

La materia orgánica como indicador base de calidad del suelo

Adrián Enrique Andriulo¹ y Alicia Beatriz Irizar¹

Tendencia general en la captura de carbono en el suelo

El incremento de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, y el consecuente cambio climático tendrán efectos importantes (positivos y/o negativos) en el siglo XXI. Si se pretende reducir las emisiones de dichos gases e incrementar su captura en los suelos y en la vegetación, se deberá tomar un cierto número de medidas tecnológicas que estén acompañadas por el desarrollo de nuevas estrategias y políticas apropiadas para el manejo de la agricultura y los bosques.

Una de las estrategias disponibles para mejorar la resiliencia de los agroecosistemas es aumentar las reservas de materia orgánica del suelo (MOS), las cuales están relacionadas con efectos signifi-

cativos directos en sus propiedades y con un impacto positivo sobre las cualidades ambientales agrícolas y sobre la biodiversidad. Las consecuencias incluirán mayor fertilidad del suelo y mayor productividad de la tierra para la producción de alimentos y la seguridad alimentaria. (FAO, 2002)

La MOS es un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas como en sus funciones ambientales -entre ellas captura de C y calidad del aire. Además, es la principal determinante de su actividad biológica. La diversidad, la cantidad y la actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con ella. La MOS y la actividad biológica

¹ INTA, Estación Experimental Pergamino, Pergamino, 2700, Buenos Aires, Argentina.

que ésta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos. La agregación y la estabilidad de la estructura aumentan con su contenido. Éstas, a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible, así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica. También mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes para las plantas.

La MOS tiene una composición diversa y compleja en la que se pueden identificar varias fracciones. Estas fracciones tienen un papel muy diferente en el suelo y es necesario reconocer estas diferencias. Una consecuencia de la diversidad de materiales y funciones es que al agregar materia orgánica para mantener o mejorar su contenido en el suelo, el simple aumento en su contenido total puede no traer los beneficios esperados. Esto indica que también es necesario tener en cuenta la naturaleza, así como la cantidad de material orgánico añadido, su volumen y ubicación. Son importantes para su manejo la naturaleza y la cantidad de los residuos frescos y los flujos que se generan con la incorporación de fracciones lábiles. Si bien estamos muy lejos de comprender todas las funciones de la MOS e incluso en los casos donde se han identificado relaciones con las propiedades del suelo y las funciones, a menudo, no se entiende completamente la naturaleza de dichas relaciones. Sin embargo, está claro que la MOS dispara una serie de funciones clave que influyen en muchas de las actividades llevadas a cabo en la superficie de la tierra: una función global, a través del ciclo de C, y diferentes funciones en relación a la nutrición de las plantas, a los organismos del suelo (biodiversidad) y al medio ambiente y su gestión sostenible. Por lo tanto, es imprescindible mantener las existencias de MOS y en los casos en que éstas se han reducido de forma significativa, hay que aumentarlas. En la actualidad no hay claridad sobre lo que debería ser el umbral objetivo

de los niveles de MOS, pero está universalmente reconocido que una acción clave en la mayoría de los sistemas con suelos degradados es añadir materiales orgánicos y mejorar el contenido de MOS con prácticas agrícolas adaptadas.

La mayoría de los suelos del mundo bajo agricultura han sido esquilados de su MOS después de la aplicación de sistemas convencionales de labranza manual o mecánica, en comparación con su situación original bajo cubierta vegetal natural. Sin embargo, se ha constatado que este proceso de degradación es reversible. En muchos de los predios de agricultores, en climas húmedos y subhúmedos y en cultivos bajo riego, el contenido de MOS se ha incrementado después de cambiar las prácticas de manejo de suelos hacia la agricultura de conservación, incluyendo la labranza mínima y la SD. Incluso en condiciones semiáridas, el sistema de SD resulta eficiente, si bien con menores tasas de captura de C. La medida del progreso de la captura de C en los suelos agrícolas es técnicamente posible, pero hasta el momento, raramente ha sido hecha más allá de niveles experimentales. Para su implementación, las organizaciones regionales de suelos deberían realizar una supervisión sistemática del suelo por medio de una combinación de lugares permanentes de monitoreo, lugares de muestreo bien distribuidos, combinados con la descripción del manejo de la tierra por parte de los agricultores y la teledetección de la cobertura del suelo (FAO, 2002).

