

El carbono orgánico del suelo fácilmente oxidable

Fabiana Limbozzi y Juan A. Galantini

La materia orgánica del suelo es sensible a los cambios de manejo y del estado del suelo. Detectar el efecto de dichos cambios requiere muchos años, razón por la cual resulta de interés el estudio de las fracciones orgánicas lábiles. El carbono oxidable con permanganato, método de aplicación reciente, deviene en una alternativa para su cuantificación en forma simple, rápida, económica y ambientalmente amigable.



El incremento de la población humana está generando una mayor presión sobre los recursos, en particular el suelo, con consecuencias directas sobre los procesos de degradación en diversas regiones del mundo. Esta situación es crítica debido a que los suelos llevan a cabo una serie de procesos esenciales, incluyendo el rol de soporte para la producción de fibras y alimentos, influenciando la calidad del aire a través de su interacción con la atmósfera y sirviendo como un medio para el almacenamiento y la purificación del agua (Wienhold et al., 2004). Los suelos pueden, de hecho, constituir la principal fuente o sumidero de dióxido de carbono dependiendo de su uso y de su manejo (Lal, 2011). Es por ello que es un recurso estratégico, donde el cuidado y protección de su estado son esenciales. En las últimas décadas se han incorporado los conceptos de calidad y salud del suelo, si bien generando cierto grado de polémica dentro de la comunidad científica, en parte debido a la complejidad del tema cuando se quiere realizar evaluación de la calidad suelo (Karlen et al., 2008).

La Sociedad de la Ciencia del Suelo de Estados Unidos definió la calidad del suelo como “la capacidad de un tipo específico de suelo de funcionar con límites naturales o de manejo para sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire y resguardar la salud humana y el hábitat (Wienhold et al., 2004). La calidad de un suelo depende de su composición natural o inherente, la cual es función de sus materiales geológicos y de sus variables o factores de estado, como el material parental y la topografía. Los atributos de calidad inherente, tales como la mineralogía y la distribución del tamaño de partículas, usualmente sufren pocos cambios a través del tiempo. Por otra parte, la caracterización de los suelos para la producción de cultivos no puede ser evaluada independientemente de ciertos factores extrínsecos tales como el clima, la topografía y los parámetros hidrológicos relacionados.

La calidad del suelo para propósitos agrícolas ha sido un tópico evaluado a lo largo del tiempo, siendo reconocida la importancia del conocimiento de sus tipos y propiedades especialmente debido a la magnitud de los efectos de su degradación y a la necesidad de implementar prácticas de manejo sostenibles en los agroecosistemas (Carter, 2002). En ese sentido, a fines de la década de los '80 la atención comenzó a cambiar de la agricultura de erosión y producción hacia la agricultura sostenible, la salud ambiental y la preservación de los recursos del suelo y en los años siguientes el concepto de calidad de suelos fue promovido en reuniones científicas y desarrollado en diversas publicaciones (Wienhold *et al.*, 2004).

A su vez, la calidad del suelo consta de una parte dinámica, conformada por aquellas propiedades que pueden sufrir cambios a través de períodos de tiempo relativamente cortos en respuesta al uso y el manejo humano y están fuertemente influenciados por las prácticas agronómicas. Entre los parámetros incluidos en esta componente se encuentran la materia orgánica del suelo (MOS) y sus fracciones (Carter, 2002)

Indicadores de la calidad del suelo

Larson y Pierce (1991), así como Doran y Parkin (1994), sugirieron la selección de un conjunto de datos mínimo de parámetros del suelo que podrían ser usados para expresar la “salud” del mismo. El primer paso en este sentido, es la identificación de parámetros que son aplicables a muchos tipos de suelo. Estos deberían tener relativamente pequeñas fluctuaciones a corto plazo y ser sensibles a la influencia de las prácticas de manejo. Así surgieron los indicadores de la calidad de suelo, los cuales se conciben como una herramienta de medición que debe ofrecer información sobre las propiedades, los procesos y las características del mismo así como sobre cambios y tendencias (Astier *et al.*, 2002 y Dumanski *et al.*, 1998 en García *et al.* 2012). Muchas veces resulta de mayor interés la combinación de estos “Indicadores” en “Índices” que reflejen alguna función del suelo, es decir, que sean “Índices Funcionales” (Toledo *et al.*, 2013, Duval *et al.*, 2016; Martínez *et al.*, 2017).

