



## FORMACIÓN DE HUMUS Y FIJACIÓN DE C DEPENDIENDO DEL MANEJO DEL SUELO

Rafael Espejo Serrano

Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de  
Madrid. Ciudad universitaria s/n. 28040 Madrid, España

### INTRODUCCIÓN

El suelo juega un papel principal en la sostenibilidad de los ecosistemas naturales y los manejados por el hombre. Constituye una reserva temporal en el ciclo del agua, la cual filtra en los primeros metros de su viaje hacia los acuíferos, y actúa como soporte de la vegetación, a la que le aporta agua y nutrientes. Los ecosistemas pueden ser mantenidos indefinidamente mientras el clima se mantenga en ciertos límites y no sufra agresiones externas como las causadas por la lluvia ácida, etc.

La dinámica de la materia orgánica en el suelo es la clave del sistema suelo/vegetación: la vegetación extrae los nutrientes que necesita del suelo y los incorpora en su biomasa; cada año, una importante cantidad de materia orgánica entra en el suelo a través de los restos muertos de plantas, donde, debido a la acción de microorganismos, se convierte en humus, el cual, a su vez, es mineralizado durante el año en una baja proporción (1-3%); en el proceso de mineralización del humus, los nutrientes de este último son liberados y se hacen disponibles para la nutrición de las plantas, con lo que son incorporadas en la materia viva del vegetal, cerrando el ciclo. En sistemas equilibrados, como son normalmente los ecosistemas naturales, la cantidad de humus generado cada año a partir de la materia orgánica fresca incorporada al suelo es la misma que la mineralizada, por lo que los niveles de humus del suelo se mantienen.

El humus no es sólo de importancia por su papel regenerativo, pues también junto con la arcilla forma la fracción coloide del suelo, responsable por una parte de su fertilidad química, y, por otra parte, del desarrollo de su estructura o agregados, los cuales incrementan la resistencia del suelo a la erosión con respecto a un suelo con partículas desagregadas. Gracias a esta estructura, desarrolla una segunda porosidad (o interagregados), con un mayor diámetro que la primaria, porosidad textural o intra-agregados; muchos suelos de textura fina permiten la circulación del aire y del agua ya que son favorecidas por el desarrollo de la estructura del suelo. En otra dirección, el humus tiene una gran capacidad para retener cationes de intercambio, y para absorber y complejar metales, elementos pesados y otros iones nocivos para el biotipo, de tal modo que refuerza su papel en el suelo como filtro para el agua que fluye a través de este.

Cuando los hombres se hicieron agricultores, cortaron y clarearon la vegetación natural para cultivar la tierra, de forma que el equilibrio entre la formación de humus y las tasas de destrucción se trastocó cuando una importante cantidad de biomasa fue extraída del sistema. Durante las antiguas civilizaciones y hasta el inicio del siglo XX, los instrumentos de labranza eran de tiro animal y una importante parte de la materia orgánica extraída con las cosechas retornaba con el estiércol producido por estos animales y los residuos orgánicos generados por los humanos. Con la industrialización y la mecanización del campo, el panorama cambió; los retornos de materia orgánica disminuyeron y la

mineralización del suelo se aceleró debido a que el número de tareas agrícolas se volvieron más sencillas y se incrementaron, lo que incrementó la tasa de mineralización de la materia orgánica a la vez que lo hizo la superficie suelo/aire (Raikosky XXX).

Además, el nivel de contenido en carbono orgánico del suelo está condicionado por la diferencia entre las entradas de nuevos restos orgánicos, y las salidas vía exportación, mineralización y erosión. En suelos cultivados, el principal aporte de C orgánico viene de los residuos de cosecha, cuyo contenido en C está alrededor del orden de 50% del peso seco de los residuos (Crovetto, 2002). Está estimado que la mayoría del carbono aportado por los restos se pierde a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, y que sólo el 20-30% del C contribuye a incrementar el carbono orgánico en el suelo (Voroney *et al.*, 1989). Sin embargo, esta contribución en los suelos cultivados de manera tradicional, en los cuales el cultivo es a menudo usado de forma abusiva, no es suficiente para mantener el contenido de humus, tan importante para conservar la fertilidad natural del suelo, a corto/medio plazo.

