



## Informe de Avance de Tesis

23/06/2017

Alumno: Ing. Agr. Silvia Rodriguez

Director: Ing. Agr. Guillermo Alberto Studdert (*M.Sc., Dr.Ing.Agr.*)

Asesores: Lic. M. Cecilia Baeza (*Dra.*), Ing. Agr. Germán F. Domínguez (*M.Sc.*)

Título de proyecto de tesis:

### **Fracciones lábiles del carbono orgánico del suelo como indicadores de su salud**

**1. Exposición sintética de la labor experimental desarrollada (trabajos, técnicas empleadas, métodos, análisis estadístico, resultados preliminares). No exceder de 4000 palabras.**

#### **Introducción:**

La degradación del recurso suelo y la sostenibilidad agrícola se encuentran entre los problemas ambientales que han suscitado un interés creciente a nivel internacional. Esto ha conducido a la necesidad de evaluar la capacidad del suelo de cumplir adecuadamente con su función en el agroecosistema (Lal *et al.*, 2007), lo que se conoce como salud edáfica. Ésta no puede ser medida directamente, sino que se requiere integrar la información proporcionada por indicadores (físicos, químicos y/o biológicos) (Mairura *et al.*, 2007). Las variables a utilizar como indicadores deben ser sensibles para detectar cambios en el corto a mediano plazo, fáciles de medir e interpretar y accesibles a muchos usuarios (Doran *et al.*, 1999).

La materia orgánica (MO) es el componente del suelo que con más frecuencia se utiliza como indicador de su salud y de su sustentabilidad agronómica (Chen *et al.*, 2009). El contenido de MO afecta diversas propiedades químicas, físicas y biológicas relacionadas con el funcionamiento del suelo y la productividad de los cultivos (Haynes, 2005). La MO es una mezcla heterogénea de materiales que incluye residuos de cultivos y animales recientemente incorporados, azúcares simples de muy fácil descomposición, y productos bioquímicamente transformados con distinto grado de recalcitrancia, como el humus (Baldock y Nelson, 2000).

La MO del suelo está compuesta por dos compartimentos principales: una fracción estabilizada y una fracción lábil. La fracción estabilizada se compone principalmente

de sustancias húmicas resistentes a la descomposición microbiana (Sollins *et al.*, 1996) y constituye una proporción variable de la MO total (MOT), lo que depende de la textura del suelo. Por otro lado, la fracción lábil, representada por los materiales más jóvenes y biológicamente más activos, es importante porque se relaciona con el ciclado y la disponibilidad de nutrientes, la actividad microbiana, y la formación y estabilidad de los agregados (EA). Por lo tanto, está estrechamente asociada con la productividad del suelo (Carter, 2002). Si bien esta fracción representa una proporción generalmente pequeña de la MOT, es más sensible a los efectos del uso del suelo (Haynes, 2005). Por ello, su variación puede utilizarse como indicador temprano del efecto de la rotación de cultivos, de la fertilización o del sistema de labranza sobre la salud edáfica (Six *et al.*, 2002; Haynes, 2005). La mayoría de los estudios realizados sobre suelos de la Región Pampeana Argentina han reportado que los cambios ocurridos en el corto plazo debidos al manejo agronómico se manifiestan en la MO lábil en mayor medida que en la más estable (Eiza *et al.*, 2005; Galantini y Suñer, 2008; Cozzoli *et al.*, 2010). Es necesario identificar y caracterizar, entonces, qué fracciones lábiles de la MO reúnen las características requeridas para ser consideradas como indicadores de salud edáfica (Doran *et al.*, 1999) a fin de ser usadas para evaluar la magnitud de los cambios en la funcionalidad del suelo (Haynes, 2005).

