 del PDR de Andalucía.

Objetivos de la Medida 10	Beneficios de la Agricultura de Conservación
Restauración, preservación y mejora de la biodiversidad.	La AC Mayor promueve la biodiversidad y mejora salud biológica de los ecosistemas agrarios con mayores poblaciones de seres vivos, tanto invertebrados ⁹ , como vertebrados y pájaros ¹⁰ .
Restauración, preservación y mejora de la biodiversidad.	La mejora de la calidad del suelo por la implementación de prácticas de AC favorece la sostenibilidad de la biodiversidad del suelo ¹¹ . Estudios en climas mediterráneos han mostrado como, en comparación con los sistemas de laboreo convencional, la práctica de no laboreo favorece la abundancia de artrópodos y de lombrices ^{12,13} y presenta mayores niveles de biomasa microbiana y de actividades enzimáticas, tanto en secano como en regadío ^{14,15,16} .
Mejora de la gestión del agua, incluyendo la gestión de los fertilizantes y los plaguicidas.	Los suelos bajo AC poseen una mayor tasa de infiltración, que se traduce en una mayor disponibilidad de agua para el cultivo en el perfil edáfico, llegando a ser de hasta 22 mm de agua más en siembra directa ¹⁷ . De la comparación de la Siembra Directa con el laboreo convencional 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 % ¹⁸ .
Prevención de la erosión de los suelos y mejora de la gestión de los mismos.	La presencia de restos vegetales sobre la superficie del suelo, reduce de manera significativa la erosión. La bibliografía científica afirma que, con la siembra directa, la erosión hídrica se reduce en un 90% ¹⁹ y la erosión eólica en un 95% ²⁰ .

⁹ López-Fando (2010)

¹⁰ Holland (2004)

¹¹ Soane *et al.* (2012)

¹² Errouissi *et al.* (2011)

¹³ Pelosi *et al.* (2014)

¹⁴ Madejón *et al.* (2009)

¹⁵ Melero *et al.* (2011)

¹⁶ Panettieri *et al.* (2013)

¹⁷ Troccoli *et al.* (2009)

¹⁸ ECAF (1999)

¹⁹ Towery (1998)

²⁰ Fryrear (1985)

Tabla 4. Continuación.

Objetivos de la Medida 10	Beneficios de la Agricultura de Conservación
Prevención de la erosión de los suelos y mejora de la gestión de los mismos.	Con la siembra directa se mejora las propiedades relativas a la estructura del suelo, como distribución de tamaño de agregados, diámetro medio ponderado e índice de agregación ²¹ .
Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y amoníaco procedentes de la agricultura	La supresión de las operaciones de laboreo en los sistemas de Agricultura de Conservación, Estudios realizados en Andalucía han mostrado cómo los suelos bajo el sistema convencional (labranza) han estado emitiendo entre un 25% y un 67% más que los suelos bajo siembra directa ²² . Estudios a nivel mundial han constatado las reducciones de emisiones de C equivalente asociadas al consumo energético que supone la Siembra Directa, gracias a la reducción del número de operaciones., calculando valores de 35,3 kg/ha en el laboreo convencional, de 7,9 kg/ha en mínimo laboreo basado en la utilización del arado cincel, y de 5,8 kg/ha en Siembra Directa, lo que supone una reducción del 83,57% de emisiones con respecto a la agricultura convencional ²³ .
Fomento de la conservación y captura de carbono en los sectores agrícola y forestal	Diversos meta-análisis realizados en España constatan como, los suelos bajo prácticas de AC, incrementan el contenido de carbono en el suelo respecto a los sistemas de manejo convencionales. Dichas cifras van desde un incremento anual de 0,85 t/ha en siembra directa en cultivos herbáceos a 1,59 t/ha en cubiertas vegetales en cultivos leñosos ²⁴ .

2.4. Beneficios económicos

La implantación de sistemas de Agricultura de Conservación 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 CO₂ 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 Agricultura de Conservación es similar a los sistemas convencionales (Domínguez Giménez, 1997). Estudios desarrollados en Andalucía muestran que la adopción de sistemas de agricultura de conservación no supone una pérdida de rendimiento con respecto al manejo basado en el laboreo (Valera et al, 1995), manteniéndose la producción en los casos más desfavorables.

En lo que respecta a los costes, gracias a la supresión del laboreo, la Agricultura de Conservación presenta reducciones sustanciales fruto de unos menores requerimientos

²¹ López-Garrido *et al.* (2011)

²² Carbonell-Bojollo *et al.* (2019)

²³ Lal (2004)

²⁴ González-Sánchez *et al.* (2012)

de uso de combustible por hectárea con respecto a técnicas convencionales basadas en el laboreo. En particular, el consumo en cultivos herbáceos se reduce en 35 l/ha mientras que en cultivos leñosos el ahorro es de 18 l/ha (Gil Ribes, 2009). El descenso en el consumo de gasóleo es especialmente relevante al representar este componente más del 64% del gasto en combustibles y energía de las explotaciones agrícolas, por encima del gasto en electricidad y lubricantes, por lo que este ahorro representa una reducción relevante en los costes operacionales del agricultor.

Existen diversos estudios y experiencias en España en diferentes situaciones agroclimáticas que apoyan la reducción de costes expuesta anteriormente. González-Sánchez (2010), obtiene que los gastos variables de un cultivo de girasol en Siembra Directa son de 250,50 €/ha frente a los 323,50 €/ha del cultivo manejado mediante Laboreo Convencional. Asimismo, para un cultivo de trigo duro en Laboreo Convencional se obtuvo un gasto de 501,74 €/ha frente a los gastos del cultivo en Siembra Directa que ascendieron a 458 €/ha.

En lo que a cultivos leñosos se refiere, Gil Ribes *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: laboreo convencional (grada de púas, cultivador, rulo compactador), no laboreo (supresión de labores y suelo desnudo mediante tratamientos herbicidas), Cubierta Vegetal espontánea y Cubierta Vegetal sembrada, ambas segadas mecánicamente. La reducción de costes en el sistema de Cubierta Vegetal espontánea con respecto al sistema de laboreo convencional se situó en torno a 18 €/ha, mientras que el sistema de Cubierta Vegetal sembrada, supuso un sobrecoste respecto al laboreo convencional 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 Agricultura de Conservación, 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).

2.5. Beneficios sociales

Desde la perspectiva social, íntimamente ligada a la económica, la agricultura contribuye a 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 o la conciliación laboral), 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 medioambiental y cultural ligado a ella en el que la preservación y mantenimiento de las tradiciones son la clave para mantener la identidad local. La Agricultura de Conservación contribuye de manera directa o indirecta a cada una de las vertientes aquí expuestas.

Así pues, y en lo que se refiere al ámbito laboral, 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.

Por otro lado, en las técnicas empleadas en Agricultura de Conservación, la supresión del laboreo conlleva una reducción considerable en los tiempos de trabajo necesarios con respecto a técnicas convencionales basadas en la labranza. Así pues, en el caso de siembra directa, los tiempos de trabajo necesarios en labores mecanizadas por hectárea cultivada son de 3,9 horas. Teniendo en cuenta el mismo tipo de cultivo, las técnicas de laboreo convencional precisan unas 7,5 horas por hectárea, lo que representa una reducción del 48% en tiempo de trabajo en labores mecanizadas a favor de la Agricultura de Conservación. De forma similar, el tiempo de trabajo necesario en las cubiertas vegetales por hectárea cultivada es de 7 horas. Al comparar dicha cifra con las 11,8 horas por hectárea necesarias bajo técnicas convencionales, se puede observar una reducción del 41% en tiempos de trabajo gracias al uso de cubiertas vegetales.

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.

Además, dicha reducción supone un incremento del tiempo disponible por parte de los trabajadores que podría ser utilizado en otras actividades tanto dentro como fuera de la explotación agraria. A este respecto, cabe señalar que el 60% de la mano de obra en las explotaciones agrarias es familiar. Así, el tiempo extra disponible para el agricultor podría ser empleado en conciliar la vida laboral con la profesional, además de en actividades de formación u ocio, mejorando la calidad de vida de los agricultores.

Asimismo, existen explotaciones agrícolas que se dedican simultáneamente a otras actividades profesionales, por lo que el mayor tiempo disponible podría ser dedicado a actividades como turismo o transformación de productos agrícolas, entre otras.

La segunda repercusión social se corresponde con la responsabilidad del sector agroalimentario en cuanto a la seguridad de abastecimiento de los alimentos que proporciona a la sociedad. Ya en el apartado económico, se ha expuesto cómo, la implantación de técnicas de Agricultura de Conservación no supone una merma en los rendimientos respecto a los cultivos manejados mediante agricultura convencional. A este respecto, una encuesta realizada en 2007 para el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino puso de manifiesto que, incluso en los primeros años de implantación de la Agricultura de Conservación que es el periodo de mayor desconocimiento y de mayor número de dificultades técnicas, el 84% de los encuestados afirmaba que su producción se mantenía con respecto a las prácticas que realizaban anteriormente. Asimismo, en esa misma encuesta se constató que el grado de satisfacción con las técnicas de Agricultura de Conservación por parte de los encuestados era alto y muy alto en el 91,8% de los casos.

Por último, los servicios ecosistémicos que las técnicas de Agricultura de Conservación prestan al agro andaluz, y que han sido puestos de manifiesto en el apartado correspondiente a los beneficios medioambientales, contribuyen a la conservación y protección del legado medioambiental del medio rural.

3. Efectividad de las medidas agroambientales para la consecución de los objetivos establecidos en el PDR

Uno de los retos a los que la Administración se enfrenta a la hora de evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos establecidos en cualquier plan estratégico de tipo sectorial, es medir la efectividad de las medidas que dicho plan ha puesto en marcha, para alcanzar los fines para los cuales fue diseñado. En este sentido, el Plan de Desarrollo Rural no es menos, y dicho reto se magnifica más si cabe, por cuanto el sector objetivo del mismo, el sector agrario, además de constituir uno de los principales motores de desarrollo económico de la región andaluza, posee una gran diversidad de sistemas productivos y, por lo tanto, muchas necesidades a las que atender.

El PDR contempla multitud de medidas de aplicación al sector agrario destinadas a contribuir a su sostenibilidad, entre las que se encuentran las medidas agroambientales. A su vez, las medidas agroambientales, incluyen diversas operaciones con objetivos concretos, que promocionan el desarrollo de determinadas prácticas agrarias en unos cultivos concretos. Para evaluar la efectividad de dichas operaciones y, por ende, de las medidas agroambientales en el cumplimiento de los objetivos establecidos en el PDR, es necesario establecer un sistema de seguimiento basado en una metodología validada para evaluar el grado de sostenibilidad de las explotaciones de cultivos, bien sean de cultivos anuales, permanentes o mixtas.

De cara a verificar la efectividad de las medidas agroambientales en Andalucía, el presente informe fija su atención en aquellas operaciones en las que las prácticas de Agricultura de Conservación están incluidas, y más concretamente en las operaciones 10.1.4. “Sistemas sostenibles de cultivos herbáceos de secano” y 10.1.7. “Sistemas sostenibles de olivar”), al poner el foco en los dos cultivos más representativos de la agricultura andaluza (cereales de grano de invierno, 14%²⁵ de ocupación de la SAU, y olivar, con un 37%²⁵ de ocupación de la SAU). La razón por la cual las operaciones seleccionadas para su análisis incluyan las prácticas de Agricultura de Conservación obedecen al hecho, de que, los beneficios que se dan gracias a su implantación y desarrollo, alcanzan no sólo el plano medioambiental, sino también los planos económico y social, tal y como se ha expuesto en el apartado anterior, permitiendo realizar así, un análisis global del grado de sostenibilidad y del cumplimiento de los objetivos fijado en el PDR.

3.1. Materiales y métodos

Indicadores

En el caso que nos ocupa, la metodología que se aplica es la recogida por Triviño-Tarradas *et al.* (2019), en el proyecto europeo INSPIA (Initiative for Sustainable Productive Agriculture), y la cual se basa en la utilización de indicadores objetivos y de aplicación universal, que cuentan con el respaldo de un soporte técnico y científico, garantizando así, la validez de los resultados obtenidos. En concreto, la metodología INSPIA utiliza un total de 31 indicadores que abarcan los tres ámbitos del estudio de la sostenibilidad de una explotación agraria (Figura 3), permitiendo su cálculo a partir de la realización de muestreos directos en el terreno y de información obtenida directamente de los agricultores, cuyo aval es esencial para asegurar la aceptación de

²⁵ Anuario de Estadística 2018. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

la selección del indicador. En el apartado de mejora de la biodiversidad, se ha añadido un nuevo indicador, el Índice de biodiversidad de Shannon. Este índice es probablemente, el de empleo más frecuente en ecología de comunidades. Se obtiene a través del número de individuos de cada morfoespecie presente. Siendo el valor del índice de Shannon igual a 0 cuando la muestra contiene solo una morfoespecie, e iguala 1 cuando hay una gran abundancia de morfoespecies y éstas están representadas por el mismo número de individuos. La tabla 5 muestra de manera descriptiva, la metodología de cálculo de cada uno de ellos.

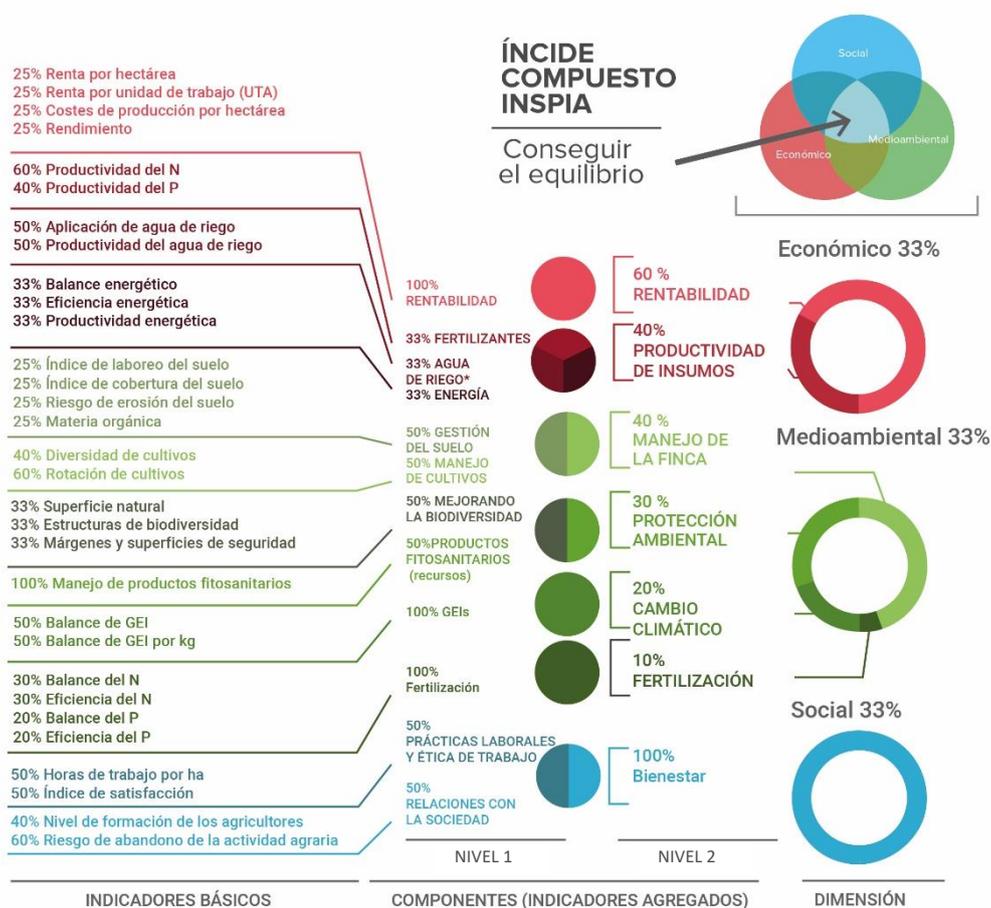


Figura 3. Indicadores de la metodología INSPIA.

