

Indicadores de la calidad del suelo en Calcisoles mediterráneos.

L. Quijano ^a, L. Gaspar ^a, M. López-Vicente ^a, J. Machín ^a, A. Navas ^a.

^a Departamento de Suelo y Agua. Estación Experimental de Aula Dei, CSIC, Zaragoza (ESPAÑA). Correo de de contacto, lquijano@eead.csic.es.

Preservar el suelo es uno de los principales retos del presente siglo. La conservación del suelo es clave para reducir la exposición de los suelos a la erosión y a la pérdida de sus características físico-químicas y biológicas. Para ello un primer requisito es evaluar el estado de conservación de los suelos y sus condiciones de estabilidad. El cultivo afecta a la redistribución del suelo y a la de los nutrientes asociados como carbono y nitrógeno y en condiciones de lluvias erosivas puede determinar su pérdida. En este trabajo se evalúan tres tipos de indicadores para estimar el estado de conservación de los suelos: el contenido en carbono orgánico, la susceptibilidad magnética y la distribución de ¹³⁷Cs. Para ello, se han seleccionado 5 perfiles de suelo en zonas llanas del sector central de la cuenca del Ebro con clima Mediterráneo subhúmedo. Los suelos se han muestreado en dos emplazamientos con diferente cobertera, herbácea y forestal. La profundidad máxima de muestreo es de 40 cm. Los perfiles se han seccionado a intervalos de 5 cm. El objetivo es determinar la distribución en profundidad del carbono orgánico, susceptibilidad magnética y ¹³⁷Cs en suelos bajo diferentes coberteras vegetales para determinar su grado de conservación y su estabilidad. El carbono orgánico es un indicador de la sostenibilidad y de la calidad de un suelo, ya que en general la pérdida de carbono orgánico del suelo está asociada a una disminución de su estabilidad. La distribución de los minerales magnéticos en el perfil del suelo es un indicador del estado evolutivo del suelo. Un suelo que no está degradado presenta una evolución creciente de susceptibilidad magnética y de ¹³⁷Cs desde la base del perfil hasta la superficie. Los inventarios de carbono orgánico y ¹³⁷Cs y la susceptibilidad magnética han sido estimados en cada punto y han evidenciado diferencias en los perfiles de cubierta herbácea y forestal. Este trabajo pone de manifiesto la importancia de abordar el estudio de indicadores que permitan conocer la estabilidad de un suelo para implementar estrategias adecuadas de preservación de los suelos.

Palabras clave: Conservación del suelo; Susceptibilidad magnética; Carbono orgánico; ¹³⁷Cs; Indicadores de la calidad del suelo.

Introducción

El suelo es uno de los constituyentes fundamentales de la biosfera cuya degradación favorece la pérdida de su estabilidad intensificando los procesos de erosión, aumentando las tasas de pérdida de suelo y disminuyendo su productividad. Actualmente existe una preocupación creciente sobre la pérdida y degradación de los suelos a nivel global (Pimentel, 2006) por lo que son necesarios estudios sobre el estado de conservación del suelo para implementar estrategias de preservación del suelo e intensificar la calidad y sostenibilidad del mismo para mejorar el futuro de los ecosistemas terrestres. La calidad de un suelo se define como la capacidad de un tipo específico de suelo para sostener la productividad de las plantas y los animales, mantener la calidad del agua y del aire y soportar la vida en condiciones naturales o controladas por el hombre (Karlen et al., 1997). Los indicadores de calidad de un suelo son propiedades o procesos edáficos, físicos, químicos y biológicos que tienen relación con su estado de conservación. Se han

utilizado varios tipos de indicadores del suelo para describir la calidad del mismo, por ejemplo, el contenido en materia orgánica (Franzluebbers, 2002) o la estabilidad de los agregados (Arshad y Martin, 2002), pero es importante tener en cuenta la sensibilidad de los indicadores a los cambios que puedan producirse en los suelos, el tiempo requerido para su medida y las propiedades relacionadas a explicar (Martínez-Salgado et al., 2010).

El carbono orgánico del suelo es el constituyente fundamental de la materia orgánica que se considera un excelente indicador de la calidad de un suelo (Reeves, 1997; Haynes, 2005) puesto que está relacionada con su estabilidad estructural y la disponibilidad de los nutrientes en el suelo (Doran et al., 1996).