El fraccionamiento de la MO lábil puede ser químico, bioquímico, físico de partículas y/o de agregados, isotópico y/o conceptual (Andriulo *et al.*, 1990). Desde el punto de vista práctico, una separación útil debería permitir aislar fracciones lábiles que tengan un significado funcional. Los métodos de fraccionamiento físico de la MO, sea por densidad o por tamaño de partícula, son relativamente simples y separan fracciones sensibles a los cambios por el uso (Galantini, 2008). El fraccionamiento físico por densidad permite separar una fracción liviana o libre (FL), compuesta por los materiales orgánicos no asociados a los minerales (Galantini, 2008). Studdert *et al.* (1997) informaron que en el Sudeste Bonaerense (SEB), la FL fue más sensible que la MOT para mostrar cambios producidos por distintas rotaciones de cultivos. Por otro lado, en el procedimiento basado en el tamaño de partícula, el suelo se tamiza por un tamiz de 53 mm y el material retenido se define como MO particulada (MOP) (Cambardella y Elliott, 1992). En el SEB se ha demostrado que la MOP es un indicador más sensible que la MOT para manifestar diferencias por efecto del manejo (Eiza *et al.*, 2005; Diovisalvi *et al.*, 2008; García *et al.*, 2016). Asimismo, se ha demostrado su estrecha relación con la capacidad del suelo de proveer nitrógeno (N) (Domínguez *et al.*, 2016; García *et al.*, 2016) y con la EA (Domínguez *et al.*, 2016). No obstante, ambos métodos demandan mucho tiempo, lo que atenta contra su uso generalizado y de rutina (Domínguez *et al.*, 2016).

Existen otros métodos que separan fracciones lábiles de la MO que son más rápidos y sencillos, y podrían ser más fácilmente utilizados. Entre ellos pueden mencionarse los métodos químicos como el carbono (C) extraíble en agua caliente (CAC) (Ghani *et al.*, 2003) y el C oxidable por una solución diluida de permanganato de potasio (CPK) (Weil *et al.*, 2003). En suelos volcánicos, Armas-Herrera *et al.* (2013), al comparar diferentes procedimientos físicos y químicos de fraccionamiento, encontraron que el CAC fue el que mejor se correlacionó con la fracción de C potencialmente mineralizable. Ghani *et al.* (2003) hallaron una fuerte correlación de esta fracción con

el N potencialmente mineralizable y con la EA del suelo. Por su parte, Weil *et al.* (2003) demostraron que el CPK fue más sensible a los efectos de manejo que la MOT, y estuvo más estrechamente relacionado con la productividad y las propiedades biológicas del suelo, tales como la respiración, la biomasa microbiana y la EA.

Si bien en el SEB se ha demostrado que la MOP ha sido sensible a los cambios producidos por el uso del suelo, la complejidad operativa de su determinación limita la posibilidad de utilizarla para evaluar rutinariamente la salud edáfica. La necesidad de realizar controles periódicos de la funcionalidad del suelo conlleva a la búsqueda de otros posibles indicadores que no han sido utilizados en las condiciones edafoclimáticas del Centro-SEB. Consecuentemente, en este trabajo se pretende evaluar cómo el CAC y el CPK se relacionan con distintas propiedades fisicoquímicas del suelo y con el comportamiento de los cultivos.

### **Hipótesis**

Para suelos bajo producción del Centro-SEB se hipotetiza que:

- El CAC es sensible a los cambios producidos por prácticas de manejo agrícola, se relaciona positivamente con la MOP y con la EA, y negativamente con la respuesta a la fertilización nitrogenada del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) o cebada (*Hordeum vulgare* L.).
- El CPK es sensible a los cambios producidos por prácticas de manejo agrícola, se relaciona positivamente con la MOP y con la EA, y negativamente con la respuesta a la fertilización nitrogenada del cultivo de trigo o cebada.

### **Objetivo general**

- Evaluar el comportamiento de las fracciones lábiles de la MO CAC y CPK como indicadores de salud edáfica.

### **Objetivos específicos**

- Evaluar el contenido de CAC, CPK, MOP y MOT en sitios destinados al uso agrícola y con diferentes texturas superficiales del suelo.
- Evaluar la relación de CAC, CPK, MOP y MOT entre sí, y con la EA, con otras propiedades del suelo (p.e. N anaeróbico, N disponible a la siembra de los cultivos) y con la respuesta a N en trigo o cebada.

