

REVISIÓN

# Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina

Galantini, J.A. y L. Suñer

## RESUMEN

La materia orgánica (MO) es el indicador utilizado con más frecuencia para evaluar la calidad del suelo; sin embargo, es escaso el conocimiento sobre sus efectos directos e indirectos. La MO es una mezcla heterogénea de compuestos orgánicos con propiedades diferentes. La separación de sus fracciones por métodos físicos, químicos y bioquímicos puede mejorar la comprensión del papel de la MO en el suelo. El objetivo de este trabajo fue analizar algunos estudios realizados aplicando principalmente métodos de fraccionamiento físico, particularmente en suelos de la Argentina. Las fracciones orgánicas separadas físicamente han demostrado ser indicadores sensibles a los efectos de las diferentes prácticas agronómicas. Debido a la variabilidad de la fracción lábil, el momento de muestreo, las condiciones edafoclimáticas y la metodología aplicada deben ser tenidas en cuenta para interpretar los resultados.

**Palabras clave:** fracciones de la materia orgánica del suelo, calidad de suelo.

Galantini, J.A. y L. Suñer, 2008. Soil organic matter fractions: analysis of Argentine soils. Agriscientia XXV (1): 41-55

## SUMMARY

Soil organic matter (SOM) is the most frequently used indicator to evaluate soil quality; however, its direct and indirect effects are not well known. SOM is a heterogeneous mixture of organic compounds with different properties. Organic fraction separation by physical, chemical and biochemical methods can improve the understanding of the SOM role. The objective of this review was to analyze the information on physical fractionation methods applied to Argentine soils. Organic fractions physically separated are sensible indicators of the impacts of agronomic practices. The moment in which samples were taken, the climatic and soil characteristics, and the methodology used must be considered in interpreting the results due to the labile fraction variability.

**Key words:** soil organic matter fractions, soil quality.

J.A. Galantini, y L. Suñer. Comisión Investigaciones Científicas (CIC) - CERZOS, Dpto. Agronomía - UNS, San Andrés 800 (8000) Bahía Blanca. Correspondencia a J.A. Galantini: jgalanti@criba.edu.ar.

## INTRODUCCIÓN

La materia orgánica (MO) es el atributo del suelo que con más frecuencia se utiliza en los estudios de largo plazo como un indicador importante de su calidad y de su sustentabilidad agronómica (Reeves, 1997). Su importancia se basa en la influencia que tiene sobre otros indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo. Sin embargo, la relación entre los diferentes indicadores y las funciones del suelo no siempre es directa, y puede no necesariamente estar asociada la cantidad con el mejor estado del sistema (Janzen *et al.*, 1992).

Aun con la importancia que tiene la MO para la producción agropecuaria, no existen métodos de rutina que midan su contribución a la productividad, o bien no hay un consenso amplio sobre su forma de aplicación. El conocimiento sobre el aporte de nutrientes que ella realiza es escaso, motivo por el cual las estimaciones de la necesidad de fertilizantes se basan más en la disponibilidad inicial, rendimiento esperado e historia de cultivos, que en la cantidad y la calidad de la MO (Magdoff *et al.*, 1984; Dahnke & Johnson, 1990).

### Definición de MO del suelo

La MO está compuesta elementalmente por C, H, O, N, P y S en cantidades variables, lo que hace difícil una evaluación directa de su contenido en el suelo (Rosell *et al.*, 2001; Carreira, 2005). La mayoría de los métodos analíticos cuantifican el carbono orgánico (CO), con el que se puede estimar la MO utilizando factores adecuados para cada suelo (Galantini *et al.*, 1994).

En un sentido amplio, la MO es la fracción del suelo compuesta por restos de organismos vivos. También ha sido definida como "la fracción orgánica

del suelo, excluidos los residuos animales y vegetales aún no descompuestos" (SSSA, 1997) y se ha utilizado como sinónimo del humus (Schnitzer, 2000). En realidad, la MO se encuentra constituida por una variedad importante de compuestos de complejidad variable en un continuo estado de transformación. Este material varía desde los residuos de cultivos y animales recientemente incorporados hasta la compleja estructura del humus alcanzada luego de siglos de transformación.

Aun cuando algunas definiciones excluyen al material fresco del suelo, los residuos y sus productos de transformación son un importante componente de la fracción activa de la MO. Ellos, además de cumplir un rol clave en el balance de la MO, tienen un significado biológico y físico fundamental en los equilibrios del suelo.

### Las fracciones orgánicas

En esta mezcla heterogénea de material orgánico no existen límites definidos; sin embargo, desde el punto de vista funcional y conceptual es importante fijarlos. Es posible definir varios compartimentos discretos con una relación inversa entre su tamaño y su velocidad de descomposición, donde las fracciones más abundantes se descomponen más lentamente. La disponibilidad para los microorganismos de cada uno de estos compartimentos dependerá de su composición química, relación C:N, estado de humificación y ubicación dentro de la matriz del suelo (Sollins *et al.*, 1999; Balesdent *et al.*, 2000).

