

EVOLUCIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN SUELO DE REGADÍO EN LA CONVERSIÓN DE TRADICIONAL A ECOLÓGICO

MI. González-Barragán*, D. Virto, I. Mateos

*Escuela Universitaria de Ingeniería Agrícola INEA. Cno. Viejo de Simancas, km. 4,5
47008 Valladolid, España*

**Corresponding author: inea.isabel@gmail.com*

<https://doi.org/10.59187/revistaagroecologia.v17.95>

Resumen

El presente trabajo analiza la evolución de las propiedades físico-químicas de un suelo de regadío durante el proceso de conversión de agricultura convencional a ecológica.

La finca en estudio pertenece a la Escuela Universitaria de Ingeniería Agrícola INEA (Valladolid), que fue transformada en 2006 a agricultura ecológica. El estudio abarca el periodo desde 2004 hasta 2020. Las prácticas agrícolas adoptadas para la transformación en ecológico han sido: eliminación de abonados (utilizando estiércol de oveja ecológico cuando en la rotación era el turno de patata), rotación de cultivos (incorporando leguminosas en años alternos), eliminación del volteo e incorporación de los residuos vegetales del cultivo anterior. Se ha realizado el seguimiento a 3 parcelas. Se realizaron análisis periódicos de parámetros clave como pH, nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica y relación carbono/nitrógeno, entre otros.

Los resultados obtenidos revelan cambios significativos en las propiedades químicas del suelo observando una mejora en la calidad de este, con un aumento en la materia orgánica y nutrientes y una disminución de sales.

Este estudio proporciona una visión integral de los parámetros de calidad del suelo. Contribuye así, al conocimiento científico sobre la importancia de la gestión del suelo en la promoción de sistemas agrícolas más respetuosos con el medio ambiente y resilientes a largo plazo.

Palabras clave: agroecología, conservación, resiliencia, sostenibilidad.

Abstract

The present work analyzes the evolution of the physicochemical properties of irrigated soil during the conversion process from traditional to organic agricultural practices.

The studied farm is located at the University School of Agricultural Engineering INEA (Valladolid). This irrigated farm was converted to organic agriculture in 2006. The study covers the period from 2004 to 2020. The agricultural practices adopted for the conversion to organic included: elimination of fertilizers (using organic sheep manure when it was the turn for potatoes in the rotation), crop rotation (incorporating legumes in alternate years), elimination of tillage, and incorporation of crop residues from the previous harvest. Three distinct plots within the INEA farm were monitored. Periodic analyses of key parameters such as pH, nitrogen, phosphorus, potassium, organic matter, and carbon/nitrogen ratio, among others, were conducted.

The results obtained reveal significant changes in the chemical properties of the soil, showing an improvement in its quality, with an increase in organic matter and nutrients and a decrease in salts.

This study provides a comprehensive view of soil quality parameters, which have environmental and agronomic benefits for adopting more sustainable approaches in agriculture. The findings contribute to scientific knowledge about the importance of soil management in promoting more environmentally friendly and resilient agricultural systems in the long term.

Keywords: agroecology, conservation, resilience, sustainability.

Introducción

La transición de sistemas agrícolas convencionales hacia prácticas de agricultura ecológica es objeto de interés en la comunidad científica debido a su potencial para promover la sostenibilidad ambiental y la salud del suelo (Lal, 2015; Reganold & Wachter, 2016; Pimentel *et al.* 2005). En este contexto, el estudio de la evolución del suelo se convierte en un área de investigación fundamental para comprender los cambios en la calidad del mismo y los servicios ecosistémicos asociados.

Diversos estudios han demostrado los efectos significativos en la estructura y función del suelo (Lal, 2015; Reganold & Wachter, 2016; Gomiero *et al.* 2011). Estos efectos pueden manifestarse a través de cambios en la materia orgánica del suelo y la disponibilidad de nutrientes entre otros aspectos. La magnitud y la dirección de estos cambios varían en función de factores como el tipo de suelo, las prácticas de manejo específicas y el tiempo transcurrido desde la conversión.

El presente estudio muestra la evolución del suelo de una finca que ha experimentado la transición de la agricultura convencional a la agricultura ecológica, analizando los principales hallazgos y tendencias observadas.

Hay que tener en cuenta que son varios factores los que pueden influir en la dinámica de estos elementos en el suelo, incluyendo la textura y estructura del mismo, el clima, la actividad microbiana, la aplicación de enmiendas orgánicas y la rotación de cultivos (Smith *et al.* 2010; Bünemann *et al.* 2018; Kätterer *et al.* 2011; Gattinger *et al.* 2012).

