

RE-VALIDACION DEL MODELO DE ESTIMACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO PARTICULADO A PARTIR DEL TOTAL

Presentado en el XXIV Congreso Argentino de Ciencias del Suelo – Bahía Blanca – Mayo 2014

Diovisalvi, N.V.^{1,*}; Studdert, G.A.²; Reussi Calvo, N.I.^{1,2}; Domínguez, G.F.²; Berardo, A.¹

¹ FERTILAB, ² Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce

* Autor de contacto: ndiovisalvi@laboratoriofertilab.com.ar; Moreno 4524, 7600-Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina; 54-223-5761934

PALABRAS CLAVE

salud del suelo; fracciones de carbono; indicador.

INTRODUCCIÓN

El carbono orgánico total (COT) del suelo desempeña un rol importante como reservorio de nutrientes y para la estabilización de la estructura edáfica. El contenido de COT puede ser fuertemente afectado por diferentes prácticas de manejo de suelo y de cultivo que influyen sobre las ganancias y las pérdidas de carbono en el sistema (Weil & Magdoff, 2004). Estos cambios pueden ser detectados a través del monitoreo de alteraciones en su contenido y/o principalmente de una de sus fracciones lábiles, el carbono orgánico particulado (COP) (Eiza *et al.*, 2005). Este último, debido a la mayor sensibilidad respecto al carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COA), ha sido propuesto como un indicador temprano de la calidad y del estado de salud del suelo (Cambardella & Elliott, 1992). Sin embargo, a pesar de que la determinación de COP se basa en un método simple de fraccionamiento granulométrico, la técnica resulta algo tediosa y consume mucho tiempo como para ser utilizado como método de rutina en los laboratorios de análisis (Studdert *et al.*, 2006; Mirsky *et al.*, 2008). Es por ello que sería de importancia contar con un estimador del contenido de COP de fácil medición.

Ante la ausencia de registros de trabajos que estudiaran la posibilidad de estimar COP a partir de otras fracciones de carbono orgánico del suelo, Diovisalvi *et al.* (2010, 2012), propusieron ajustar un modelo exponencial que permitiera estimar COP (COPs) en función de COT en el estrato superficial (0-20 cm) de suelos con una amplia diversidad de texturas superficiales. El uso de estos modelos representaría una gran ventaja desde el punto de vista práctico debido a que sólo habría que determinar COT. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue re-validar el modelo propuesto en 2012 por aquellos autores (Diovisalvi *et al.*, 2012) para estimar COPs a partir de valores de COT observados, con datos provenientes de ensayos ubicados en distintos sitios de la Región Pampeana en suelos con diferentes clases texturales (Franco, Franco limoso y Franco arenoso), historias de cultivo y de manejo (sistemas de labranza conservacionista versus convencional, sistemas de producción agrícolas y agrícola-ganaderos, diferentes secuencias de cultivos, introducción de cultivos de cobertura, pasturas de diferentes años de implantación, distintas dosis de fertilización con nitrógeno principalmente, fósforo y azufre).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los valores de COPs fueron estimados a partir de los valores de COT mediante el modelo exponencial ajustado por Diovisalvi *et al.* (2012):

$$\text{COPs} = -I + I * \exp(r * \text{COT}) \quad (\text{Ec. 1})$$

donde COPs se expresa en g kg^{-1} , I es la ordenada al origen ($8,68 \text{ g kg}^{-1}$), r es la tasa exponencial de cambio ($0,0025 \text{ 1}/(\text{g kg}^{-1})$) y COT se expresa en g kg^{-1} .

Para la re-validación del modelo se usaron datos (0-20 cm) de COP (COPo) y de COT (n=339) de ensayos ubicados en distintos sitios de la Región Pampeana (Tabla 1).

Tabla 1. Origen de los datos (0-20 cm) empleados para re-validar el modelo de estimación de COPs a partir de COT.

Ensayo	n*	Sitio	Tipo de suelo	Clase Textural*	Referencias
Labranzas y fertilización nitrogenada	202	Unidad Integrada Balcarce	Complejo Argiudol Típico y Paleudol Petrocálcico	Fr	Domínguez <i>et al.</i> , 2009 Domínguez, G. & Studdert, G., datos inéditos.
Rotaciones de cultivos	19	Unidad Integrada Balcarce	Complejo Argiudol Típico y Paleudol Petrocálcico	Fr	Divito <i>et al.</i> , 2011
Pasturas	15	Unidad Integrada Balcarce	Natracuol Típico	FrLi	Marino <i>et al.</i> , 2012
Cultivos de cobertura	78	Oeste Bonaerense	Hapludol	FrAr	Brambilla <i>et al.</i> , 2012
Rotaciones de cultivos y fertilización	15	Sur de Santa Fe	Argiudol Típico	FrLi	Martínez, J.P., datos inéditos
Sistemas de producción y textura	4	Pampa Ondulada	sn	FrLi Fr-FrAr	Fernández <i>et al.</i> , 2010
Cultivos de cobertura	2	Marcos Juárez	Argiudol Típico	FrLi	Galarza <i>et al.</i> , 2010
Sistemas de labranza	4	Sur de Santa Fe y Norte de Buenos Aires	sn	FrLi	Álvarez <i>et al.</i> , 2012

