

Análisis del carbono en los suelos agrícolas de España. Aspectos relevantes en relación a la reconversión a la agricultura ecológica en el ámbito mediterráneo.

J. Romanyà¹, P. Rovira², R. Vallejo³

(1) Departamento de Productos Naturales, Biología Vegetal y Edafología. Universidad de Barcelona. Avda. Joan XXIII s/n 08028 Barcelona

(2) Departamento de Biología Vegetal. Universidad de Barcelona.

(3) Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM). C/ Charles Darwin 14, 46980 Paterna (Valencia)
Departamento de Biología Vegetal. Universidad de Barcelona

Análisis del carbono en los suelos agrícolas de España. Aspectos relevantes en relación a la reconversión a la agricultura ecológica en el ámbito mediterráneo. Los niveles de carbono orgánico en suelos agrícolas son especialmente relevantes en los modelos de gestión que se basan en la reserva orgánica de nutrientes. La disminución de materia orgánica que ocurre en los suelos roturados puede en algunos casos determinar la degradación del suelo. Este hecho puede ser especialmente relevante en condiciones climáticas límite (secas y semiáridas). A partir del análisis de una base de datos de suelos españoles se discute la distribución del C en el horizonte superficial de suelo según el clima y según el uso. Para cada área climática, mediante comparación entre suelos forestales y agrícolas se observa que los suelos de clima semiárido presentan una mayor resistencia a la pérdida de C y una menor resiliencia que los suelos de climas más húmedos. Este hecho nos hace pensar que los suelos semiáridos pueden estar cerca de los umbrales de degradación y que por lo tanto su gestión debería evitar las pérdidas de materia orgánica.

Palabras clave: degradación del suelo, materia orgánica, umbrales de degradación, resiliencia, resistencia

Analysis of soil carbon in Spanish agricultural soils. Relevant aspects in relation to the organic farming reconversion in the Mediterranean area. Organic carbon levels in agricultural soils are specially relevant in the management models based on the organic reserve of the soil. Losses of soil organic matter that occur associated to tillage practices can enhance, in some cases, soil degradation. This fact may be specially relevant in dry and semiarid climates. By analysing a soil data base of the Spanish forest and agricultural soils we discuss the distribution of C in the soil surface horizon across climates and land uses. In each climatic area, by comparing forest with agricultural soils we found that soils in semiarid climate show greater resistance to soil C losses and lower resilience than soils of wetter climates. This fact suggest that semiarid soils can be at or near soil degradation thresholds and thus its management should avoid any losses of soil organic matter.

Key words: soil degradation, organic matter, degradation thresholds, resilience, resistance

Introducción

En los sistemas de cultivo ecológicos, la gestión de la fertilidad es uno de los aspectos más importantes que limitan su producción (Lamkin 1998; Ostegard, 2002). La agricultura ecológica, también llamada agricultura orgánica en algunos países, basa la gestión de la fertilidad del suelo en la materia orgánica y en los procesos biológicos del suelo (bacterias fijadoras de nitrógeno, solubilizadores de fósforo y hongos micorrízicos). Dado que los organismos del suelo son generalmente heterótrofos, su actividad será especialmente relevante en un contexto de buena disponibilidad de materia orgánica.