Fuente: Triviño-Tarradas *et al.* (2019).

Los indicadores utilizados se han adaptado a la realidad agraria andaluza, utilizando para ello, fuentes de información oficiales como el Observatorio de Precios y Mercados de la Junta de Andalucía, o los datos ofrecidos por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, entre otros.

Tabla 5. Metodología de cálculo de los indicadores básicos.

Indicador	Metodología de cálculo
Renta por hectárea	La renta por unidad de superficie hace referencia al ingreso neto calculado como la diferencia entre los ingresos brutos por hectárea obtenidos por la producción en la parcela y los gastos ocasionados por las operaciones agrícolas llevadas a cabo en la parcela. En el cálculo de este indicador no se ha tenido en cuenta los ingresos por subvenciones. Los ingresos por producción han tenido en cuenta los precios reflejados en el Observatorio de Precios y Mercados de la Junta de Andalucía. El cálculo de los costes de producción ha tenido en cuenta el precio de mercado de los insumos utilizados y los costes por realización de operaciones por parte de empresas de prestación de servicios.
Renta por unidad de trabajo	Este indicador se obtiene al dividir la renta por hectárea entre el tiempo invertido en la realización de las operaciones llevadas a cabo en la parcela y el tiempo que representa una Unidad de Trabajo -año (UTA).
Costes de producción por hectárea	El cálculo de los costes de producción ha tenido en cuenta el precio de mercado de los insumos utilizados y los costes por realización de operaciones por parte de empresas de prestación de servicios.
Productividad del N	La productividad del Nitrógeno (N) hace referencia al rendimiento de la parcela relacionado con la cantidad de N aplicado. Dicho indicador se obtiene puyes, dividiendo los kg de producción obtenida por hectárea, por los kg de N aplicado sobre la parcela.
Productividad del P	La productividad del Fósforo (P) hace referencia al rendimiento de la parcela relacionado con la cantidad de P aplicado. Dicho indicador se obtiene puyes, dividiendo los kg de producción obtenida por hectárea, por los kg de P aplicado sobre la parcela.
Aplicación de agua de riego	Este indicador hacer referencia a la cuantía de agua de riego aplicada al cultivo. Su valor se obtiene directamente de la dosis de agua aplicada sobre el cultivo durante la campaña agrícola.
Productividad del agua de riego	Este indicador hace referencia a los kg de producción obtenida por m ³ de agua aplicada por el riego. El valor se obtiene dividiendo le rendimiento por hectárea entre la dosis de agua de riego aplicada por unidad de superficie.

Tabla 5. Continuación.

Indicador	Metodología de cálculo
Balance energético	El balance energético es la diferencia entre la energía ligada a la producción obtenida y la energía invertida en el proceso de producción. La energía ligada a la producción obtenida se calcula en base a la energía asociada a un kg de semilla producida, siendo variable en función del tipo de cultivo considerado. La energía invertida en el proceso de producción se calcula a partir de la energía asociada a los factores de producción involucrados en las operaciones de cultivo.
Eficiencia energética	La eficiencia energética se calcula dividiendo la energía ligada a la producción obtenida entre la energía invertida en el proceso de producción. Lo que viene a indicar este indicador, es la energía obtenida por cada unidad energética invertida en el proceso de producción.
Productividad energética	La productividad energética se calcula dividiendo el rendimiento del cultivo entre la energía invertida en el proceso de producción. Lo que viene a indicar este indicador, es la producción obtenida por cada unidad energética invertida en el proceso de producción.
Índice del laboreo del suelo	El valor de este indicador se calcula utilizando la fórmula de la ratio de intensidad de laboreo del suelo propuesta por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de la USDA ²⁶ . Dicha fórmula utiliza como variables la velocidad de la operación, la profundidad de laboreo, un coeficiente que depende del tipo de apero utilizado y el porcentaje de superficie sobre la que se realiza la operación.
Índice de cobertura del suelo	Este indicador se refiere al periodo de tiempo al año, durante el cual el suelo está cubierto. Se basa en el indicador "Soil Cover" definido por la OECD ²⁷ . Las variables utilizadas para su cálculo son el número de días de suelo cubierto al año, la superficie sobre la cual se implanta el cultivo, u un coeficiente entre que oscila entre 0 y 0,5 dependiendo del sistema de manejo de suelo utilizado (laboreo convencional, mínimo laboreo, Siembra Directa).
Riesgo de erosión del suelo	Para este indicador se utiliza la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE), la cual tiene en cuenta la erodibilidad del suelo (que depende de la textura y el contenido de materia orgánica), la pendiente y su longitud, y el tipo de manejo de suelo.

²⁶ https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1119754.pdf

²⁷ Environmental Indicators for Agriculture – Vol. 3: Methods and Results, OECD, 2001, glossary, pages 389-391.

Tabla 5. Continuación.

Indicador	Metodología de cálculo
Materia orgánica	El valor de este indicador hace referencia al contenido de materia orgánica en los primeros 30 cm de profundidad de suelo. Para ello se realiza un muestreo anual de suelo que se analiza en laboratorio a través del método de Walkley y Black.
Diversidad de cultivos	La diversidad de cultivos en la explotación permite optimizar el uso de los insumos, realizar un mejor y más eficaz aprovechamiento de los recursos y controlar mejor las plagas y enfermedades. Para el cálculo de este indicador se utiliza el índice Herfindahl (Malik y Singh, 2002) ²⁸ , el cual tiene en cuenta todos los cultivos presentes en la explotación,
Rotación de cultivos	La rotación hace referencia a la sucesión de distintos cultivos en el tiempo en una misma parcela. Se trata de una práctica habitual utilizada para enfocada a optimizar el uso de los recursos. El cálculo del indicador tiene en cuenta el cultivo actual y un coeficiente que varía entre 0 y 1, dependiendo del cultivo anterior.
Superficie natural	Este indicador realizar una valoración del porcentaje de área natural presente en la parcela. La valoración se realiza en base a fotografías aéreas, calculando la superficie presente en la explotación de área natural y poniéndola en relación a la superficie total de la parcela considerada. Además, el indicador tiene en cuenta la naturaleza del área natural presente a través de un coeficiente que minora el porcentaje calculado, y cuyo valor varía entre 0,4 y 1, dependiendo de que el área natural sean plantas herbáceas, arbustos, combinaciones de árboles y arbustos, etc.
Estructuras de biodiversidad	La existencia de estructuras de biodiversidad favorece la presencia de distintas especies de animales que contribuyen a la sostenibilidad medioambiental de la parcela. El valor de este indicador se calcula a través del análisis visual de nidos, panales de abejas o evidencias de la presencia de animales. Dicho análisis, realizado por el agricultor, se valora a través de una encuesta tipo "Likert", para, a posteriori, realizar una media aritmética que da el valor final al indicador.
Márgenes y superficies de seguridad	Este indicador pon en relación la superficie ocupada por márgenes multifuncionales y las áreas de seguridad con la superficie total de la parcela. La superficie ocupada por márgenes multifuncionales se calcula a partir de fotografía aéreas, mientras que la superficie ocupada por zonas de seguridad, se obtiene a partir de la información suministrada por el agricultor.

²⁸ Malik, D. y Singh, I. (2002). Crop Diversification-An Economic Analysis. *Indian Journal of Agricultural Research*, 61-64.

Tabla 5. Continuación.

Indicador	Metodología de cálculo
Índice de Shannon	Este índice se obtiene a través del número de individuos de cada morfoespecie presente en el suelo, siendo el valor del índice 0 (mínimo) cuando la muestra contiene solo una morfoespecie y 1 (máximo) cuando hay una gran abundancia de morfoespecies y éstas están representadas por el mismo número de individuos, es decir, la comunidad tiene una distribución de abundancias perfectamente equitativa. El número de morfoespecies presentes en el suelo se calcula en base a trampas dispuestas en distintos puntos de la parcela de manera que se obtenga una muestra representativa.
Manejo de productos fitosanitarios	Este indicador se valora a partir de una encuesta directa realizada al agricultor, sobre diversas cuestiones sobre el manejo de productos fitosanitarios tales como, almacenaje de envases, calibración de equipos de aplicación etc. Cada respuesta tiene una puntuación, de manera que todas van sumando dando un resultado final, que podrá ir desde un valor menor que -50 (manejo muy deficiente) a un valor mayor de 50 (manejo correcto).
Balance de GEI	Este indicador mide las emisiones netas de Gases de Efecto Invernadero producidas a lo largo de una campaña en una parcela. Tiene en cuenta las emisiones de CO ₂ equivalente asociadas a las operaciones agrícolas y asociadas al suelo. En la fórmula también tiene en cuenta la capacidad que tiene el suelo para fijar el CO ₂ atmosférico, siendo un factor que minora a los factores responsables de emisiones.
Balance de GEI por kg	Este indicador mide las emisiones netas de Gases de Efecto Invernadero producidas a lo largo de una campaña en una parcela por kg de producto.
Balance del N	Este indicador se calcula como diferencia entre la cantidad de Nitrógeno suministrado al cultivo a través del fertilizante, y la cantidad de Nitrógeno contenido en el grano (valor obtenido en base a cifras tabuladas recogidos en la literatura técnica). Basado en el indicador nº 18 del proyecto IRENA de la Agencia Europea de Medioambiente ²⁹ , indica el posible exceso de este nutriente en la parcela.
Eficiencia del N	La eficiencia del Nitrógeno es la ratio entre la cantidad de N extraído del sistema a través del grano y la cantidad de N aplicado gracias al fertilizante.

²⁹ Agriculture and environment in EU-15 — the IRENA indicator report. https://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2005_6

Tabla 5. Continuación.

Indicador	Metodología de cálculo
Balance del P	Este indicador se calcula como diferencia entre la cantidad de Fósforo suministrado al cultivo a través del fertilizante, y la cantidad de Fósforo contenido en el grano (valor obtenido en base a cifras tabuladas recogidos en la literatura técnica). Basado en el indicador nº 18 del proyecto IRENA de la Agencia Europea de Medioambiente ³⁰ , indica el posible exceso de este nutriente en la parcela.
Eficiencia del P	La eficiencia del Fósforo es la ratio entre la cantidad de P extraído del sistema a través del grano y la cantidad de P aplicado gracias al fertilizante.
Horas de trabajo por ha	Se trata de un indicador cuantitativo del tiempo de trabajo invertido en el total de operaciones de cultivo realizado en la parcela, desde que se inician las operaciones previas a la siembra, hasta la recolección. Dicho tiempo se calcula en función de la extensión de la parcela y la velocidad de trabajo en cada una de las operaciones realizadas, cuya información es suministrada por el agricultor.
Índice de satisfacción	Indicador de tipo cualitativo sobre la percepción que tiene el agricultor de las condiciones de trabajo y la gestión de la explotación. La valoración se realiza en base a una encuesta tipo “likert”, en la que se realizan varias preguntas cuya respuesta se realizan valorando de 0 (peor valoración) a 10 (mejor valoración). EL resultado se obtiene como valor medio de las puntuaciones obtenidas en cada respuesta.
Nivel de formación de los agricultores	Este indicador, basado en uno de los indicadores del proyecto IRENA de la Agencia Europea de Medioambiente ³⁰ , refleja el nivel de formación del agricultor actual, basado en una puntuación que tiene en cuenta al experiencia, formación básica y formación especializada. Cada uno de estos aspectos se valora en base a la formación acreditada que pueda aportar el agricultor.
Riesgo de abandono de la actividad agraria	Al igual que el anterior caso, este indicador se basa en uno de los Indicadores del proyecto IRENA de la Agencia Europea de Medioambiente. Se calcula como suma de dos factores, cuyo valor oscila entre 0 y 0,5, el riesgo de abandono debido a la edad del agricultor y falta de sucesión, y el riesgo de abandono debido a los ingresos percibidos por la actividad agraria.

Una vez calculado el valor de los indicadores básicos, se procede a normalizar su valor, transformando el valor cuantitativo en un valor cualitativo referido a una escala de 0 a

³⁰ Agriculture and environment in EU-15 — the IRENA indicator report. https://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2005_6

100. Para ello, en base a la información recogida en la literatura científico-técnica y a las bases de datos oficiales, se han establecido los umbrales de máximos y mínimos para cada uno de los indicadores, poniendo en relación el valor calculado con dichos umbrales.

Una vez normalizados los indicadores, se procede a su ponderación para así facilitar para las posteriores operaciones de agregación. Los indicadores ponderados se han transformando a su vez, en puntuaciones (indicadores agregados), consiguiendo de esa manera un resultado compuesto en el nivel 1, y así sucesivamente para el nivel 2. Los indicadores agregados para el nivel 2 resultan de la combinación de los indicadores agregados del nivel 1. A partir del nivel 2, se vuelve a realizar una ponderación en base al ámbito de sostenibilidad estudiado, dando el mismo peso a cada uno de ellos. A partir de esta última ponderación, se obtiene un índice final compuesto, que es el resultado de la media aritmética de los tres indicadores agregados, correspondientes a las dimensiones económica, social y ambiental. Un único índice de sostenibilidad facilita la comprensión de información compleja por parte de personas no expertas. En la metodología INSPIA, el valor 0 representa el peor de los casos, mientras que el valor 100 representa el mejor estado. El valor 67, se identifica con el umbral a partir del cual las prácticas agrícolas realizadas son sostenibles (RISE 3.0., 2016). Esto significa que todos los resultados, a partir de 66, deben considerarse como sostenibles. Las figuras 4, 5, 6 y 7 muestran un ejemplo de cálculo de indicador desde el comienzo hasta su integración en el indicador global agregado.

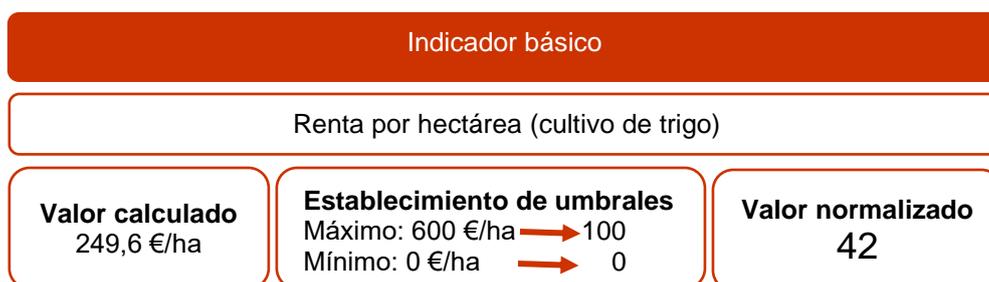


Figura 4. Ejemplo de cálculo de un indicador básico.



Figura 5. Ejemplo de cálculo de un indicador agregado en el nivel 1.

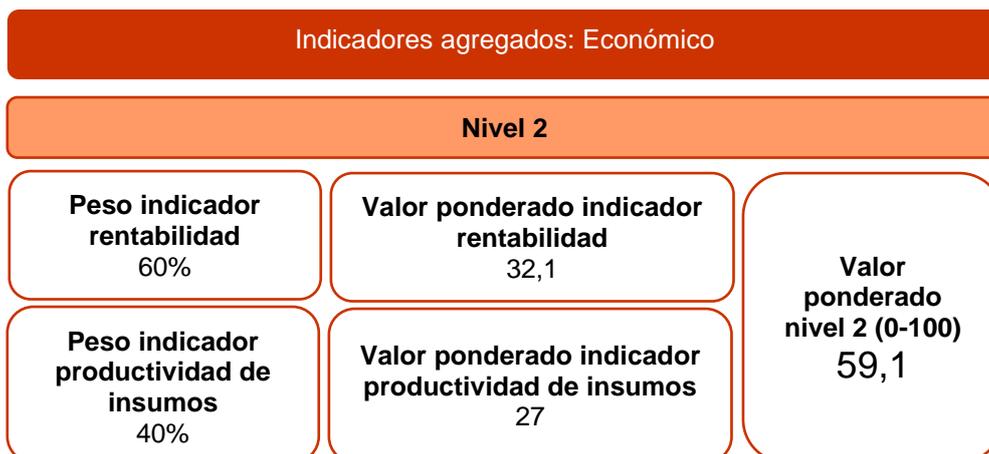


Figura 6. Ejemplo de cálculo de un indicador agregado en el nivel 2.