* n: número de datos, sn: sin información, Fr: Franco, FrLi: Franco Limoso, FrAr: Franco Arenoso, Fr-FrAr: Franco a Franco Arenoso.

En todos los casos, los distintos autores utilizaron el método de fraccionamiento propuesto por Cambardella y Elliott (1992) para la obtención de la fracción $<53 \mu\text{m}$, con posterior determinación de COT y COA por combustión húmeda con mantenimiento de la temperatura de reacción (Schlichting *et al.*, 1995), combustión húmeda sin mantenimiento de la temperatura de reacción (Walkley & Black, 1934) o por combustión seca utilizando el autoanalizador LECO (2010). Los contenidos de COPo, fueron obtenidos por diferencia entre los valores de COT y COA.

Se utilizaron varias herramientas estadísticas para evaluar el grado de coincidencia entre los valores de COPo y los de COPs. Por un lado, se efectuó un análisis de regresión lineal simple de los COPo sobre los COPs. La igualdad de la ordenada al origen y de la pendiente de la recta de regresión a cero y uno, respectivamente, se evaluó con prueba de F, ya sea por separado como en forma simultánea. Por otro lado, se calculó la diferencia entre COPo y COPs para obtener el sesgo del error (SE, g kg^{-1}), y se calculó el error relativo (ER, %) como el cociente entre los SE y sus correspondientes valores observados, expresado en

porcentaje. Las medias del SE y del ER fueron referidas como media del sesgo del error (MSE, g kg^{-1}) y error relativo medio (ERM, %), respectivamente. También se calcularon la raíz del cuadrado medio de la variación (RCMV) (Kobayashi & Salam, 2000), la raíz del cuadrado medio del error (RCME) (Fox, 1981), y el coeficiente de determinación (CD) (Loague & Green, 1991). La RCMV mide la dispersión de los SE alrededor de su media (MSE) y la RCME mide la dispersión de los SE alrededor de 0. La comparación entre RCMV y RCME muestra cuán lejos o cerca está MSE de cero y, por consiguiente, la magnitud de la coincidencia entre los valores observados y los estimados. La diferencia entre el cuadrado de RCME y el cuadrado de RCMV es el cuadrado de MSE, llamado sesgo de la simulación (SS) (Kobayashi & Salam, 2000). El CD es una generalización del coeficiente de determinación de un modelo de regresión lineal (R^2) y puede mostrar valores superiores a uno, aunque cuanto más cerca esté de ese valor, la variación de los valores simulados describe mejor la de los observados. Todos los cálculos y análisis para la evaluación del comportamiento de los modelos se realizaron mediante la plataforma R (R Development Core Team, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestra la relación entre los valores de COPo en función de COT y cómo se relacionan con los de COPs (Ec. 1). Se puede observar que el modelo (Ec. 1) representó adecuadamente las variaciones en COPo.