La materia orgánica como indicador

La materia orgánica en suelo es el mayor y más dinámico reservorio de carbono sobre la Tierra y, por lo tanto, un factor clave en el ciclo de carbono total. Comprender su naturaleza y

reactividad sobre los cambios ambientales ha devenido de extrema importancia para definir e incluso predecir el rol de los suelos como fuente y sumidero de carbono y el manejo sostenible del recurso del suelo (Cerli et al., 2012).

Bajo manejos conservacionistas, la MOS se incrementa, relacionándose positivamente con la conservación de la estructura de los suelos, el ciclo de nutrientes y el secuestro de carbono mientras que el manejo agrícola intensivo promueve la liberación de carbono hacia la atmósfera, la pérdida de nutrientes y la disminución de la fertilidad (Ginebra Aguilar et al., 2015).

La materia orgánica de un suelo (MOS) y sus propiedades asociadas son probablemente los indicadores de la calidad de suelo más ampliamente reconocidos (Gregorich et al, 1994).

Puesto que involucra y relaciona muchas propiedades químicas, físicas y biológicas, la MOS es considerada como un atributo clave no solo de la calidad del suelo sino también de la calidad ambiental. Los atributos de la calidad de suelo pueden ser definidos como una propiedad medible del suelo que influye sobre la capacidad del mismo para realizar una función específica. En muchos casos, la propiedad específica puede ser muy difícil de medir directamente, de modo que se utiliza un indicador para servir como una medida indirecta y práctica del atributo (Carter, 2002).

Determinación de la Materia Orgánica del Suelo

Desde los primeros trabajos en la década del '30 realizados por Walkley y Black (1934) se comenzaron a plantear diferentes metodologías para la determinación de la MO del suelo (Rosell et al., 2001).

A través de los años se efectuaron ensayos con diversos reactivos y métodos; por ejemplo, Islam y Weil (1997) evaluaron la extracción con antrona mostrando que después de un corto tratamiento con microondas, era un buen predictor de la calidad de suelos. Otros métodos colorimétricos han sido descritos en la literatura pero cada uno de ellos tiene sus propias limitaciones en lo que concierne a su complejidad, toxicidad, reproducibilidad y sensibilidad frente a las prácticas de manejo que afecta a la calidad del suelo (Weil et al.). Una recopilación más detallada de los métodos disponibles para la determinación de C en suelos y sedimentos puede encontrarse en un Schumacher (2002). Por otra parte, con el advenimiento

de la tecnología electrónica, se ha avanzado en la determinación del CO por combustión mediante analizadores (Ej. LECO, Corp. CHN Analyzer).

Paralelamente a este desarrollo, ha ido creciendo el interés de los científicos, productores y extensionistas en la obtención de información sobre la calidad del suelo en base a indicadores más sensibles, que permitan la toma de decisiones en el corto plazo (Weil et al, 2003).

Oxidación con Permanganato de Potasio

En soluciones neutras o ligeramente alcalinas, el permanganato hidroliza y oxida a los carbohidratos simples, aminoácidos, aminas, amidas de azúcares, así como a los compuestos de carbono que contienen hidroxilos, cetonas, dobles enlaces y compuestos alifáticos. Si bien el permanganato es un oxidante fuerte e inestable, sus soluciones, siendo correctamente preparadas y conservadas, mantienen su estabilidad durante varios meses. Por otra parte no reviste riegos para la salud y no necesita indicador externo para determinar el punto final en la valoración colorimétrica.