La evolución de la materia orgánica en el suelo se debe a actividades de microorganismos; como dijimos antes, estos, en un proceso mixto de mineralización y humificación, se convierten en humus más o menos rápido, reduciendo considerablemente la relación C:N en el proceso; a cambio, el humus, también bajo la acción de los microorganismos, es destruido en una pequeña proporción anual en un proceso de mineralización, en el cual los nutrientes que contiene son liberados y se vuelven disponibles para las plantas. El balance entre ambos procesos es la señal de una actividad microbiana equilibrada y unas buenas condiciones ambientales y edáficas, las cuales son la principal garantía de la sostenibilidad del sistema y de su fertilidad.

## **LOS SISTEMAS DE AGRICULTURA TRADICIONAL (TA), VERSUS LOS SISTEMAS DE AGRICULTURA CONSERVATIVOS (CA)**

Una de las consecuencias del cultivo tradicional es la disminución del contenido de carbono orgánico del suelo. Esto es el resultado de:

- El menor aporte de materia orgánica en forma de residuos de cosecha,
- La mayor tasa de mineralización de humus causada por el cultivo, y
- La mayor tasa de erosión que origina importantes pérdidas de materia orgánica junto con la mineral.

En sistemas de agricultura convencionales o tradicionales, las tareas de preparación del suelo para siembra dejan la superficie del suelo desnuda por largos períodos de tiempo, y, de este modo, está expuesta a la acción de la lluvia y otros agentes erosivos. Las consecuencias de esto es que la materia orgánica en la mayoría de los suelos agrícolas está decreciendo como resultado de la agricultura intensiva practicada (EEA, 1998). La figura 1 muestra algunos ejemplos, los cuales demuestran la velocidad a la que el proceso de mineralización del humus actúa bajo cultivo.

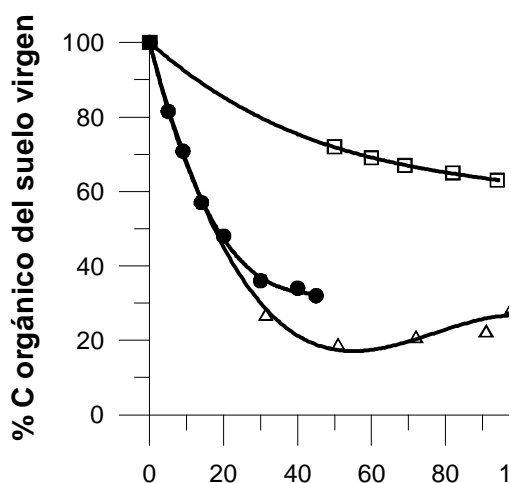


Figura 1.- Descenso del contenido en C orgánico en varios suelos cultivados. En ordenadas el porcentaje respecto al suelo virgen; en abcisas los años en cultivo. Círculos, Queensland, Australia (Dalal & Myer, 1986). Triángulos, Missouri, EE.UU. (Balesdent *et al.*, 1988). Cuadrados, Oregon, EE.UU. (Rasmussen *et al.*, 1989)

Según Kinsella (1995) y Heenan *et al.* (2004), después de 15 a 20 años de cultivo intensivo, el contenido en carbono orgánico en la mayoría de los suelos agrícolas en zonas semi-áridas se reduce a la mitad. Pero la reducción en el contenido en materia orgánica del suelo debido al cultivo es particularmente importante en suelos bajo condiciones tropicales y subtropicales donde el carbono del suelo se oxida rápidamente.

Como resultado, la reducción en la capacidad productiva inherente de suelos agrícolas cultivados intensivamente está generalmente enmascarada por importantes aplicaciones de fertilizantes, con un coste siempre creciente. Pero esta es sólo una solución temporal, y, con el tiempo, la reducción continuada de los niveles de materia orgánica lleva a una disponibilidad de nutrientes para las plantas reducida y un incremento de la susceptibilidad al stress hídrico, resultando en una reducción del rendimiento que no puede ser detenida aplicando sólo más aportes de fertilizante. En pocas palabras, los cultivos como son ahora ampliamente practicados, no son sostenibles a largo plazo, ni desde el punto de vista medioambiental ni desde el económico.