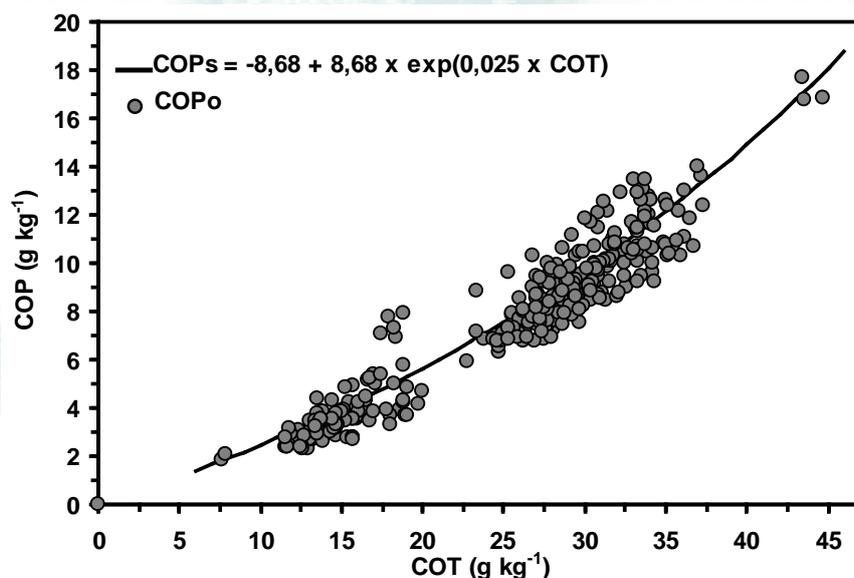


Figura 1. Valores observados de carbono orgánico particulado (COPo) en función de los contenidos de carbono orgánico total (COT) pertenecientes a datos provenientes de distintos sitios de la Región Pampeana, con diferentes texturas, historias de cultivo y de manejo, y de COP estimados (COPs) a partir del modelo (Ec. 1).

En la Figura 2 se muestran los resultados de la regresión lineal entre los valores de COPo y los de COPs (Ec. 1). La ordenada al origen fue igual ($P > 0,05$) a 0 y la pendiente fue igual ($P > 0,05$) a 1. Sin embargo, la condición conjunta de ordenada al origen igual a 0 y pendiente igual a 1 no se manifestó ($P < 0,05$). De todos modos, la variación de COPs explicó el 91% de la variación en COPo, lo que significa que el ajuste del modelo propuesto (Diovisalvi *et al.*, 2012) al re-validarlo con datos de distintos sitios de la Región Pampeana (Figuras 1 y 2), fue excelente. En validaciones anteriores con datos de COPo y COT de una única situación ambiental (un solo ensayo, Diovisalvi *et al.*, 2012), si bien el modelo había mostrado un buen desempeño, la

variación de COPs había explicado la variación en COPo en menor medida (67%). El mejor ajuste que se obtuvo en este trabajo al utilizarse datos que abarcan una más amplia diversidad de situaciones, reafirma la confiabilidad del modelo para estimar el contenido de COP a partir del de COT.

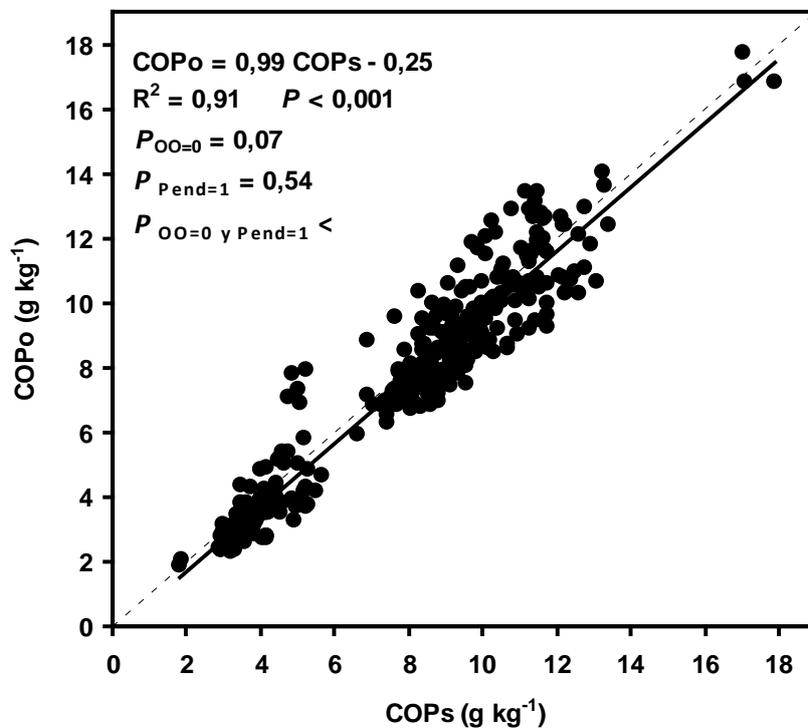


Figura 2. Resultado de la regresión lineal simple entre los valores observados (COPo) de carbono orgánico particulado y los estimados (COPs) con el modelo propuesto (Ec. 1). OO: ordenada al origen. Pend: pendiente.