### **Materiales y Métodos:**

#### **Sitios de muestreo:**

A la fecha, se tomaron la totalidad de las muestras de suelo previstas, para las profundidades de 0-5 y 5-20 cm, en campos de productores en posiciones georreferenciadas cubriendo un amplio espectro de situaciones de manejo y de tipos de suelo del Centro-SEB. Además, se tomaron muestras de una situación de referencia (i.e. equiparable a la situación prístina) en cada sitio de muestreo (Figura 1). Por otro lado, en cada sitio de muestreo, se realizó un ensayo de fertilización con N al cultivo de trigo o cebada, a efectos de relacionar las variables determinadas en el suelo con la respuesta de los cultivos al agregado de N.

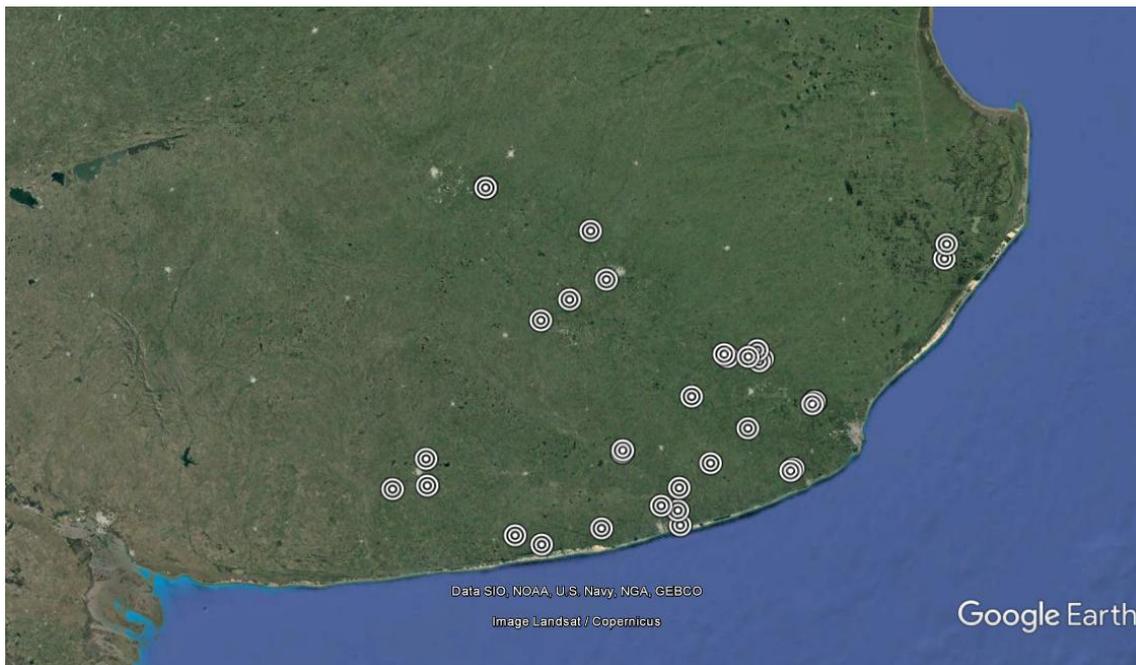


Figura 1. Mapa de la provincia de Buenos Aires. Los puntos representan los campos de los productores donde se tomaron las muestras de suelo.

#### Técnicas analíticas:

- a. Se determinó el contenido de C orgánico total por combustión húmeda con mantenimiento de la temperatura de reacción (Nelson y Sommers, 1982). Se estimó el contenido de MOT a partir del C orgánico total utilizando el factor 1,72 (Eyherabide *et al.*, 2014).
- b. Se determinó el contenido de C asociado a la fracción mineral del suelo para obtener el C orgánico particulado por diferencia con **a** (Cambardella y Elliott, 1992). Determinación de C según **a**. Se estimó el contenido de MOP a partir del C orgánico particulado utilizando el factor 1,72 (Eyherabide *et al.*, 2014).
- c. Se determinó el contenido de CAC a partir de muestras húmedas (Ghani *et al.*, 2003). Determinación de C según **a**.
- d. Se determinará el contenido de CPK (Weil *et al.*, 2003).
- e. Se comenzará la determinación de textura (Kettler *et al.*, 2001).
- f. En los cultivos, se determinó rendimiento y acumulación de materia seca.

Se dispondrá de información de EA, N mineral a la siembra de los cultivos (0-60 cm) y N anaeróbico (0-20 cm) (García, G.V., comunicación personal, 2017).