Evaluación de las reservas de MOS y sus principales cambios

En los próximos 25 años, para estimar el potencial de captura de C en el suelo bajo distintos escenarios (Batjes, 1999) será necesario distinguir dos aspectos: cuál es la existencia (reserva) actual de MOS y cuáles son los cambios en las existencias. Hay varios problemas importantes que deben ser

resueltos y también resultan escasos los datos de campo sobre los diferentes factores de control en nivel de C del suelo en períodos de 20 años, tales como: tipo de suelo, condiciones climáticas, uso de la tierra y prácticas agrícolas.

En general, los cambios producidos en los sistemas de cultivo de nuestro país en las últimas décadas fueron masivamente adoptados sin una evaluación previa de su posible impacto sobre las reservas de MOS en el largo plazo. La magnitud y el sentido de los efectos de los principales cambios tecnológicos introducidos en el escenario agrícola nacional de los últimos 30 años sobre la reserva de MOS han sido muy poco estudiados. Por ello, resulta imperativo evaluar la efectividad de los diferentes sistemas de cultivo para mitigar el efecto invernadero en la región (Irizar, 2010).

En sistemas bajo agricultura continua, el sistema de labranza y la secuencia de cultivo son los principales reguladores del ciclo y el almacenamiento de MOS (Paustian et al., 1997). Generalmente, se acepta que los sistemas de labranza afectan principalmente a la tasa de descomposición de MOS y a su pérdida por erosión, y que la secuencia de cultivos afecta, mayormente, a la cantidad C aportado (Rasmussen et al., 1980; Havlin et al., 1990; Porter et al., 1997). Si bien algunos estudios concluyeron que la reducción de las labranzas podría acumular más C en el suelo respecto a una rotación de mayor complejidad (West & Post, 2002, Apezteguía et al., 2000; Bayer et al., 2000), existe poca información al respecto.

El tipo de labranza influye sobre la localización de los residuos en el perfil del suelo. El laboreo produce una relocalización de los residuos de los cultivos. En cambio, la SD deja todos los residuos aéreos sobre la superficie del suelo, originando efectos importantes sobre su funcionamiento. Estos efectos incluyen el aumento de la dap y menor aireación, mayor estabilidad de agregados,

menor temperatura y amplitud térmica, aumento en el contenido de humedad del suelo y menor contacto de los residuos con el nitrógeno mineral del suelo (Balesdent et al., 2000). Sus combinaciones tienen un impacto muy pronunciado sobre la mineralización de la MOS (Oorts et al., 2006). La gran dispersión obtenida en las tasas de acumulación de C bajo SD de diferentes partes del mundo pueden estar relacionadas con diferencias en el clima, los sistemas de cultivo, la fertilización, la profundidad de laboreo, el tipo de laboreo, las características de suelo, y también en las profundidades de muestreo (Franzluebbers, 2004). Se debe tener en cuenta que la duración de estas tasas de cambio no es permanente y que el C podría alcanzar un nuevo equilibrio en 15-20 años (West & Post, 2002).

La secuencia de cultivo altera el momento, ubicación, cantidad y calidad de los aportes de residuos de cultivo, afectando el tamaño, la tasa de reciclado y la distribución vertical de los compartimentos de C y nitrógeno (N) (Franzluebbers et al., 1994). Además, la intensificación de la rotación actúa favorablemente sobre el balance de MOS (Wright & Hons, 2005; Dou et al., 2007). En climas más cálidos y húmedos, permite realizar un uso más eficiente de las condiciones ambientales, y al producirse mayor biomasa de residuos a través del año, existen, en el largo plazo, mayores oportunidades para ingresar C al suelo vía fotosíntesis y de lograr mayores reservas de MOS (Franzluebbers, 2004). Además, al existir un aumento de tiempo de ocupación del suelo por raíces vivas, los exudados radicales estimulan la actividad microbiana, favoreciendo la agregación (Puget & Drinkwater, 2001; Deneff & Six, 2006). A su vez, la rotación de residuos de diferente calidad produce el mismo efecto (Luo et al., 2010). Por otro lado, la desaparición o disminución del período de barbecho contribuye a aumentar las reservas de MOS (Campbell et al., 1991, 2000).

Los problemas que surgen frecuentemente al comparar resultados de investigaciones del efecto de los sistemas de labranza y/o secuencias de cultivo sobre el COS, son la profundidad hasta la que se realiza el muestreo, la que debería alcanzar al menos la profundidad de laboreo (Franzluebbers, 2004), y la expresión de los resultados. Estos últimos pueden expresarse como concentración (% g kg⁻¹), como stock (Mg ha⁻¹) a profundidad constante, o como stock (Mg ha⁻¹) en masa equivalente de suelo. La utilización de la última expresión tiene en cuenta la variación de la δ ap con la profundidad entre diferentes sistemas de labranza y/o sistemas de cultivo, y se la recomienda para evitar errores de sub o sobreestimación (Powelson & Jenkinson, 1981; Lal et al., 1998; Balesdent et al., 2000).

