

Agricultura de conservación y sus impactos. Experiencias de la asociación española agricultura de conservación suelos vivos con algunas metodologías de evaluación mediante indicadores

Manuel Gómez Ariza¹, Óscar Veroz González¹.

¹ Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos. IFAPA Alameda del Obispo, Avda. Menéndez Pidal s/n. 14004 – Córdoba (España). mgomez@agriculturadeconservacion.org

1. Introducción. Impactos de la agricultura.

En la actualidad, el laboreo es el sistema de manejo más utilizado por los agricultores españoles. Según las estadísticas del Ministerio de Agricultura (MAPA, 2021), en los principales cultivos herbáceos extensivos el manejo del suelo con laboreo se realiza en un 88,9% de la superficie, siendo del 57,9% en cultivos leñosos. Éste se realiza para controlar las malas hierbas, mejorar la infiltración y preparar el lecho de siembra.

Sin embargo, estas labores conllevan efectos adversos tanto para el suelo de nuestra explotación como para el medio ambiente. Al labrar el suelo se destruye su estructura y se rompe su continuidad porosa, alterando la relación entre macro y microporos, exponiendo el suelo a los efectos meteorológicos y por ello elevando el riesgo de erosión y escorrentía, lo que nos hace perder uno de los activos más importantes de nuestra actividad económica.

Esta erosión provoca aguas abajo el efecto contrario. Cuando el agua de escorrentía pierde velocidad, sedimentan las partículas de suelo, provocando alteración del perfil (quedan arriba las partículas más finas, que crean costras) y colmatación de infraestructuras (cunetas, embalses, etc).

Aparte de la pérdida de suelo por la erosión, el agua arrastra tanto fertilizantes como fitosanitarios, con el riesgo que conlleva para el medio ambiente

Por otro lado, el consumo de combustible por las operaciones mecanizadas, unido a la rotura de los agregados del suelo, donde se acumula CO₂, y la sobreexposición del carbono orgánico (que se oxida más rápidamente) provocan emisiones de CO₂ a la atmósfera, contribuyendo al cambio climático.

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

Esta definición está alineada con organismos internacionales como la FAO (2021a). Los efectos beneficiosos para el medio ambiente derivados de la AC han sido ampliamente estudiados y difundidos por la comunidad científica desde hace décadas. En términos de erosión (*McGregor et al., 1990*), en torno al aprovechamiento del agua (*Blanco-Canqui y Lal, 2007*) y a su calidad (*Jordan y Hutcheon, 1997*), en mejoras de biodiversidad (*Valera Hernández et al., 1997*) y lucha contra el cambio climático (*Lal, 2005; González Sánchez et al., 2012; Carbonell Bojollo et al., 2011*). Igualmente existen estudios sobre la viabilidad económico-productiva (*Cantero et al., 2003; Van den Putte et al., 2010*) y acerca de la necesidad del cambio de modelo agrícola debido a los problemas ocasionados por la degradación de los suelos (*Bakker et al., 2007; Van-Camp, 2004*).

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

La AC es un sistema agrícola que se puede considerar en la actualidad como global. La expansión de la siembra directa se refleja en la rapidez de su aceptación por parte de agricultores de todas las partes del mundo, pasando de 45 millones de hectáreas en 1999, a más de 200 millones en 2021 (FAO, 2021b). El margen de crecimiento es amplio e inminente en potencias mundiales como China, a la par que se constatan incrementos de superficie constantes en países de Europa, como es el caso de España. Los motivos para este aumento, se derivan principalmente de los beneficios económicos que conlleva la práctica de la AC, basados en la reducción drástica de operaciones mecanizadas, que comporta un menor consumo de combustibles y tiempos de trabajo (González Sánchez *et al.*, 2010). En esta expansión, la confianza en el mantenimiento de las producciones en comparación con el laboreo convencional ha sido puesta de manifiesto por numerosos autores (Basch *et al.*, 2015; González Sánchez *et al.*, 2015; Kassam *et al.*, 2012).

2. Efectos de la AC sobre aspectos ambientales, económicos y sociales.

Aspectos ambientales

El manejo de los cultivos mediante prácticas de AC conlleva una mejora de los ecosistemas agrarios presentando claro beneficios tanto para el suelo como para el aire y el agua (Tabla 1)

Para el suelo	Reducción de la erosión.
	Incremento del contenido de materia orgánica.
	Mejora de la estructura y porosidad.
	Mayor biodiversidad.
	Incremento de la fertilidad natural del suelo.
Para el aire	Fijación de carbono.
	Menor emisión de CO ₂ a la atmósfera.
Para el agua	Reducción de la escorrentía.
	Mejora de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.
	Incremento de la capacidad de retención de agua.