Agricultura ecológica

La agricultura ecológica se basa en prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Fomentando el uso de métodos de cultivo que minimizan el impacto negativo en los ecosistemas naturales, promueven la conservación del suelo, el agua y la biodiversidad. Elimina el uso de productos químicos sintéticos, como pesticidas y fertilizantes, y fomenta la aplicación de técnicas como la rotación de cultivos, el manejo integrado de plagas, la fertilización orgánica y el uso eficiente de recursos locales con los consecuentes efectos significativos en la estructura y función del suelo (Lal, 2015; Reganold & Wachter, 2016; Gomiero *et al.* 2011).

Materia Orgánica del Suelo

La literatura científica indica que la conversión conduce a un aumento en la cantidad de materia orgánica del suelo (Smith *et al.* 2010). Al aumentar la cantidad de residuos que retornan al suelo, principalmente por la incorporación de prácticas como mantenimiento de cubiertas vegetales, rotación de cultivos y el uso de abonos orgánicos, que fomentan la acumulación de residuos vegetales y la actividad microbiana en el suelo (Poeplau & Don, 2015).

La conversión a la agricultura ecológica también influye en la composición y calidad de la materia orgánica

del suelo. Estudios han demostrado que la agricultura ecológica tiende a promover la formación de humus estable, rico en compuestos orgánicos, que son menos susceptibles a la descomposición microbiana y contribuyen a la estabilidad a largo plazo del suelo (Gattinger *et al.* 2012).

Macronutrientes en el suelo

En la conversión de la agricultura convencional a la agricultura ecológica a menudo se observa una disminución inicial en la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo, debido a la eliminación de los fertilizantes químicos (Kuzakov *et al.* 2009). Sin embargo, a largo plazo, se produce una mejora en la capacidad del suelo para reciclar y retener estos nutrientes, gracias a la materia orgánica y la actividad microbiana (Mäder *et al.* 2002; Turner *et al.* 2013; Oberson *et al.* 2010).

La agricultura ecológica tiende a reducir las pérdidas de nitrógeno a través de la lixiviación y la volatilización, en comparación con la agricultura convencional (Gattinger *et al.* 2012). Esto se atribuye a la aplicación más cuidadosa de fertilizantes orgánicos, la mayor retención de nutrientes por parte del suelo y la promoción de prácticas de manejo que minimizan la erosión y escorrentía.

El fósforo es un macronutriente esencial para el crecimiento de las plantas y desarrollo de las raíces, así como el potasio lo es para el crecimiento de las plantas y la salud del suelo. La agricultura ecológica puede mejorar la biodisponibilidad de ambos en el suelo a largo plazo al promover prácticas de manejo que favorecen la descomposición de materia orgánica y la liberación de fósforo y potasio orgánicos (Oberson *et al.* 2010).

Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)

La relación carbono-nitrógeno (C/N) en el suelo es un indicador importante de la calidad y estabilidad de la materia orgánica, así como de la disponibilidad de nitrógeno para los cultivos.

Para una buena humificación de la materia orgánica, es necesario que la relación C/N esté situada en torno a 10. Los organismos del suelo, que actúan en la descomposición y mineralización de la materia orgánica, requieren carbono como fuente de energía y nitrógeno como intermediario en la síntesis de proteínas. Si no disponen de alguno de estos elementos, la mineralización se ralentiza y por consiguiente las plantas no disponen de suficientes nutrientes para su desarrollo y, a su vez, el suelo puede perder parte de su estructura.

Estudios han demostrado que los sistemas agrícolas ecológicos tienden a tener una relación C/N más alta debido a una mayor acumulación de materia orgánica de origen vegetal y una descomposición más lenta de los residuos orgánicos (Mäder *et al.* 2002). Esto puede tener implicaciones para la disponibilidad de nitrógeno para los cultivos, ya que una relación C/N más alta puede resultar en una mineralización más lenta del nitrógeno orgánico y, por tanto, en la disponibilidad de nitrógeno para los cultivos (Oberson *et al.* 2010). Sin

embargo, una relación C/N más alta también puede promover una mayor estabilidad de la materia orgánica en el suelo, lo que puede tener beneficios a largo plazo para la fertilidad y la retención de nutrientes.