Además, cuando se comparan secuencias de cultivo y/o sistemas de labranza, las diferencias en MOS entre los tratamientos y su evolución en el largo plazo están afectadas por otros factores adicionales: climáticos (precipitación, temperatura), edáficos (textura, pendiente, reserva inicial de MOS), profundidad, momento de muestreo y expresión de los resultados. La magnitud y sentido de variación de cada uno de ellos y su interacción con las secuencias de cultivo y los sistemas de labranza es compleja. La fuerte interacción entre las variables en juego ha sido señalada por Lal et al. (1998) y por Paustian et al. (1997). Debido a que la gran cantidad de cambios tecnológicos introducidos en los sistemas de cultivo poseen impactos diversos sobre el ciclo de la MOS, deberían estudiarse los efectos separados de la secuencia de cultivos, del sistema de labranza, de la fertilización nitrogenada y de sus interacciones sobre el balance de la MOS. Para poder aislar los efectos de las secuencias y los sistemas de labranza sobre la evolución de la MOS en el largo plazo, es imprescindible controlar experimentalmente estas fuentes de variación adicionales. Esto se puede lograr, utilizando ensayos a campo con situación

de partida conocida, suelos con muy poca variabilidad textural y sin fases por erosión, el mismo momento de muestreo para todos los tratamientos analizados, cuya profundidad de muestreo incluya, al menos, la profundidad de laboreo y permita expresar los resultados a igual masa de suelo (OECD, 2002).

Uno de los grandes desafíos agronómicos actuales es encontrar sistemas de cultivos que mantengan o aumenten las reservas de MOS en los agroecosistemas y contribuyan a mitigar el efecto invernadero.

Propuesta de un sistema de supervisión de tierras para verificar la captura de carbono (FAO)

Será necesario contar con herramientas para la supervisión, la verificación o la certificación, de modo de poner en claro los cambios en los depósitos de C en relación con el tipo de suelo, las condiciones climáticas, la ocupación de la tierra y las diferentes prácticas de manejo. Las parcelas permanentes georreferenciadas constituyen un apoyo para la descripción de los perfiles y el muestreo para las determinaciones analíticas y la conservación de las muestras. Debe realizarse la descripción actual y anterior de la ocupación de la tierra y de las prácticas agrícolas. Es necesario considerar que un plazo de cinco a diez años es el período mínimo apropiado para supervisar cambios en los depósitos de C. La red debería estar unida a una base de datos digitales relacionados con datos de suelos y ocupación de la tierra, pero también con otras bases de datos de condiciones biofísicas o socioeconómicas que permitan la determinación de la distribución espacial en distintas escalas (nacional, regional). Unos pocos lugares pueden ser seleccionados por ecorregiones y ocupación de la tierra con diferentes prácticas y ser supervisados con más equipos a fin de obtener una evaluación más detallada de las existencias de C -por ejemplo, usando isótopos de C que

permitan la identificación de la fuente de MOS en el caso de la conversión del uso de la tierra de C3 a C4 o viceversa- y para medir los flujos del C.

Conclusión

El desarrollo de la agricultura pasada se tradujo en una disminución de las reservas de MOS creadas durante un período de larga evolución. En muchas de las tierras cultivadas, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas, ésto ha llevado a una reducción de la productividad de la tierra debido a su degradación y a la desertificación. Se ha demostrado que es posible revertir esa tendencia, si se cambia el tipo de agricultura. Los suelos pueden secuestrar en 25 años más del 10% de las emisiones antropogénicas. Al mismo tiempo, ésto proporciona otros beneficios importantes para el suelo, los cultivos, la calidad del ambiente, la prevención de la erosión y la desertificación y para el fortalecimiento de la biodiversidad. La agricultura, las tierras de pastoreo y las sabanas tienen el potencial para almacenar C, siendo prioritario generar prácticas agrícolas que mejoren el almacenamiento del C y la productividad. Nuestra atención debería ser dirigida a estos beneficios potenciales y a la necesidad de iniciar la recolección de datos y el análisis de las existencias y flujos del carbono, en escala piloto, en diferentes sitios seleccionados. También es necesario definir algunas prioridades para las tierras degradadas con medidas adaptadas para las tierras cultivadas, pasturas y agrosilvicultura. Se conoce la existencia de deficiencias en los datos asociados con las extrapolaciones regionales y globales, justificando los análisis cuantitativos y los problemas para medir e interpretar los datos de campo sobre el flujo del C. Nuestro rol debería basarse en validar y promover los conceptos; en ayudar a medir, supervisar, modelar, y finalmente en organizar redes para desarrollar y adaptar soluciones prácticas.