La importancia funcional de la MO varía sistemáticamente con su edad. Los materiales más jóvenes son los biológicamente más activos, aquellos de edad intermedia contribuyen notablemente al estado físico edáfico, mientras que los más antiguos presentan una marcada influencia sobre la reactividad físico-química del suelo.

Desde el punto de vista productivo y de la calidad del suelo, la dinámica de la MO total aporta muy poco para el estudio de los efectos de las prácticas agronómicas de corto plazo (Tan *et al.*, 2007). Esto se debe a que las fracciones orgánicas más abundantes en el suelo son las de cicladas más lento, por ello se necesita gran cantidad de años para observar esas diferencias. En cambio, las fracciones lábiles son más sensibles a los efectos del uso de la tierra, motivo por el cual pueden utilizarse como indicadores tempranos del efecto de la rotación de cultivos, de la fertilización o del sistema de labranza sobre la calidad del suelo (Haynes, 2000; Six *et al.*, 2002).

## EL ESTUDIO DE LA MATERIA ORGÁNICA A TRAVÉS DEL TIEMPO

El concepto de humus fue cambiando y lo ha hecho mucho más que el de MO, atravesando diferentes etapas (Manlay *et al.*, 2006). Este cambio refleja la evolución en el conocimiento del rol que tiene la MO en el suelo, el reconocimiento del impacto antrópico y el cambio en la relación entre el hombre y la naturaleza. El estudio de las diferentes fracciones orgánicas fue cambiando en el mismo sentido, junto con las metodologías y el desarrollo de nuevos equipos, impulsados por la necesidad de respuestas cada vez más rápidas.

### Concepto clásico de materia orgánica o humus

El paralelismo entre el concepto de humus y MO dirigió los estudios hacia el esclarecimiento de la estructura, propiedades y función de las sustancias húmicas. Las observaciones de campo mostraban diferencias en cantidad y calidad luego de muchos años, como consecuencia de su estabilidad. La asociación directa humus - MO fue la consecuencia de desconocer durante mucho tiempo el importante aporte que realiza el resto del material orgánico en vías de transformación.

Después de más de un siglo de estudios sobre el humus, se avanzó mucho en el conocimiento de la estructura de las moléculas que lo componen, de los grupos funcionales que caracterizan a las sustancias húmicas, de la reactividad dentro del suelo, así como su importante papel en la formación de los complejos órgano-minerales y la estructura del suelo. Sin embargo, el adelanto en el conocimiento de las transformaciones en el corto plazo, su aporte a la nutrición de los cultivos y su dinámica en el tiempo fue escaso.

La separación del material orgánico menos transformado, sean residuos de cultivos o sus productos

de transformación, fue un esfuerzo tendiente a cuantificar las fracciones más dinámicas de la MO del suelo. Se observó que ellos eran responsables de la rápida caída de los contenidos de MO al cultivar los suelos vírgenes y que eran fácilmente afectados por el manejo agronómico. Muchos estudios llegaron a conclusiones semejantes, destacando su sensibilidad a los cambios en el sistema de producción, su dinámica en el corto plazo y su importante papel en el ciclo de los nutrientes.

Numerosos fueron los métodos bioquímicos y físicos desarrollados para la separación de las fracciones más activas de la MO del suelo (Jenkinson & Powlson, 1976; Christensen, 1992, 2001).

### Percepción actual de las transformaciones en el suelo

El estudio de las sustancias húmicas como el de las fracciones menos transformadas permiten conocer diferentes aspectos de la MO. Considerar al humus como "la materia orgánica" o considerarlo un componente "inerte" del suelo son puntos de vista parcializados que resultan poco útiles. Para la fertilidad del suelo son tan importantes la MO humificada, como los residuos de cultivos y sus productos de transformación o la biomasa microbiana. La descomposición de la MO, para ser fuente de nutrientes, dependerá tanto de la estructura y complejidad química del material orgánico como del grado de protección que encuentre en el suelo.

Un enfoque útil debe plantear una visión integral, donde se consideren la calidad y las transformaciones de las fracciones orgánicas, así como el ambiente en donde interaccionan el sustrato y los microorganismos. En este sentido, la combinación de métodos de fraccionamiento y la consideración de los diferentes mecanismos de protección de la MO en el suelo son elementos claves que modifican la velocidad de las transformaciones (Balesdent *et al.*, 2000; Galantini *et al.*, 2002).

Surge de esta forma la importancia del balance entre las diferentes fracciones de la MO como un indicador del "estado orgánico" del suelo, teniendo en cuenta el ambiente físico y los factores que modifican los equilibrios. Es fundamental conocer en que medida los factores naturales modifican la MO del suelo y cual es el efecto de diferentes prácticas de manejo.

Teniendo en cuenta las diferentes alternativas de fraccionamiento de la MO del suelo, se planteó como objetivo del presente trabajo analizar aspectos metodológicos y resultados obtenidos en estudios realizados en Argentina.