Figura 7. Ejemplo de cálculo del indicador global.

Red de fincas demostrativas

Para el estudio de la efectividad de las Operaciones 10.1.4 y 10.1.7 se ha establecido una red de fincas demostrativas, que potencialmente, podrían acogerse a dichas operaciones. En el caso que nos ocupa, los cultivos estudiados han sido el trigo en secano, y olivar, tanto en secano como en regadío. Para poder realizar, además, un análisis comparado con aquellas explotaciones que no apliquen las prácticas de Agricultura de Conservación, la red ha contemplado parcelas manejadas bajo un laboreo convencional (Figura 8).

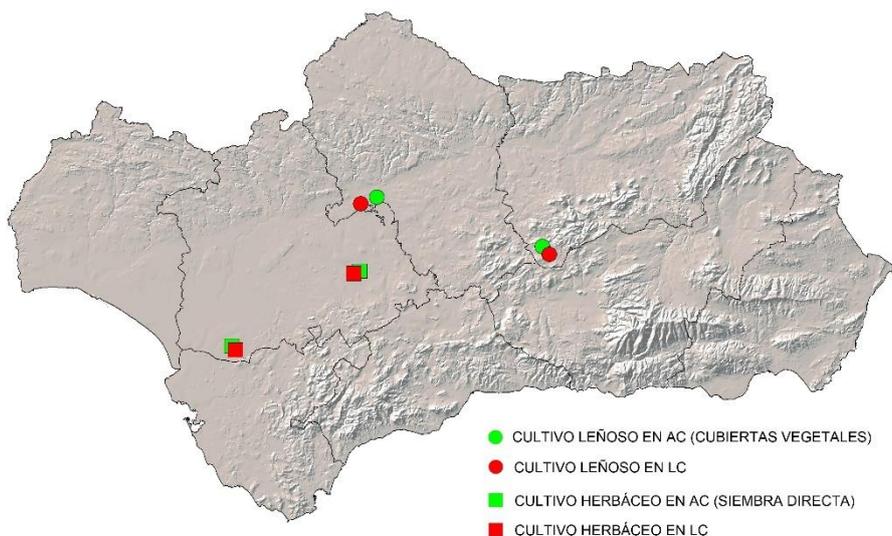


Figura 8. Ubicaciones de las fincas de la Red de estudio.

Finalmente, la red se ha conformado con un total de 6 fincas demostrativas, que incluyen un total de 8 parcelas de estudio (Tabla 6) ubicadas en zonas típicas cerealistas y olivareras (Figuras 9 y 10).

Tabla 6. Red de fincas demostrativas.

Fincas demostrativas	Término Municipal	Tipo de manejo
Finca 1 cereal	Osuna (Sevilla)	Siembra Directa y Laboreo Convencional
Finca 2 cereal	Lebrija (Sevilla)	Siembra Directa y Laboreo Convencional
Finca 1.1 olivar	Alcalá la Real (Jaén)	Cubierta Vegetal
Finca 1.2 olivar	Alcalá la Real (Jaén)	Laboreo Convencional
Finca 2.1 olivar	Fuente Palmera (Córdoba)	Cubierta Vegetal en regadío
Finca 2.2 olivar	Palma del Río (Córdoba)	Laboreo convencional en regadío

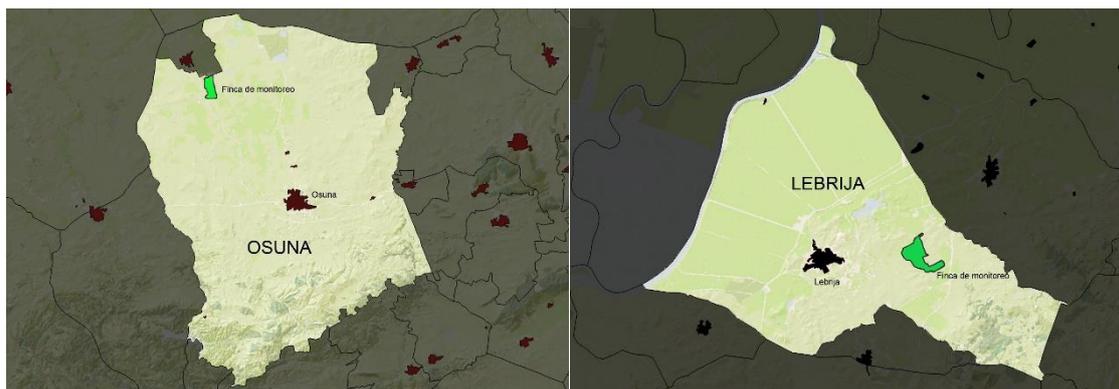


Figura 9. Ubicaciones de las fincas de cereal.

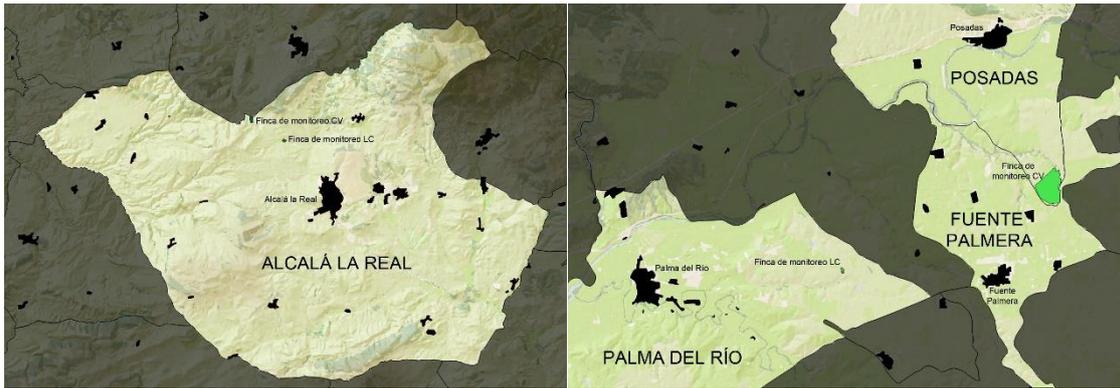


Figura 10. Ubicaciones de las fincas de olivar.

Las fincas demostrativas utilizadas para el estudio de la Operación 10.1.4, incluyen en una misma ubicación parcelas en siembra directa y parcelas en laboreo convencional, por lo que no ha sido necesario buscar una ubicación distinta para cada una de ellas (Imagen 4).



Imagen 4. Parcelas en Siembra Directa y laboreo convencional en las fincas 1 y 2 de cereal.

En el caso del olivar, y para poder disponer de los dos sistemas de manejo a comparar (Cubierta Vegetal vs Laboreo Convencional), ha sido necesario recurrir a dos localizaciones distintas, al no haber disponibilidad de ambos tipos de manejo en una misma ubicación. En cualquier caso, se ha buscado que los dos emplazamientos estuvieran lo suficientemente cercanos, para que los resultados fueran, desde el punto de vista demostrativo, comparables entre sí (Imágenes 5 y 6).



Imagen 5. Parcelas con Cubierta Vegetal (izda.) y en laboreo convencional (dcha.) en la finca 1 de olivar.



Imagen 6. Parcelas con Cubierta Vegetal (izda.) y en laboreo convencional (dcha.) en la finca 2 de olivar.

Las características básicas de las fincas demostrativas en cuanto al sistema de manejo, se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Superficie y años de implantación de la práctica de Agricultura de Conservación en cada finca de la Red.

Fincas demostrativas	Tipo de manejo	Características de la parcela
Finca 1 cereal	Siembra Directa	Superficie: 5 ha Años de implantación: 4 años.
	Laboreo Convencional	Superficie: 10 ha.
Finca 2 cereal	Siembra Directa	Superficie: 5 ha Años de implantación: 9 años.
	Laboreo Convencional	Superficie: 10 ha.
Finca 1 olivar	Cubierta Vegetal	Superficie: 4,5 ha Años de implantación: 4 años.
	Laboreo Convencional	Superficie: 1,5 ha.
Finca 2 olivar	Cubierta Vegetal	Superficie: 14 ha Años de implantación: 10 años.
	Laboreo Convencional	Superficie: 3 ha.

Recopilación de datos y toma de muestras

Las fincas objeto de estudio han sido visitadas por los técnicos, manteniendo una entrevista con el agricultor, a fin de recopilar datos relacionados con las operaciones de manejo y con los cultivos existentes en el campo. Además, y para los indicadores relacionados con el contenido de materia orgánica y de biodiversidad (índice de Shannon) se han tomado muestras en diversos puntos de las parcelas de estudio.

Así, y para conocer el contenido de materia orgánica han tomado muestras de suelo en 6 puntos por cada una de las parcelas de ensayos, a distintas profundidades (0-5, 5-10 y 10-30 cm). En el muestreo se utilizó palaustre para las muestras en superficie y una barrena tipo Edelman para el resto de profundidades (Imagen 7). Una vez extraídas las muestras, se han extendido en una bandeja durante 24 horas con el fin de secar a temperatura ambiente el suelo, o en caso de estar muy húmedas en una estufa, y se han pasado por un tamiz de 2 mm de luz. Una vez tratadas las muestras, se han llevado a laboratorio para su análisis a través del método de Walkley y Black.



Imagen 7. Toma de muestras de suelo para el análisis del contenido de materia orgánica.

Para la determinación del índice de Shannon, la metodología de muestreo seguida ha consistido en la colocación en cada parcela, de 4 unidades muestrales. Cada una de estas unidades ha constado de 5 trampas de caída, que han consistido en vasos colocados a ras de suelo en la que se coloca una cantidad de 50 ml de una dilución al 50% de agua y alcohol (Imagen 8). Pasados dos días de la colocación, las trampas han sido retiradas y llevadas al laboratorio para el análisis de su contenido en artrópodos, agrupando el resultado de las capturas de las 5 trampas de cada unidad muestral. Además de determinar el orden al que pertenece cada individuo, se los diferenció por su carácter morfológico. Contabilizando el número de individuos correspondiente a cada uno de los modelos morfológicos presentes (Imagen 9).



Imagen 8. Instalación de trampas para muestreo de biodiversidad.



Imagen 9. Detalle de las muestras de biodiversidad con artrópodos presentes en las trampas.

3.2. Resultados en la red de fincas

Se presentan a continuación los resultados obtenidos en cada una de las fincas auditadas. Se han realizado dos tipos de análisis, por un lado, se han comparado los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores en la campaña 2018/2019 entre la parcela implantada en Agricultura de Conservación y la parcela manejada bajo técnicas convencionales típicas de la zona. Por otro lado, y para evaluar la evolución del sistema de Agricultura de Conservación en el tiempo y ver como efectivamente se van mejorando las condiciones del ecosistema agrario y los parámetros socioeconómicos de la explotación, se han comparado los resultados de la campaña 2018/2019 con la campaña 2015/2016, primera campaña agrícola de la que se disponen datos. Hay que señalar que, cuando se trata de la primera vez que se toman datos, indicadores que necesitan de datos de campañas anteriores, como es el caso del balance de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, que requiere conocer el incremento del contenido de materia orgánica, no es posible determinarlo en toda su amplitud. En ese caso, dicho indicador sólo se refiere a las emisiones de GEI sin tener en cuenta la compensación

que pudiera existir debido al efecto sumidero del suelo. Ello ocurre en los datos que se muestran en la campaña 2015/2016.

Finca 1 cereal

Comparación Siembra Directa vs Laboreo Convencional

En la campaña 2018/2019, los índices globales de sostenibilidad en la Siembra Directa han sido considerablemente superiores al laboreo convencional, con un valor de 62 frente a un valor de 54 en la parcela manejada de manera convencional (Figura 11).

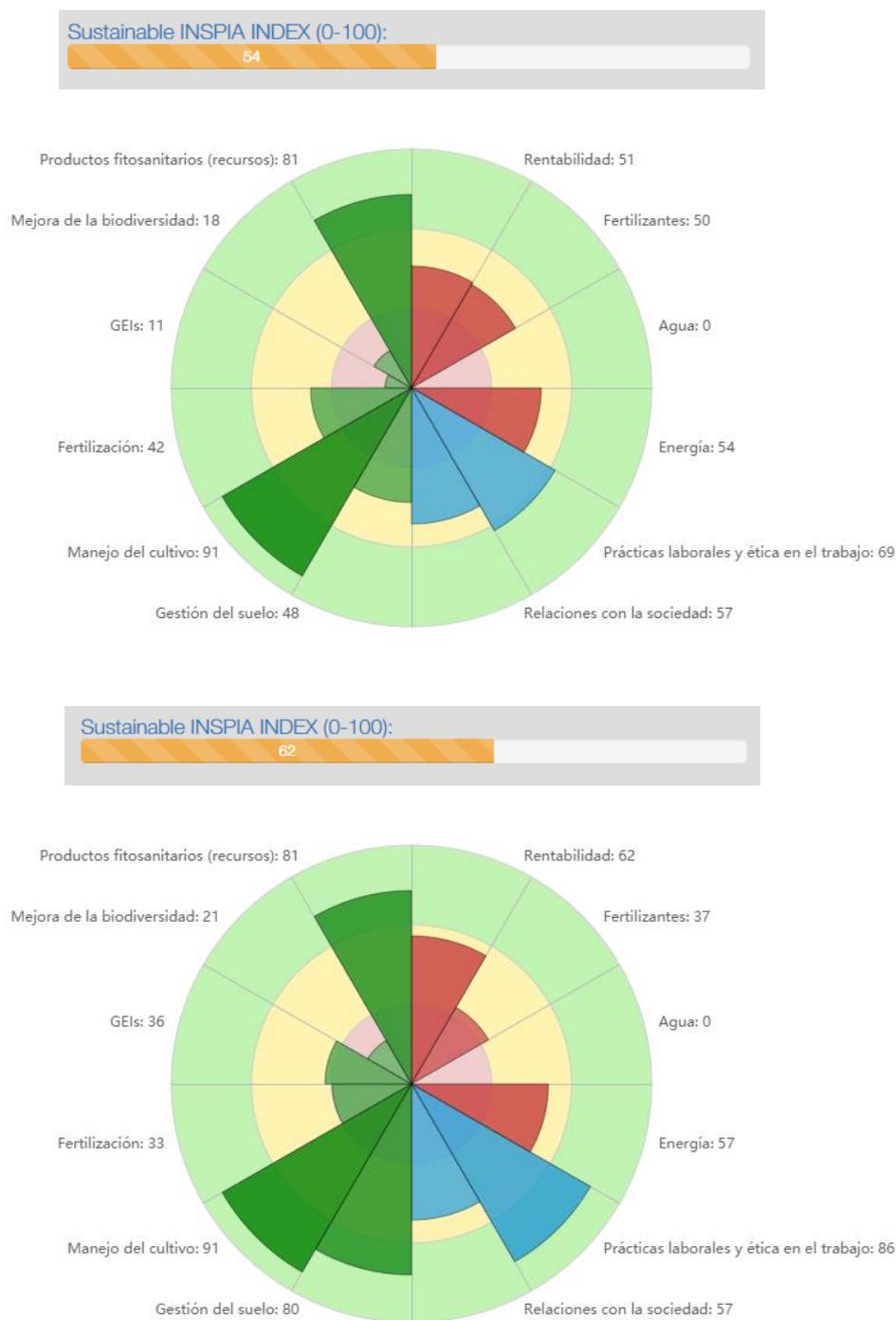


Figura 11. Valores de los indicadores agregados a nivel 1 y valor del indicador global en la campaña 2018/2019 en la finca 1 cereal para la parcela en laboreo convencional (arriba) y en Siembra Directa (abajo).