Sanchez *et al.* (2003), en su fórmula para evaluar la productividad del suelo, introdujo un nuevo parámetro, *m*, refiriéndose a la saturación por materia orgánica, la cual está relacionada al porcentaje del contenido en materia orgánica del suelo en relación al que tiene el mismo tipo de suelo virgen bajo una cubierta de vegetación natural. Este parámetro podría servir como herramienta de trabajo para calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por el suelo a la atmósfera como consecuencia del cambio en el uso del suelo de lo natural a lo agrícola. Esto queda claro en los ejemplos de la Figura 2, en lo referente a los suelos cultivados, este umbral del 80% del contenido en carbono en los suelos correspondientes bajo cobertura vegetal natural fue excedido. Siguiendo esta tendencia, en los suelos ácidos raña de Cañamero (Cáceres), el inicio del cultivo de suelos vírgenes con alcornoque (*Plinthic palehumults*, Soil Survey Staff, 1999) causó drásticos descensos en los contenidos en carbono orgánico en los 50 cm superiores de los suelos, de tal forma que en los 40-50 años de cultivo el contenido en carbono descendió del 6% en el suelo virgen a, en los casos extremos, menos del 3%, con el suelo evolucionando a volverse un *Plinthic palexerult*; en este proceso se registró una emisión por encima de 300 megagramos de CO<sub>2</sub>/ha (Mariscal *et al.*, 2006).

La materia orgánica del suelo está formada por una serie compleja de componentes, los cuales se comportan de forma diferente en los procesos de mineralización. Por esta razón, a menudo se hace una distinción entre la fracción lábil o activa, más fácilmente mineralizable (Blair *et al.*, 1995); Weil *et al.*, 2003; McLauchlan y Hobbie, 2004) como

contraria al grupo de recalcitrante o pasiva SOM, la cual es mineralizada muy lentamente por la acción de microorganismos del suelo (Wander, 2004).

La labilidad de la materia orgánica en el suelo depende de su composición química (sustancias de un alto peso molecular y compuestos aromáticos que incrementan el carácter recalcitrante y la proporción de carbono en la MO), y de la estabilidad y de sus agregados y que aportan una protección física efectiva (Cambardella and Elliot, 1992; McLauchlan and Hobbie, 2004; Pulleman *et al.*, 2005). Las fracciones lábiles de la materia orgánica del suelo incluyen materia orgánica particulada (POM, *particulated organic matter*) (Cambardella and Elliot, 1992) y materia orgánica disuelta (Saviozzi *et al.*, 2001), entre otras. La POM consiste en fragmentos de planta en diversos estados de descomposición que son fácilmente atacables por enzimas de los microorganismos del suelo (Cambardella y Elliot, 1992); está presente habitualmente como agregados mayores de 53  $\mu\text{m}$  de tamaño, ligados a pequeños agregados (libres o materia orgánica particulada en inter-agregados,  $\text{PMO}_i$ ) o entre micro-agregados (ocluídos o materia orgánica particulada en intra-agregados,  $\text{PMO}_o$ ) (Besnard *et al.*, 1996; Six *et al.*, 2001; Kölbl *et al.*, 2005). Esta fracción está relacionada directamente con el desarrollo de estructuras y fácil mineralización cuando un suelo virgen es cultivado (Cambardella y Elliot, 1993; Bossuyt *et al.*, 2002) particularmente la fracción interagregada que juega un importante papel en la sostenibilidad de la fertilidad del ecosistema natural (Salas *et al.*, 2003). La POM es severamente afectada por el cultivo (Franzluebbers, A.J., Arshad 1996; 1997); en suelos bajo la superficie de alcornoques en la raña de Cañamero la POM alcanza el 60% de la materia orgánica total (TOM) en la capa superior de 5 cm, y el 24% (TOM) en la capa de suelo de 5 a 25 cm en la misma superficie; en suelos bajo olivares la POM sólo alcanza el 15%, y 8,2% a las mismas profundidades (Mariscal, 2008). En esta superficie raña, el Paleixerults degradado por cultivo tras 5 años de pastoreo continuado incrementó el POM en la capa superior de 5 cm de A a B (Mariscal, 2008).