### Terminología utilizada

Generalmente se utiliza el término fracción para describir un componente medible de la MO. En cambio, el término compartimiento o reserva (o pool) es utilizado para separar teóricamente componentes con diferente cinética. En los resultados que se presentan, se mencionará como fracción lábil el compartimiento teórico más dinámico de la MO del suelo, que puede incluir fracciones separadas física, química y/o bioquímicamente, como por ejemplo, MO particulada (MOP) o liviana (MOL).

## FRACCIONAMIENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA

### Tipos de fraccionamiento

Una separación útil debería permitir aislar fracciones de la MO de forma tal que tengan un significado funcional diferente, que sean sensibles para detectar efectos de corto plazo de los diferentes sistemas de producción y que aporten información relevante sobre el ciclado y la disponibilidad de nutrientes. El fraccionamiento ideal debería permitir de manera simple la extracción completa de un determinado material orgánico en todos los suelos, sin alteraciones ni contaminantes. En la práctica esto no se ha logrado y difícilmente se logre en corto plazo.

Para separar fracciones con velocidades de ciclado semejantes se debe tener en cuenta cuáles son los factores que modifican la transformación de la MO en el suelo. Es aquí donde las complicaciones son mayores, ya que pueden predominar factores químicos, físicos o biológicos en forma más o menos simultánea.

Desde su ingreso al suelo, los residuos orgánicos sufren una serie continua de transformaciones, por lo que simultáneamente podemos encontrar una amplia variedad de compuestos orgánicos, sin límites definidos. Conceptualmente se pueden diferenciar dos fracciones con características y propiedades marcadamente diferentes: los residuos orgánicos, material vegetal y animal en diferentes fases de su transformación, que pueden representar entre 5 y 35% del carbono del suelo; el material humificado con peso molecular relativamente elevado, amorfo, coloidal y coloración amarilla a oscura. Ésta es la fracción más estable y puede representar de 50 a 85% del material orgánico del suelo.

La separación de estos materiales se puede basar en las características químicas de los materiales orgánicos, como en su composición o reactividad,

así como en aspectos físicos asociados a su ubicación en el ambiente edáfico, su tamaño o su densidad. En este sentido, existe una amplia variedad de alternativas interrelacionadas que se pueden agrupar en: fraccionamiento químico, bioquímico, físico de partículas y/o de agregados, isotópico y conceptual (Andriulo *et al.*, 1990).

El fraccionamiento químico se aplica para determinar el tipo y la cantidad de elementos y componentes moleculares en la MO, ya sea para caracterizarla como para estudiar sus interacciones con los constituyentes naturales o agregados al suelo.

El fraccionamiento físico de los componentes orgánicos del suelo se basa en el rol de los minerales edáficos dentro de la estabilización y el ciclado de la MO. Se lo puede considerar químicamente menos destructivo y sus resultados directamente relacionados con la estructura y función de la MO *in situ*.

El nombre de las fracciones orgánicas separadas por métodos físicos generalmente está asociado con características del material aislado, aspectos operacionales o conceptuales (Andriulo *et al.*, 1990; Elliott & Cambardella, 1991; Gregorich & Ellert, 1993; Sollins *et al.*, 1999; Wander, 2004). Se la ha denominado: materia orgánica "joven" (MOJ), "particulada" (MOP), "liviana" (MOL), "libre", "activa", "macro-materia orgánica", etc. La definición se desprende de todas estas denominaciones: es el material orgánico más joven y activo del suelo, compuesto por partículas de mayor tamaño que el humus, en forma libre en la matriz mineral, y por eso es más liviana que los complejos órgano-minerales.

El fraccionamiento bioquímico permite cuantificar las fracciones lábiles de la MO relacionadas con la actividad microbiana. Esta actividad puede estimarse a partir de la producción de CO<sub>2</sub> luego de fumigar el suelo (Jenkinson & Powlson, 1976), del incremento de la respiración inducido por sustrato, la cantidad de ATP (Horward & Horward, 1990) o de la respiración del suelo (Alvarez & Alvarez, 2000). La información obtenida a través de estos métodos es útil para el estudio de la dinámica de la MO en muy corto plazo.

### Relación entre los métodos de fraccionamiento físico

Es necesario conocer en detalle las características de la mezcla de elementos presentes en el suelo para comprender metodológicamente qué se está separando y cuál es su importancia funcional. A modo de ejemplo, la Figura 1 resume la ubicación de las partículas orgánicas e inorgánicas, así como de los agregados, desde el punto de vista de su