Comparando en ambos tipos de sistema de manejo, tanto los indicadores agregados como los indicadores básicos, destaca cómo son los indicadores medioambientales los que marcan la diferencia entre la Siembra Directa y el laboreo convencional, siendo los valores más altos en la práctica de Agricultura de Conservación (Figura 12). Sobresalen sobre todos ellos, los indicadores relativos al índice de laboreo, el grado de cobertura y el riesgo de erosión. Por otro lado, la gran mayoría de los indicadores económicos han sido superiores en Siembra Directa, destacando además su mayor homogeneidad entre valores si los comparamos entre sí. Hay que advertir que, con la metodología utilizada, una explotación se considera más sostenible cuando los valores de los indicadores, además de ser más altos, son más homogéneos entre sí. Así pues, puede darse el caso de que algunos de los valores de los indicadores sean muy altos, pero muy heterogéneos, existiendo otros valores muy bajos, como ocurre en la parcela con manejo convencional.

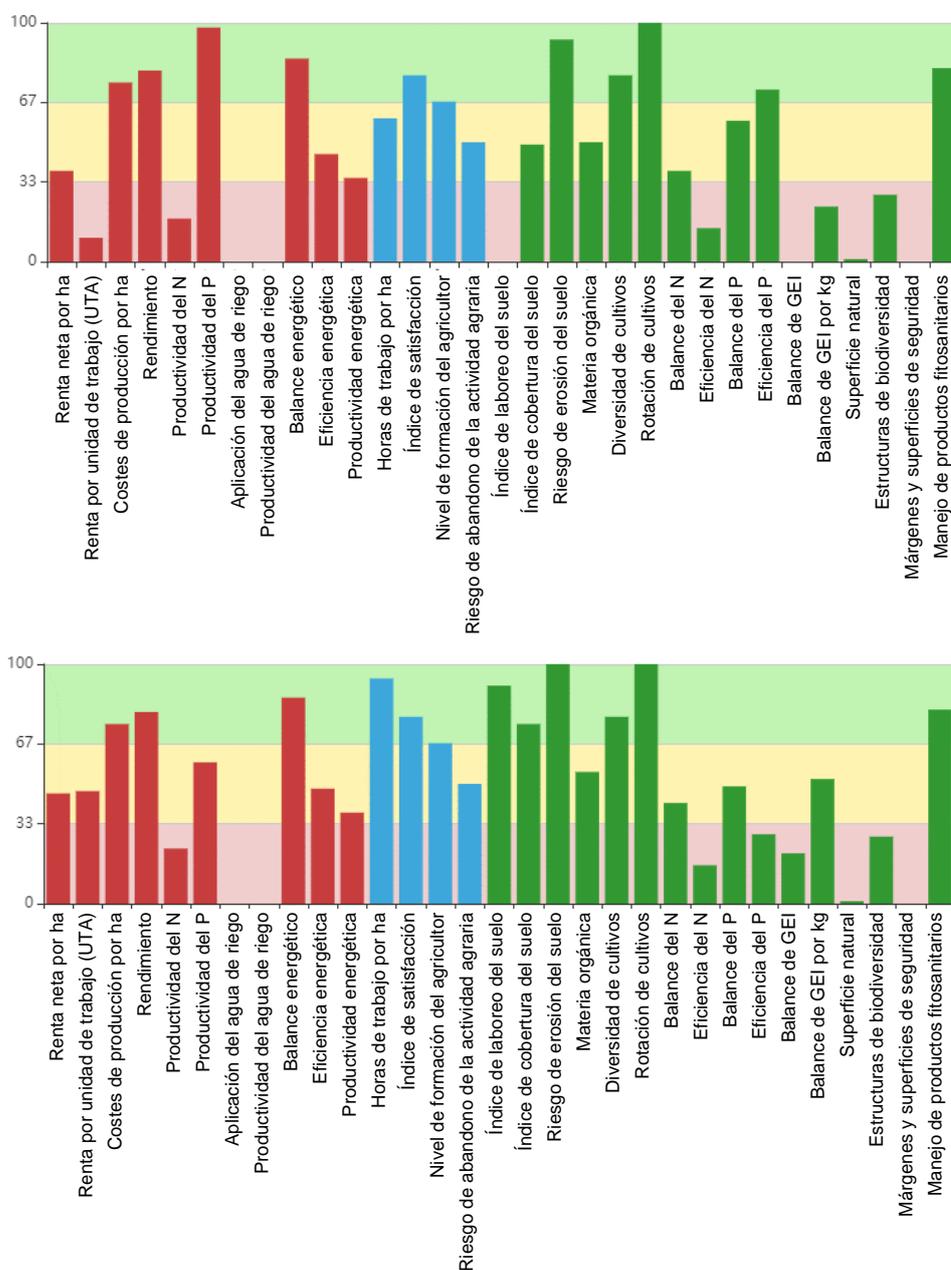


Figura 12. Valores de los indicadores básicos en la campaña 2018/2019 en la finca 1 cereal para la parcela en laboreo convencional (arriba) y en Siembra Directa (abajo).

Además de los indicadores mostrados en la gráfica de la imagen 8, hay que añadir los resultados obtenidos al realizar los cálculos para el indicador del índice de Shannon. En este caso, en la parcela de Siembra Directa, el valor resultante ha sido de 32, mientras que para la parcela en laboreo convencional ha sido de 27 (valor =0 mínima biodiversidad, valor =100, máxima biodiversidad).

Comparando los resultados obtenidos en los indicadores agregados por ámbito en la campaña 2018/2019, se observa cómo, la parcela en Siembra Directa es más sostenible en todos los ámbitos, destacando el medioambiental por encima de todos (Figura 13).

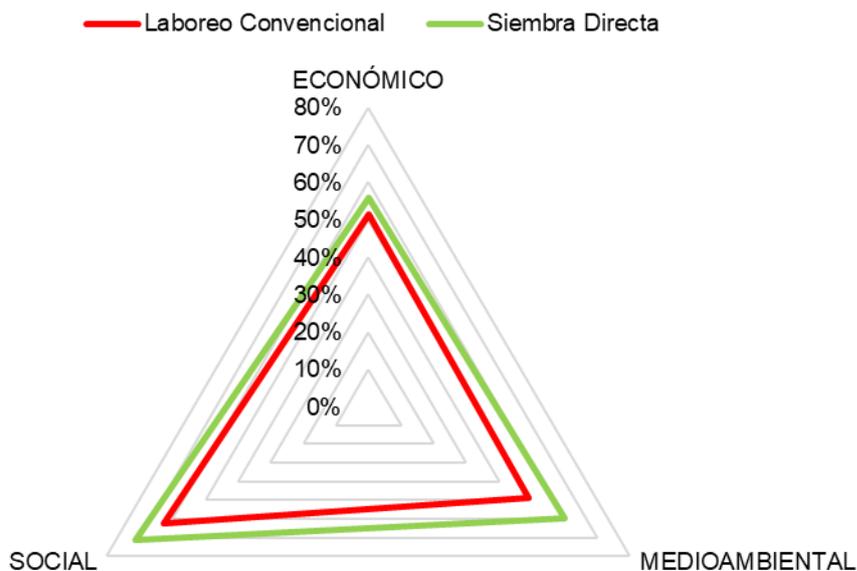


Figura 13. Valores de los indicadores agregados por ámbitos en la campaña 2018/2019 para ambos sistemas de manejo en la finca 1 cereal.

Evolución temporal de los indicadores en la parcela de Siembra Directa

Se muestra en primer lugar, la representación gráfica de la valoración del indicador global en la campaña 2015/2016 y la campaña 2018/2019 (Figura 14). Los resultados muestran cómo, tras 4 campañas agrícolas, la parcela ha incrementado su índice de sostenibilidad en 6 puntos porcentuales, acercándolo al umbral a partir del cual la metodología aplicada, considera que el manejo es sostenible. Es de esperar, por tanto, que debido a las mejoras que se puedan producir en el suelo en próximas campañas, dicho umbral pueda ser alcanzado si se continua con la práctica de Siembra Directa.

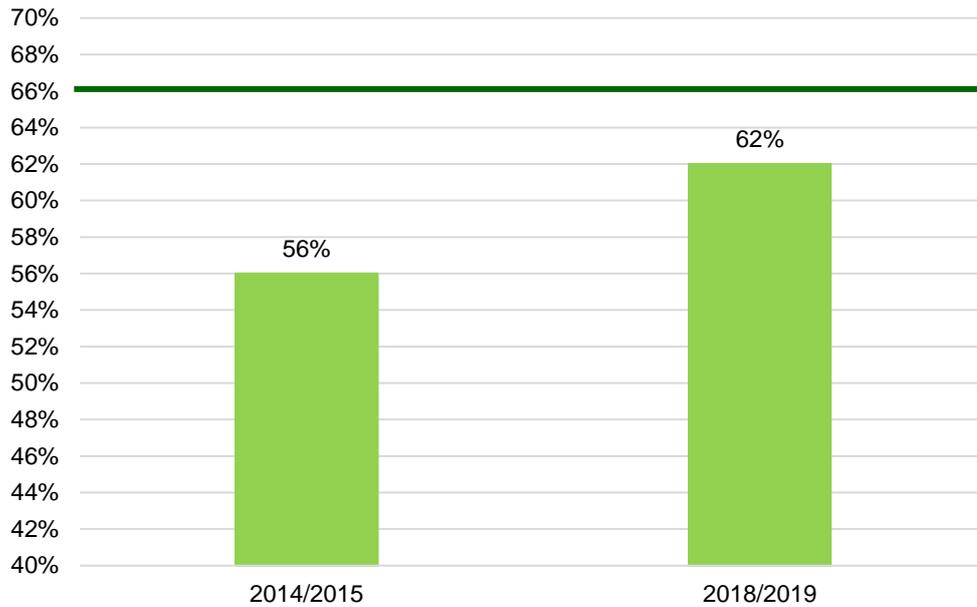


Figura 14. Evolución del indicador global de sostenibilidad en la parcela de Siembra Directa de la finca 1 cereal.
(La línea verde marca el umbral de sostenibilidad).

En la tabla 8 se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los indicadores básicos en la parcela en Siembra Directa, tanto en la campaña 2015/2016 como en la campaña 2018/2019. Destaca como la gran mayoría de los indicadores han incrementado su valor. Mención especial debe hacerse de aquellos indicadores medioambientales que afectan directamente a los recursos naturales, como el suelo o las emisiones. En todos los casos, se observa cómo manteniendo el suelo con un alto índice de cobertura y teniendo un índice de laboreo bajo, los valores correspondientes al indicador de materia orgánica y del balance de GEI mejoran con el tiempo, siendo dicha mejora en este último indicador muy llamativa.

Tabla 8. Resultados obtenidos en los indicadores básicos en la parcela de siembra directa de la finca 1 cereal en la campaña 2015/2016 y 2018/2019.

Nº	Indicador	2015/2016	2018/2019	Variación
1	Renta/Beneficio neto por hectárea	42	46	+4
2	Renta por unidad de trabajo (UTA)	53	47	-6
3	Costes de producción por hectárea	82	75	-7
4	Rendimiento	45	80	+35
5	Productividad del N	13	23	+10
6	Productividad del P	34	59	+25
7	Balance energético	49	86	+37
8	Eficiencia energética	30	48	+18
9	Productividad energética	24	38	+14
10	Horas de trabajo por ha	96	94	-2
11	Índice de satisfacción	78	78	0
12	Nivel de formación de los agricultores	67	67	0
13	Riesgo de abandono de la actividad agraria	50	50	0

Tabla 8. Continuación.

Nº	Indicador	2015/2016	2018/2019	Variación
14	Índice de laboreo del suelo	91	91	0
15	Índice de cobertura del suelo	75	75	0
16	Riesgo de erosión del suelo	100	100	0
17	Materia orgánica	50	55	+5
18	Diversidad de cultivos	76	78	+2
19	Rotación de cultivos	100	100	0
20	Balance de N	24	42	+18
21	Eficiencia del N	0	16	+16
22	Balance de P	40	49	+9
23	Eficiencia del P	8	29	+21
24	Balance de GEIs	10	21	+11
25	GEIs por kg	35	52	+17
26	Superficies naturales	1	1	0
27	Estructuras de biodiversidad	28	28	0
28	Márgenes y franjas de seguridad	0	0	0
29	Biodiversidad	-	32	-
30	Manejo de productos fitosanitarios	81	81	0

Finca 2 cereal

Comparación Siembra Directa vs Laboreo Convencional

La auditoría realizada en las parcelas de Siembra Directa y laboreo convencional han dado como resultado valores del indicador global de sostenibilidad de 71 en la parcela en Siembra Directa y de 56 en la parcela en laboreo convencional. Los indicadores agregados en los apartados medioambiental y económico son los que marcan la diferencia entre ambos sistemas de manejo (Figuras 15 y 16).

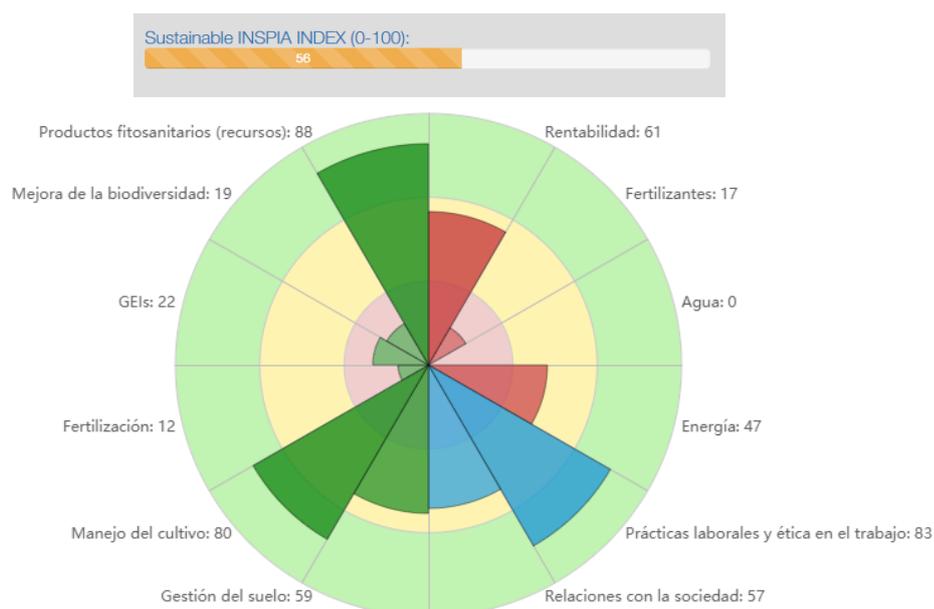


Figura 15. Valores de los indicadores agregados a nivel 1 y valor del indicador global en la campaña 2018/2019 en la finca 2 cereal para la parcela en laboreo convencional.