El presente trabajo es un estudio de tipo observacional, en función del objetivo que se pretende alcanzar. En este sentido, no existe un diseño experimental pre-planeado. En relación al análisis estadístico, para determinar el grado de asociación entre la variable CAC con la MOP y la MOT se realizó un análisis de correlación. También se realizarán correlaciones para determinar el grado de asociación entre las variables CAC y CPK con la EA, N anaeróbico, entre otras. Por otra parte, una vez obtenida la totalidad de los resultados, podrán realizarse análisis multivariados tales como la metodología de análisis de componentes principales, y árboles de regresión. Todos los análisis

estadísticos se realizan utilizando con el programa estadístico “R” (R Core Team, 2015).

### Resultados Preliminares- Discusión

En la Figura 2 se muestra la relación entre la MOP y la MOT para todas las situaciones estudiadas. Coincidiendo con lo reportado por Tettenborn (2013) y Diovisalvi *et al.* (2014), la variación en MOP fue explicada de manera altamente significativa ( $P < 0,001$ ) por la variación de MOT.

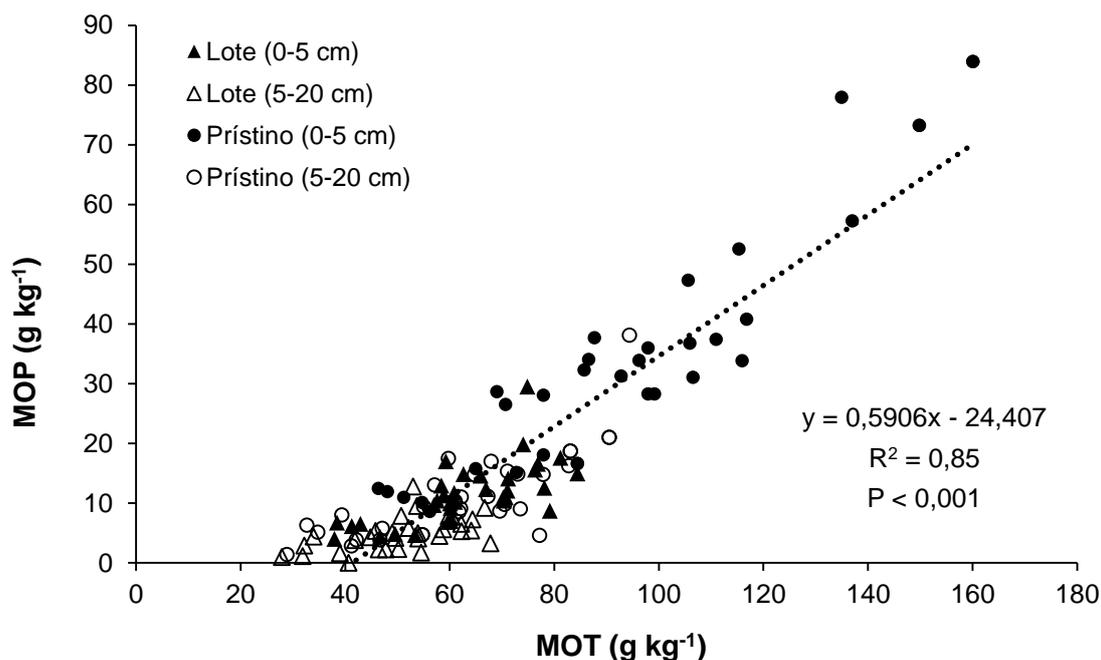


Figura 2. Relación entre la materia orgánica particulada (MOP) y la materia orgánica total (MOT), para las diferentes situaciones estudiadas.

En concordancia con lo que ocurre entre la MOP y la MOT, se puede observar que existe una estrecha relación entre el CAC y la MOT (Figura 3a.) y entre el CAC y la MOP (Figura 3b.). Para todas las situaciones estudiadas, la variación en CAC fue explicada de manera significativa ( $P < 0,001$ ) tanto por la variación de MOP como por la de MOT.