La agricultura de la conservación (CA), originaria en los EE.UU. en la década de 1950 como una alternativa a la agricultura tradicional (TA), llegó a ser uno de los medios para combatir la erosión en los suelos agrícolas y regenerar las propiedades relacionadas a su calidad que habían sido deterioradas por la labranza realizada continuamente por largos períodos de tiempo. El concepto de "calidad" está muy ligado al de sostenibilidad; la calidad no está definida como una función de un uso específico pero está más relacionada a su multi-funcionalidad, y, según Karlen *et al.*, (1997), esta puede ser descrita como la "capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, para sostener la productividad vegetal y animal, para mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y para preservar la salud humana y el hábitat". Hay, de esta forma, una amplia dependencia entre la calidad del suelo y la del entorno al cual pertenece.

Hay varias formas de agricultura de la conservación:

- a) Perforación directa: No se realiza labranza entre la cosecha y el establecimiento del siguiente cultivo, el cual es sembrado directamente, conservando los rastrojos y los residuos del cultivo anterior. Esta es la modalidad que proporciona la mayor protección al suelo frente a la acción erosiva de la lluvia. Las malas hierbas son controladas con herbicidas con un bajo impacto en el entorno.
- b) Mínima labranza: Permite labranza vertical con arados de cincel, cultivadores, etc..., los cuales no voltean la capa superior del suelo. La cantidad de restos del cultivo anterior depende del número de acciones de labranza hechas y de su agresividad.

- c) Cubiertas vegetales. Adaptadas a cultivos leñosos: Tiras de vegetación herbácea, sembrada específicamente o espontánea, se establecen entre filas de árboles, y son controladas por cosechadoras mecánicas, eliminación química, o con la ayuda de la acción de baja intensidad de ganado, cuando la estación seca comienza para prevenir la competición por agua en los cultivos; los rastrojos se dejan en la superficie. Esta forma de CA es altamente efectiva para defensa de la vegetación en suelos de viñedo o de olivar, los cuales son plantados frecuentemente en áreas con laderas escarpadas (Francia *et al.*, 2000).

Los pilares que sostienen CA y que marcan las principales diferencias en relación a la agricultura convencional son:

- 1) Una alteración mecánica del suelo mínima o cero.
- 2) Perforación directa sobre los restos de cultivos previos.
- 3) Cobertura permanente de la superficie del suelo con residuos de cosechas previas y actuales.
- 4) El establecimiento obligatorio de rotaciones de cultivos y fertilización verde.

La agricultura de la conservación genera una gran entrada de materia orgánica en el suelo, la cual, como el opuesto a la alta tasa de emisión de CO<sub>2</sub> causada por la labranza en TA, hace que este régimen de tratamiento refuerce su papel como sumidero de CO<sub>2</sub> (Reikosky, 2001). En la el "cinturón del maíz" de EE.UU., la transformación de TA a CA debería significar una fijación de C atmosférico del orden de 3.6 Mt/año en los próximos 100 años (360 Mt/100 años). Gebhart *et al.*, (1994) estima que en los 17 millones de hectáreas incluidas en el Programa de Conservación de EE.UU., que abarca tierras con un alto riesgo de erosión convertidas en campos no labrados, se contribuiría con una reducción del 45% en las emisiones de CO<sub>2</sub> en las áreas agrícolas del país.

Lacaste *et al.*, (2005), en una finca localizada en la provincia de Toledo, encontró que la perforación directa, tras 32 años, ha incrementado el contenido de carbono orgánico en los primeros 25 cm de la superficie del suelo de un Inceptisol del 15% comparado con el valor inicial (0.66%, considerando que el uso de un arado de vertedera empobreció ese contenido por el 15% y el de un arado del cincel por el 3%. López Fando *et al.*, (2005), tras 11 años de gestionar un Luvisol cálcico bajo perforación directa, encontró incrementos de 4 t·ha<sup>-1</sup> en el contenido en carbono respecto a los suelos labrados. En el valle del Guadalquivir, Ordoñez *et al.*, (2007), tras 21 años de cultivo por perforación directa en un suelo arcilloso (Haploxeret crómico, Soil Survey Staff, 1999), encontró que el contenido en materia orgánica en los primeros 50 cm se había incrementado en un 1%, lo cual significa un incremento del 40% del contenido inicial y una fijación de C de 18 t/ha, equivalente a 66.6 t/ha de CO<sub>2</sub> (Figura 1). Esta relación, del orden de 1 t/ha anual, es la misma que la encontrada por Arrue (1997).