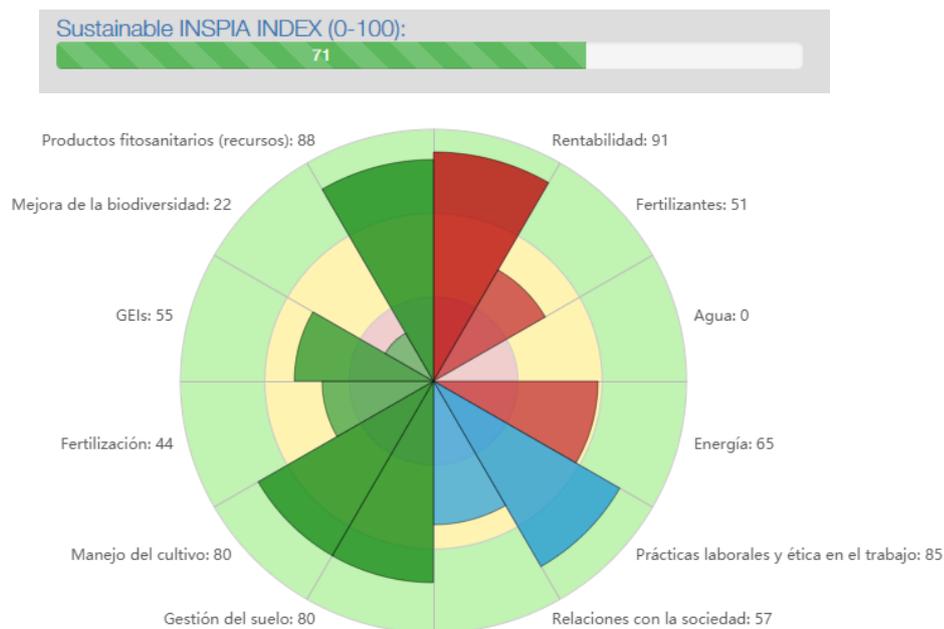


Figura 16. Valores de los indicadores agregados a nivel 1 y valor del indicador global en la campaña 2018/2019 en la finca 2 cereal para la parcela en Siembra Directa.

Analizando los valores obtenidos en los indicadores básicos (Figura 17), observamos cómo todos los indicadores económicos y medioambientales en la parcela en Siembra Directa han sido superiores a los obtenidos en la parcela en laboreo convencional. Los altos valores de los indicadores económicos se deben fundamentalmente a dos motivos. Por un lado, la parcela en Siembra Directa obtuvo unos rendimientos superiores a la parcela bajo laboreo convencional (algo más de 5 t/ha en Siembra Directa frente a unas 4 t/ha en laboreo convencional) y, por otro, a la reducción de costes variables que supone la supresión de las labores sobre el terreno. Todo ello contribuye a que el margen de beneficio en la parcela sea mayor en condiciones normales.

Respecto a los indicadores medioambientales, son como en la anterior finca, aquellos relacionados con la gestión y mejora del suelo de las emisiones de GEI los que contribuyen a un mayor grado de sostenibilidad en la parcela de Siembra Directa.

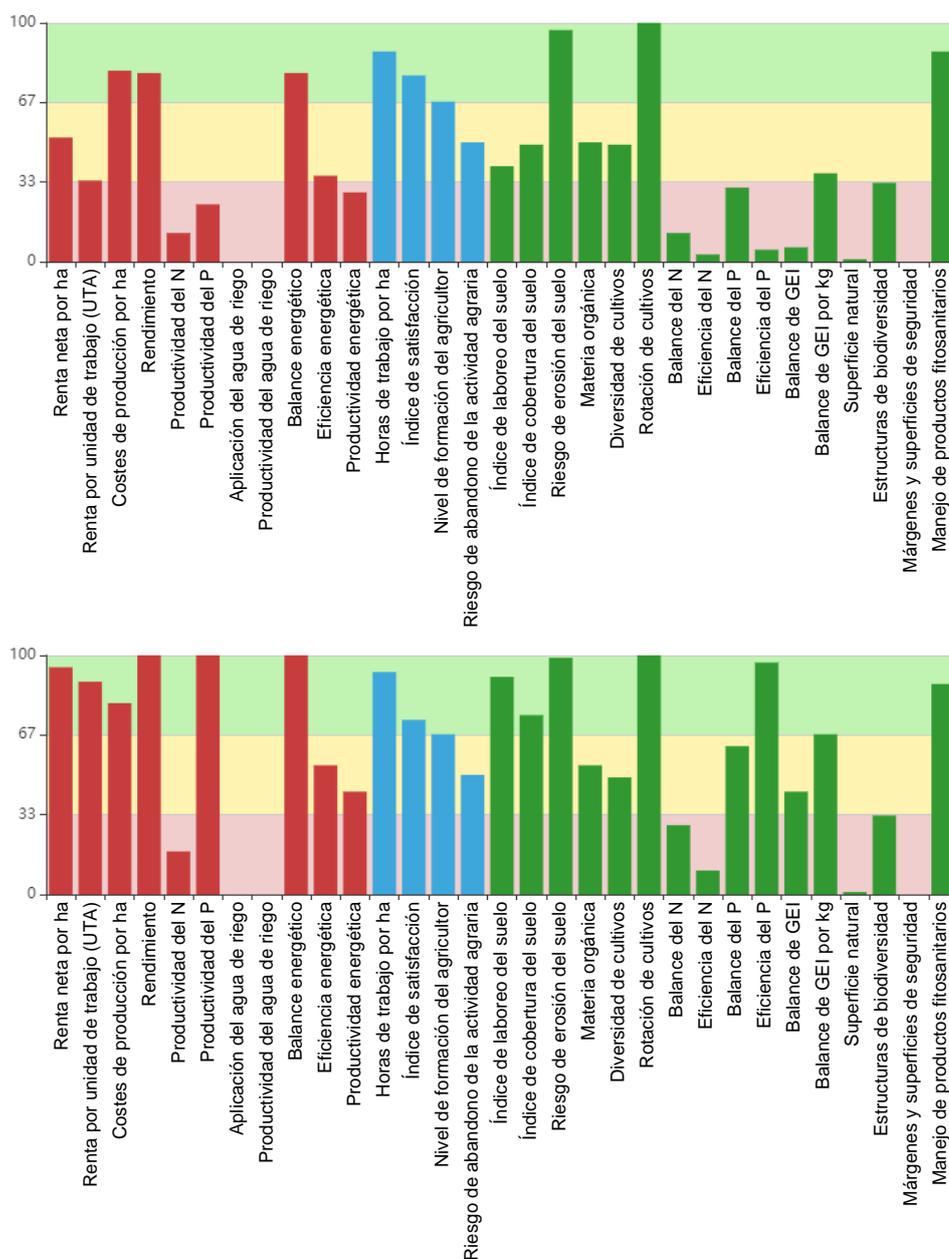


Figura 17. Valores de los indicadores básicos en la campaña 2018/2019 en la finca 2 cereal para la parcela en laboreo convencional (arriba) y en Siembra Directa (abajo).

Comparando los valores agregados por ámbito, se observa cómo la práctica de Siembra Directa ha incidido sobre todo en los ámbitos medioambiental y económico de la sostenibilidad de la finca auditada, existiendo una diferencia de 16 puntos porcentuales y 28 puntos porcentuales respectivamente en cada uno de ellos (Figura 18).

Respecto al índice de Shannon, señalar que en la parcela en Siembra Directa se ha obtenido un valor de 32, mientras que, en la parcela de laboreo convencional, se ha obtenido un valor de 27 (escala de 0 a100, donde 100 es el valor de máxima biodiversidad y 0 el valor de mínima biodiversidad).

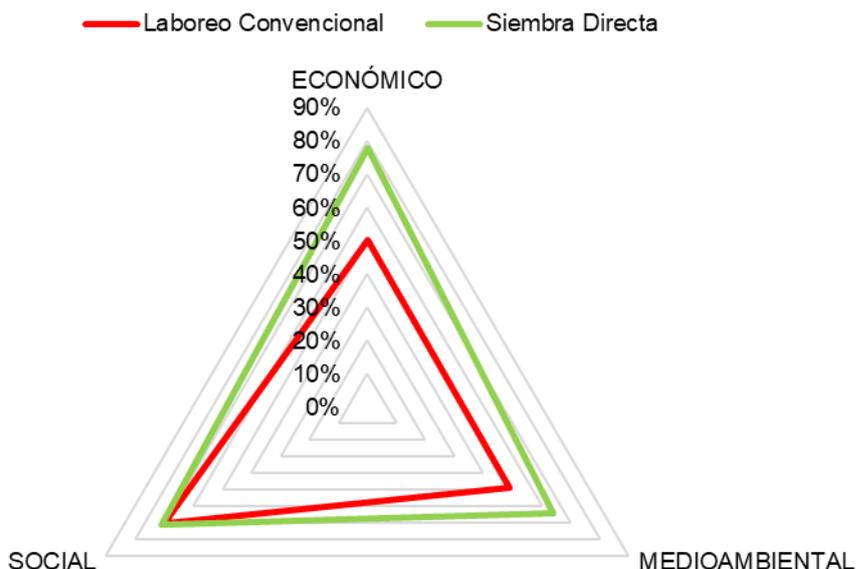


Figura 18. Valores de los indicadores agregados por ámbitos en la campaña 2018/2019 para ambos sistemas de manejo en la finca 2 cereal.

Evolución temporal de los indicadores en la parcela de Siembra Directa

El valor del indicador global de sostenibilidad en la parcela de siembra directa se ha incrementado significativamente hasta rebasar el umbral de sostenibilidad fijado por la metodología utilizada (Figura 19). Dicho incremento ha sido de 14 puntos desde el valor inicial en la campaña 2015/2016 que era de 58.

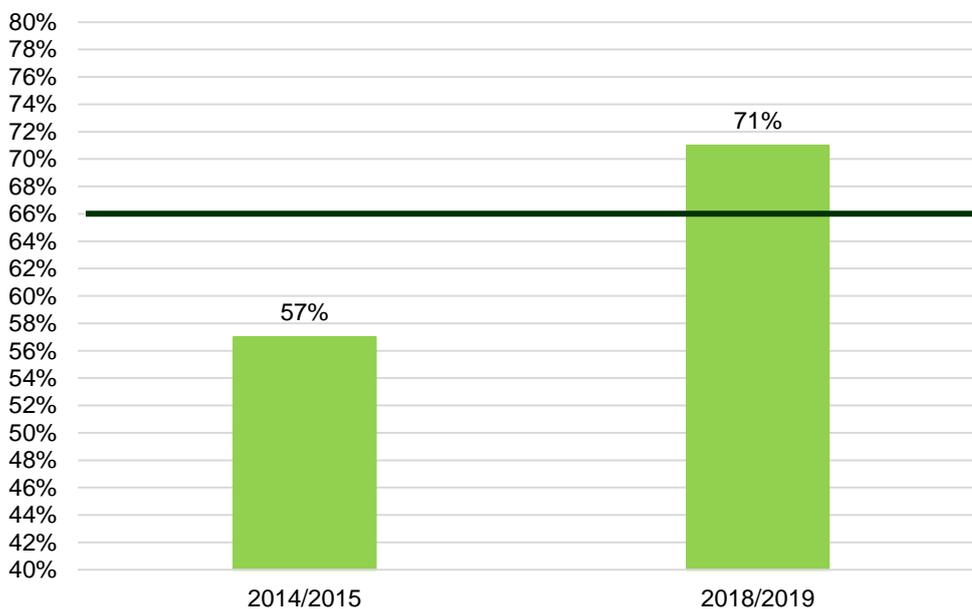


Figura 19. Evolución del índice global de sostenibilidad en la finca 2 cereal. (La línea verde marca el umbral de sostenibilidad).

La tabla 9 se muestra los resultados obtenidos para cada uno de los indicadores básicos en la parcela en Siembra Directa, tanto en la campaña 2015/2016 como en la campaña 2018/2019. Destaca el incremento del valor de la práctica totalidad de los indicadores medidos con la excepción del índice de satisfacción (-3) y del balance de P (-16). Como

ya se ha comentado anteriormente, la campaña 2018/2019 fue especialmente positiva en lo que a producción de grano se refiere, lo que ha influido en unos valores en los indicadores económicos muy altos. Si bien las condiciones meteorológicas tienen una gran influencia en los rendimientos, no es menos cierto, tal y como se ha visto en el análisis realizado para la campaña 2018/2019, que los resultados obtenidos en la Siembra Directa fueron superiores a los correspondientes en laboreo convencional, concluyéndose de tal evidencia, que el sistema de manejo también ha influido de manera favorable en estos parámetros. Otros indicadores cuyo valor se incrementa notablemente, son los relacionados con el balance de GEI. En este caso, y tal y como se expuso inicialmente, en las primeras campañas no es posible realizar el cálculo de la materia orgánica por cuanto no se tienen valores de dichos parámetros antes de la campaña inicial, lo que no permite introducir en el balance, la componente de fijación de C en el suelo promovida por la siembra directa.

Tabla 9. Resultados obtenidos en los indicadores básicos en la parcela de Siembra Directa de la finca 2 cereal en la campaña 2015/2016 y 2018/2019.

Nº	Indicador	2015/2016	2018/2019	Variación
1	Renta/Beneficio neto por hectárea	28	95	+67
2	Renta por unidad de trabajo (UTA)	26	89	+63
3	Costes de producción por hectárea	76	80	+4
4	Rendimiento	64	100	+36
5	Productividad del N	19	18	-1
6	Productividad del P	51	100	+49
7	Balance energético	71	100	+29
8	Eficiencia energética	44	54	+10
9	Productividad energética	35	43	+8
10	Horas de trabajo por ha	93	93	0
11	Índice de satisfacción	80	78	-2
12	Nivel de formación de los agricultores	67	67	0
13	Riesgo de abandono de la actividad agraria	50	50	0
14	Índice de laboreo del suelo	91	91	0
15	Índice de cobertura del suelo	75	75	0
16	Riesgo de erosión del suelo	100	99	-1
17	Materia orgánica	53	54	+1
18	Diversidad de cultivos	49	49	0
19	Rotación de cultivos	100	100	0
20	Balance de N	35	29	-6
21	Eficiencia del N	10	10	0
22	Balance de P	46	62	+16
23	Eficiencia del P	22	97	+75
24	Balance de GEIs	11	43	+32
25	GEIs por kg	39	67	+28
26	Superficies naturales	1	1	0
27	Estructuras de biodiversidad	33	33	0
28	Márgenes y franjas de seguridad	0	0	0
29	Biodiversidad	-	32	-
30	Manejo de productos fitosanitarios	88	88	0

Finca 1 olivar

Comparación Cubierta Vegetal vs Laboreo Convencional

Una vez realizada la auditoría sobre las parcelas objeto de estudio, el resultado es favorable para la parcela con Cubiertas Vegetales, con un indicador global de sostenibilidad de 74, frente a la parcela en laboreo convencional, que obtiene un valor de 56. En la figura 20, se puede observar cómo en todos los ámbitos, los valores agregados de los indicadores en la parcela con cubierta vegetal son superiores a sus homólogos en la parcela manejada de manera convencional.