En la Figura 2 se puede observar que la recta de regresión se ubica por debajo de la línea 1:1, lo que indica que los valores de COP tienden a ser sobreestimados por la ecuación propuesta. Este comportamiento también se vio reflejado en los valores de MSE y ERM, dado que fueron ligeramente negativos ($-0,33 \text{ g kg}^{-1}$ y $-7,29 \%$, respectivamente). Por otra parte, el 25,6%, el 46,9% y el 63,5% de los ER se encontraron dentro de los rangos de $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ y $\pm 15\%$, respectivamente, respecto a los valores de COPo (Figura 3). Esto significa que aproximadamente el 60% de los valores estimados no se separó más del 15% de los correspondientes observados, pero el 40% restante mostraron un sesgo mayor entre COPo y COPs. Diovisalvi *et al.* (2012) también observaron que el modelo tendía a sobreestimar los valores de COP, sin embargo el 50,5% y el 74,2% de los ER de COP se encontraron dentro de los rangos de $\pm 5\%$ y $\pm 10\%$, respectivamente. Este menor sesgo entre valores de COPs y COPo respecto a lo observado en el presente trabajo puede ser explicado por el origen de los datos. La información utilizada por Diovisalvi *et al.* (2012) provenía de un mismo ensayo con una relativamente estrecha variabilidad de valores de COPo y uniformidad en la extracción y procesamiento de las muestras. El rango de exploración de contenidos de COPo y para la presente validación fue mucho más amplia ya que se incorporaron datos de distintos sitios de la Región Pampeana, con distintos tipos de suelo bajo diferentes historias de uso y manejo. No obstante, la diversidad de fuentes de información podría relacionarse con las mayores dispersiones de los ER alrededor del 0 (Figura 3) posiblemente debido a incidencia de distintas formas de manipuleo y procesamiento de las muestras sobre los valores de COPo.

Prohibida su reproducción total o parcial sin el consentimiento previo escrito del autor.

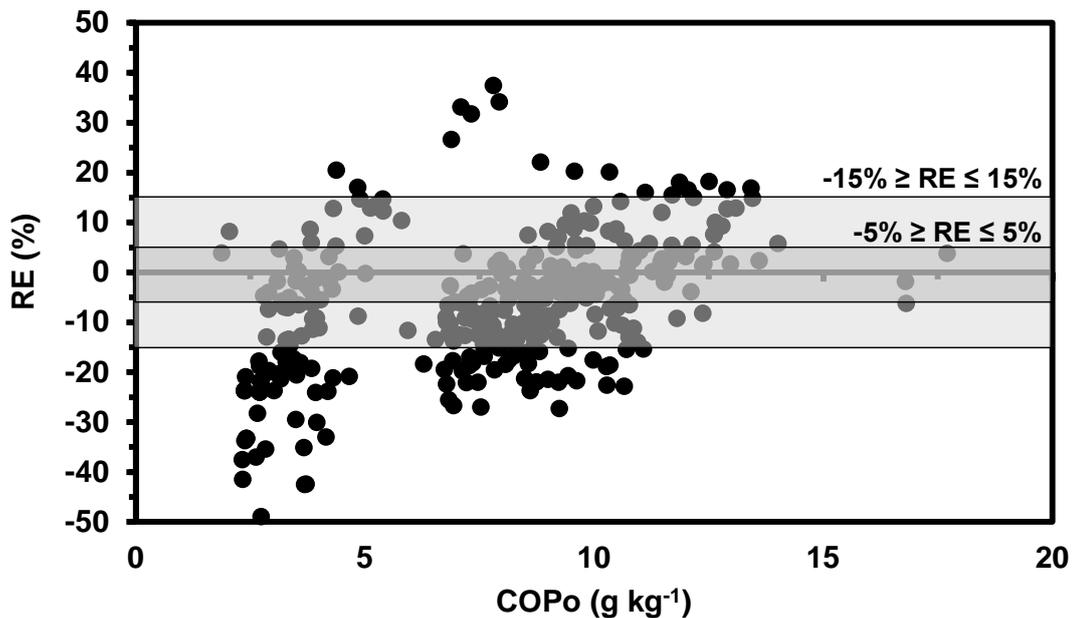


Figura 3. Valores de los errores relativos (ER) en función de los valores observados de carbono orgánico particulado (COPo) pertenecientes a datos provenientes de distintos sitios de la Región Pampeana.

No obstante, el valor de CD cercano a 1 (0,94), y los bajos valores de MSE y de ERM indican que el modelo (Ec. 1) estimó adecuadamente los contenidos de COPs en función de los contenidos de COT. Los valores de RCMV y de RCME (0,94 y 1,00, respectivamente) indican una muy baja dispersión de las diferencias entre observados y estimados tanto respecto a su media como respecto a 0, lo que da como resultado un SS casi nulo (0,11).