Tabla .1. Principales beneficios medioambientales de la Agricultura de Conservación.

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

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

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

La puesta en práctica de AC implica una serie de beneficios sobre las propiedades físicas del suelo, que contribuye a la mejora de la estructura del suelo, como distribución de tamaño de agregados, diámetro medio ponderado e índice de agregación (López-Garrido, 2010). Así pues, al mantenerse el suelo inalterado gracias a la supresión de las operaciones de laboreo, se favorece la generación de galerías producto de la degradación de las raíces, que junto a la cantidad superior de lombrices en un suelo bajo AC, forman lo que se conoce como bioporos. Éstos son canales preferenciales por los que al agua infiltra en profundidad.

La biodiversidad del suelo tiende a ser mayor gracias a la presencia de restos de cosecha en el suelo en el caso de la SD, o la existencia de una CV en cultivos leñosos, que permite que en el suelo se den las condiciones para proveer de alimento y refugio a muchas especies animales durante períodos críticos de su ciclo de vida, de ahí que prosperen gran número de especies de pájaros, pequeños mamíferos, reptiles, y lombrices, entre otros.

Aspectos económicos

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

En el marco del proyecto LIFE+ Agricarbon, se analizaron los sistemas de LC y la SD apoyada en la agricultura de precisión (AC+AP). Los ahorros de costes fueron del 9,5% en trigo, 21,6% en girasol y 15,4% en leguminosas.

Aspectos sociales

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

Se disponen de estudios como el de Arnal (2014) en los que la reducción de tiempos de trabajo en los cultivos es evidente. Sumando todos los tiempos de trabajo en las operaciones agrícolas del cultivo (a excepción de la cosechadora que se entiende que es alquilada), Arnal estimó que el tiempo medio de trabajo necesario para los cultivos analizados (herbáceos extensivos) mediante siembra directa emplea un 52% del tiempo necesario que en agricultura convencional.

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

Otro aspecto importante frente a la sociedad es que al requerir una formación más completa del agricultor, redundará en una mayor conciencia medioambiental, al ser conscientes de los riesgos que la actividad agraria conlleva y conocer técnicas para disminuirlos.

3. Evaluación de la Sostenibilidad agraria mediante el uso de indicadores. Algunas experiencias.

En la actualidad, existe un creciente interés en la sociedad europea en intentar mejorar la relación entre la producción agrícola y el medio ambiente. Incluyendo a la sostenibilidad ambiental dentro de las prioridades comunitarias, a través de la restauración, preservación y mejora de la biodiversidad, de la calidad del agua y de los suelos en los ecosistemas relacionados con la agricultura (PAC, 2014-2020).

Existe un amplio consenso en cuanto a la definición de “sostenibilidad agrícola” como una actividad que permanentemente satisface un conjunto dado de condiciones por un período indefinido de tiempo. Estas condiciones están relacionadas con el carácter multidimensional inherente al concepto de desarrollo sostenible (World Commission on Environment and Development (WCED), 1987), para cuya consecución deben satisfacerse los tres pilares de una actividad sostenible (Elkington, 1998; Pope et al., 2004): ser económicamente viable (pilar económico); mantener o mejorar las condiciones y vida de los trabajadores en el ámbito rural-riqueza generada (pilar social); y proteger e incluso mejorar el medioambiente protegiendo el capital natural (pilar medioambiental).

A pesar de la clara delimitación en tres pilares en los que se apoya el concepto de sostenibilidad agrícola, la cuantificación de ésta a través de indicadores es muy compleja (Bockstaller et al., 2009). Fundamentalmente, debido a la heterogeneidad a la que debe hacerse frente al realizar el proceso de monitoreo (Angevin et al., 2017): diferentes contextos espacio-temporales, distintos sistemas de cultivos y la posibilidad de realizar evaluaciones sobre la actualidad o de futuros escenarios. A la que hay que unir la complejidad de interpretar la combinación de indicadores requeridos en este tipo de análisis (Gómez-Limón and Sánchez-Fernández, 2010). Siendo la tendencia actual la de utilizar indicadores afines para conseguir obtener un indicador compuesto. Como en el caso de las metodologías aplicadas por Stockle et al. (1994), Andreoli and Tellarini (2000), Pizzaroli and Castellini (2000), Sands and Podmore (2000), Rigby et al. (2001), Van Calker et al. (2006) y Hajkowicz (2006).