Cabe aclarar que sólo se cuenta con dos repeticiones de laboratorio de la técnica para determinar el contenido de CAC, trabajando con las muestras húmedas tal como describen la técnica Ghani *et al.* (2003). Los coeficientes de variación (CV), si bien no muy altos, no son acordes con repeticiones de laboratorio (muchos, alrededor de 10%). Por lo tanto, se procederá a realizar algunos ajustes más y pruebas de alternativas de implementación de la metodología de laboratorio a fin explorar la posibilidad de lograr la disminución de los CV.

Respecto a la determinación del contenido de CPK, si bien ya se ha puesto a punto la técnica, aún no se ha realizado esta determinación a las muestras.

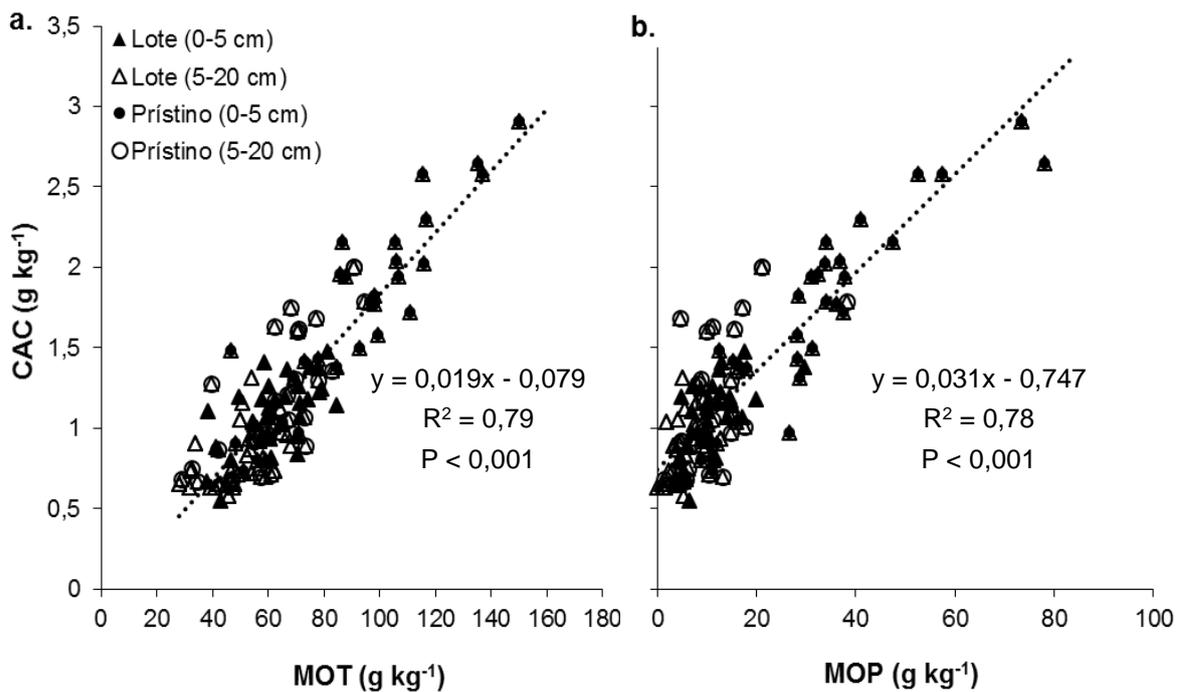


Figura 3. Relación entre el carbono extraíble en agua caliente (CAC) y la materia orgánica total y particulada (MOT a. y MOP b.), para las diferentes situaciones estudiadas.

### Consideraciones preliminares

De manera preliminar, se puede afirmar que el CAC se relaciona positivamente con la MOP y la MOT. Sin embargo, aun no sería apropiado sacar conclusiones ya que es necesario realizar más determinaciones de CAC y todas las determinaciones de CPK.

### 2. Principales dificultades para la ejecución del trabajo.

Las dificultades presentadas estuvieron en general, relacionadas con el tipo de inconvenientes que se presentan cuando se deben estandarizar nuevas metodologías de laboratorio, como ser la disponibilidad de equipamientos, la adecuación de los mismos para la utilidad de la técnica a emplear, la demora en la provisión de material y/o reactivos, etc. Aún es necesario mejorar el ajuste de la metodología de laboratorio para la determinación del contenido de CAC a fin de ver si es posible lograr menor variabilidad entre las repeticiones de laboratorio.