Los suelos agrícolas se caracterizan por contener menores cantidades de materia orgánica que los suelos forestales. Además, la intensificación de la gestión de los suelos agrícolas que ha ocurrido en Europa durante la segunda mitad del siglo XX ha resultado en una disminución destacable del contenido de materia orgánica del suelo (Maljean *et al.*, 2004). Loveland y Webb (2003), en una revisión sobre los niveles críticos de materia orgánica en suelos agrícolas del área templada, sugirieron que un contenido de carbono de un 1% podría representar el umbral, por debajo del cual, el funcionamiento del sistema suelo-cultivo podría quedar comprometido incluso cuando se suministraran los fertilizantes minerales adecuados. Conviene destacar que en la revisión de Loveland y Webb (2003) no se mencionan casos por debajo de este valor que, según ellos, en cultivos de la zona templada, se mantiene solamente a partir de las adiciones anuales de materia orgánica por parte del cultivo. Niveles de carbono orgánico por debajo de este umbral podrían dar lugar a suelos degradados físicamente que, en condiciones agroclimáticas límite (climas secos y semiáridos), podrían desencadenar la desertización del territorio. Se estima que en Europa un 16% del territorio cultivado es vulnerable a la desertización (Holland, 2004). Si bien este porcentaje puede ser superior en la zona mediterránea. En España no existen muchos estudios que aporten datos propios sobre los procesos edáficos (degradación física, pérdida de materia orgánica) asociados al cambio climático o a la intensificación de la agricultura (Vallejo *et al.*, 2005). El contenido de carbono típicamente bajo de los suelos agrícolas Mediterráneos (Jones *et al.*, 2003) será especialmente relevante en un contexto de reconversión a la agricultura ecológica basada en la fertilidad intrínseca del suelo. Por este motivo, cualquier reconversión a agricultura ecológica en el área mediterránea debería promover la conservación o, a ser posible, el aumento de la materia orgánica del suelo. En diversos estudios a largo plazo en cultivos del área templada se ha visto que las estrategias más efectivas para aumentar la materia orgánica del suelo son el uso de estiércoles, el barbecho con planta (cultivos continuados, abonos verdes), el laboreo mínimo y una reducción del barbecho convencional sin planta (Kätterer y Andrén 1999; Sperow *et al.*, 2003).

De manera general, el contenido de materia orgánica del suelo se relaciona íntimamente con las condiciones climáticas y ambientales de cada zona. Por ello, para analizar los factores de variación del carbono del suelo en suelos agrícolas, conviene considerar los factores clima, el tipo de cultivo y el modelo de gestión. En agricultura ecológica, el tipo de cultivo y el modelo de gestión suelen estar imbricados, dado que en este modelo de gestión a menudo se utilizan rotaciones y policultivos.

En este trabajo pretendemos analizar la variabilidad espacial del carbono orgánico en los suelos agrícolas españoles, y a su vez inferir posibles cambios en el tiempo asociados al uso y a la gestión del territorio. El efecto de la gestión no se ha tratado a fondo debido a las limitaciones de nuestra base de datos, que no incluye diversidad de modelos de gestión. Hemos analizado la reserva de carbono de los suelos agrícolas de España en relación con las condiciones climáticas, y con el tipo de cultivos que sustentan. Además, comparamos los suelos agrícolas con los de cultivos abandonados, y con suelos de prados, bosques y matorrales. Los niveles de materia orgánica de los suelos no arados (prados, matorrales y bosques) definirían los niveles de materia orgánica más o menos naturales en cada contexto climático y ambiental.

Material y métodos

Base de datos

Para desarrollar este análisis hemos partido de una base de datos de suelos agrícolas de España. La base de datos consta de 743 perfiles edáficos, 518 de los cuales corresponden a cultivos de arada, tanto leñosos como herbáceos, 127 corresponden a prados y 98 a cultivos abandonados. También hemos utilizado una base de datos de 798 suelos forestales correspondientes a bosques y a matorrales que se ha utilizado como base de referencia. En relación a la homogeneidad de la base de datos forestal cabe destacar que los ecosistemas forestales no boscosos peninsulares (matorrales) tienen un contenido elevado de C acumulado en el suelo, comparable al de los bosques (Vallejo *et al.*, 2005). Las bases de datos utilizadas se han construido a partir de un vaciado de diversas publicaciones con información sobre perfiles de suelos procedentes de diversas fuentes bibliográficas. Se ha intentado homogeneizar la información reunida en las bases de datos de manera que la información pudiera ser ordenada fácilmente por climas y por distintos usos del suelo. Si embargo, los aspectos referentes a la gestión agrícola no se han podido obtener con mucho detalle. Tampoco se han podido incluir en las bases información sobre la historia de usos de cada suelo.

Los datos que presentamos se refieren únicamente al suelo superficial (horizontes A) de los perfiles muestreados. Los horizontes A se han definido siguiendo criterios edafogenéticos y por lo tanto su grosor no es constante. Su promedio y error estándar es de $24,3 \pm 0,5$ cm.