Las dificultades presentadas explican que, a pesar del amplio consenso a nivel académico en cuanto a la necesidad de realizar una evaluación de la sostenibilidad agraria (Coteur et al., 2016), no se llegue a un acuerdo sobre cuál es la mejor forma de hacerla (Lichtfouse et al., 2009). A pesar de ser un requisito ineludible en el diseño de políticas agrarias y medioambientales (Coteur et al., 2016) al suponer la sostenibilidad agraria una garantía de futuro para las explotaciones. Surgiendo diferentes publicaciones científicas en las que se intenta evaluar la sostenibilidad agraria mediante índices (Binder et al., 2010) y modelos (Paracchini et al., 2015, Angevin et al., 2017).

A continuación, se exponen algunas de las experiencias de la AEAC.SV en proyectos relacionados con sostenibilidad agraria mediante la implantación de buenas prácticas agrarias (BPAs) y su evaluación mediante indicadores.



Proyecto INSPIA: Iniciativa Europea para una agricultura productiva y sostenible. Desde 2013

La metodología INSPIA propuesta pretende reducir las dificultades descritas anteriormente, basándose en la identificación de la importancia a nivel de explotación del grado de consecución de cada uno de los tres pilares en los que se asienta la sostenibilidad agraria: económico, social y medioambiental. Siendo su objetivo fundamental, desarrollar una ecuación/fórmula empírica, que permita evaluar el grado de sostenibilidad agraria de cualquier explotación agrícola en un contexto europeo. En este ámbito, INSPIA dota a los agricultores europeos de un 'índice de sostenibilidad agraria' mediante el que lograr una agricultura productiva sostenible a través del monitoreo de diferentes tipos de indicadores de sostenibilidad (31 indicadores). Para ello, se han utilizado indicadores económicos, sociales y medioambientales, con el fin de detectar aquellos aspectos en los que se necesita realizar un cambio que permita mejorar la sostenibilidad de una determinada explotación.

Debido a la interrelación ambiental-social-económica, INSPIA puede ser visto como un índice de carácter holístico destinado a ayudar al desarrollo de las futuras regulaciones. Siendo fuente de datos y cifras que sirvan de referencia en la formulación de políticas y legislaciones, tanto agrícolas como medioambientales. INSPIA trata de potenciar y diseminar una serie de Buenas Prácticas Agrarias (15 BMPs). Algunas de estas aluden al manejo de suelo y de los cultivos; otras al manejo de inputs agrarios y su aplicación; y por último, otro grupo final de BMPs tienen como objetivo la mejora del hábitat y la protección del medioambiente.



LIFE+ CLIMAGRI (LIFE13 ENV/ES/000541): Buenas prácticas agrícolas frente al cambio climático: Integración de estrategias de mitigación y adaptación. 2014-2018.

El objetivo general que persiguió el proyecto fue el establecimiento de estrategias de manejo agronómico de cultivos extensivos que contribuyan conjuntamente a la mitigación del cambio climático y la adaptación de los cultivos tanto a las condiciones climáticas presentes como futuras, y que sirvan para el impulso y desarrollo de las políticas y legislaciones medioambientales de la UE y sus Estados Miembros respecto al cambio climático.

En el proyecto se consideraron una serie de buenas prácticas agrarias (10 BPAs), las cuales se han evaluaron a través de indicadores, obteniéndose como resultados principales

- Reducción de emisiones GEI desde el suelo: Las parcelas con un mayor número de BPAs implantadas han reducido un 48% las emisiones de CO₂ y entre un 2 y 10% las emisiones de N₂O respecto a las parcelas en las que no había implantada ninguna BPA.
- Incremento del secuestro de carbono en las parcelas con mayor implantación de BPAs en un 8% respecto a las manejadas de manera convencional. Ello supone un incremento medio anual de 1,16 t/ha de carbono.
- Reducción de las emisiones de CO₂ ligadas al consumo energético de hasta un 35%, siendo la reducción media de los 4 años de duración del proyecto de un 32%, lo que supone emitir 15,11 t CO₂/ha menos que con el manejo convencional.