También se han presentado inconvenientes con la recopilación de información de los lotes de campos de productores donde se realizaron los muestreos de suelo.

### 3. Grado de cumplimiento del proyecto original.

Hasta el momento se cumplió con un total de 452 horas de cursos y actividades académicas correspondientes al Programa de la MPV. Además,

- Se realizó y se continúa realizando revisión bibliográfica sobre la temática.
- Se realizó el muestreo de suelo y el acondicionamiento de muestras.

- Se establecieron los ensayos en los cultivos de trigo y cebada.
- Se realizó la cosecha y el muestreo de plantas en los ensayos, se determinó rendimiento y biomasa aérea.
- Se efectuó la optimización de las metodologías y técnicas propuestas.
- Se realizaron las determinaciones de:
  - a. C orgánico total (combustión húmeda con mantenimiento de la temperatura de reacción, Nelson y Sommers, 1982).
  - b. C asociado a la fracción mineral del suelo para obtener el C orgánico particulado por diferencia con a. (Cambardella y Elliott, 1992). Determinación de C según a.
- Se realizaron dos repeticiones de laboratorio de la determinación de CAC (Ghani *et al.*, 2003). Determinación de C según a.
- Se comenzará la determinación de textura (Kettler *et al.*, 2001).
- Resta la determinación del contenido de CPK (Weil *et al.*, 2003).

#### 4. Cronograma para cumplir las tareas a completar dentro del plazo (24 meses para maestría).

En función de los inconvenientes detallados con anterioridad se modificó el cronograma propuesto en el pre proyecto, quedando como sigue:

Actividades a desarrollar	Meses									
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Cursos correspondientes al Programa de la MPV		x								
Revisión bibliográfica	x	x	x	x	x	x	x	x		
Preparación y presentación del avance de tesis	x	x								
Determinación de CAC y CPK	x	x	x	x						
Determinación de EA y textura	x									
Procesamiento y análisis estadístico de la información			x	x	x	x	x			
Preparación de publicaciones y/o presentaciones a congresos				x	x	x	x	x		
Redacción del Trabajo Final de Tesis				x	x	x	x	x	x	

#### 5. Publicaciones relacionadas con el proyecto de tesis.

La información generada será presentada en congresos nacionales como el XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo que se desarrollará en San Miguel de Tucumán del 15 al 18 de mayo de 2018. Asimismo, los resultados obtenidos se publicarán en revistas con referato nacional e internacional. Se prevé difundir prácticas de manejo ambientalmente seguras al medio productivo (productores y profesionales de la actividad privada) a través publicaciones de divulgación y de charlas, jornadas y cursos. Los resultados serán transmitidos, además, a los alumnos de grado y postgrado en las asignaturas relacionadas con el conocimiento y el manejo de los suelos.

## 6. Grado de avance en la redacción del manuscrito de tesis

No se ha comenzado con la redacción del manuscrito ya que aún se están realizando determinaciones correspondientes al proyecto de tesis.