Sadiki et al., 2009 utilizaron la distribución de los minerales magnéticos en el perfil del suelo para estimar el grado de degradación de un suelo. La susceptibilidad magnética se relaciona directamente con la concentración de los minerales magnéticos presentes en el suelo. Para un mismo tipo de suelo y material parental la variabilidad espacial de la susceptibilidad magnética se relaciona con los procesos de erosión (Quijano et al., 2011). La redistribución del suelo contribuye a la variabilidad espacial de la calidad del suelo (Verity y Anderson, 1990). La técnica del radionucleido artificial ^{137}Cs que ha sido utilizada en numerosos estudios como marcador de los procesos de redistribución del suelo se aplica también como indicador de la calidad del suelo (Carter et al., 1997; Pennock, 2000)

El objetivo de este trabajo es evaluar tres tipos de indicadores de calidad del suelo, el contenido en carbono orgánico, la medida de la susceptibilidad magnética y la actividad de ^{137}Cs , para estimar el grado de conservación de suelos naturales mediterráneos con distinta cobertura vegetal. Estos indicadores aportan información sobre los procesos de mineralización del carbono, el estado de degradación y los procesos erosivos del suelo respectivamente. El estudio de la calidad del suelo a partir de distintos indicadores permite analizar y potenciar prácticas de manejo apropiadas para optimizar y mejorar el funcionamiento de los ecosistemas.

Materiales y métodos

En este estudio se han seleccionado 5 perfiles de suelo en zonas llanas del sector central de la cuenca del Ebro (Fig. 1). El clima es de tipo Mediterráneo subhúmedo con una temperatura media anual de 13.4 ° C y una precipitación media anual de 500 mm. Los

suelos son alcalinos de tipo Calcisol. Los perfiles de suelo han sido tomados con un muestreador automático a una profundidad máxima de 40 cm y han sido seccionados a intervalos de 5 cm cada uno.

Las muestras se han tomado sobre dos tipos distintos de cobertura vegetal, una corresponde a forestal constituida mayoritariamente por pinos (*Pinus halepensis*), encinas (*Quercus ilex*) y coscojas (*Quercus coccifera*). Y la otra es herbácea formada mayoritariamente por gramíneas (*Lygeum spartum*).



Figura 1. Localización y vista general de la zona de estudio.

Las muestras fueron secadas en una estufa a 35 ° C y posteriormente se pasaron por un tamiz con una luz de malla de 2 mm separando la fracción fina (<2 mm) de la fracción gruesa (>2 mm). La medida de los tres tipos de indicadores de calidad, el porcentaje de carbono orgánico, la susceptibilidad magnética y la actividad de ^{137}Cs se ha realizado sobre la fracción menor de 2 mm.

Para la medida del contenido de carbono orgánico se ha utilizado un equipo LECO RC-612 basado en el método de combustión seca. Los resultados de las medidas de carbono están expresados en porcentaje (%) y se calcularon los inventarios (kg m^{-2}) para cada intervalo de 5 cm del perfil del suelo. La susceptibilidad magnética (χ_{LF}) se ha medido con un susceptibilímetro MS2 y el sensor MS2B de Bartington Ins. Ltd., a baja frecuencia 0.47 kHz, la unidad de los valores obtenidos están referidos a la masa de cada uno de las muestras seccionadas $10^{-8} \text{ m}^{-3} \text{ kg}^{-1}$. La actividad de ^{137}Cs se ha medido con un detector coaxial de GeHP para radiación gamma de CANBERRA (Navas et al.,

2005). La unidad de los resultados de la medida de ^{137}Cs es Bq kg^{-1} . Estos valores se utilizaron para calcular los inventarios de ^{137}Cs (Bq m^{-2}) de cada muestra de suelo.

El análisis estadístico de los resultados se ha realizado el software SPSS 19.0 (Chicago, IL, USA). Se han realizado análisis de varianza (ANOVA) para el estudio de las diferencias entre los suelos con cobertura forestal o herbácea según los tres indicadores de la calidad del suelo.

Resultados

Los suelos del área de estudio corresponden a zonas estables con un porcentaje medio de carbono orgánico (CO) bajo. Los suelos mediterráneos en general presentan valores menores del 2% de carbono orgánico (Jones, 2005) debido fundamentalmente a los factores climáticos que controlan el escaso desarrollo de la cobertura vegetal que es una de las entradas más importantes de carbono en los suelos en relación con la actividad fotosintética de las plantas.