Uno de los aspectos que han de considerarse a la hora de valorar la idoneidad de una BPA para ser considerada como una medida a implantar en el agro europeo, es la relación costo eficiencia que tenga su aplicación. En el caso que nos ocupa, un enfoque que puede resultar interesante para dicho análisis es el estudio de la relación para cada BPA, del coste asociado a la reducción de una tonelada de CO₂ con la cantidad de emisiones evitadas de CO₂. Como ejemplo de dicho tipo de análisis, valga la curva

de coste de abatimiento de CO₂ que Sánchez et al. (2016) presentan para varias prácticas agrarias entre las que se encuentran algunas de las propuestas en el LIFE+ Climagri (Figura 1).

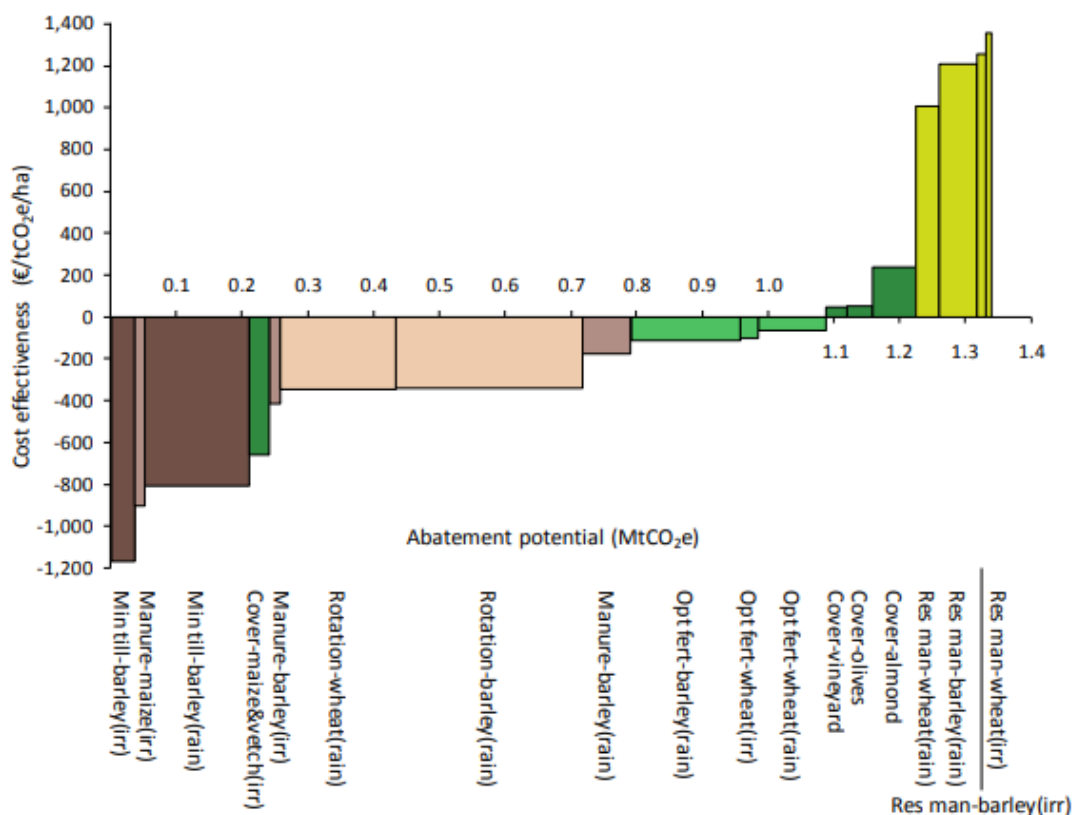


Figura 1. Curva de coste de abatimiento de CO₂ para prácticas mitigadoras de cambio climático en Aragón. Fuente: Sánchez et al. (2016).

Un ejercicio similar al realizado por Sánchez et al. (2016), se llevó a cabo en la finca piloto del proyecto. Los datos obtenidos muestran como a medida que existen un mayor número de BPAs implantadas, mayor es el ahorro por tonelada de CO₂ secuestrada, y mayor es el potencial de secuestro de CO₂. También resulta interesante destacar como el margen bruto se incrementa al cambiar de un sistema de manejo convencional a cada una de las opciones implantadas en la finca, siendo la que un mayor número de BPAs implantadas la más ventajosa en ese sentido.



LIFE AGROMITIGA (LIFE17 CCM/ES/000140): Desarrollo de estrategias de mitigación del cambio climático a través de una agricultura inteligente en carbono. Desde 2018, actualmente en desarrollo.