Bibliografía

- Apezteguía, HP; HP Salas; E. Lovera & R Sereno. 2000. El efecto de labranzas y rotaciones sobre la conservación de la materia orgánica edáfica. 11th International Soil Conservation Organization Conference, ISCO 2000. Buenos Aires.
- Balesdent, J; C Chenu & M Balabane. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.* 53: 215-230.
- Batjes, NH. 1999. Management options for reducing CO₂ concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. ISRIC. Wageningen, The Netherlands. 114 pp.
- Bayer, C; J Mielniczuk; TJC Amado; L Martín-Neto & SV Fernández. 2000. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil Till. Res.* 54: 101-109.
- Campbell, CA; VO Biederbeck; RP Zentner & GP Lafond. 1991. Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin Black Chernozem. *Can. J. Soil Sci.* 71: 363-376.
- Campbell, CA; RP Zentner; EG Gregorich; G Roloff; BC Liang & B Blomert. 2000. Organic carbon accumulation in soil over 30 years in a semiarid southwestern Saskatchewan: Effects of crop rotations and fertilizers. *Can. J. Soil. Sci.* 80: 179-192.
- Denef, K & J Six. 2006. Contributions of incorporated residue and living roots to aggregate-associated and microbial carbon in two soils with different clay mineralogy. *Eur. J. Soil Sci.* 57: 774-786.
- Dou, F; AL Wright & FM Hons. 2007. Depth distribution of soil organic C and N after long term soybean cropping in Texas. *Soil Till. Res.* 94: 530-536.
- FAO. 2002. Informe sobre recursos mundiales de suelos. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Disponible en: <http://ftp.fao.org/docrep/fao/004/y2779s/y2779s00.pdf>. Consultada el: 15/12/2011.
- Franzluebbers, AJ; FM Hons & DA Zuberer. 1994. Long term changes in soil carbon and nitrogen pools in wheat management systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1639-1645.
- Franzluebbers, AJ. 2004. Tillage and residue management effects on soil organic matter. Pp. 227-268. In: Magdoff, F & RR Weil (eds). *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, 33431.
- Havlin, JL; DE Kissel; LD Maddux; MM Claassen & JH Long. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 448-452.
- Irizar, A. 2010. Cambios en las reservas de material orgánica del suelo y sus fracciones granulométricas: efecto de la secuencia de cultivo, del sistema de labranza y de la fertilización nitrogenada. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Buenos Aires. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- Lal, R; J Kimble; RF Follet & CV Cole (eds). 1998. The potential of U.S. Cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. CRC Press, Boca Raton, Florida. 104 pp.
- Luo, Z; E Wang & OJ Sun. 2010. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agric. Ecosyst. Environ.* 139: 224-231.
- OECD. 2002. Expert Meeting on Soil Organic Carbon Indicators for Agricultural Land. Ottawa, Canadá.
- Oorts, K; B Nicolardot; R Merckx; G Richard & H Boizard. 2006. C and N mineralization of undisturbed and disrupted soil from different structural zones of conventional tillage and no-tillage systems in northern France. *Soil Biol. Biochem.* 38: 2576-2586.
- Paustian, K; HP Collins & E Paul. 1997. Management controls on soil carbon. Pp. 15-49. In: Paul, EA; K Paustian; ET Elliot & CV Cole (eds). *Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America*. CRC Press Lewis Publishers, div. of CRC Press, Boca Raton, Florida. 33431.
- Powelson, DS & DS Jenkinson. 1981. A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralization nitrogen contents of ploughed and direct-drilled soils. *J. Agric. Sci. Cambridge* 97: 713-721.
- Porter, KN; OR Jones; HA Torbert & PW Unger. 1997. Crop rotation and tillage effects on organic carbon sequestration in the semiarid southern Great Plains. *Soil Sci.* 162: 140-147.
- Puget, P & LE Drinkwater. 2001. Short-term dynamics of root- and shoot-derived carbon from a leguminous green manure. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 771-779.
- Rasmussen, PE; RR Allmaras; CR Rhode & NC Roager. 1980. Crop residue influences on soil carbon and nitrogen in a wheat-fallow system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 596-600.
- West, TO & WM Post. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1930-1946.
- Wright, AL & FM Hons. 2005. Soil carbon and nitrogen storage in aggregates from different tillage and crop regimes. *Soil Biol. Biochem.* 69: 141-147.