Se requiere un mínimo período de tiempo por la CA para provocar cualquier incremento significativo en el contenido en MO, lo cual depende principalmente del clima y los cultivos (Herranz *et al.*, 2002). Sombrero *et al.*, (2006), en pruebas realizadas en la provincia de Burgos no encontraron diferencias significativas en los contenidos en materia inorgánica de los no labrados en los primeros 15 cm de suelo hasta que han transcurrido 5 años. Con el tiempo, las diferencias se incrementan, y así, a los 8 y 10 años, la MO se incrementa en el orden de un 18 y 20% respectivamente.

Un aspecto que debería enfatizarse es que el enterramiento de restos de plantas en las tareas de labranza que se realizan en la agricultura tradicional, provoca una diferencia en las dinámicas de la materia orgánica del suelo que se producen en los ecosistemas naturales, en los cuales es incorporada y evoluciona sobre y desde la superficie del suelo.

Inversamente, la agricultura conservativa, al dejar los restos del cultivo en la superficie, induce una dinámica de la MO análogo a la que ocurre en los ecosistemas naturales. El resultado es que en la CA hay un incremento de la estratificación de la materia orgánica en su distribución vertical, lo cual es tomado como una señal de la recuperación de la calidad de los suelos degradados por labranza (Franzluebbers, 2002; Moreno *et al.*, 2005). Una parte importante de esta materia orgánica humificada en la superficie es transportada hacia el interior del suelo por lombrices, cuya población es muy reforzada por la CA (Cantero *et al.*, 2004; Descansa *et al.*, 2005). La tabla muestra los datos de porcentaje de los restos orgánicos de cosechas que permanecen en la superficie del suelo y la protegen dependiendo de las diferentes tareas agrícolas o formas de uso que se le apliquen:

Tabla 1.- Porcentaje de los residuos superficiales tras labranza en un rastreo dado con diversos instrumentos (Stott, 1991)

Arado de vertedera .....	2-4%
Arado de disco .....	30-60%
Arado de cincel .....	50-75 %
Labranza directa .....	90-95 %

La capa superficial de restos orgánicos generada con la CA juega un papel de mantillo, el cual es muy beneficioso para ahorrar agua al detener las pérdidas por evaporación; esta capa superficial también regula la temperatura en los 25-30 cm superficiales del suelo. Como resultado, la CA fomenta condiciones ambientales más favorables para los microorganismos, los cuales, junto con el incremento de materia orgánica, genera una atmósfera mucho más propicia en el suelo para la actividad biológica.

A este respecto, debería tenerse en cuenta que, en el suelo, la mayoría de los procesos edáficos implicados en esta actividad biológica y ciclo de nutrientes están circunscritos a sus primeros 25-40 cm, donde se localiza la rizosfera, p.ej. la zona del suelo con la densidad de raíces más alta, y donde hay una relación estrecha entre el suelo, las plantas y micro y macro-organismos; cualquier intervención humana afectando alguno de estos tres sistemas tendrá algunas consecuencias en los otros dos. En la rizosfera, los vegetales constituyen la fuente principal de carbono orgánico, el cual es la fuente de energía primaria de los organismos del suelo. Este último hace una contribución efectiva al desarrollo de agregados y al reciclaje del contenido de nutrientes en los restos orgánicos. Dentro de la rizosfera, un papel principal es jugado por los hongos micorrizas vesícula-arbustivos (VAMF, *vesicule-arbuscular mycorrhizal fungi*), los cuales son esenciales para el establecimiento, crecimiento y supervivencia de muchos vegetales. Están considerados como auténticas "tuberías" para el transporte desde el suelo a la planta de agua y nutrientes a cambio de proveer a los hongos de un acceso directo a los productos de la fotosíntesis ricos en carbono. También permiten la entrada de las plantas a nutrientes raramente accesibles como P, Ca, Zn y Cu (Clapperton *et al.*, 1997), e incrementan la resistencia de los vegetales huéspedes a enfermedades de las raíces (Clapperton & Ryan, 2001). De hecho, el grado de colonización de HMVA en suelos, y por lo tanto, las ventajas debidas a ellos, se ven reducidas enormemente por la labranza, así como la presencia de cultivos de vegetales en rotaciones no compatibles con los HMVA.