Los valores de susceptibilidad magnética en los suelos de la zona de estudio alcanzan elevados valores máximos. Tite y Linintong (1975) demostraron que el clima mediterráneo favorece la formación de minerales ferrimagnéticos ya que los procesos de óxido-reducción se intensifican con las marcadas diferencias de temperatura y humedad entre el verano y el invierno. En la tabla 1 se muestran los valores de los tres indicadores de la calidad del suelo para el total de las 39 muestras de suelo.

Tabla 1. Estadística básica de los indicadores de la calidad del suelo.

n=39	CO %	CO kg m^{-2}	$\chi_{\text{LF}} 10^{-8} \text{ m}^{-3} \text{ kg}^{-1}$	$^{137}\text{Cs} \text{ Bq kg}^{-1}$	$^{137}\text{Cs} \text{ Bq m}^{-2}$
media	1.3	0.8	42.5	2.8	169.3
mediana	1.1	0.8	33.0	0.7	41.3
Desv. tip.	0.8	0.3	21.8	4.2	224.4
min	0.5	0.4	18.4	ND	ND
max	4.1	1.6	98.8	17.0	793.8

ND No Detectado

La relación entre el carbono orgánico, la susceptibilidad magnética y la actividad de ^{137}Cs es directa y estadísticamente significativa (Fig. 2). Estos resultados sugieren que en general los indicadores de la calidad del suelo interactúan entre ellos (Arshad y

Martin, 2002) y que se mueven a través de los mismos procesos de redistribución del suelo. La pérdida del contenido de carbono orgánico, de los minerales magnéticos y de ^{137}Cs se debe fundamentalmente a los procesos de erosión que modifican el estado de conservación de los suelos y favorecen los procesos de degradación cuya consecuencia directa es la disminución de la productividad de los suelos.

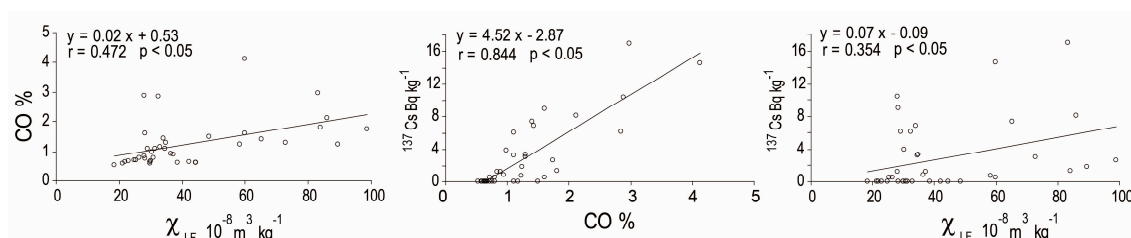


Figura 2. Regresiones lineales entre el porcentaje de carbono orgánico (CO), la susceptibilidad magnética (χ_{LF}) y la actividad de ^{137}Cs .

Tres de los cinco perfiles estudiados corresponden a suelos con cobertera vegetal herbácea (P1, P2, P3) y dos con cobertera forestal (P4, P5). Las medias de los valores de los tres indicadores de calidad son mayores en los perfiles de los suelos con cobertera forestal que en los situados sobre cobertera herbácea, siendo significativamente diferentes para el carbono orgánico (%) y la susceptibilidad magnética (Tabla 2). Estos resultados sugieren que el estado de conservación del suelo también está en relación al tipo de cobertera vegetal.

Tabla 2. Media y desviación estándar de los indicadores de calidad del suelo para los dos grupos de perfiles estudiados con cobertera herbácea (H) y forestal (F).

	n	^{137}Cs Bq m ⁻²	^{137}Cs Bq kg ⁻¹	CO %	CO kg m ⁻²	χ_{LF} 10 ⁻⁸ m ³ kg ⁻¹
H	24	151.3±201.5 a	2.2±3.2 a	1.05±0.6 a	0.8±0.3 a	28.9±4.8 a
F	15	198.1±261.8 a	3.8±5.5 a	1.6±0.9 b	0.9±0.3 a	64.2±4.8 b

Se ha analizado la distribución en profundidad del porcentaje de carbono orgánico, de la susceptibilidad magnética y de la actividad de ^{137}Cs . Todos los perfiles estudiados corresponden a suelos estables en los que se identifica una tendencia decreciente en profundidad de los tres indicadores de la calidad del suelo (Fig. 3). En general en los perfiles de CO y ^{137}Cs se observa que en los primeros 10 cm de suelo hay una mayor

concentración de ambos (Navas et al., 2012) por debajo de esta profundidad hay un decrecimiento exponencial en profundidad.