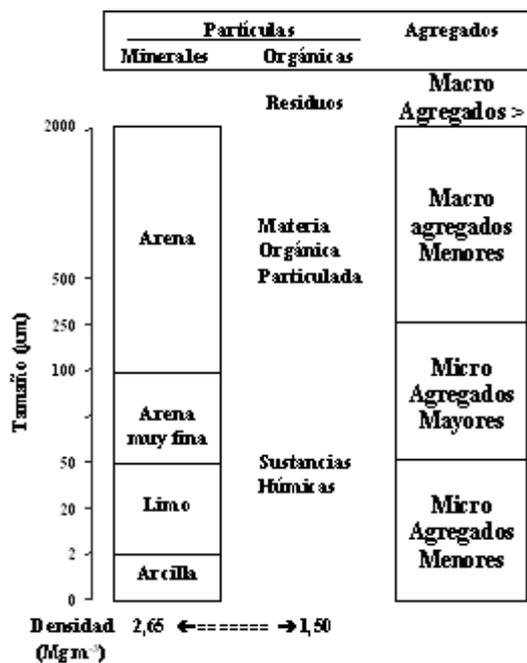


Figura 1: distribución relativa de los diferentes tamaños de partículas minerales y orgánicas, y de agregados

tamaño y densidad. La definición de los límites de las partículas minerales y de los tamaños de agregados es ampliamente aceptada.

En cuanto a las fracciones orgánicas, en la medida que aumenta el tamaño disminuye su complejidad y el tiempo de residencia medio en el suelo. El límite puede ser fijado arbitrariamente en 50, 100, 200  $\mu\text{m}$ , según los objetivos de la evaluación que se realiza (Galantini, 2005).

Con base en la densidad, el límite puede ser fijado entre 1,8 y 2,2  $\text{Mg m}^{-3}$ , obteniendo material con características diferentes. A menor densidad hay mayor cantidad de materiales orgánicos (densidad  $\cong 1,5 \text{ Mg m}^{-3}$ ) y cuanto mayor es la densidad se obtiene mayor cantidad de material inorgánico (densidad  $\cong 2,65 \text{ Mg m}^{-3}$ ).

#### Características de la fracción orgánica lábil

La fracción de la MO separada físicamente está compuesta por una mezcla de residuos de plantas y animales en diferentes etapas de su transformación, que entre otros incluye microorganismos, esporas, polen, semillas, fitolitos y residuos carbonizados (Spycher *et al.*, 1983; Baisden *et al.*, 2002). Esta mezcla tan heterogénea de materiales diferentes hace que su composición sea muy variable,

con características intermedias entre la MO del suelo y la de los residuos de cultivos. La MOL es más parecida a estos últimos que la MOP (Gregorich & Ellert, 1993).

El contenido de C de los posibles constituyentes de la fracción lábil es variable y la cantidad de cada uno de ellos será determinante de las características del material aislado. La proporción de residuos de cultivos (con 40-44% de C), de sustancias humificadas (con 50-60% de C) o de fitolitos (predominantemente constituidos por sílice o calcio) será determinante del valor de C obtenido en la fracción.

Gregorich *et al.* (2006) analizaron la información existente sobre las características de las fracciones lábiles en suelos agrícolas, con pasturas o forestales. Ellos encontraron que en general el C decrecía en el sentido agricultura – pastura – forestal mucho más en la MOP que en la MOL. Además, su contenido de C era muy variable, de 2 a 65% en la MOP y de 0,3 a 74% en la MOL. Esta variabilidad revela sustanciales diferencias en la calidad del material obtenido, asociadas a aspectos metodológicos, características de los suelos y/o manejos estudiados.

Los fitolitos, partículas de sílice hidratadas de origen vegetal, representan alrededor del 50% de los limos finos del horizonte A de los suelos de la serie Pergamino, con una densidad menor a 2,30  $\text{Mg m}^{-3}$  (Pecorari *et al.*, 1990). Ellos pueden ser un elemento importante cuya presencia disminuya el contenido de carbono de esta fracción.

La MOP representa una fuente importante de nutrientes disponibles en el corto y mediano plazo, por ello es importante conocer su calidad. En la región semiárida pampeana se estudiaron 85 muestras superficiales (0-20 cm) de suelos en siembra directa y se encontró que en cada tonelada de MOP había 40, 1, 6 y 3  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, P, K y S (Galantini & Landriscini, 2007). En este estudio también se estableció que los factores determinantes fueron el cultivo antecesor y la calidad del material aportado, particularmente si se trataba de leguminosas o gramíneas con alta relación C:N.

#### Dinámica de las fracciones orgánicas

La descomposición de la MO fresca implica la ruptura en piezas cada vez de menor tamaño y un aumento de su densidad, como consecuencia de la pérdida del aire atrapado en las estructuras vasculares que se van destruyendo.