## 7. Bibliografía

- ANDRIULO, A.; GALANTINI, J.; PECORARI, C.; TORIONI, E. 1990. Materia orgánica del suelo en la región Pampeana Argentina. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. *Agrochimica (Italia)* XXXIV(5-6):475-489.
- ARMAS-HERRERA, C.M.; MORA, J.L.; ARBELO, C.D.; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, A. 2013. Labile carbon pools and biological activity in volcanic soils of the Canary Islands. *Spanish J. Soil Sci.* 3(1):7-27.
- BALDOCK, J.A.; NELSON, P.N. 2000. Soil organic matter. In: Sumner, M.E. (ed.) *Handbook of soil science*. CRC Press, Boca Raton, Florida, EEUU. pp. B25–B84.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56(3):777-783.
- CARTER, M.R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94(1):38-47.
- CHEN, H.; HOU, R.; GONG, Y.; LI, H.; FAN, M.; KUZ'YAKOV, Y. 2009. Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. *Soil Tillage Res.* 106(1):85-94.
- COZZOLI, M.V.; FIORITI, N.; STUDDERT, G.A.; DOMÍNGUEZ, G.F.; EIZA, M.J. 2010. Nitrógeno liberado por incubación anaeróbica y fracciones de carbono en macro- y microagregados bajo distintos sistemas de cultivo. *Ciencia del Suelo* 28(2):155-167.
- DIOVISALVI, N.V.; STUDDERT, G.A.; DOMÍNGUEZ, G.F.; EIZA, M.J. 2008. Fracciones de carbono y nitrógeno orgánicos y nitrógeno anaeróbico bajo agricultura continua. *Ciencia del Suelo* 26(1):1-11.
- DIOVISALVI, N.V.; STUDDERT, G.A.; REUSSI CALVO, N.I.; DOMÍNGUEZ, G.F.; BERARDO A. 2014. Estimating soil particulate organic carbon through total soil organic carbon. *Ciencia del Suelo* 32(1): 85-94.
- DOMÍNGUEZ, G.F.; GARCÍA, G.V.; STUDDERT, G.A.; AGOSTINI, M.A.; TOURN, S.N.; DOMINGO, M.N. 2016. Is anaerobic mineralizable nitrogen suitable as soil health indicator? *Spanish J. Soil Sci.* 6(2):en prensa.
- DORAN, J.W.; JONES, A.J.; ARSHAD, M.A.; GILLEY, J.E. 1999. Determinants of soil quality and health. In: Lal, R. (ed.) *Soil Quality and Soil Erosion*. CRC Press. LLC, Boca Raton, Florida, EEUU. pp. 17-36.
- EIZA, M.J.; FIORITI, N.; STUDDERT, G.A.; ECHEVERRÍA, H.E. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Ciencia del Suelo* 23(1):59-67.
- EYHERABIDE, M.; SAINZ ROZAS, H.R.; BARBIERI, P.A.; ECHEVERRÍA, H.E. 2014. Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelos. *Ciencia del Suelo* 32(1): 13-19.
- GALANTINI, J.A. 2008. Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo. En: Galantini, J.A. (ed.) *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Univ. Nac. del Sur. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. pp. 19-39.
- GALANTINI, J.A.; SUÑER, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* XXV(1):41-55.
- GARCÍA, G.V.; STUDDERT, G.A.; DOMINGO, M.N.; DOMÍNGUEZ, G.F. 2016. Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis: relación con sistemas de cultivo de agricultura continua. *Ciencia del Suelo* 34(1):en prensa.
- GHANI, A.; DEXTER, M.; PERROTT, K.W. 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biol. Biochem.* 35(9):1231–1243.
- HAYNES, R.J. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Adv. Agron.* 85:222-268.

- KETTLER, T.A.; DORAN, J.W.; GILBERT, T.L. 2001. Simplified method for soil particle-size determination to accompany soil-quality analyses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65(3):849-851.
- LAL, R.; REICOSKY, D.C.; HANSON, J.D. 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil Tillage Res.* 93(1):1-12.
- MAIRURA, F.S.; MUGENDI, D.N.; MWANJE, J.I.; RAMISCH, J.J.; MBUGUA, P.K.; CHIANU J.N. 2007. Integrating scientific and farmers' evaluation of soil quality indicators in Central Kenya. *Geoderma* 139(1-2):134-143.
- NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A.L. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties.* Agron. Monogr. 9. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, EEUU. pp. 539-579.
- R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. Versión 3.2.3. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at <http://www.R-project.org/> (Accessed 03 April 2013).
- SIX J.; CALLEWAER, P.; LENDERS, S.; DE GRYZE, S.; MORRIS, S.J.; GREGORICH, E.G.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. 2002. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66(6): 1981-1987.
- SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B.A. 1996. Stabilization and destabilization of soil organic matter: Mechanisms and controls. *Geoderma* 74(1-2):65-105.
- STUDDERT, G.A.; ECHEVERRÍA, H.E.; CASANOVAS, E.M. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic argiudoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61(5):1466-1472.
- TETTENBORN, S. 2013. La materia orgánica particulada en el Sudeste Bonaerense y su relación con la respuesta a nitrógeno en trigo (*Triticum aestivum* L.). Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 46 p.
- WEIL, R.R.; ISLAM, K.R.; STINE, M.A.; GRUVER, J.B.; SAMSON-LIEBIG, S.E. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *Am. J. Alternative Agr.* 18(1):3-17.