Le Borgne (1955) puso de manifiesto que hay un aumento en las capas superficiales del suelo de la susceptibilidad magnética lo que sugiere una disminución de los minerales ferrimagnéticos con la profundidad. Sin embargo en los perfiles de suelo estudiados la variabilidad de la susceptibilidad magnética a lo largo del perfil es baja.

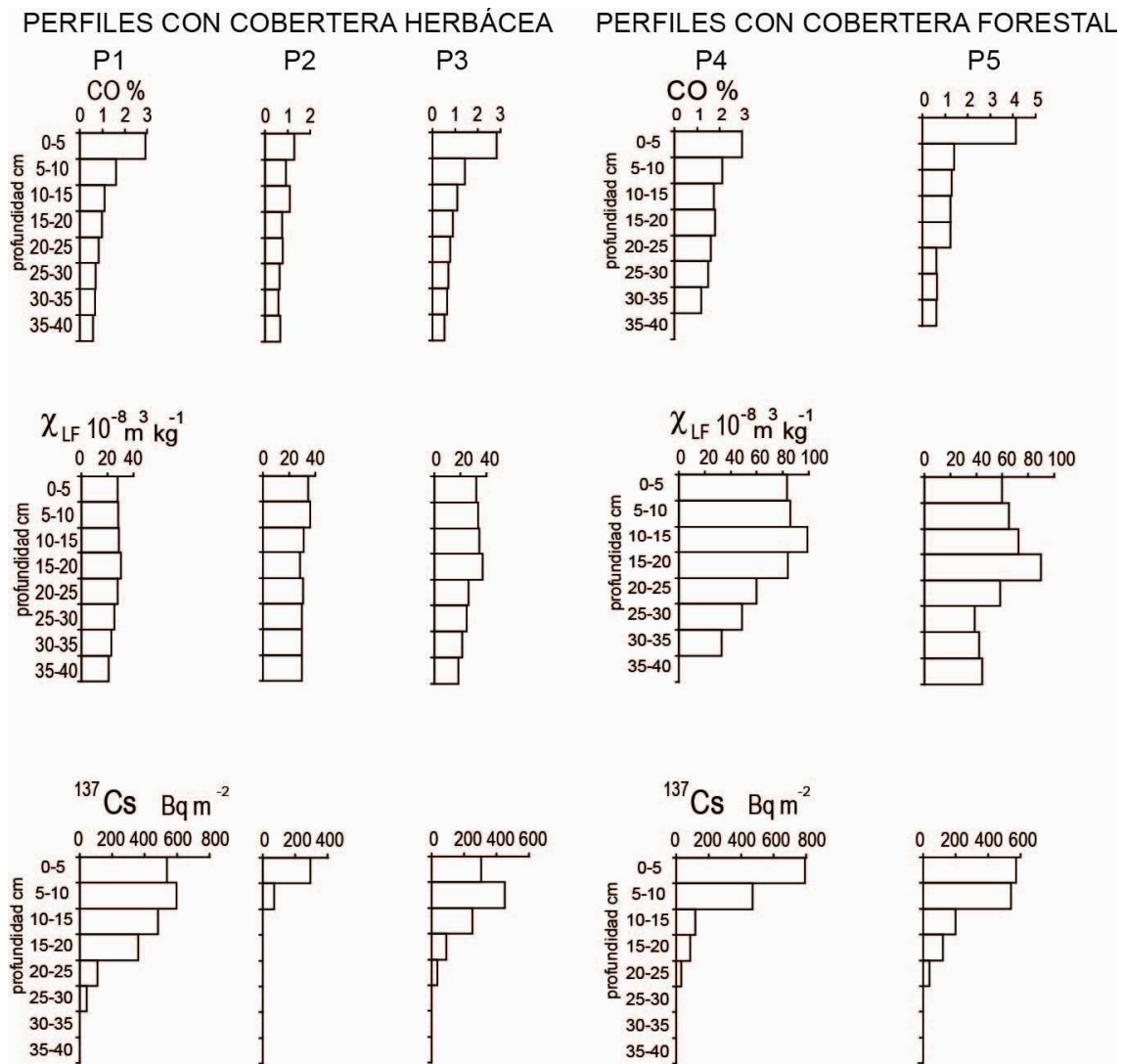


Figura 3. Distribución en profundidad del carbono orgánico, de la susceptibilidad magnética y de la actividad de ^{137}Cs en los cinco perfiles estudiados.