Generalmente se define al humus como el producto final de la transformación de los residuos orgánicos. En realidad es el producto con mayor grado de transformación, pero que continúa evolucionando

**Tabla 1.** Estudios de diferentes fracciones orgánicas en suelos de diferentes sitios de Argentina

#	Autor/es	Localización	Clasificación del suelo	*	Situaciones analizadas
1	Nico <i>et al.</i> , 1997	La Plata (BA)		A	Labranzas
1	Vazquez <i>et al.</i> , 2001	Los Hornos (La Plata, BA)	Argiudol típico	A, P	Natural, eucaliptos, paraíso, pradera
2	Studdert <i>et al.</i> , 1997; Studdert & Echeverría, 2000	Balcarce (BA)	Argiudol Típico	P, B	Rotación, pastura, cultivos
2	Videla <i>et al.</i> , 2004	Balcarce (BA)		P, D; B	Pastura SD y LC
2	Dominguez <i>et al.</i> , 2006	Balcarce (BA)			SD LC 3 años con y sin riego
2	Eiza <i>et al.</i> , 2005	Balcarce (BA)	Argiudol típico	A D	Agricultura pastura
2	Casanova <i>et al.</i> , 1995 <sup>ab</sup>	Balcarce (BA)	Argiudol típico	A, Q	Rotaciones
3	Fabrizzi <i>et al.</i> , 2003	Balcarce, Tandil (BA)	Paleoudol Petrocalcico Argiudol Típico	P(3)	Labranzas
4	Andriulo <i>et al.</i> , 1990	18 suelos RP	Argiustoles verticos, típicos, acuicos; Haplustoles énticos y típicos; Hapludoles típicos	A	
5	Hashimoto <i>et al.</i> , 1989	Rojas (BA)	Argiudol típico	D	Agricultura (S0-M3) (M3-M2)
6	Canteros <i>et al.</i> , 2003	12 de octubre, Chacabuco, 9 de Julio (BA)	Durrustalf; Durustol Entico; Argiudol udico; Haplustol típico	A	Monte, labranzas
7	Alvarez & Alvarez 2000	Pergamino (BA)	Argiudol típico	P, D	Diferentes manejos
8	Diaz Zorita & Buschiazzo, 2006	Gral. Villegas (BA)	Haplustol típico	P(3)	Rejas 10 años; SD 10 años; Pastura 15 años
9	Ferreras <i>et al.</i> 2001	Casilda (SF)	Argiudol típico	A	SD y LC
10	Krüger <i>et al.</i> 2004	Guamini (BA)	Hapludol Típico	p	Rotación
11	Mandolesi <i>et al.</i> , 2002	Tres Arroyos (BA)	Argiudol típico	P, Q	Varios LC y SD
12	Galantini <i>et al.</i> , . 2002, 2004, 2006, 2007	S-SO Pcia. BA	Haplustol éntico y típico, Argiustol típico	P	Varias texturas, rotaciones, labranzas.
12	Venanzi <i>et al.</i> , 2001	Bordenave (BA)	Haplustol típico		Sistemas de labranza
12	Minoldo <i>et al.</i> , 2004	Bordenave (BA)	Haplustol típico		Rotaciones
13	Piccolo <i>et al.</i> , 2004	7 sitios Misiones	Kandiumult típico; Oxisoles	A (5)	Virgen, yerbal (línea, calle y con pasto elefante)
14	Dalurzo <i>et al.</i> , 2001	Sur Misiones	Entrudox ródico	P	Selva, yerbal
15	Vilche <i>et al.</i> , 2002	Villarino (SF)	Argiudol vertico	A	Labranzas
16	Ciarlo <i>et al.</i> , 2004	Paraná (ER)		P	Natural, 100 agrícola
16	Sanchez <i>et al.</i> , 2004	Entre Ríos	Vertisoles	A	Pasturas
	Rivarola & Rosell en prensa	Paraná	Vertisoles	A	Labranzas
17	Gudelj & Weir, 2000	Marcos Juárez	Argiudol típico	A	
18	Hang & Barriuso, 2002	Córdoba	Haplustol éntico Argiustol típico	P	SD
18	Apezteguia, 2005	Piquillín	Haplustol éntico	P	Virgen, agricultura, rotaciones
19	Bongiovanni & Lobartini, 2006	Manfredi (Cba) Centro Cordoba	Haplustol típico Haplustol típico	A (4), P, Q	Natural cultivado
20	Urioste <i>et al.</i> 2006	El Caldenal	Haplustol típico Haplustol éntico	P	Natural, cultivados
21	Miglierina <i>et al.</i> , 1997	El Caldenal	Calciutal petrocalcico	P	Estratos: arbóreo, arbustivo, pastos
22	Buschiazzo <i>et al.</i> , 2001	Gral. Pico Sta Rosa	Haplustol éntico Ustisament típico	A	Virgen cultivado

# referencia del sitio (Figura 2); \*, fraccionamiento por tamaño de partícula (P), por densidad (D), de agregados (A), químico (Q), bioquímico (B) y entre paréntesis cantidad de fracciones separadas; RP, región pampeana.