El pH

El pH del suelo es un factor crítico que afecta a la disponibilidad de nutrientes, la actividad microbiana y la salud general del suelo.

Un pH del suelo óptimo es esencial para la actividad microbiana y la descomposición de la materia orgánica, así como para la absorción de nutrientes por parte de las plantas (García-Orenes *et al.* 2009) interfiriendo en el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

Se ha observado que los sistemas agrícolas ecológicos tienden a tener un pH del suelo ligeramente más alto en comparación con los sistemas convencionales, debido a una menor aplicación de fertilizantes ácidos y una mayor acumulación de materia orgánica (Bünemann *et al.* 2018). Sin embargo, los cambios en el pH del suelo pueden variar según el tipo de suelo y las prácticas de manejo específicas utilizadas en cada sistema agrícola.

Objetivo:

El principal objetivo de este trabajo es el de caracterizar física y químicamente el suelo de la finca INEA para sentar las bases que puedan servir para la evolución y desarrollo de su fertilidad en el transcurso del proceso de paso de convencional a ecológico.

La obligación de dejar a las próximas generaciones unos suelos productivos obliga a estudiar los efectos de las prácticas agrícolas actuales (Porta *et al.* 1999). El suelo edáfico es un recurso no renovable de importancia clave (Ayala-Carcedo, 2002). Un manejo adecuado

de la materia orgánica es el corazón de la agricultura sostenible.

Material y Métodos

Este estudio se realiza en la Finca de la Escuela Universitaria de Ingeniería Agrícola "INEA", sita en Valladolid. Se trata de una finca de regadío, manejada hasta el 2005 con técnicas de agricultura convencional y a partir del 2006 se hizo la transformación a agricultura ecológica.

Los muestreos se han realizados en tres parcelas similares de la misma finca. Los análisis de suelo se han hecho siempre al final del año agronómico (comprendido entre octubre y enero en función de los ciclos de los cultivos), con anterioridad al nuevo cultivo.

En todos los casos, para obtener las muestras, se tomaron submuestras a 5, 10 y 15 cm de profundidad, en zigzag, en diversos puntos de cada zona a estudiar de la parcela. Estas submuestras se mezclaron hasta homogeneizarlas y se llevaron a un laboratorio de análisis agrícolas en el que se analizaron parámetros químicos y físicos. Los métodos utilizados en el análisis son los mostrados en la Tabla 1.

El estudio realizado se apoya en un análisis estadístico descriptivo con mediciones porcentuales realizando una interpretación de análisis de suelos con parámetros estándares establecidos, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, salinidad, pH, textura, materia orgánica, etc.

El abono aplicado a partir de la transformación a ecológico (en 2006) ha sido siempre estiércol de oveja, previamente analizado para el cálculo de la cantidad necesaria a aportar cada anualidad.

Tabla 1. Métodos utilizados en el análisis de suelo.

Parámetros	Método
Limo (%)	D. Bouyoucos (IAS ¹ -02)
Arena (%)	D. Bouyoucos (IAS-02)
Arcilla (%)	D. Bouyoucos (IAS-02)
Textura	Clasificación USDA (IAS-02)
pH (1/2,5 suelo/agua a 25 °C) (upH)	Potenciométrico (IAS-03)
Conductividad a 25°C (1/5 en agua) (dS/m)	Conductimétrico (IAS-04)
Materia orgánica oxidable (%)	Oxidación con dicromato y volumetría (IAS-05)
Nitrógeno total (%)	Kjeldahl (IAS-06)
Relación C/N	Cálculo (IAS-05 y IAS-06)
Carbonatos totales (%)	Calcímetro de Bernard (IAS-07)
Caliza activa (%)	Calcímetro de Bernard (IAS-08)
Fósforo asimilable (M. Olsen) (mg/kg suelo)	Espectrofotometría UV/VIS (IAS-09)
Potasio extraído con AcNH ₄ (mg/kg suelo)	Fotometría de llama (IAS-10)
Magnesio extraído con AcNH ₄ (mg/kg suelo)	Absorción atómica (IAS-10)
Calcio extraído con AcNH ₄ (mg/kg suelo)	Absorción atómica (IAS-10)
Sodio extraído con AcNH ₄ (mg/kg suelo)	Fotometría de llama (IAS-10)

¹IAS: Instrucción de Análisis de Suelos.