Conclusiones

En este trabajo se muestra la relación directa y estadísticamente significativa que existe entre tres indicadores de la calidad del suelo: el contenido en carbono orgánico, la susceptibilidad magnética y la actividad de ^{137}Cs , lo que sugiere que interactúan entre sí y que se mueven a través de los mismos procesos de redistribución del suelo. La distribución en profundidad de los tres indicadores de la calidad del suelo estudiados permite determinar el estado de conservación de los Calcisoles mediterráneos del área de estudio bajo distinta cobertura vegetal, siendo mayores las medias de los indicadores de calidad de un suelo cuando corresponden a suelos desarrollados bajo cobertura forestal. El indicador de calidad del suelo que menor información ha aportado para determinar el grado de degradación del suelo ha sido la susceptibilidad magnética.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con fondos del CICYT y el proyecto EROMED (CGL2011-25486).

Referencias

- Arshad, M.A., Martin, S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88, 153–160.
- Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D. W., Doran, J. W., Janzen, H.H., Pierce, F. J., 1997. Concepts of soil quality and their significance. In E.G. Gregorich and M.R. Carter (Ed.). *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*, 1–20, Amsterdam, Elsevier.
- Doran, J.W., Sarrantino, M., Liebig, M.A., 1996. Soil health and sustainability. *Adv. Agronomy* 56, 1–54.
- Franzluebbers, A.J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*, 66, 95–106.
- Haynes, R.J. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An overview. *Adv. Agron.* 85, 221–268.
- Jones, R.J.A., Hiederer, R., Rusco, E., Montanarella, L., 2005. Estimating organic carbon in the soils of Europe for policy support. *Eur. J. Soil Sci.* 56, 655–671.

- Karlen DL, Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of American Journal*, 61, 4–10.
- LeBorgne, E. 1955. Abnormal magnetic susceptibility of the topsoil. *Annales Geophysicae* 11, 399–419.
- Martinez-Salgado M, M., Gutiérrez-Romero, V., Janssens, M., Ortega-Blu, R. 2010. Biological soil quality indicators: a review. Current research technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology. Méndez-Vilas, A. (Ed).
- Navas, A., Machín, J., Soto, J. 2005. Assessing soil erosion in a Pyrenean mountain catchment using GIS and fallout ^{137}Cs . *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105, 493–506.
- Navas, A., Gaspar, L., Quijano, L., López-Vicente, M., Machín, J. 2012. Patterns of soil organic carbon and nitrogen in relation to soil movement under different land uses in mountain fields (South Central Pyrenees). *Catena*, 94:43-52.
- Pennock, D.J. 2000. Suitability of ^{137}Cs Redistribution as an indicator of soil quality. *Acta Geologica Hispanica* vol.34, nº 3–4, 213–217.
- Pimentel, D. 2006. Soil erosion: A food and environmental threat. *Environ. Dev. Sustain.* 8, 119–137.
- Quijano, L., Gaspar, L., López-Vicente, M., Chaparro, M.A.E, Machín, J., Navas, A. 2011. Soil magnetic susceptibility and surface topographic characteristics in cultivated soils. *Latinmag Letters (D10)*, 1, 1–6.
- Reeves, D.W.1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research* 43, 131–167.
- Ritchie, J.C., McCarty, G.W. 2003. $^{137}\text{Cesium}$ and soil organic carbon in a small agricultural watershed. *Soil and Tillage Research* 69, 45–51.
- Sadiki, A., Faleh, A., Navas, A., Bouhlassa, S. 2009. Using magnetic susceptibility to assess soil degradation in the Eastern Rif, Morocco. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34, 2057–2069.
- Tite, M.S. y Linintong, R.E. 1975. *Nature* 256, 565–566.
- Verity, G. E. and Anderson, D. W. 1990. Soil erosion effects on soil quality and yield. *Can. J. Soil Sci.* 70, 471–484.