**Tabla 1.** Continuación

#	Autor/es	Localización	Clasificación del suelo	*	Situaciones analizadas
23	Quiroga <i>et al.</i> , 1996, 2001	52 La Pampa	Haplustoles	P	Natural, cultivados y rotación
24	Hevia <i>et al.</i> 2003	10 Sitios RSAP	Ustipsament típico; Haplustol éntico; Haplustol típico; Haplustol éntico; Haplustol típico	P, D	Referencia Cultivado
25	Noellemeyer <i>et al.</i> 2006	Victoria (LP)	Haplustol éntico	P, B	Campo natural Distinta textura
26	Desjardins <i>et al.</i> , 2006	Mercedes Corrientes	Alfisoles	P (5)	Natural, arroz
27	Sanchez <i>et al.</i> 2004	Sgo. del Estero		P	Testigo monte y 3 secuencias diferentes
27	Roldan <i>et al.</i> 2000	Sgo. del Estero		P, D	Testigo, agricultura reciente y antigua
28	Albanesi <i>et al.</i> 2003	Dpto Moreno Sgo. del Estero	Haplustol éntico, típico Argiustol típico, údico	P, D	Natural, agricultura 7 y 20 años
29	Corbella <i>et al.</i> 2008	Este Tucumán		P	Monte, LC, SD
30	Broquen <i>et al.</i> 2005	Neuquén	Udivitránd tháptico; Hapludand típico; Hapludand típico; Vitrixerand húmico; Haploxerol vitrándico	Q	Transecta Dif. Vegetación

# referencia del sitio (Figura 2); \*, fraccionamiento por tamaño de partícula (P), por densidad (D), de agregados (A), químico (Q), bioquímico (B) y entre paréntesis cantidad de fracciones separadas; RSAP, región semiárida Pampeana.

con el tiempo, sólo que cada vez más lentamente. La dinámica de la MO depende tanto de su composición química como de la ubicación e interacción en la matriz del suelo, aspectos que condicionan su accesibilidad para los microorganismos o enzimas (Sollins *et al.*, 1999). Está relacionada con el aporte de materia seca, así como con las características del clima (precipitación, temperatura) (Alvarez & Lavado, 1998) y del suelo (textura, profundidad, etc.).

Los aspectos relacionados con la calidad de la MOP, aislada por densidad o por tamaño, brindan información importante sobre el estado de la fracción lábil del suelo, mientras que los estudios sobre los factores que controlan la descomposición biológica de los residuos aportan la base para entender cómo su calidad influye sobre la dinámica de la MO.

A continuación se analizan los estudios de las fracciones lábiles de la MO realizados sobre suelos de la Argentina y relacionados con la disponibilidad de nutrientes, el efecto antrópico y su utilidad como indicador de la calidad del suelo. La síntesis de ellos se presenta en la Tabla 1 y la ubicación geográfica en la Figura 2.

## EFFECTO ANTRÓPICO SOBRE LAS FRACCIONES ORGÁNICAS

La mayoría de los estudios encuentran que los cambios en el corto plazo debidos al manejo agronómico son más importantes en la MO lábil que

en la más estable.

En general, el efecto de los diferentes tratamientos es más evidente sobre el C de la MOP que sobre su N, por diferentes motivos. Si bien la cantidad de C y N en la MO se encuentra estrechamente relacionada, sus cinéticas son diferentes. El C parece ser más dinámico que el N.

Los cambios en el balance entre las fracciones orgánicas son diferentes cuando se estudian rotación de cultivos, sistemas de labranza o aplicación de fertilizantes, y están estrechamente relacionados con las características de la vegetación. Si bien a continuación estos aspectos se presentan separados, están estrechamente relacionados.

### Rotación de cultivos

Eiza *et al.* (2005) concluyen que las rotaciones cortas de agricultura-pastura, la SD y la fertilización nitrogenada mejoran el COP y el COT. Para las condiciones de este experimento, COP fue un indicador más sensible que COT, y capaz de detectar los efectos de las prácticas de manejo.

Krüger *et al.* (2004) en suelos de Guaminí observaron que la rotación pastura (5 años) – agricultura (5 años) en el largo plazo (30 años) aumentaba la MO total a razón de 0,35 Mg ha<sup>-1</sup> por cada año de pastura, pero no producía cambios marcados en la MOP.