En consecuencia, y siempre basado en resultados científicos, hay actualmente una tendencia notable a favor de la adopción de técnicas de conservación para prevenir las pérdidas de carbono en el suelo y las emisiones extra de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, pero también, al mismo tiempo, para incrementar el contenido en carbono del suelo (Lal, 2004; Pautian *et al.*, 1998; Reicosky, 2005). La "clave" para un futuro sostenible es moverse hacia unos sistemas de cultivo más amigables ecológicamente que sean más eficaces en el aprovechamiento de la naturaleza para mantener niveles de productividad más altos.

La Agricultura Conservativa y otros sistemas similares para el cultivo intensivo que conduzcan a una acumulación progresiva de materia orgánica en el suelo han sido probados y aplicados con éxito por agricultores en muchas partes del mundo durante los últimos 40 años. Aunque estos sistemas varían en las tecnologías aplicadas a lo largo de países, climas, suelos y tipos de cultivos, sus características comunes son que permiten a los agricultores crear condiciones más favorables para la actividad biótica en el suelo a través de:

- (a) manteniendo una cobertura del suelo a lo largo de todo un año proporcionada por el cultivo actual, incluyendo cultivos de cubierta especialmente introducidos e intercultivos y/o el mantillo aportado por los residuos conservados del cultivo anterior;
- (b) minimizando la alteración del suelo por la labranza, eliminando la labranza en conjunto una vez que el suelo se ha traído a buenas condiciones, y
- (c) diversificando las rotaciones de cultivos, secuencias y combinaciones, adaptados a las condiciones socio-económicas y medioambientales, las cuales contribuyen a mantener la biodiversidad sobre y en el suelo, y ayudar a evitar la acumulación de poblaciones de plagas en el espectro de los habitantes del suelo.

Debido a los beneficios que los sistemas CA generan en términos de cosecha, sostenibilidad de uso de la tierra, etc..., la zona bajo sistemas de la Agricultura de la Conservación han estado creciendo exponencialmente. Está estimado que, a nivel mundial, hay actualmente casi 100 millones de hectáreas de tierras arables las cuales crecen cada año sin labranza. Pero en general, excepto en unos pocos países, estas aproximaciones a la agricultura sostenible no han sido introducidas, y el área total bajo CA es todavía muy pequeña en relación a las áreas cultivadas usando labranza.

## REFERENCIAS

1. Arrue, J.L. 1997. Effect of conservation tillage in the  $CO_2$  sink effect of the soil, pp 189-200. En: L. García-Torres y P. González-Fernández (eds.), Agricultura de Conservación: Fundamentos Agronómicos, Medioambientales y Económicos, Asociación Española Agricultura de Conservación (AEAC/ SV), Córdoba, España,
2. Balesdent, J., Wagner, G.H., and Mariotti, A. 1988. Organic matter in long-term field experiments as revealed by carbon-13 natural abundance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:118-126
3. Bescansa, P., Imaz, M.J., Virto, I., Enrique, A., Briones, M.J., 2005. Influencia del laboreo de conservación y manejo de residuos en el desarrollo de poblaciones de lombrices en suelos semiáridos. In: Libro de actas del Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación. Córdoba (Spain) 9-11 noviembre, pp. 285-290
4. Besnard, E., Chenu, C., Balesdent, J., Puget, P., Arrouays, D., 1996. Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. *Eur. J. Soil Sci.* 47(4):495-503.
5. Blair, G.J., Lefroy, R.D., Lisle, L., 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management systems. *Aust. J. Agric. Res.* 46:1459-66
6. Bossuyt, H., Six, J., Hendrix, P.F., 2002. Aggregate-protected carbon in no-tillage and conventional tillage agroecosystems using carbon-14 labeled plant residue. *Soil Soc. Am. J.* 66:1965-1973.
7. Cambardella C.A., Elliot, E.T., 1992. Particulate organic matter changes accross a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777-783.
8. Cambardella, C.A., Elliot, E.T., 1993. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. *Geoderma* 56:449-457.