Estudio del clima

Para el estudio del clima a cada perfil a partir de sus coordenadas geográficas se le ha asignado una zona climática de la clasificación fitoclimática de Allué-Andrade (1990). Posteriormente, y siguiendo las agrupaciones de clases climáticas propuestas por los mismos autores, se han agrupado las clases 1 y 2 dentro del clima semiárido, de la clase 3 a la 8 dentro de clima mediterráneo, y de la 9 a la 15 dentro de clima nemoral. Finalmente, las clases climáticas de 16 en adelante no se

han considerado, dado que no incluían suelos agrícolas. En la **Tabla 1** se resumen las características de las clases climáticas definidas. El hecho que las clases climáticas se definan por el efecto combinado de temperatura y pluviosidad explica el solapamiento entre los valores medios tomados uno a uno.

Tabla 1. Rangos de temperatura y precipitación media anual y déficit hídrico en las clases climáticas estudiadas (Allué-Andrade, 1990).

Clima	Temperatura media anual (°C)	Precipitación media anual (mm)	Déficit hídrico (número de meses)
Semiárido	16.2-20.5	151-450	3.25-12
Mediterráneo	9.2-20.4	399-1214	1.25-6.25
Nemoral	6.4-17.4	363-2724	0-2.99

Tipificación de los cultivos

Los tipos de cultivo presentes en la base de datos se han reunido en los siguientes 7 grupos:

1. Prados y pastos.
2. Cultivos abandonados en general.
3. Cultivos arbóreos de secano (olivos, almendros, fruta dulce, otros,...).
4. Cultivos arbóreos de regadío (sobretudo cultivos de fruta dulce y cítricos).
5. Cultivos herbáceos (cereales y forrajes).
6. Viñas.
7. Huerta.

Análisis estadístico

Después de agrupar los datos por climas y por tipos de cultivo se ha realizado un análisis de la varianza de dos factores con interacción. Las variables que representaban proporciones se han normalizado mediante la transformación $\arcsin\sqrt{x}$. Las diferencias entre grupos se han testado con el test de rango múltiple de Tukey, el cual es apto para casos con distintos tamaños muestrales para cada condición experimental. El déficit de C orgánico se ha calculado restando a cada suelo el porcentaje de C medio de los suelos forestales para cada clima, y se ha aplicado el test de comparación de medias t-Student para determinar si las diferencias eran significativamente distintas de cero.

Efectos del clima y del tipo de cultivo

Los niveles de C orgánico en el suelo superficial son un buen indicador de la fertilidad del suelo, y además dan una idea de su estabilidad frente a procesos erosivos y de compactación. El patrón de variación del contenido de C orgánico en el suelo superficial muestra una disminución muy importante en todos los suelos agrícolas analizados en comparación con los suelos forestales y de prados (**Fig. 1**). Tal como era de esperar, los niveles de materia orgánica mínimos se encuentran en clima semiárido (2,41% en suelos forestales y 0,71 en agrícolas), los medios están en clima mediterráneo (5,69% en suelos forestales y 1,03 en agrícolas), y los más altos en los climas nemorales (6,65% en suelos forestales y 1,27 en suelos agrícolas). El incremento de C que se observa al pasar de climas más áridos a más húmedos es mucho mayor en los suelos no arados (forestales y prados) que en los agrícolas. En los suelos agrícolas ya empobrecidos en materia orgánica, pequeños cambios en su contenido podrían resultar en disfunciones en el funcionamiento de los suelos. Varios autores, a partir de estudios en suelos agrícolas templados, han marcado el umbral de 2% de C orgánico como un valor por debajo del cual pueden originarse pérdidas importantes de calidad del suelo (Loveland y Webb, 2003). En concreto, por debajo de este valor la estabilidad estructural disminuye mucho (Greenland *et al.*, 1975). También se ha observado un aumento importante de la erosión en suelos pobres en materia orgánica. Estos umbrales de degradación de suelos pueden depender mucho de las condiciones edafoclimáticas. Por ejemplo, Benito y Díaz-Fierros (1992) encontraron que en suelos de prados atlánticos la erosión disminuía mucho por encima del 3% de C orgánico. En el caso de cultivos de trigo en Australia se observó un incremento importante de la pérdida de suelo por debajo de 1,6% de C orgánico (Malinda, 1995). Considerando el papel de la materia orgánica en términos de fertilidad (disponibilidad de N), Loveland y Webb (2003) sugirieron que por debajo del umbral de un 1% de C orgánico las cosechas no podrían ser mantenidas, aún cuando se aplicaran fertilizantes sintéticos, debido al bajo contenido de N mineralizable. Sin embargo, conviene destacar que esta conclusión fue inferida a partir de datos de suelos templados no mediterráneos. En la **Figura 1** se observa como la práctica totalidad de los suelos agrícolas de arada considerados se encuentra por debajo de los tres umbrales más elevados, si bien una buena parte de los suelos estarían por encima del umbral de fertilidad del 1%. Vemos también como los suelos de cultivos abandonados de climas mediterráneo y semiárido se mantienen en su mayoría por debajo del umbral de erosión de Malinda (1995), mientras que en climas nemorales