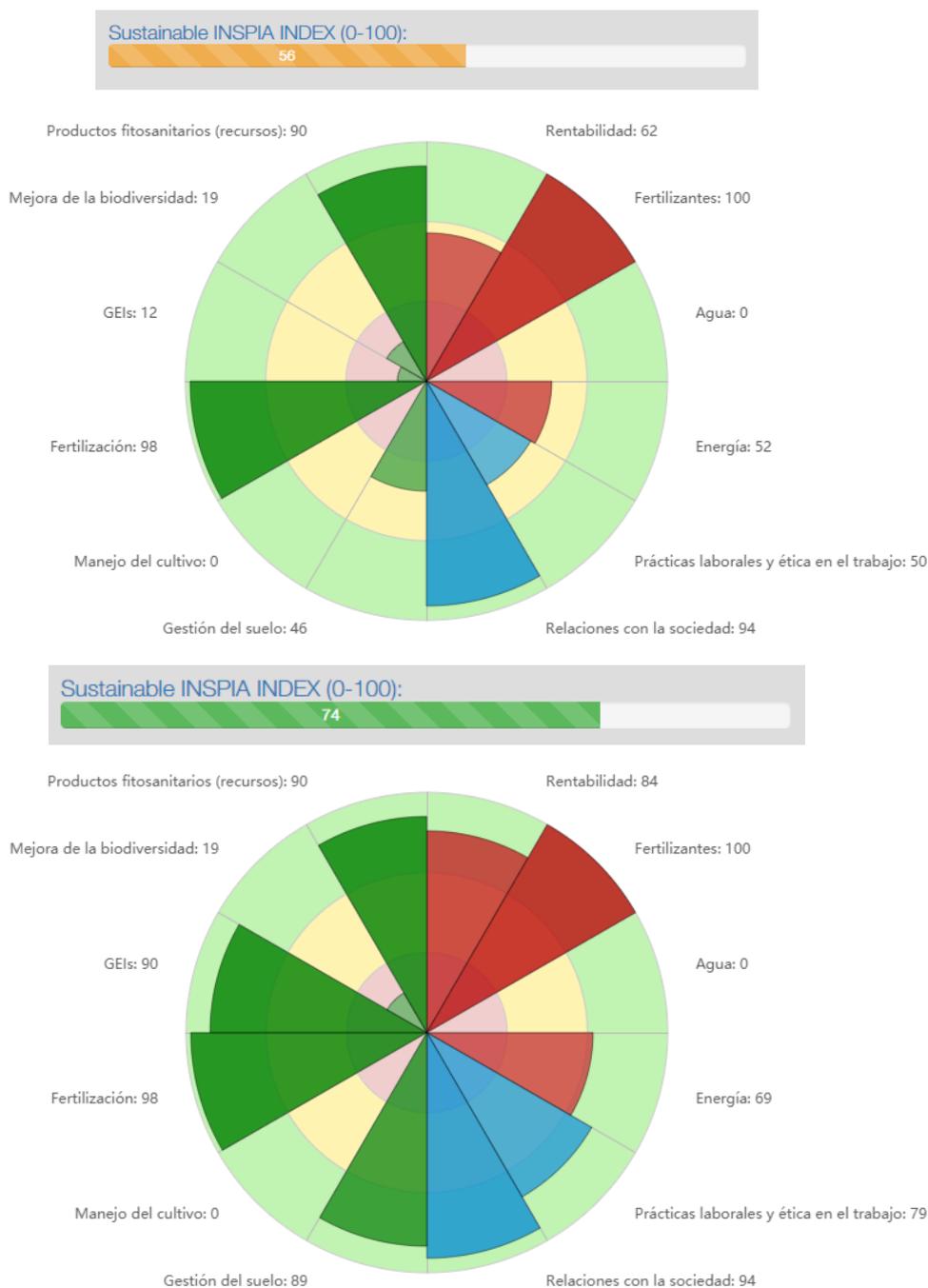


Figura 20. Valores de los indicadores agregados a nivel 1 y valor del indicador global en la campaña 2018/2019 en la finca 1 olivar para la parcela en laboreo convencional (izda.) y con Cubiertas Vegetales (dcha.).

Analizando los valores obtenidos en cada uno de los indicadores básicos, vemos como la práctica totalidad de ellos tienen un valor superior en la parcela con Cubierta Vegetal con respecto a la parcela con un manejo convencional (Figura 21). En lo que respecta a los indicadores de tipo económico, el rendimiento ligeramente superior que se ha obtenido en la parcela con Cubiertas Vegetales unido a la reducción de costes asociada a la supresión de las labores, ha contribuido a que la valoración sea más favorable para la Agricultura de Conservación. La mayor producción y la reducción del número de operaciones en cubiertas vegetales, también incluye en que todos los indicadores relacionados con la energía sean más favorables. En lo que respecta a los indicadores medioambientales y, como ya ocurría en los casos de Siembra Directa en cereal, los valores relacionados con la gestión del suelo y el balance de GEI son sustancialmente superiores en las parcelas con Cubiertas Vegetales, debido a la reducción de la erosión, el incremento de materia orgánica y el incremento del efecto sumidero de carbono en el suelo.

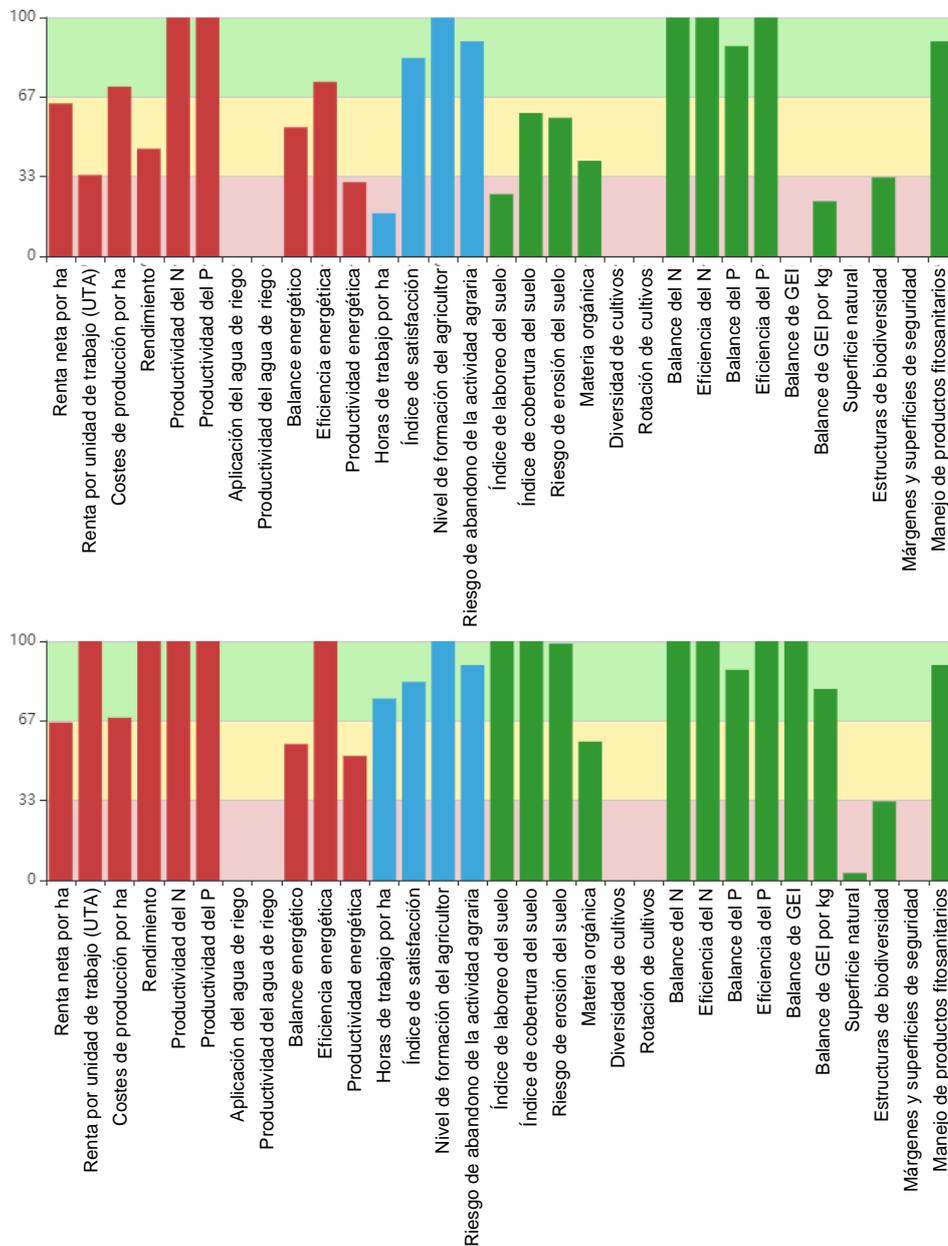


Figura 21. Valores de los indicadores básicos en la campaña 2018/2019 en la finca 1 olivar para la parcela en laboreo convencional (arriba) y con Cubiertas Vegetales (abajo).

Tal y como se puede observar en la figura 22, existe una gran diferencia entre los valores de los indicadores agregados por ámbito entre ambos sistemas. Dichas diferencias son similares en los ámbitos económicos y social (15 puntos), mientras que en el ámbito medioambiental es más grande (25 puntos).

En este caso, el índice de Shannon fue muy similar en ambos sistemas (26 en la parcela con Cubiertas Vegetales y 27 en las parcelas con laboreo convencional).

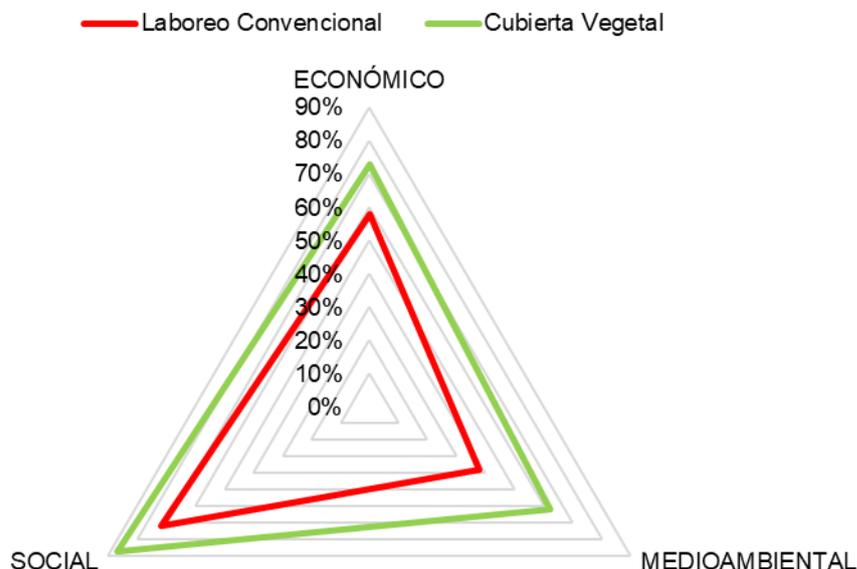


Figura 22. Valores de los indicadores agregados por ámbitos en la campaña 2018/2019 para ambos sistemas de manejo en la finca 1 olivar.

Evolución temporal de los indicadores en la parcela con Cubiertas Vegetales

El valor del indicador global de sostenibilidad en la parcela se ha incrementado significativamente hasta rebasar el umbral de sostenibilidad fijado por la metodología utilizada (Figura 23). Dicho incremento ha sido de 11 puntos desde el valor inicial en la campaña 2015/2016 que era de 63.

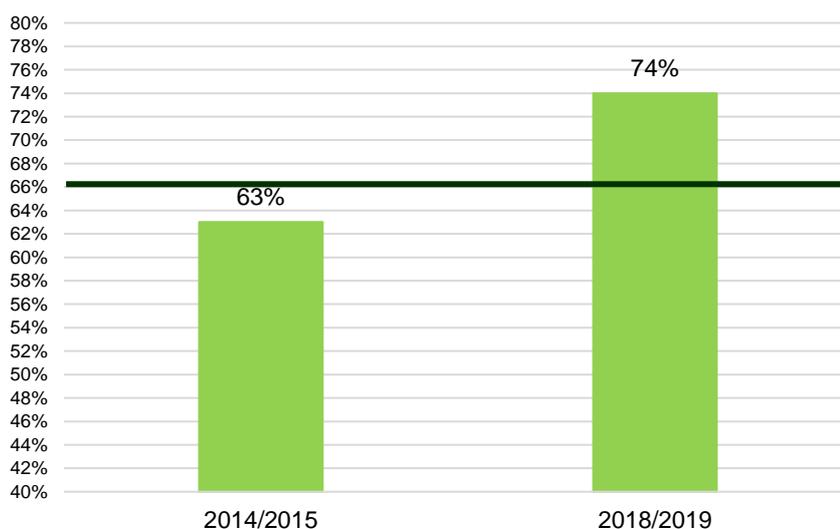


Figura 23. Evolución del índice global de sostenibilidad en la finca 1 olivar. (La línea verde marca el umbral de sostenibilidad).

Analizando los resultados obtenidos en los indicadores básicos en una y otra campaña (Tabla 10), vemos que, a excepción de algunos indicadores, casi todos se mantienen o se incrementan, lo que hace que el indicador global finalmente sea mayor en la campaña 2018/2019. En el ámbito económico, indicadores como la renta neta por hectárea, los costes de producción por hectárea y la productividad energética disminuyen con respecto a la campaña base. Ello se debe a varias razones. El olivar es un cultivo vecero, que alterna años de producciones muy altas con años de producciones muy bajas, independientemente del sistema de manejo llevado a cabo en el suelo. En el caso que nos ocupa, la campaña 2018/2019 fue menos productiva que la campaña 2015/2016, además, los precios de venta fueron inferiores, lo que ha incidido negativamente en algunos de los indicadores económicos. Además, la merma de cosecha también ha afectado a los indicadores relacionados con el balance de N y P y al balance energético, por cuanto la energía asociada a la producción ha sido menor.

Tabla 10. Resultados obtenidos en los indicadores básicos en la parcela con Cubiertas Vegetales de la finca 1 olivar en la campaña 2015/2016 y 2018/2019.

Nº	Indicador	2015/2016	2018/2019	Variación
1	Renta/Beneficio neto por hectárea	87	66	-21
2	Renta por unidad de trabajo (UTA)	69	100	+31
3	Costes de producción por hectárea	82	68	-14
4	Rendimiento	100	100	0
5	Productividad del N	73	100	+27
6	Productividad del P	90	100	+10
7	Balance energético	63	57	-6
8	Eficiencia energética	69	100	+31
9	Productividad energética	29	52	+23
10	Horas de trabajo por ha	37	76	+39
11	Índice de satisfacción	85	83	-2
12	Nivel de formación de los agricultores	100	100	0
13	Riesgo de abandono de la actividad agraria	90	90	0
14	Índice de laboreo del suelo	100	100	0
15	Índice de cobertura del suelo	100	100	0
16	Riesgo de erosión del suelo	99	99	0
17	Materia orgánica	50	58	+8
18	Diversidad de cultivos	0	0	0
19	Rotación de cultivos	0	0	0
20	Balance de N	5	100	+95
21	Eficiencia del N	92	100	+8
22	Balance de P	12	88	+76
23	Eficiencia del P	100	100	0
24	Balance de GEIs	10	100	+90
25	GEIs por kg	47	80	+33
26	Superficies naturales	0	3	+3
27	Estructuras de biodiversidad	28	33	+5
28	Márgenes y franjas de seguridad	0	0	0
29	Biodiversidad	-	26	-
30	Manejo de productos fitosanitarios	90	90	0

Finca 2 olivar

Comparación Cubierta Vegetal vs Laboreo Convencional

El valor del indicador global de sostenibilidad para la parcela con cubiertas vegetales ha resultado ser de 68, mientras que para la parcela con un manejo convencional basado en laboreo ha sido de 52, es decir una diferencia de 16 puntos. En la figura 24 se puede ver que una mayor valoración de los indicadores agregados en el ámbito medioambiental, y una mayor homogeneidad de los valores de los indicadores agregados en el ámbito económico y social, han sido los responsables de una mejor puntuación en la parcela con cubiertas vegetales.