9. Cantero-Martínez, C., Ojeda, L., Angás, P., Santiveri, P., 2004. Técnicas de laboreo del suelo en zonas de secano semiárido. Efectos sobre las poblaciones de lombrices. *Agricultura* 866:724-728.
10. Clapperton M.J., Janzen, H.H., and Johnstoston, A.M. , 1997. Suppression of VAM fungi and micronutrient uptake by low-level P fertilisation in long-term wheat rotations. *Am. J. Alternative Agric.* 12:59-63
11. Clapperton J., Ryan, M., 2001. Uncovering the real dirt on No-Till. Rhizosphere Ecology Research Group, Agriculture and Agri-Food Canada, Lethbridge Research Centre. Alberta Canada. [http://www.sdnottill.com/Newsletters/Real\\_20Dirt.pdf](http://www.sdnottill.com/Newsletters/Real_20Dirt.pdf)
12. Crovetto, C., 2002. Cero labranza. Los rastrojos, la nutrición del suelo y su relación con la fertilidad de las plantas. Trama (ed.), Talcahuano, Chile, 225 p
13. Dalal, R.C., and Myer, R.J. 1986. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. I. Overall changes in soil properties and trends in winter cereal yields. *Aust. J. Soil Res.*, 24:265-263
14. European Environment Agency. 1998. Soil Degradation, chapter 11, p.231-246.; chapter 2, climate change, p. 37-59. In: Europe's Environment: The Second Assessment, Elsevier Science Ltd., pp. 293
15. Ernst, O., Betancour, O and Borges, R., 2002. Descomposición de rastrojo de cultivos en siembra sin laboreo: trigo, maíz, soja y trigo después de maíz o de soja. *Agrociencia*, Vol. VI, N° 1, 20-26
16. Francia F., J.R.; Martínez, A., Ruiz, S, 2000. Erosión en suelos de olivar en fuertes pendientes. Comportamiento de distintos manejos de suelo. *Edafología* 7:147-155.
17. Franzluebbers, A.J., Arshad, M.A., 1996. Water-stable aggregation and organic matter in four soils under conventional and zero tillage. *Can. J. Soil Sci.* 76:387-393.
18. Franzluebbers, A.J., Arshad, M.A., 1997. Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1382-1386.
19. Franzluebbers, 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research.* 66:95-106
20. Gebhart D.L., Johnson H.S., Mayeux, and H. W. Polley. 1994. The CPR increase soil carbon. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49: 488-492
21. Heenan DP, Chan KY & Knight PG. 2004. Long-term impact of rotation, tillage and stubble management on the loss of soil organic carbon and nitrogen from a Chromic Luvisol. *Soil & Tillage Research* 76: 59-68.
22. Hernanz, J.L., López, R., Navarrete, L. Y Sánchez-Girón, V., 2002. Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil and Tillage Res.* 66, 129-141
23. Karlen, D.L., 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 Sci. Soc. Am. J.* 61:4-10
24. Kinsella, J., 1995. The effect of various tillage systems in soil compaction, p.15-17. In: Farming for a Better Environment, A White Paper, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, pp. 67
25. Kölbl, A., Leifeld, J., Kögel-Knabner, I., 2005. A comparison of two methods for the isolation of free and occluded particulate organic matter. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168:660-667.
26. Lacasta, C., Meco, R. y Maire, N., 2005. Evolución de las producciones y de los parámetros químicos y bioquímicos del suelo, en un agrosistema de cereales, sometidos a diferentes manejos de suelo durante 21 años. Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación, 9-11 de noviembre, Córdoba, 429-436.
27. Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123:1-22.