lo sobrepasan ampliamente. Los niveles de C orgánico en prados y bosques de climas mediterráneo y nemoral estarían siempre por encima de los umbrales limitantes, mientras que en clima semiárido se encontrarían ligeramente por debajo del umbral propuesto por Benito y Díaz Fierros (1992).

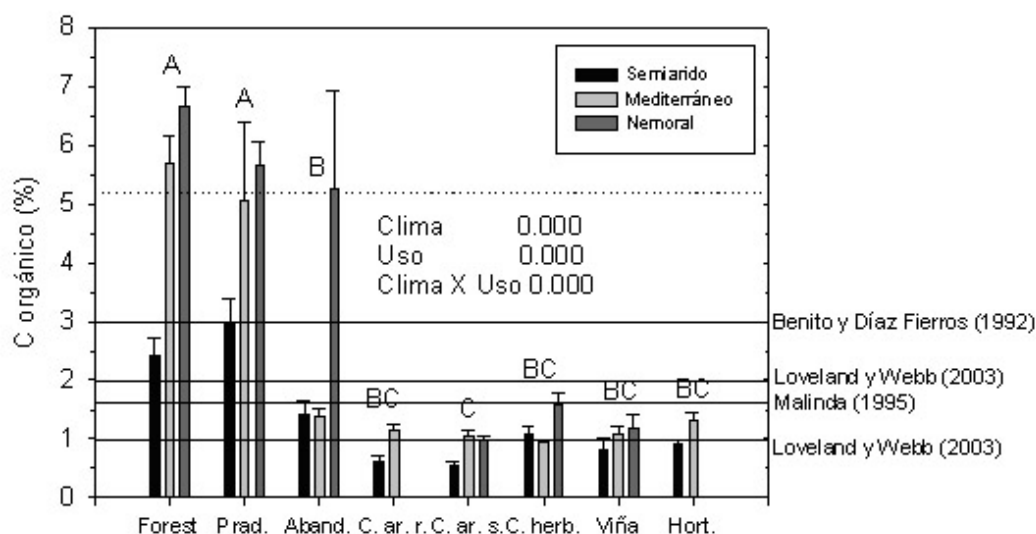


Figura 1. Porcentaje de carbono orgánico en el horizonte superficial de los suelos españoles según climas y según uso del territorio. Las letras indican diferencias significativas entre usos. Se indican las probabilidades de ANOVA de dos factores con interacción. Las líneas continuas horizontales se refieren a valores umbral propuestos por diversos autores en diversos contextos (ver texto). La línea de puntos se refiere a la cantidad máxima de C orgánico que un suelo forestal de la Depresión Central Catalana (mediterráneo/semiárido) puede estabilizar (ver Rovira y Vallejo, 2003). Forest. Se refiere a bosques y matorrales, Prad. a prados, Aband. a cultivos abandonados, C. ar. r. A cultivos arbóreos de regadío, C ar. s. A cultivos arbóreos de secano, C. herb. A cultivos herbáceos, Viña a viñas y Hort a cultivos hortícolas

Dentro de cada uso del suelo se observa a menudo el efecto del clima que resulta en menores reservas de C en los suelos semiáridos. Los distintos usos del territorio muestran también efectos muy significativos con un mínimo en los cultivos arbóreos de secano y dentro de los suelos de arada un máximo en los cultivos herbáceos en clima nemoral de tendencia atlántica. Para condiciones semiáridas los cultivos arbóreos de secano muestran los niveles más bajos de C orgánico mientras que para condiciones mediterráneas los valores más bajos se encuentran en los cultivos herbáceos. Si bien los cultivos arbóreos de regadío en clima semiárido y mediterráneo muestran valores de C orgánico ligeramente superiores a los cultivos arbóreos de secano las diferencias no son significativas.