El proyecto Life Agromitiga promueve el desarrollo de sistemas de manejo mitigadores del cambio climático, a través de la implantación de prácticas de Agricultura de Conservación para verificar a continuación, las cantidades de carbono secuestradas gracias a dichas prácticas.

Los objetivos que plantea son:

- Mejorar el estado conocimiento sobre los contenidos de carbono en el suelo.
- Diseñar e implantar una metodología de cálculo de huella de carbono para la fase agronómica de los cultivos, integrable en las normativas internacionales de verificación y cálculo de huella de carbono.
- Desarrollar una herramienta tecnológica que permita evaluar y cuantificar el incremento de carbono debido a mejores prácticas en los suelos, que sirva de base para el desarrollo y seguimiento de políticas ligadas al cambio climático y comercio de emisiones.
- Demostrar la capacidad de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de la Agricultura de Conservación en la cuenca mediterránea.
- Favorecer la transición hacia sistemas de manejo de suelo mitigadores del cambio climático, a través de la formación y sensibilización de los agentes del sector agrario.
- Difundir y transferir la experiencia adquirida y la filosofía de manejo de suelo a zonas similares del Mediterráneo.

4. Bibliografía

- Andreoli, M. and Tellarini, V., (2000). Farm sustainability evaluation: methodology and practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 77 (1), 43–52.
- Angevin, F., Fortino, G., Bockstaller, C., Pelzer, E., and Messéan, A., (2017). Assessing the sustainability of crop production systems: Toward a common framework?. *Crop Protection*. 1-10.
- Arnal Atares, P., (2014). Ahorro energético, de tiempos de trabajo y de costes en Agricultura de Conservación. *Agricultura de Conservación* 27, 36-43.
- Bakker, M. M., Govers, G., Jones, R. A., Rounsevell, M. D. A., (2007). The effect of soil erosion on Europe's crop yields, *Ecosystems*. 10, 1209–1219.
- Blanco-Canqui, H., Lal, R., (2007a). Impacts of long-term wheat straw management on soil hydraulic properties under no-tillage. *Soil Science Society of America Journal*. 71 (4), 1166-1173.
- Blinder C.R., Feola, G. and Streinberger, J.K., (2010). Considering the normative, systemic and procedural dimensions in indicator-based sustainability assessment in agricultural. *Environmental Impact Assessment*. Rev 30, 71-81.
- Bockstaller, C. and Guichard, L., (2009). Comparison of methods to assess the sustainability of agriculture systems: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 29, 223-235.
- Cantero-Martínez, C., Angas, P., Lampurlanes, J., (2003). Growth, yield and water productivity of barley (*hordeum vulgare* L.) affected by tillage and N fertilization in Mediterranean semiarid, rainfed conditions of Spain. *Field Crops Research*. 84, 341–357.
- Carbonell-Bojollo, R., González-Sánchez, E. J., Veroz-González, O. Ordóñez-Fernández, R., (2011). Soil management systems and short term CO₂ emissions in a clayey soil in southern Spain. *Science of the Total Environment*. 409, 2929-2935.
- Dominguez Giménez, J. (1997). El Laboreo de conservación en cultivos anuales: efecto sobre la producción. En *Agricultura de Conservación. Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicoa*. L García Torres y P. González Fernández (ed). 271-286.
- Elkington, J., (1998). Partnerships from cannibals with forks: the triple bottom line of 21st-century business. *Environ. Qual. Manag.* 8, 37e51. <http://dx.doi.org/10.1002/tqem.3310080106>.
- FAO, (2021a). Conservation Agriculture. Visitado el 20 Julio de 2021. <http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>.
- FAO, (2021b). <http://www.fao.org/news/story/es/item/1412745/icode/>.
- Gómez-Limón, J.A. and Sanchez-Fernandez, G., (2010). Empirical evaluation of agricultural sustainability using composite indicators. *Ecological economics*, 69(5), 1062-1075.
- Fox, R. H.; Bandel, V.A., (1987). Nitrogen utilization with no-tillage. En: Spragne, M. A y Triplett, G. B. (ed). *Mo tillage and surface tillage agriculture*. Wiley interscience publication. New York, 115-148.
- González, E. J.; Pérez, J. J.; Gómez, M.; Márquez, F.; Veroz, O., (2010). Sistemas agrarios sostenibles económicamente: el caso de la siembra directa. *Vida Rural* 312. Madrid. 24-27.
- González-Sánchez, E. J., Ordóñez-Fernández, R., Carbonell-Bojollo, R., Veroz-González, O., Gil-Ribes, J. A., (2012). Meta-analysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture. *Soil and Tillage Research*, 122, pp. 52-60.