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo evidencian que para suelos de la Región Pampeana con texturas medias, es posible estimar satisfactoriamente el contenido de COP a través del contenido de COT. Sin embargo los resultados de la estimación con el modelo no deberían utilizarse más que como orientativos, dada la dispersión de los desvíos alrededor del 0. Por otra parte, la posibilidad de estimar el contenido de COP para ser utilizado como un indicador de calidad de los suelos, representa una ventaja desde el punto de vista práctico y es muy importante en términos de su contribución a la toma de decisiones de manejo, principalmente en el corto plazo. No obstante, para tener mayor seguridad respecto a las bondades del modelo serían necesarias nuevas validaciones con mayor cantidad de datos obtenidos ad-hoc con manipuleo y procesamiento uniforme de las muestras provenientes de zonas diversas, con diferentes texturas y condiciones de manejo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, C.R.; P.L. Fernández & M.A. Taboada. 2012. Estabilidad estructural: efecto del manejo y relación con otras propiedades edáficas. Actas XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Buenos Aires, 16 a 20 de abril de 2012. En CD.
- Brambilla, E.C.; M.J. Eiza; P. Carfagno & A. Quiroga. 2012. Cultivos de cobertura: impacto sobre la materia orgánica del suelo. Actas XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Buenos Aires, 16 a 20 de abril de 2012. En CD.
- Cambardella, C.A. & E.T. Elliott. 1992. Particulate soil organic matter. Changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Diovisalvi, N.V.; G.A. Studdert; N.I. Reussi Calvo & G.F. Domínguez. 2010. Relación entre el contenido de carbono orgánico particulado y total en suelos con diferente textura. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario, Santa Fe, 31 de mayo a 4 de junio de 2010. En CD.
- Diovisalvi, N.V.; G.A. Studdert; N.I. Reussi Calvo; G.F. Domínguez & A. Berardo. 2012. Validación de modelos para estimar fracciones de carbono orgánico del suelo. Actas XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Buenos Aires, 16 al 20 de abril de 2012. En CD.
- Divito, G.A.; H.R. Sainz Rozas; H.E. Echeverría, G.A. Studdert & N. Wyngaard. 2011. Long term nitrogen fertilization: Soil property changes in an Argentinean Pampas soil under no tillage. *Soil Tillage Res.* 114, 117-126.
- Domínguez, G.F.; N.V. Diovisalvi; G.A. Studdert & M.G. Monterubbianesi. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern Pampas. *Soil Tillage Res.* 102, 93-100.
- Eiza, M.J.; N. Fioriti; G.A. Studdert & H.E. Echeverría. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Ci.Suelo* 23: 59-67.
- Fernández, P.L.; C.R. Álvarez & M.A. Taboada. 2010. Sistemas agrícolas ganaderos vs agricultura continua en siembra directa: stock de carbono y estado físico del suelo. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario, Santa Fe, 31 de mayo a 4 de junio de 2010. En CD.
- Fox, D.G.. 1981. Judging air quality model performance: a summary of the AMS workshop on dispersion models performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 62, 599-609.
- Galarza, C.; C. Cazorla & F. Bonacci. 2010. Influencia de los cultivos de cobertura en algunas propiedades físicas del suelo en sistemas agrícolas en siembra directa. 2010. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario, Santa Fe, 31 de mayo a 4 de junio de 2010. En CD.
- Kobayashi, K. & M.U. Salam. 2000. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agron. J.* 92, 345-352.
- LECO, 2010. Organic application notes. Available online at: www.leco.com (accessed September 2010).
- Loague, K. & R.E. Green. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. *J. Contam. Hydrol.* 7, 51-73.
- Marino, M.A.; M.G. Agnusdei; N. Peralta & G. Porta. 2012. Carbono y nitrógeno en suelos ganaderos según el manejo de la pastura. Actas XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Buenos Aires, 16 a 20 de abril de 2012. En CD.
- Mirsky, S.B.; L.E. Lanyon & B.A. Needelman. 2008. Evaluating soil management use particulate and chemically labile soil organic matter fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72, 180-185.
- R Development Core Team, 2009. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. www.R-project.org. Último acceso en marzo 2010.
- Schlichting E.; H.P. Blume & K. Stahr. 1995. *Bodenkundliches Praktikum*. Paul Parey, Hamburg, Alemania. 209 pp.
- Studdert, G.A.; G.F. Domínguez; N. Fioriti; M.V. Cozzoli; N.V. Diovisalvi & M.J. Eiza. 2006. Relación entre nitrógeno anaeróbico y materia orgánica de Molisoles de Balcarce. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, 19 al 22 de septiembre de 2006. En CD.
- Walkley, A. & I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Weil R.R. & F. Magdoff. 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health, in: Magdoff, F., Weil, R.R. (Eds.), *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 1-43.