Déficit de materia orgánica

Para cada clase climática, el contenido en carbono orgánico en porcentaje del horizonte superficial fue mucho menor en todos los cultivos de roturación que en los suelos forestales y en los suelos de prados. Los suelos forestales representan los sistemas generalmente con menor intensidad de gestión. Por este motivo se tomó como referencia el nivel de C orgánico de los suelos forestales y se calculó el déficit de carbono orgánico como la diferencia entre el C orgánico de los suelos agrícolas y los forestales de cada zona climática (**Fig. 2**).

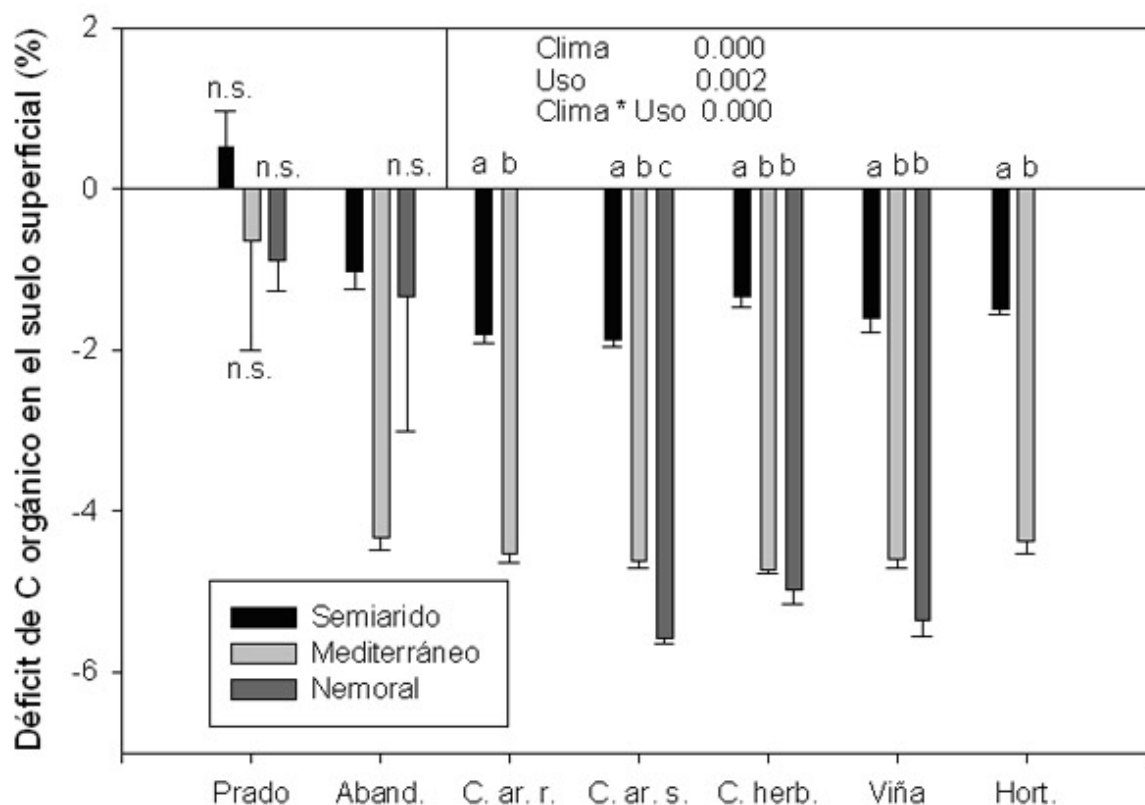


Figura 2. Déficit de carbono orgánico en el horizonte superficial de los suelos españoles según climas y según uso del territorio. Se indican las probabilidades de ANOVA de dos factores con interacción para el caso de los suelos de arada. Las letras indican diferencias significativas entre climas dentro de cada uso agrícola según el test de rango múltiple de Tukey. n.s. se refiere a déficits no significativamente diferentes de cero según el test *t* de Student. Prado. Se refiere a prados, Aband. a cultivos abandonados, C. ar. r. A cultivos arbóreos de regadío, C ar. s. A cultivos arbóreos de secano, C. herb. A cultivos herbáceos, Viña a viñas y Hort. a cultivos hortícolas.