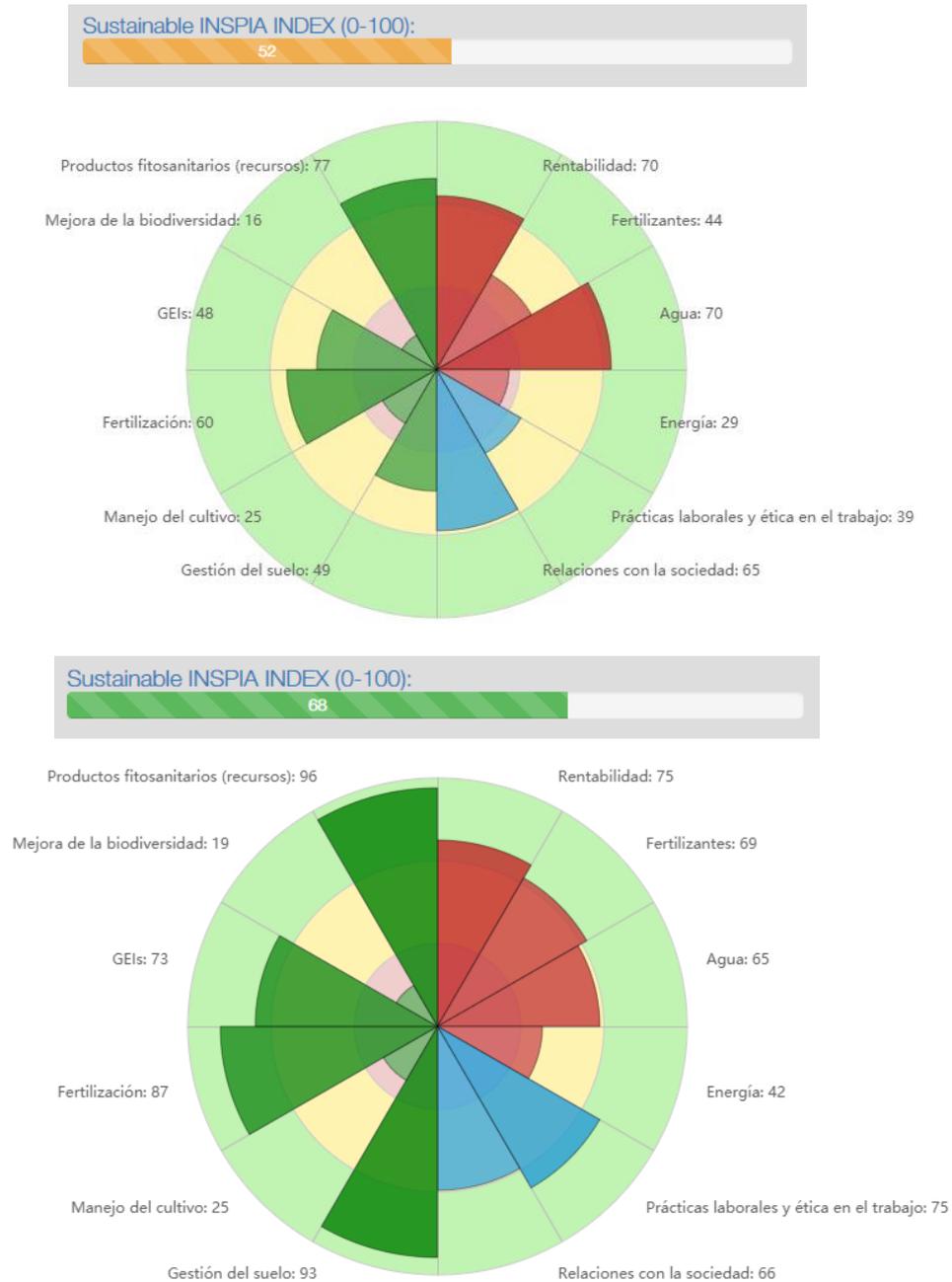


Figura 24. Valores de los indicadores agregados a nivel 1 y valor del indicador global en la campaña 2018/2019 en la finca 2 olivar para la parcela en laboreo convencional (arriba) y con Cubiertas Vegetales (abajo).

Analizando los indicadores básicos (Figura 25), es posible advertir como la parcela con cubiertas vegetales, obtiene unos valores más homogéneos en general. El ámbito medioambiental destaca sobremanera, al tener unos valores muy altos en la parcela con Agricultura de Conservación, obteniendo puntuaciones máximas o muy cercanas al máximo aquellos indicadores relacionados con el suelo y las emisiones de GEI como viene siendo habitual. En el ámbito económico, sólo uno de los indicadores en la parcela con Cubiertas Vegetales obtiene una puntuación por debajo de 33 (productividad energética) mientras que en la parcela con laboreo convencional son cuatro los indicadores por debajo de dicho valor (ingreso neto por unidad de trabajo, productividad del N, eficiencia energética y productividad energética). Hay que advertir de que, a pesar del valor bajo de productividad energética en la parcela con Cubierta Vegetal, éste es superior a su homólogo en la parcela con laboreo convencional.

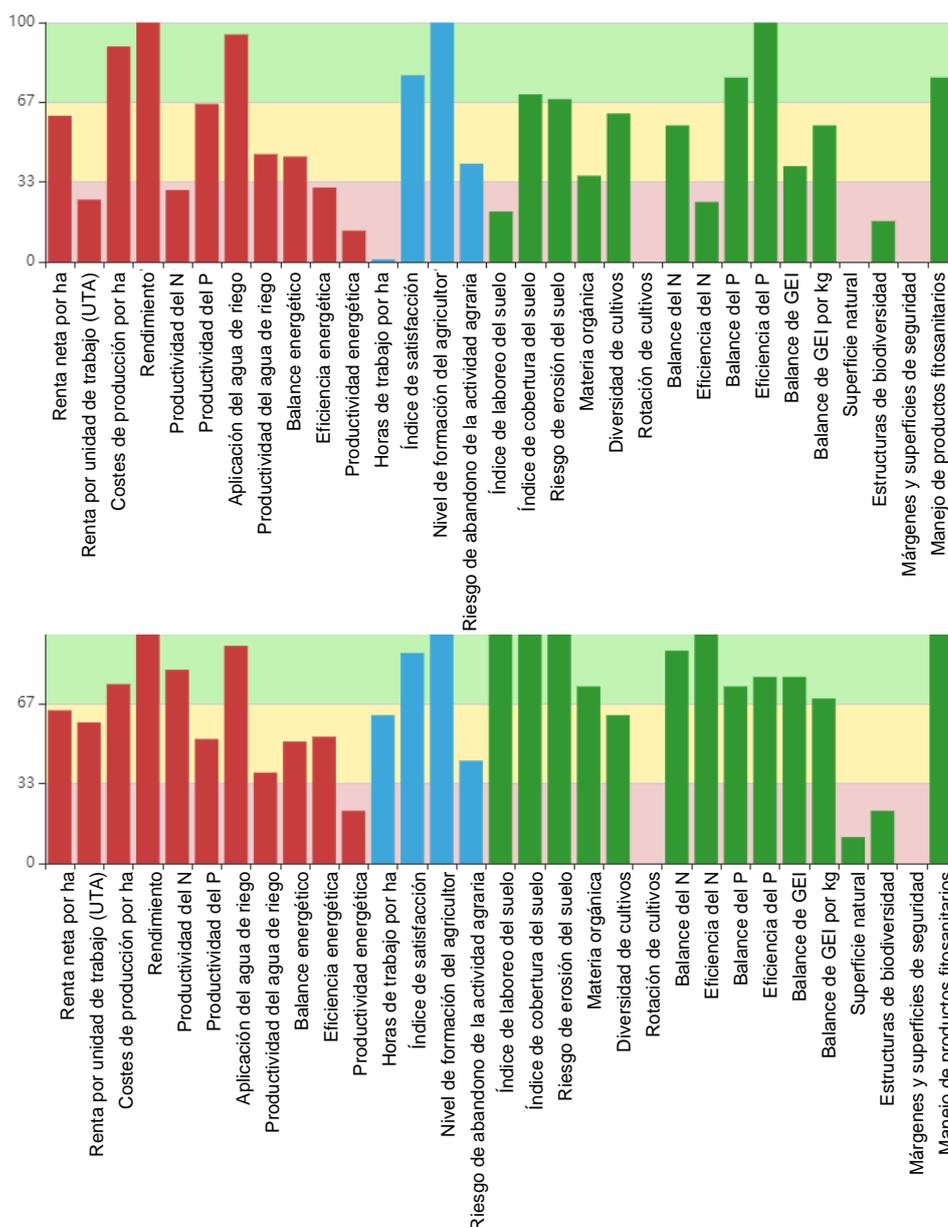


Figura 25. Valores de los indicadores básicos en la campaña 2018/2019 en la finca 2 olivar para la parcela en laboreo convencional (arriba) y con Cubiertas Vegetales (abajo).

El índice de Shannon tiene valores muy parecidos en ambos sistemas de manejo, siendo ligeramente superior para la parcela con Cubiertas Vegetales, con una valoración de 28, frente a un valor de 24 para la parcela en laboreo convencional.

En lo que respecta a los valores de los indicadores agregados por ámbito, sólo existe una gran diferencia entre ambos sistemas a favor de la parcela con Cubiertas Vegetales en los ámbitos medioambiental y social. En cambio, en el ámbito económico, ambas parcelas están en unos valores muy similares (Figura 26).

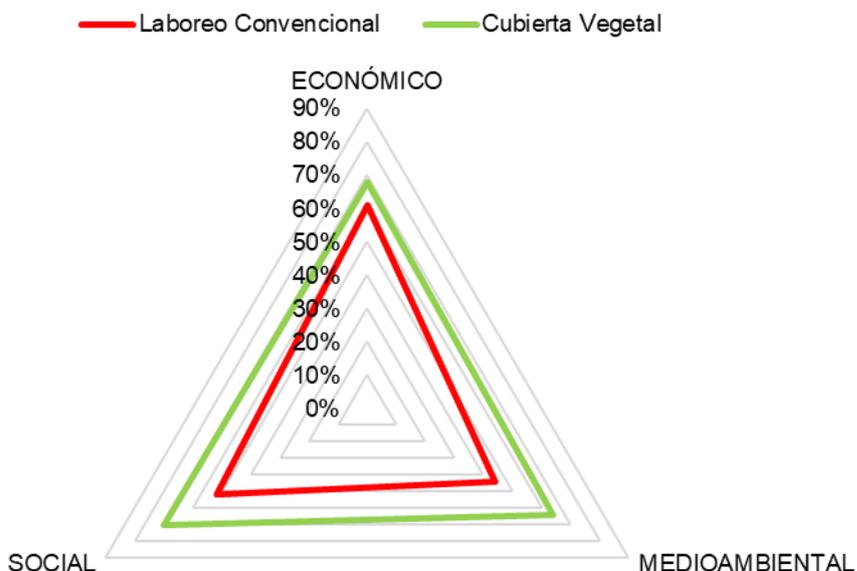


Figura 26. Valores de los indicadores agregados por ámbitos en la campaña 2018/2019 para ambos sistemas de manejo en la finca 2 olivar.

Evolución temporal de los indicadores en la parcela con Cubiertas Vegetales

En este caso, el incremento del valor del indicador global de sostenibilidad en la parcela no ha sido tan acusado como el de los anteriores casos, pero sí ha servido para que se alcanzase el umbral de sostenibilidad fijado por la metodología utilizada (Figura 27).

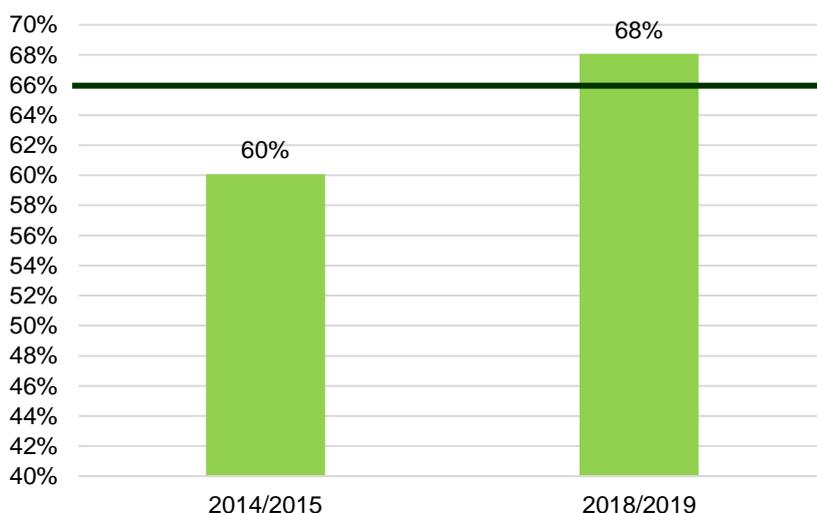


Figura 27. Evolución del índice global de sostenibilidad en la finca 2 olivar. La línea verde marca el umbral de sostenibilidad.

Al igual que en el anterior caso, el descenso de la producción de la campaña 2018/2019 con respecto a la campaña 2015/2016 ha lastrado a alguno de los indicadores del ámbito económico, aunque no lo suficiente como para reducir la nota del indicador global de sostenibilidad (Tabla 11). Ello ha sido debido, en parte, por los grandes incrementos que se han dado gracias a la introducción de Cubiertas Vegetales sembradas (diversidad de cultivos) o la sustancial mejora del indicador de emisiones de GEI.

Tabla 11. Resultados obtenidos en los indicadores básicos en la parcela con Cubiertas Vegetales de la finca 2 olivar en la campaña 2015/2016 y 2018/2019.

Nº	Indicador	2015/2016	2018/2019	Variación
1	Renta/Beneficio neto por hectárea	73	64	-9
2	Renta por unidad de trabajo (UTA)	53	59	+6
3	Costes de producción por hectárea	77	75	-2
4	Rendimiento	100	100	0
5	Productividad del N	84	81	-3
6	Productividad del P	54	52	-2
7	Aplicación de agua de riego	91	91	0
8	Productividad del agua	40	38	-2
9	Balance energético	53	51	-2
10	Eficiencia energética	51	53	+2
11	Productividad energética	21	22	+1
12	Horas de trabajo por ha	47	62	+15
13	Índice de satisfacción	85	88	+3
14	Nivel de formación de los agricultores	100	100	0
15	Riesgo de abandono de la actividad agraria	49	43	-6
16	Índice de laboreo del suelo	100	100	0
17	Índice de cobertura del suelo	100	100	0
18	Riesgo de erosión del suelo	99	99	0
19	Materia orgánica	68	74	+6
20	Diversidad de cultivos	0	62	+62
21	Rotación de cultivos	0	0	0
22	Balance de N	9	89	+80
23	Eficiencia del N	100	100	0
24	Balance de P	24	74	+50
25	Eficiencia del P	82	78	-4
26	Balance de GEIs	8	78	+70
27	GEIs por kg	47	69	+22
28	Superficies naturales	0	11	+11
29	Estructuras de biodiversidad	22	22	0
30	Márgenes y franjas de seguridad	0	0	0
31	Biodiversidad	-	28	-
32	Manejo de productos fitosanitarios	96	96	+6

3.3. Resultados en relación a los objetivos perseguidos por la medida agroambiental

De cara a evaluar en qué grado las prácticas propuestas por las operaciones 10.1.4 y 10.1.7 están contribuyendo a la consecución de los objetivos planteados en la medida 10 Agroambiente y clima, la tabla 12 muestra las diferencias existentes de valores en los indicadores agregados de nivel 1 relacionados con dichos objetivos entre las parcelas en Agricultura de Conservación y parcelas de laboreo convencional. Salvo algunas excepciones, los indicadores en las parcelas en Agricultura de Conservación tienen valores más altos que los indicadores en laboreo convencional, por lo que contribuirán en mayor grado a los objetivos planteados en la medida.

Tabla 12. Diferencia de valor en los indicadores relacionados con los objetivos de la Medida 10 entre las parcelas de Agricultura de Conservación y las parcelas de laboreo convencional. (Incrementos positivos indican valores del indicador más alto en las parcelas en Agricultura de Conservación respecto a las parcelas en laboreo convencional)

Objetivos de la Medida 10	Indicadores asociados	Cereal 1	Cereal 2	Olivar 1	Olivar 2
Restauración, preservación y mejora de la biodiversidad.	Mejora de la biodiversidad	+2	+2	0	+3
	Fertilizantes	-13	+34	0	+25
Mejora de la gestión del agua, incluyendo la gestión de los fertilizantes y los plaguicidas.	Agua	0	0	0	-5
	Fertilización	-9	+32	0	+27
	Productos fitosanitarios	0	0	0	+19
Prevención de la erosión de los suelos y mejora de la gestión de los mismos.	Gestión del suelo	+32	+21	+24	+44
Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y amoníaco procedentes de la agricultura.	Energía	+2	+18	+17	+12
	GEIs	+25	+33	+79	+25
Fomento de la conservación y captura de carbono en los sectores agrícola y forestal.	Materia orgánica*	+5	+4	+19	+38

*Al existir un indicador base asociado al carbono en el suelo, no se utilizó en este caso los indicadores agregados.