Numerosos ensayos han sido llevados a cabo a fin de determinar las concentraciones óptimas para estimar el contenido de las fracciones del COS que se encuentran relacionadas con ciertas propiedades del suelo como la agregación y la infiltración. En este sentido, Blair et al. (1995) concluyeron que para diferenciar el C activo (oxidable con permanganato) del recalcitrante (no oxidable con KMnO_4) la concentración adecuada del oxidante era 0,333 M. A su vez, encontraron contenidos de C oxidable con permanganato significativamente más altos en suelos no cultivados que en los cultivados. Blair et al. (2001) reportaron que las prácticas de manejo del suelo influyen más al POX-C que al COS total, y desarrollaron a partir de la técnica de oxidación de carbono lábil con permanganato, un Índice de Manejo de Carbono (IMC), que tiene en cuenta los cambios tanto en el C lábil como en el total en los suelos agrícolas, en relación con un sitio de referencia. Esta medición se puede utilizar para monitorear cambios a corto plazo del C, lo que es importante para determinar el efecto de las prácticas de manejo implementadas sobre la captura y dinámica del C en el sistema.

Weil *et al.* (2003) presentaron una completa revisión de las condiciones de aplicación de esta técnica a fin de desarrollar un método rápido, reproducible y seguro para la determinación del carbono “activo” como indicador sensible al efecto del manejo sobre la calidad del suelo y presentaron un protocolo de trabajo evaluando la incidencia de la molaridad de la solución de KMnO_4 utilizada, el tiempo de agitación, el uso de cloruro de calcio como floculante y la

longitud de onda de trabajo. Adicionalmente, los autores efectuaron ensayos para determinar la reproducibilidad entre laboratorios y a campo y la validación de resultados mediante la aplicación de otras técnicas. Como conclusiones consideraron adecuada la utilización de una concentración 0,002 M de KMnO_4 y 0,1 M de CaCl_2 , 2 minutos de agitación y una longitud de onda de trabajo de 550 nm. Estas condiciones de trabajo son utilizadas en la actualidad y su protocolo puede encontrarse en Culman *et al.* (2012).

Evaluando la sensibilidad y la linealidad del método, Gruver (2015) concluyó que el carbono del suelo oxidado durante 2 minutos con permanganato era un indicador sensible de los efectos de manejo. Sin embargo, sostiene que la concentración 20 mM no alcanza a proveer suficiente exceso de MnO_4^- para mantener la linealidad sobre el rango de los niveles de C comúnmente encontrados en suelos agrícolas. Por otra parte, Weil *et al.* (2003) determinaron que el POXC estaba relacionado con ciertas medidas de la actividad microbiana del suelo como el C de la masa microbiana (MBC), la respiración inducida del sustrato (SIR), el C de carbohidratos solubles y el C orgánico total del suelo.

Aplicando el protocolo de Weil *et al.* (2003), Culman *et al.* (2012) concluyeron que el carbono oxidable con permanganato estaba significativamente relacionado con todas las fracciones examinadas. El POXC tuvo una mayor correlación con las fracciones más pesadas y pequeñas del POC que con las más grandes y livianas, lo que sugiere que el POXC puede resultar muy adecuado para realizar un seguimiento de las prácticas de manejo que promueven el secuestro del carbono del suelo, constituyéndose en un indicador útil de la calidad de suelo. La sensibilidad del método y su relativa facilidad de medición, consideran los autores, sugieren que el POXC puede ser usado para evaluar rutinariamente el carbono biológicamente activo del suelo. Yang *et al.* (2012) también encontraron que la fracción de carbono oxidable con permanganato es más sensible a los cambios en los cultivos o en las prácticas de manejo que el carbono orgánico total per se.

Consideraciones finales

La necesidad de la conservación de los recursos genera una demanda de herramientas adecuadas que permitan en forma rápida, simple y segura conocer el estado del sistema.

La oxidación con Permanganato de Potasio es una técnica que reúne estas condiciones, que debe ser evaluada en condiciones de los sistemas productivos del SO bonaerense para verificar su sensibilidad y potencialidad a las condiciones locales.