El déficit de materia orgánica fue siempre mayor en los cultivos de clima nemoral, algo más bajo en los mediterráneos y mucho menor en los de clima semiárido. Por otra parte el déficit de C orgánico en prados y en cultivos abandonados de clima nemoral no mostró ningún cambio significativo en relación con los suelos forestales de la zona. A partir del análisis de nuestra base de datos podemos decir que la pérdida de materia orgánica del suelo superficial como resultado de la roturación de tierras será mayor en suelos de clima húmedo, mediana en clima mediterráneo y menor en clima semiárido. Sin embargo, tal y como indican los resultados de recuperación de C orgánico de los suelos abandonados, una vez cesado el uso agrícola, los suelos de climas más húmedos (nemorales) experimentarán una fase de recuperación, hasta alcanzar los niveles de los suelos forestales del área, mientras que los suelos de clima mediterráneo o semiárido experimentan una recuperación mucho menor, o más lenta, a pesar de haber experimentado pérdidas menores o mucho menores (caso de los suelos semiáridos) de materia orgánica a causa de la roturación. A partir de estas observaciones podríamos pensar que la materia orgánica de los suelos de clima semiárido es más resistente a la roturación que en los de clima mediterráneo y, sobretudo, nemoral. Por otra parte, si suponemos que la edad de los cultivos abandonados es parecida en las diversas clases climáticas, podemos pensar que la capacidad de recuperación de carbono después del abandono (resiliencia) es mucho mayor en clima nemoral. El hecho que los suelos de clima mediterráneo presenten una una tasa de recuperación después del abandono similar a los suelos clima semiárido sugiere que las diferencias de contenido en C orgánico entre los suelos de arada mediterráneos y semiáridos no es muy determinante para su recuperación y que la resiliencia dependerá de los niveles absolutos de C orgánico, no tanto de la magnitud de las pérdidas que hayan habido como resultado de la roturación. Ver por ejemplo la gran resiliencia de los suelos de clima nemoral a pesar de haber experimentado las mayores pérdidas de C orgánico.

Aunque para la definición de la estabilidad de un suelo debe considerarse tanto la resistencia como la resiliencia, esta última tiene una relevancia especial cuando se intenta evaluar la calidad de un suelo en sistemas sometidos a cierta intensidad de gestión (Sjønning *et al.*, 2004). De hecho, la resiliencia determina la capacidad de recuperación de un suelo y es un factor clave para la definición de los umbrales de degradación. Una posible interpretación de nuestros resultados podría ser que la lenta recuperación de materia orgánica que se observa en los suelos de clima semiárido y mediterráneo podría estar en relación con el hecho que sus bajos niveles de materia orgánica hayan superado los umbrales de degradación. En este sentido quisiéramos destacar que los niveles de C orgánico de los suelos mediterráneos y semiáridos superan o están cerca

de los umbrales de degradación discutidos en la revisión de Loveland y Webb (2003), mientras que los suelos de clima nemoral, con buena resiliencia, están claramente por encima. Para evaluar el impacto asociado a la roturación de suelos debe considerarse sobretodo su capacidad de respuesta después del abandono, factor que vendrá determinado por los umbrales de degradación de dichos suelos. La magnitud de la pérdida absoluta de materia orgánica, si bien tiene gran interés en relación al balance de C suelo-atmósfera, puede ser menos relevante en relación a funcionalismo del suelo. Los bajos niveles de C orgánico observados en los suelos forestales semiáridos podrían ser, por lo menos en parte, resultado de la presión antropogénica (sobrepastoreo, incendios, carboneo,...) a la que han estado sometidos durante muchos siglos.

Relación de la materia orgánica del suelo con la textura

Las arcillas y materiales finos del suelo (limos+arcillas) protegen la materia orgánica, de manera que la reserva de C orgánico de un suelo se relaciona bien con el contenido de materiales finos. En nuestras bases de datos el contenido de arcillas y materiales finos en general (limos+arcillas) en el horizonte superficial del suelo no mostró diferencias entre climas ni entre tratamientos, aunque, si consideramos solamente los suelos roturados actualmente se observa una ligera disminución de la fracción limo+arcilla en los suelos de clima semiárido exceptuando el caso de los cultivos herbáceos (datos no presentados).