Resultados y Discusión

No se produjeron cambios significativos en la textura franco-arenosa del terreno (limo, arena y arcilla) entre las muestras tomadas en las diferentes fechas, aunque sí se

observaron cambios visuales en la estructura a lo largo de los años. Sin embargo, sí que se produjeron cambios químicos. En la Figura 1 se representa la evolución sufrida por las parcelas en su transformación de agricultura convencional a ecológica a lo largo de estos años de estudio.

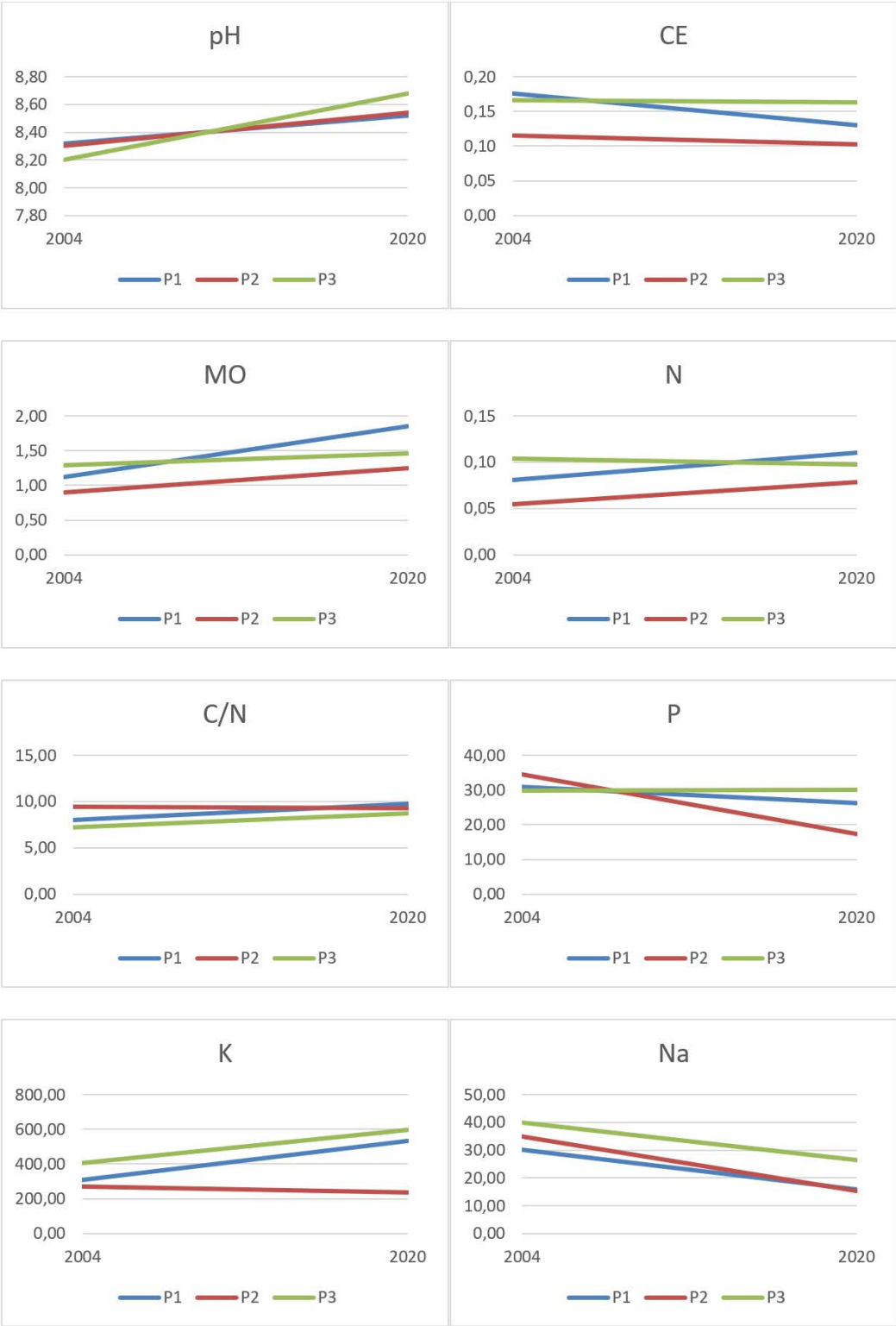


Figura1. Tendencia de la evolución de los parámetros del suelo para las 3 parcelas estudiadas desde 2004 hasta 2020. P1: Parcela 1, P2: Parcela 2 y P3. Parcela 3. CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, C/N: relación carbono-nitrógeno, N: nitrógeno, P: fósforo, K: potasio, Na: sodio.