Mandolesi *et al.* (2002) estudiaron diferentes

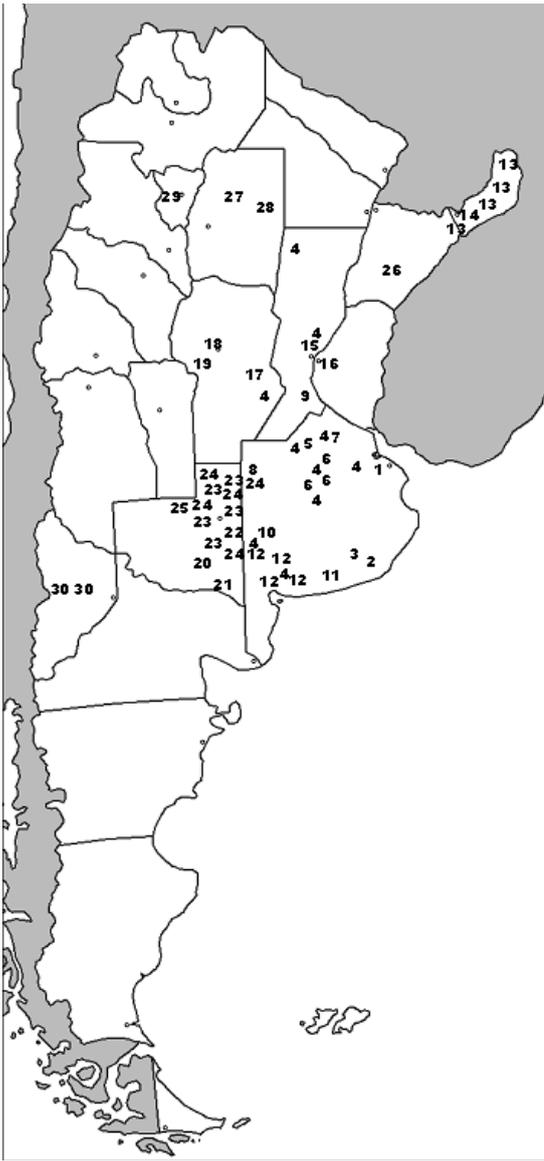


Figura 2: Fracciones orgánicas en suelos de Argentina: Localización de algunos estudios.

secuencias agrícolas durante 10 años, encontrando que la relación COP/COT fue el indicador más sensible para detectar los cambios ocurridos en el suelo. Resultados semejantes fueron observados por Galantini *et al.* (2002) durante la rotación trigo-leguminosa. Las fracciones lábiles de la MO, así como su relación con la fracción resistente, reflejaron las diferencias entre las dos fases de la rotación (Galantini *et al.*, 2002). La inclusión de ciclos cortos de leguminosas forrajeras dentro de la rotación con trigo aumentó el contenido de las fracciones orgánicas lábiles y modificó la composición

y estructura de la fracción orgánica más compleja, como son los ácidos húmicos.

Estos cambios pueden afectar positivamente la fertilidad química y física de los suelos, así como la productividad del sistema.

## Labranzas

### Roturación de suelos no cultivados

Al cultivar los suelos naturales se observa una importante pérdida de MO (Balesdent *et al.*, 2000). La labranza acelera la mineralización de la MO y disminuye el contenido de CO y nutrientes, a la vez que la reducción de la estabilidad estructural incrementa la pérdida de las fracciones inorgánicas por erosión (Urioste *et al.*, 2006); en la región pampeana éstas han variado entre 35 y 73% del nivel original (Migliorina *et al.*, 2000; Krüger *et al.*, 2004). Estos cambios requieren muchos años para volver a su condición natural (Desjardins *et al.*, 2006).

La MO lábil es muy sensible a descomponerse cuando los sistemas son disturbados, y de esta forma su ciclado aumenta más que el de las fracciones física o químicamente protegidas (Galantini *et al.*, 2004). No obstante, su ubicación dentro de los agregados estables puede protegerla de la actividad microbiana (Piccolo *et al.*, 2004).

Cuando la intensidad de laboreo se acentúa, el efecto se observa también en las fracciones más resistentes, es decir en las sustancias húmicas (Galantini & Rosell, 1997).

Hevia *et al.* (2003) estudiaron 10 sitios diferentes de la región semiárida pampeana comparando situaciones naturales y cultivadas; la pérdida de COT debida al cultivo fue importante en todos los casos pero no modificó la relación entre las fracciones analizadas. En general, y a pesar de las extracciones realizadas por las cosechas, los aportes de carbono son mayores en los suelos cultivados, indicando que el factor más importante en el equilibrio es la velocidad de transformación de esa MO.

Urioste *et al.* (2006) estudiaron el efecto de la agricultura en tres suelos en La Pampa. Encontraron que la fracción de agregados mayores a 100  $\mu\text{m}$  fue la más sensible al manejo y en la que pueden ocurrir las mayores pérdidas de CO (73%) y fósforo orgánico (64%) respecto a los valores originales.

El tamaño de agregados que más CO pierde al cultivar el suelo varía según la textura del suelo (Buschiazzo *et al.*, 2001).

El efecto de la agricultura depende según los tipos de suelos (Canteros *et al.*, 2003). Los cambios

en el contenido de CO también dependerán de la topografía; son menos sensibles los sectores bajos que poseen condiciones ambientales particulares (Albanesi *et al.*, 2003).

La relación entre las fracciones orgánicas y la textura hace que la erosión eólica tenga un efecto significativo sobre los contenidos de las fracciones orgánicas, mientras que el régimen hídrico y térmico se encuentran más relacionados con la MO humificada (Hevia *et al.*, 2003).

La labranza de campos naturales produce pérdidas variables de las fracciones orgánicas, y dependen del suelo (textura), del clima (relación precipitación:temperatura) y manejo (cantidad y momento de las labranzas).

### Sistemas de labranza

El efecto de la siembra directa (SD) sobre el contenido de CO del suelo es variable y depende del nivel de partida, las condiciones climáticas, características del suelo, productividad del sistema y metodología de cálculo (Díaz Zorita & Buschiazzi, 2006; Steinbach & Alvarez, 2006; Galantini & Iglesias, 2007).

En el SO chaqueño, la SD incrementó la MO, pero en forma diferente según el tipo de suelo y la secuencia de cultivos (Canteros *et al.*, 2003).