Rovira y Vallejo (2003) definieron los máximos de protección de materia orgánica analizando suelos forestales mediterráneos y semiáridos. Estos valores expresaban el carbono orgánico protegido por cada fracción granulométrica expresado por unidad de la fracción considerada. Estos valores por kg de arcilla y por kg de limo+arcilla se indican en la **Figura 3** con una línea de puntos. En la **Figura 3** se expresa el carbono orgánico total por unidad de fracción granulométrica (arcilla o limo+arcilla), de manera que el carbono orgánico contenido en cada fracción granulométrica de suelo por separado sería todavía menor al graficado. Aunque el valor de saturación calculado por Rovira y Vallejo (2003) se refiere a un grupo de suelos mediterráneos y semiáridos, los niveles de saturación obtenidos son muy superiores a los obtenidos en climas templados atlánticos por otros autores, utilizando otros métodos (Hassink, 1996). Por este motivo hemos decidido de manera indicativa utilizar estos valores como máximos de saturación de materia orgánica a través de todos los climas estudiados. Se observa que los suelos forestales y de prados en climas mediterráneos y nemorales ampliamente sobrepasan el valor de referencia calculado por Rovira y Vallejo (2003) mientras que los suelos semiáridos se encuentran claramente por debajo, juntamente con todos los suelos cultivados. Estos resultados sugieren que todos los suelos agrícolas, así como los suelos forestales de clima semiárido, tienen una capacidad destacable de estabilizar C orgánico mientras que los suelos forestales mediterráneos y nemorales parecen estar saturados de materia orgánica.

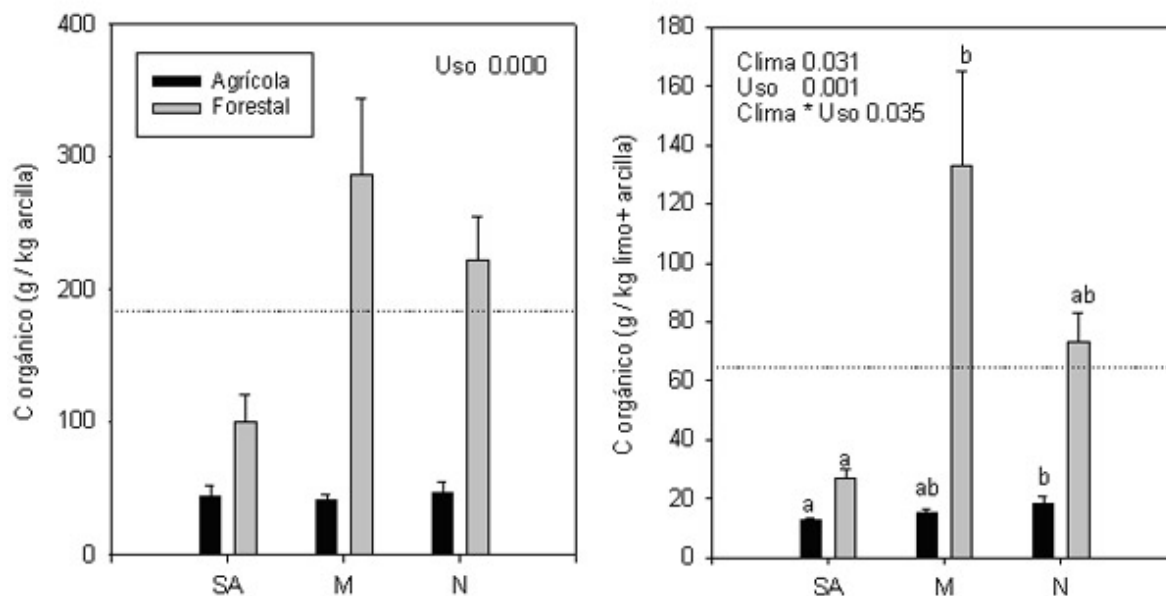


Figura 3. Contenido de C orgánico en relación al contenido de arcillas y de limo+arcillas en los perfiles estudiados clasificados entre agrícolas de arada y forestales (bosques y matorrales). Se indican las probabilidades de ANOVA de dos factores con interacción. SA se refiere a clima semiárido, M a clima Mediterráneo y N a Nemoral. Las letras muestran diferencias significativas entre climas dentro de cada uso del suelo según el test de rango múltiple de Tukey.