Se representan únicamente las líneas de tendencia para una mejor comprensión y visualización.

Las tomas de muestras para los análisis se realizaron al principio del año agrícola, en torno a noviembre, por lo que los análisis químicos reflejan los efectos de los restos de cultivos, sus extracciones e interacciones de la campaña precedente sobre el suelo.

Se observa como la materia orgánica, la relación C/N y el nitrógeno total, principalmente, aumentaron de forma significativa. Cuando se analizan los datos en cada año se observa como los años con peor implantación de cultivos conllevaron a un aumento menor (o incluso disminución en algunos casos) de la materia orgánica en suelo, principalmente durante los primeros años, al dejar menos residuo sobre el suelo. No hay que olvidar que los residuos de las plantas constituyen el material principal originario de la materia orgánica del suelo.

El contenido de nitrógeno en el suelo siguió una tendencia muy similar a la de la materia orgánica ya que unos niveles más altos de nitrógeno se deben a una mayor cantidad de la misma, que será transformada para después liberar el nitrógeno mediante un conjunto de procesos principalmente bioquímicos. El contenido de nitrógeno en el suelo (siendo en todos los casos bajo) siguió una tendencia muy similar a la de la materia orgánica ya que unos niveles más altos de nitrógeno se deben a una mayor cantidad de la misma, que será transformada para después liberar el nitrógeno mediante un conjunto de procesos principalmente bioquímicos. En algunas ocasiones los análisis revelaron una disminución del nitrógeno. Al repetir analíticas al poco tiempo esas disminuciones desaparecían por lo que se atribuyen a anticipaciones en el momento de la realización del análisis, no tratándose de una disminución real del nitrógeno en el suelo sino de una retención temporal del mismo por parte de los microorganismos durante descomposición de los restos orgánicos.

La evolución del fósforo y del potasio en el suelo (prácticamente en todo momento en concentraciones altas) se asocia más al tipo de cultivo precedente que al sistema de manejo agrícola (ecológico o convencional). En el caso del presente estudio han destacado como concentraciones más bajas de fósforo en los análisis precedidos de cultivo de patata, debido a la exigencia de este cultivo. Así mismo se ha observado unas mayores concentraciones de potasio en los análisis precedidos de un cultivo cerealista, por ser los que mayor cantidad de restos orgánicos aportan al suelo (de Torres, 2010).

La complejidad de las interacciones entre las distintas especies químicas del fósforo en el suelo entre sí y con las actividades de las raíces de las plantas y sus comunidades rizosféricas, reducen de forma importante la predictibilidad de su comportamiento (Hinsinger, 2001).

Relevante ha sido la disminución de sodio a lo largo de estos años de conversión a agricultura ecológica. El hecho de aumentar la materia orgánica en el suelo ha tenido como efectos positivos la reducción de la conductividad y la concentración de sodio. La materia orgánica contribuye a la formación de agregados estables en el

suelo, mejorando su estructura. Esto facilita una mejor infiltración y retención del agua, lo que ayuda a diluir y dispersar las sales, incluido el sodio. Con menos sales concentradas en el suelo, la conductividad eléctrica disminuye. La materia orgánica tiene una alta capacidad de intercambio catiónico, lo que significa que puede retener y liberar nutrientes y otros iones (como el sodio) de manera más eficiente. Esta capacidad mejora la disponibilidad de nutrientes para las plantas y reduce la concentración de iones específicos como el sodio en la solución del suelo, disminuyendo así su conductividad. A su vez, la materia orgánica puede formar complejos con el sodio y otros cationes, reteniéndolos en formas menos móviles y disponibles en la solución del suelo. Esto ayuda a prevenir la acumulación de sodio en el suelo, lo que también contribuye a reducir la conductividad. Por otro lado, la actividad microbiana favorecida por la agricultura ecológica puede ayudar a descomponer y movilizar el sodio y otros minerales, facilitando su lixiviación y reducción en la solución del suelo.

Conclusiones

El presente estudio sobre la evolución del suelo durante la conversión de un sistema de agricultura convencional a uno ecológico revela varias conclusiones clave sobre los cambios químicos y físicos en el suelo, destacando la influencia positiva de las prácticas ecológicas en la calidad del suelo.