- González, P., (1997). Efecto del laboreo sobre la materia orgánica y las propiedades químicas del suelo. En: García, L. y González, P. (ed) *Agricultura de Conservación AEAC/SV*. Córdoba, 41-49.
- Jordan V. W. L., Hutcheon, J. A., (1997). Alternative farming method (arable): a study of the effect of an integrated arable management system on level of herbicide and nutrients reaching "controlled waters". *Journal Environment Agency*, Technical Report No. P17, Bristol.
- Lal, R., (2005). Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degrad. Dev.* 17, 197–209.
- López-Garrido, S., Madejón, E., Murillo, J. M., Moreno, F., (2010). Soil quality alteration by mouldboard ploughing in a commercial farm devoted to no-tillage under Mediterranean conditions. *Agriculture, ecosystem and environment*.
- MAPA, (2021). Encuesta sobre superficies y rendimientos de los cultivos 2020. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/boletin2020_tcm30-564330.pdf.
- Martínez Raya, A. (2005). Influencia del manejo de los suelos agrícolas en clima mediterráneo en el control de la erosión y en la disponibilidad de agua para las plantas. *Control de degradación de suelos*. ISBN 84-689-2620-5: 53-72.
- McGregor, K. C., Bengtson, R. L., Mutchler, C. K., (1990). Surface and incorporated wheat straw effects on interrill runoff and soil erosion. *Trans. ASAE*. 33(2), 469–474.
- Paracchini, M.L., Bulgheroni, C., Borreani, G., Tabacco, E., Banterle, A., Bertoni, D., De Paola, C., (2015). A diagnostic system to assess sustainability at a farm level: The SOSTARE model. *Agricultural Systems*, 133, 35-53.
- Pirazzoli, C. and Castellini, A., (2000). Application of a model for evaluating the environmental sustainability of cultures in hill and mountain areas. The case of berries and fruit chestnut in Northern Italy. *Agricultural Economics Review* 1 (1), 57–70.
- Pope, J., Annandale, D., Morrison-Saunders, A., (2004). Conceptualising sustainability assessment. *Environ. Impact Assess. Rev.* 24, 595–616.
- Rigby, D., Woodhouse, P., Young, T. and Burton, M., (2001). Constructing a farm level indicator of sustainable agricultural practice. *Ecological Economics* 39 (3), 463–478.
- Rhoton, F. E., (2000). Influence of time on soil response to no-till practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 700-709.
- Sánchez, B.; Iglesias, A.; McVittie, A.; Álvaro-Fuentes, J.; Ingram, J.; Mills, J.; Lesschen, J.P.; Kuikman, P.J., (2016). Management of agricultural soils for greenhouse gas mitigation: Learning from a case study in NE Spain. *Journal of Environmental Management* 170: 37-49
- Sands, G.R. and Podmore, T.H., (2000). A generalized environmental sustainability index for agricultural systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 79 (1), 29–41.
- Stockle, C.O., Papendick, R.I., Saxton, K.E., Campbell, G.S. and van Evert, F.K., (1994). A framework for evaluating the sustainability of agricultural production systems. *American Journal of Alternative Agriculture* 9 (1–2), 45–50.
- Valera Hernández F., Rey Zamora, P. J., Sánchez Lafuente, A. M., Alcántara Gámez, J. M., (1997). Efecto de los sistemas de laboreo sobre las aves, in: García Torres, L., González Fernández, P. (Eds.), *Agricultura de Conservación: Fundamentos Agronómicos, Medioambientales y Económicos*. Asociación Española Laboreo de Conservación/ Suelos Vivos, Córdoba, pp. 225-242.
- Van Calker, K.J., Berentsen, P.B.M., Romero, C., Giesen, G.W.J., Huirne, R.B.M., (2006). Development and application of a multi-attribute sustainability function for Dutch dairy farming systems. *Ecological Economics* 57 (3), 640–658.
- Van-Camp. L., Bujarrabal, B., Gentile, A-R., Jones, R. J. A., Montanarella, L., Olazabal, C. and Selvaradjou, S-K., (2004). Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/1, 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Van den Putte, A., Govers, G., Diels J., Gillijns, K., Demuzere, M., (2010). Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *European Journal of Agronomy*. 33 (3), 231-241.
- World Commission on Environment and Development (WCED), (1987). *Our CommonFuture*. Oxford University Press, Oxford, pp. 416.