4. Conclusiones del estudio

Aun cuando la extensión del estudio ha sido reducida, los resultados alcanzados han permitido demostrar la efectividad de las prácticas incluidas en las operaciones 10.1.4 y 10.1.7, para cumplir con los objetivos con los cuales dichas medidas fueron diseñadas.

Así pues, se demuestra en primer lugar como la Agricultura de Conservación supone para los ecosistemas agrarios, un sistema de manejo más sostenible desde todas las perspectivas (medioambiental, económica y social) que el manejo convencional basado en el laboreo. Llama la atención en este sentido, como no podía ser de otra manera, como los indicadores relacionados con el suelo, son los que experimenta un mayor incremento respecto a las parcelas labradas. En el apartado económico, destaca el hecho de que, por lo general, las parcelas en Agricultura de Conservación tienen una mayor rentabilidad fruto del menor coste en las operaciones agrícolas, al suprimirse el laboreo. Este hecho, además, promueve que los indicadores energéticos sean más favorables a la Agricultura de Conservación.

El análisis realizado ha mostrado como, la práctica continuada de Agricultura de Conservación, ha mejorado la sostenibilidad de las parcelas en las que se han venido llevando a cabo, tras varias campañas. En base a ello, se puede afirmar que implantación y desarrollo de esta práctica mediante programas plurianuales pueden ser una medida muy efectiva de cara a la consecución de objetivos en las estrategias planteadas en el agro andaluz.

Por otro lado, la metodología de evaluación basada en la utilización de indicadores se demuestra como una herramienta útil, universal y práctica no sólo para abordar el seguimiento de las operaciones contempladas en la Medida 10, sino para hacer un diagnóstico de la sostenibilidad del sector agrario andaluz, gracias al carácter universal de los indicadores utilizados.

Además, y gracias a la metodología utilizada en las auditorías de sostenibilidad realizadas en la red de fincas establecidas en el marco del contrato, a partir del cálculo de indicadores diseñados con una sólida base técnica y científica, permite sentar las bases para el diseño de medidas de protección del medio ambiente fundamentadas en criterios técnicos y científicos.

5. Propuestas de acciones para el futuro

Las acciones acometidas en el marco del presente contrato, suponen un primer paso en la dirección marcada en el estudio, siendo aconsejable ampliar el marco de actuación para así dar cobertura a todos los cultivos contemplados no sólo en las operaciones 10.1.4 y 10.1.7, sino además en la operación 10.1.6, verificar la evolución de los indicadores a lo largo de un mayor marco temporal, lo que reforzará la solidez del dato final, y dar la posibilidad de estudiar los beneficios de otras prácticas agrarias contempladas en alguna de dichas operaciones, como por ejemplo, los márgenes multifuncionales, de los que hay pocos estudios que avalen los beneficios de esta práctica.

En base a todo ello, las acciones que se proponen para el futuro, para dar continuidad a lo ya iniciado en el presente contrato y ampliar su cobertura a todas las operaciones que incluyen la práctica de agricultura de conservación entre los compromisos a adquirir por los agricultores son las siguientes:

- Establecimiento de una red de fincas demostrativas más amplia, que dé cobertura a un mayor número de cultivos y con un grado de implantación que permita el estudio en diferentes zonas agroclimáticas. En base a ello, los cultivos a los que ampliar el estudio sería los que se contemplan en las Operaciones 10.1.4, 10.1.6 y 10.1.7.
- Ampliar el marco temporal de estudio en, al menos, 4 campañas agrícolas, o a la duración del programa, que permita el seguimiento de una rotación de cultivos típica del secano andaluz (cereal/girasol/leguminosa), con una campaña de margen para absorber cualquier tipo de incidencias meteorológicas que impidan en normal desarrollo del cultivo.
- Adaptación de los indicadores ya existentes a los nuevos cultivos a considerar en el estudio, además de la inclusión de posibles nuevos indicadores que resulten de interés para la Administración competente.
- Establecimiento un conjunto de parcelas experimentales de referencia, que sirvan de modelo de implantación de las operaciones 10.1.4, 10.1.6 y 10.1.7. En dicha finca se realizarán acciones específicas de monitoreo que permitan nutrir de datos de referencia a los indicadores, de cara a su mejor adaptación y ajuste a la realidad agraria andaluza.
- Realización de una plataforma web, para el seguimiento de la sostenibilidad de las explotaciones, a través de la inclusión de todos los datos necesarios para el cálculo de los indicadores. Dicha plataforma podrá tener un módulo específico para los agricultores, y otro para la Administración competente, en los que los resultados obtenidos se pongan en relación con los objetivos perseguidos en las medias agroambientales.
- A partir de los resultados obtenidos en los indicadores, elaboración de los informes sectoriales que se estimen necesarios por parte de la Administración para el diseño de medidas agroambientales que fomenten la adopción de las buenas prácticas agrarias en Andalucía.
- Con los datos obtenidos sobre la aceptación y aplicación de buenas prácticas por parte de agricultores, se podrán identificar aquellas que resulten más interesantes para el sector y cumplan los criterios de sostenibilidad. Esta información será de gran apoyo para la Administración en el diseño de futuras medidas con mayor contribución agroambiental.

- Puesta en marcha de planes de formación, asesoramiento y difusión específicos. Para ello, y a tenor de experiencias ya realizadas en el sector, las jornadas de tipo práctico y demostrativo constituyen una herramienta muy efectiva para transmitir el conocimiento “a pie de campo”. Dichas jornadas se pueden combinar con cursos y seminarios más teóricos, con una carga docente más técnica que capacite a posibles actores de la administración, cooperativas o asociaciones agrarias, o incluso a agricultores, que puedan servir de agentes formadores del sector.

6. Bibliografía

- Barros, J.; Basch, G.; Carvalho, M. (2007). Effect of reduced doses of a post-emergence herbicide to control grass and broad-leaved weeds in no-till wheat under Mediterranean conditions. *Crop Protection* 26, 1538–1545. DOI: 10.1016/j.cropro.2006.12.017.
- Barros, J.; Basch, G.; Carvalho, M. (2008). Effect of reduced doses of a post-emergence graminicide to control *Avena sterilis* L. and *Lolium rigidum* G. in no-till wheat under Mediterranean environment. *Crop Protection* 27, 1031–1037. DOI: 10.1016/j.cropro.2007.12.006.
- Bravo, C.; Giráldez, J.V.; González, P.; Ordóñez, R.; Perea, F. (2007). Long term influence of conservation tillage on chemical properties of surface horizon and legume crops yield in a Vertisol of southern Spain. *Soil Science Vol 172 n° 2*: 141-148.
- Calado, J.; Basch, G.; Carvalho, M. (2010). Weed management in no-till winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Protection* 29, 1–6. DOI: 10.1016/j.cropro.2009.09.011.
- Carbonell-Bojollo, R.; Veroz-Gonzalez, O.; Ordóñez-Fernandez, R.; Moreno-Garcia, M.; Basch, G.; Kassam, A.; Repullo-Ruiberriz de Torres, M.A.; Gonzalez-Sanchez, E.J. (2019). The Effect of Conservation Agriculture and Environmental Factors on CO₂ Emissions in a Rainfed Crop Rotation. *Sustainability* 11, 3955.
- Carmona, I. (2015). *Agricultura de Conservación en cultivos extensivos del valle del Guadalquivir: caracterización de sistemas a escala de parcela comercial y análisis de estrategias de mejora*. Universidad de Córdoba.
- Davidson, E.A. and I.L. Ackerman (1993). Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry* 20: 161-193.
- 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 económicos*. L García Torres y P. González Fernández (ed). 271-286.
- ECAF (1999). *Conservation Agriculture in Europe: Environmental, Economic and EU Policy Perspectives*. Córdoba (España): European Conservation Agriculture Federation.
- EEA (2017). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 — An indicator-based report*, EEA Report No 1/2017, European Environment Agency (<https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016>).
- Errouissi, F.; Ben Moussa-Machraoui, S.; Ben-Hammouda, M.; Nouria, S. (2011). Soil invertebrates in durum wheat (*Triticum durum* L.) cropping system under Mediterranean semi arid conditions: A comparison between conventional and no-tillage management. *Soil and Tillage Research* 112, 122-132.
- Fryrear, D. W. (1985). Soil Cover and Wind Erosion. *Transactions of the ASAE*. 28 (3): 0781-0784.

- 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., 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.
- Gómez-Muñoz; B.; Hatch, D.J.; Bol, R.; García-Ruiz, R. (2014). Nutrient dynamics during decomposition of the residues from a sown legume or ruderal plant cover in an olive oil orchard. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 184, 115–123.
- González-Sánchez, E.J.; Ordóñez-Fernández, R.; Carbonell-Bojollo, R.; Veroz-González, O.; Gil-Ribes, J.A. (2012). Meta-analysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture. *Soil & Tillage Research* 122, 52-60.
- González Fernández, P.; Ordóñez Fernández, R; Espejo Serrano, R. (2010). La fertilización en la Agricultura de Conservación. In: E.J. González Sánchez, R. Ordóñez Fernández and J.A. Gil Ribes, ed., *Aspecto agronómicos y medioambientales de la Agricultura de Conservación*, 1st ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Eumedia S.A., pp.77-84.
- 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.
- Holland, J.M. (2004). The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103, 1–25.
- Gil Ribes, J., Veroz González, Ó. and Hernanz Martos, J. (2019). *Ahorro y Eficiencia Energética con Agricultura de Conservación*. 1st ed. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- Kertész, A., Madarász, B., Csepinszky, B., Bádonyi, K. (2010). Conservation agriculture as a tool against soil erosion and for improving biodiversity. In *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 (2004) Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 4, 123:1-22.
- López-Fando, C. (2010). Efecto de la AC en la microflora y fauna del suelo. En *Aspectos agronómicos y medioambientales de la AC*, 111-125. Editado por Eumedia y Ministerio Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- López-Garrido, S.; Madejón, E.; Murillo, J.M.; Moreno, F. (2011). Soil quality alteration by mouldboard ploughing in a commercial farm devoted to no-tillage under Mediterranean conditions. *Agriculture, ecosystem and environment* 140, 182-190.

- Loveland, P.; Webb, J. (2003). Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil & Tillage Research* 70, 1-18.
- Madejón, E.; Murillo, J.M.; Moreno, F.; López, M.V.; Arrúe, J.L.; Álvaro-Fuentes, J.; Cantero, C. (2009). Effect of long-term conservation tillage on soil biochemical properties in Mediterranean Spanish areas. *Soil and Tillage Research* 105, 55–62.
- Márquez, F., González, E.J., Rodríguez, A., Ordóñez, R. (2007). Incremento disponibilidad de agua mediante Agricultura de Conservación. *Agricultura de Conservación* 5: 24-26.
- Márquez, F., Ordóñez, R., Gil Ribes, J., González, E., Gómez, M. (2010). "Implantación de cubiertas vegetales en olivar como sistema de conservación y mejora del agua". En *Proceedings of the European Congress on Conservation Agriculture*. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Asociación Española Agricultura de Conservación / Suelos Vivos; pp. 545-554.
- McArthur, J.W. (2016). 'Agriculture in the COP21 Agenda', in: COP21 at Paris: What to expect. The issues, the actors, and the road ahead on climate change, Global Economy and Development, Brookings Institution, Washington, DC, pp. 37-42.
- Melero, S.; López-Bellido, R.J.; López-Bellido, L.; Muñoz-Romero, V.; Moreno, F.; Murillo, J.M. (2011). Long-term effect of tillage, rotation and nitrogen fertiliser on soil quality in a Mediterranean Vertisol. *Soil and Tillage Research* 114, 97–107.
- Moreno, F., Pelegrin, F., Fernandez, J.E., Murillo, J.M. (1997). Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain. *Soil and Tillage Research* 41(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.
- Morgan, R.P.C. (1997). Erosión y conservación del suelo. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona. pp 343.
- 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., Moren, F., Pelegrín, F., Fernández, J. E., (1998). Responses of sunflower to traditional and conservation tillage under rainfed conditions in southern Spain. *Soil & Tillage Research* 49(3): 233-241.
- 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.
- Ordóñez-Fernández, R.; Repullo-Ruibérriz de Torres, M.A.; Román-Vázquez, J.; González-Fernández, P.; Carbonell-Bojollo, R. (2015). Macronutrients released during the decomposition of pruning residues used as plant cover and their effect on soil fertility. *Journal of Agricultural Science* 153, 615–630.
- Panettieri, M.; Carmona, I.; Melero, S.; Madejón, E.; Gómez-Macpherson, H. (2013). Effect of permanent bed planting combined with controlled traffic on soil chemical and biochemical properties in irrigated semi-arid Mediterranean conditions. *CATENA* 107, 103-109.

- Pelosi, C.; Pey, B.; Hedde, M.; Caro, G.; Capowiez, Y.; Guernion, M.; Peigné, J.; Piron, D.; Bertrand, M.; Cluzeau, D. (2014). Reducing tillage in cultivated fields increases earthworm functional diversity. *Applied Soil Ecology* 83, 79-87.
- 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.
- Repullo-Ruibérriz de Torres, M.A., Ordóñez-Fernández, R.; Moreno-García, M.; Márquez-García, J.; Carbonell-Bojollo, R. (2019). Soil Nitrate and Organic Carbon improvement by use of leguminous plants as cover crops in an organic olive orchard. *AGROFOR International Journal*, Vol. 4, Issue No. 1.
- 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.
- RISE 3.0., 2016. Response-Inducing Sustainability Evaluation. Disponible en: https://www.hafl.bfh.ch/fileadmin/docs/Forschung_Dienstleistungen/Agrarwissenschaften/Nachhaltigkeitsbeurteilung/RISE/What_is_RISE.pdf.
- Rodríguez Martín, J.A.; López Arias, M.; Grau Corbí, J.M. (2009). Materia Orgánica. En *Metales Pesados, Materia Orgánica y otros Parámetros de los Suelos Agrícolas y Pastos de España* (pp 65-76). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.
- 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.
- 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.
- Soane, I.D., Scolozzi, R., Gretter, A., Hubacek, K., 2012. Exploring panarchy in alpine grasslands: an application of adaptive cycle concepts to the conservation of a cultural landscape. *Ecol. Soc.*, 17.
- 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.
- Triviño-Tarradas, P.; Gomez-Ariza, M.R.; Basch, G.; Gonzalez-Sanchez, E.J. (2019). Sustainability Assessment of Annual and Permanent Crops: The Inspia Model. *Sustainability*, 11, 738.
- Towery, D. (1998). No-till's impact on water quality, p 17-26. In *6th Argentine National Congress of Direct Drilling* (In Spanish AAPRESID) Mar de Plata, Argentine.
- Troccoli A.; Colecchia S.A.; Cattivelli, L.; Gallo, A. (2009). Risposta quali-quantitativa di una monocoltura di frumento duro coltivato al Sud in regime prolungato di non

lavorazione del suolo. Atti del XXXVIII Convegno Nazionale della Società Italiana di Agronomia, Sessione I - Tecniche Agronomiche, Firenze, 21-23 settembre 2009, 23-24 [presentazione orale].

Valera, A.; Costa, J.; González, P.; Fereres, E.; and Giráldez, J.V. (1990) Conservation tillage in South Spain for the wheat-sunflower rotation. In *Proceedings of the seminar on interaction between agricultural systems and soil conservation in the Mediterranean belt*, September 4–8, 1990, Eds A.G. Ferreira, M.A. Coutinho and P.P. Tomas. Oeiras: European Society for Soil Conservation.