La materia orgánica en el suelo aumentó significativamente acompañado por un aumento en la relación C/N y el nitrógeno total. Los años con una mejor implantación de cultivos mostraron mayores aumentos de materia orgánica, evidenciando la importancia de los residuos de cultivos como fuente principal de materia orgánica. Gracias a este aumento de materia orgánica en el suelo, se observaron mejoras visuales en su estructura, sugiriendo una mejor cohesión y estabilidad de los agregados.

El contenido de nitrógeno en el suelo siguió una tendencia similar a la de la materia orgánica, indicando que niveles más altos de nitrógeno están asociados con mayores cantidades de materia orgánica. Algunas disminuciones temporales en los niveles de nitrógeno se atribuyen a la retención por parte de microorganismos durante la descomposición de residuos orgánicos.

La evolución del fósforo y potasio se asoció más al tipo de cultivo precedente que al sistema de manejo agrícola. Por ejemplo, se observaron menores concentraciones de fósforo tras cultivos de patata y mayores concentraciones de potasio tras cultivos cerealistas, debido a sus diferentes demandas y aportes de residuos orgánicos.

Un hallazgo relevante fue la disminución de sodio y la conductividad asociado, no sólo a la eliminación de fertilizantes químicos, sino al aumento de la materia orgánica que, al contribuir a la formación de agregados favorece la dispersión de sales reduciendo la concentración de sodio en la solución del suelo.

La conversión de agricultura convencional a ecológica ha demostrado tener efectos positivos significativos en la calidad del suelo, principalmente a través del aumento de la materia orgánica y la consecuente mejora en la retención y disponibilidad de nutrientes, así como la reducción de sodio y conductividad. Estos cambios favorecen un ambiente más saludable para el crecimiento de cultivos y la sostenibilidad a largo plazo del ecosistema agrícola.

Bibliografía

- Ayala-Carcedo F. J. (2002). Erosión y cambio climático. La tierra que todos deseáramos Nº 50: Desertificación: razones, alcance y soluciones.
- Bünemann E. K., Bongiorno G., Bai Z. G., Creamer R. E. (2018). Willingness to adopt soil testing across different scales: Insights from a comparative analysis of the literature on uptake of soil testing and related advisory services in sub-Saharan Africa. *Agric., Ecosyst. Environ.* 268, 129–141.
- de Torres J., 2010. Evaluación de técnicas de cultivo y variedades, mediante parámetros agronómicos y edáficos, para la optimización de una rotación en secano semiárido en régimen ecológico, basada en cereales y leguminosas grano. Tesis Doctoral, Universidad de León, Departamento de Ingeniería y Ciencias Agrarias.
- García-Orenes F. *et al.* (2009). Effects of agricultural management on surface soil properties and soil-water losses in eastern Spain. *Soil and Tillage Res.*, 106, 117–123.
- Gattinger A. *et al.* (2012). Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109, 18226–18231.
- Gomiero T., Pimentel D., Paoletti M. G. (2011). Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. *Crit. Rev. Plant Sci.* 30, 95–124.
- Hinsinger P. (2001). Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and soil* 237, 173–195.
- Kätterer T., Bolinder M. A., Andrén, O., Kirchmann H., Menichetti L. (2011). Root and soil organic carbon distribution in a Norway spruce stand: effects of nitrogen fertilization assessed by soil carbon isotopes. *Soil Biol. Biochem.* 43, 1425–1433.
- Kuzyakov Y., Friedel J. K., Stahr K. (2009). Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biol. Biochem.* 41, 1363–1374.
- Lal R. (2015). Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Secur.* 7, 45–57.
- Mäder P. *et al.* (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296, 1694–1697.
- Oberson A., Friesen D. K., Rao I. M., Bühler S. (2010). Phosphorus transformations in an Oxisol under contrasting land-use systems: the role of the soil microbial biomass. *Plant and Soil* 329, 431–446.
- Pimentel D., Hepperly P., Hanson J., Douds D., Seidel R. (2005). Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience* 55, 573–582.
- Poeplau C., Don A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 200, 33–41.
- Porta J., López-Acevedo M., Roquero C. (1999). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2.^a ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- Reganold, J. P., Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants* 2, 15221.
- Smith P. *et al.* (2010). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philos. Trans. R. Soc. B: Biol. Sci.* 365(1554), 2983–2997.
- Turner B. L., Condron L. M., Richardson S. J., Peltzer D. A. (2013). Soil organic phosphorus transformations during pedogenesis. *Ecosystems* 16(7), 1345–1365.