28. López Fando, C. Dorado, J y Pardo, M.T., 2005. Soil organic carbon dynamics under no-tillage, zone tillage, minimum tillage and conventional tillage in semiarid soil from central Spain. Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación, 9-11 de noviembre, Córdoba, 447-452
29. Mariscal, I. Peregrina, F., Ordóñez, R., Mendiola, M.A., Espejo, R., 2006. Loss of organic carbon in raña´s ecosystems under different soil uses. In: Universitat de Lleida (Ed.), Soil and Water Conservation under Changing Land Use, Spain, pp. 129–132.
30. Mariscal-Sancho, I., Peregrina, F., Mendiola, M.A., Santano, J., Espejo, R., 2008 a. Dynamics of the exchange complex in Mediterranean Ultisols under various types of vegetation and soil uses. *Soil Biol. Bioch.* Under Review.
31. Mariscal-Sancho, I., 2008. Recuperación de la calidad de Ultisoles mediterraneos degradados mediante la aplicación de enmiendas y formas alternativas de uso. Tesis doctoral. ETS Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.
32. Mclauchlan, K.K., Hobbie, S.E., 2004. Comparison of labile soil organic matter fractionation techniques. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1616–1625.
33. Moreno, F., Pelegrina, F., Fernández, J.E., Murillo, J.M., 1997. Soil physical properties. water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain. *Soil Tillage Res.* 41:25-42.
34. Moreno, F., Murillo, J.M., Pelegrín, F. y Girón, I.F., 2005. Mejoras agrícolas derivadas del laboreo reducido bajo condiciones semi-áridas. *Agricultura de Conservación*, N° 1, 18-2
35. Ordóñez-Fernandez, R., Gonzalez-Fernandez, P., Giraldez-Cervera, J.V., Perea-Torres, F., 2007. Soil properties and crop yields after 21 years of direct drilling trials in southern Spain. *Soil Tillage Res.* 94:47-54.
36. Pautian K. , Cole CV., Sauerbeck D. , Sampson N. 1998. CO<sub>2</sub> mitigation by agriculture: An overview, *Climatic Change* 40(1):135-162, 1998.
37. Pulleman, M.M., Six, J., van Bremen, N., Jongmans, A.G., 2005. Soil organic matter distribution and microaggregate characteristics as affected by agricultural management and earthworm activity. *European J. Soil Sci.*, 56:453-467.
38. Rasmussen, P.E., Collins, H.P., and Smiley, R.W. 1989. Long-term management effects on soil productivity and crop yield in semi-arid regions of Eastern Oregon. Station Bulletin 675. USDA-ARS and Agricultural Experiment Station. Oregon State University, Pendleton
39. Reicosky, D.C., 2001. Conservation agriculture: global environmental benefits of soil carbon management. In: Garcia-Torres, L., Benites, J., Martinez-Vilela, A. (Eds.), Conservation Agriculture: A worldwide Challenge, XUL, Cordoba, Spain, pp. 3–12.
40. Reicosky, D.C., 2005. Impact of the Kyoto protocol ratification on global transactions of carbon. Actas I Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación. ISBN 84-930144-4-3. Asociación Española Agricultura de Conservación / Suelos Vivos, págs. 189-198.
41. Salas, A.M., Elliott, E.T., Westfall, D.G., Cole, C.V., Six, J., 2003. The role of particulate organic matter in phosphorous cycling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:181–189.
42. Sánchez, P.A., Palm, C.A., Buol, S.W., 2003. Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma* 114:157–185
43. Saviozzi, A., Biasci, A., Riffaldi, R., Levi-Minzi, R., 2001. Long-term effects of farmyard manure and sewage sludge on some biochemical characteristics. *Plant Soil* 233:251–259.
44. Six, J., Guggenberger, G., Paustian, K., Haumaier, L., Elliott, E.T., Zech, W., 2001. Sources and composition of soil organic matter fractions between and within soil aggregates. *Eur. J. Soil Sci.* 52:607–618. Six *et al.*, 2001
45. Stott, D.E., 1991. A tool for soil conservation education, *J. Soil Water Conserv.*, 46, 332.

46. Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. In: Agriculture handbook. U.S. Department of Agriculture. Washington D.C.
47. Sombrero, A., De Benito, A., González, I. y Álvarez, M.A., 2006. Influencia del laboreo sobre las propiedades químicas del suelo en Agricultura de Conservación. Agricultura de Conservación, N° 2, 34-38.
48. Wander, M., 2004. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. In: Magdoff, F., Weil, R. (Eds): Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture. Boca Raton, CRC Press, pp. 67–191.
49. Weil, R.R., Kandikar, R.I., Islam, R., Stine, M.A., Gruver, J.B, Sampson-Liebig, SE., 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. Am. J. Altern. Agric. 18: 1–15.