Bibliografía consultada

- Alper, P. 1938. An accurate wet-combustion method for the determination of carbon in soils. *The Journal of Agricultural Science*, 28(2), 187-196.
- Blair, G.J., Lefroy, R. D. B., and Lisle, L., 1995. Soil carbon fractions, based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research* 46 1459-66.
- Carreira D. A.y M. M. Ostinelli, 2010. Carbono orgánico del suelo por Walkley y Black evaluación de dos escalas de trabajo XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo - Rosario - [31 de mayo al 4 de Junio](#)
- Carter, M. R., 2002. Soil Quality for Sustainable Land Management: Organic Matter and Aggregation Interactions that Maintain Soil Functions *Agronomy Journal* 94: 38-47
- Cerli, L. Celi, K. Kalbitz, G. Guggenberger, K. Kaiser, 2012. Separation of light and heavy organic matter fractions in soil — Testing for proper density cut-off and dispersion level. *Geoderma* 170: 403–416
- Duval M.E.; J.A. Galantini; J.M. Martínez; J.O. Iglesias. 2016. Comparación de índices de calidad de suelos agrícolas y naturales basados en el carbono orgánico. [Ciencia del Suelo 34\(2\) 197-209](#).
- Friedemann, T.E. and A. Kendall, 1929. The determination of carbon and carbon dioxide. *J. Biol. Chem.* 82:45-55
- Ginebra Aguilar, M. et al (2015) Carbono lábil como un indicador de cambios en dos suelos bajo diferentes usos. *cultrop vol.36, n.3 .pp. 64-70*
- Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A, Monreal, C.M. & Ellert, B.H., 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 74, 367–385.
- Gruver J. 2015. Evaluating Sensitivity and Linearity of a Permanganate-Oxidizable Carbon Method. *Comm. Soil Sc. & Plant Anal.* 46:490–510
- Hall, A.F, N.H.J. Miller y N. Marmu, 1906. The estimation of carbon in soils and kindred substances. *J. Chem. Soc., Trans.*, 89, 595-597.
- Islam, K.R., R.R. Weil. 1997. Stability of soil quality indices across seasons and regions. *Agronomy Abstracts*. ASA, Madison, WI. 215 pp.
- Karlen, D. L., S. S. Andrews, B.J. Wienhold and T. M. Beck, 2008. Soil Quality Assessment: Past, Present and Future *Journal of Integrative Biosciences* 6:1
- Lal, R. 2011. Sequestering carbon in soils of agroecosystems. *Food Policy* 36:533-539
- Lal, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security”, *Science*, vol. 304, no. 5677, 6 de noviembre de 2004, pp. 1623- 1627
- Martínez J.M., J.A. Galantini, M.E. Duval, F.M. López. 2015. Indicadores edáficos de la calidad de suelos con trigo bajo siembra directa en el sudoeste Bonaerense. [Ciencias Agronómicas \(FCA-UNR\) 26: 23-31](#)
- Scharlemann, JPW, E. Tanner, R. Hiederer & V. Kapos. 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool, *Carbon Management*, 5:1, 81-91
- Schollenberger, C. J., 1927. A rapid approximate method for determining soil organic matter. *Soil Science: Volume 24 - Issue 1 - pp 65-68*
- Schumacher, B. A., 2002. Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. EPA NCEA-C- 1282 EMASC-001
- Toledo M., J.A. Galantini, S. Vazquez, E. Ferreccio, S. Arzuaga, L. Giménez. 2013. Indicadores e índices de calidad en suelos rojos bajo sistemas naturales y cultivados. [Ciencia del Suelo 31\(2\) 201-212](#).
- Walkley A, Black I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.
- Walkley A., 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soil. Effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63:251-263
- Weil, R.R.; Islam, K.R.; Stine, M.A.; Gruver, J.B. y Samson-Liebig, S.E., 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *Am. J. Alternative Agric.* 18: 3–17
- Wienhold, BJ, Andrews SS, Karlen DL, 2004. Soil quality: a review of the science and experiences in the USA *Environ Geochem Health.* 26 (2-3):89-95.
- Yang, X Weidong Ren, Benhua Sun, Shulan Zhang, 2012. Effects of contrasting soil management regimes on total and labile soil organic carbon fractions in a loess soil in China. *Geoderma* 177–178 49–56