Conclusiones

Los suelos agrícolas de clima mediterráneo o semiárido poseen una baja resiliencia en relación a la recuperación del carbono perdido como resultado de su uso agrícola. La mayor resistencia observada en los suelos de clima semiárido puede ir asociada a la mayor estabilidad del carbono de los suelos forestales semiáridos que resultaría de su bajo contenido en C orgánico asociado a bajas productividades. Los bajos niveles de C orgánico en el suelo superficial que se observan en suelos mediterráneos y, sobretodo, en suelos semiáridos, los sitúa a menudo por debajo de los valores propuestos como umbrales de degradación. Estos bajos niveles de materia orgánica deben considerarse como un factor clave para la conservación del suelo y para el mantenimiento de las condiciones de cultivo sobretodo en modelos de gestión que basen su fertilidad en la reserva orgánica del suelo. Por este motivo las reconversiones a agricultura ecológica en los cultivos de secano del área mediterránea deberían mantener y, a ser posible, aumentar el contenido de C orgánico en dichos suelos. Para ello, sería recomendable que las nuevas técnicas de gestión partieran de la base de no disminuir en ningún caso los recubrimientos vegetales de los cultivos actuales en las condiciones de cada zona, y aumentarlos siempre que sea posible.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a un convenio establecido entre la Dirección General de Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y la Universidad de Barcelona.

Referencias

- Allué-Andrade, J.L. 1990. *Atlas Fitoclimático de España: Taxonomías*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. 221 pp.
- Benito, E., Díaz-Fierros, F. 1992. Effects of cropping on the structural stability of soils rich in organic matter. *Soil Till. Res.* 23: 153-161.
- Greenland D.J., Rimmer, D., Payne, D. 1975. Determination of structural stability class of English and Welsh soils, using a water coherence test. *J. Soil Sci.* 26: 294-303.
- Hassink J. 1996. Preservation of plant residues in soils differing in unsaturated protective capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 497-491.
- Holland, J.M. 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence. *Agric. Ecosys. Environm.* 103: 1-25.
- Jones R.J.A., Hiederer R., Rusco E., Loveland P.J., Montanarella L. 2003. *Topsoil organic C in Europe*. Proceeding of the 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems. Bologna pp 249-251.
- Kätterer T., Andren, O. 1999. Long-term agricultural field experiments in Northern Europe: Analysis of the influence of management on soil carbon stocks using the ICBM model. *Agriculture Ecosystems and Environment* 72: 165-179.
- Lampkin N., 1998. *Agricultura ecológica*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, Barcelona, México. pp 724.
- Loveland P., Webb J. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil Till. Res.* 70: 1-18.
- Maljean J.F., Amlinger F., Bannick C.G., Favoino E., Feix I., Leifert I., Marmo L., Morris R., Pallière C., Robert M., Siebert S., Tittarelli, F. 2004. Land use practices in Europe. In: (Van Camp et al. Eds.) Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/3 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Malinda, D.K. 1995. Factors in conservation farming that reduce erosion. *Aust. J. Expl. Agric.* 35: 969-978.
- Ostergard, H. 2002. *Characteristics of spring barley varieties for organic farming*. Proceedings of the 1st. International symposium on organic seed production and plant breeding, Berlin, p 72.

Rovira, P., Vallejo, V.R. 2003. Physical protection and biochemical quality of organic matter in mediterranean calcareous forest soils: a density fractionation approach. *Soil Biol. Biochem.* 35: 245-261.

Schjonning, P., Elmholt, S. and Christensen, B.T. 2004. *Soil quality management. Concepts and terms*. In: Schjonning P., Elmholt S. and Christensen B.T. (eds.). Challenges in modern agriculture. CAB International. pp 1-15.

Sperow, M., Eve M. and Paustian, K. 2003. Potential soil C sequestration on US agricultural soils. *Climatic Change* 57: 319-339.

Vallejo, V.R.; Diaz Fierros, F., y De la Rosa, D. (Coord.) 2005. *Impactos sobre recursos edáficos*. In: Evaluación de los Impactos del Cambio Climático en España (ECCE). Proyecto financiado por la Oficina Española de Cambio Climático (MIMAM). www.mma.es/secciones/cambio_climatico/documentacion_cc/historicos_cc/pdf/08_recursos_edaficos_2.pdf