La SD produce un aumento de la densidad aparente si se la compara con la labranza convencional (LC); por ello las diferencias en la cantidad de MO (expresada como Mg ha<sup>-1</sup>) son mayores que en la concentración (expresada como porcentaje). Esta mayor compactación puede llegar a valores que limitan la productividad de los cultivos (Ferrerías *et al.*, 2001).

La fracción lábil de la MO tiende a acumularse en la capa superficial de suelos en SD, pero este efecto disminuye al comparar capas de suelos más profundas (Nico *et al.*, 1997; Apezteguía & Sereno, 2002; Galantini *et al.*, 2005). Paralelamente, en SD se detectó un enriquecimiento en el contenido de CO estable, que puede estar asociado al régimen de humedad menos variable que permite mayor humificación debida a la actividad biológica (Amado *et al.*, 2007).

Ferrerías *et al.* (2001) al comparar los efectos de diferentes labranzas encontraron que las diferencias en la concentración de CO en las fracciones fueron variables y no significativas. Después de 5 años del inicio de la experiencia, la MO tendió a acumularse en la superficie del suelo en SD, con un efecto significativo en la reducción de la densidad aparente máxima que pueden alcanzar esos suelos (Ferrerías

*et al.*, 2001).

En el SO bonaerense se observó que el aumento de la intensidad de laboreo disminuyó el contenido de MO del suelo, alteró la relación entre las fracciones lábiles y resistentes (Galantini, 2001; Galantini *et al.*, 2002). También, se perdieron nutrientes (N y S) y se modificó la estructura de los ácidos húmicos (AH) donde aumentó la cantidad relativa de grupos aromáticos en relación a los alifáticos.

La aplicación de sistemas de labranza diferentes produjo cambios significativos en el corto plazo, asociados con la ubicación de los residuos y las condiciones para su humificación (Venanzi *et al.*, 2001). Las condiciones de humedad y disponibilidad de N fueron las condicionantes más importantes para los procesos de mineralización de la MO y humificación de los residuos de cultivos.

La SD aumentó el COT en los suelos degradados, mientras que en los no degradados produjo una estratificación de la MOP (Fabrizzi *et al.*, 2003). Ésta puede ser un buen estimador del N potencialmente mineralizable, y en conjunto pueden utilizarse como indicadores sensibles (Fabrizzi *et al.*, 2003).

Con LC las pérdidas más importantes son en la MOP, pero también son afectadas las fracciones estables (Galantini *et al.*, 2006).

### Fertilización

La fertilización tiene un efecto variable sobre el balance de carbono en el suelo. Cuando la disponibilidad de nutrientes aumenta, la producción de los cultivos también lo hace, pero cada vez con menor eficiencia. El aumento de la producción está asociado a mayor producción de materia seca total y por lo tanto mayor aporte de residuos al suelo con efecto positivo sobre su MO. En cambio, la pérdida de eficiencia está asociada a mayor cantidad de nutrientes no utilizados por el cultivo, los que quedan disponibles y pueden estimular la actividad microbiana y el consumo de sustratos orgánicos, con un efecto negativo sobre la MO.

En algunos estudios se observó que la fertilización afecta en forma diferente a las fracciones orgánicas, por lo que se modifica la relación entre ellas (Minoldo *et al.*, 2004) y cambia la calidad de la fracción más resistente (Galantini & Rosell, 2006). En otros casos, en cambio, la fertilización no produjo un efecto positivo sobre el balance de carbono del suelo (Gonzalez Montaner *et al.*, 2004; Andriulo *et al.*, en prensa).

Los efectos positivos se observan cuando se realiza una fertilización del sistema (García *et al.*, 2006) y cuando se combina con otras buenas prácticas

agronómicas (Miglierina *et al.*, 2000).

La variabilidad en los resultados se debe a que el efecto de la fertilización depende de la dosis aplicada, del balance de nutrientes y del momento de aplicación.

### Vegetación

Vázquez *et al.* (2001) aplicaron un fraccionamiento combinado de agregados por tamizado en seco (Andriulo *et al.*, 1990) y de partículas por densidad (Richter *et al.*, 1975) para estudiar la dinámica de la fracción no humificada en suelos con especies herbáceas y arbóreas. Los agregados mayores a 0,1 mm fueron los que presentaron los mayores contenidos de CO liviano, CO total y N total. Sus resultados pusieron en evidencia que la dinámica de las fracciones menos humificadas y ligadas a la macroagregación puede evaluarse en estudios a mediano plazo utilizando este tipo de metodología.

En el Caldenal, se ha visto que la acumulación de material orgánico depende de la disponibilidad de agua, pero también de la calidad del material orgánico, en especial sus contenidos de N y de lignina (Miglierina *et al.*, 1997).

El tipo de vegetación y las condiciones climáticas tienen influencia sobre las características del suelo, en particular sobre su contenido de carbono y la relación entre las fracciones (Broquen *et al.*, 2005).

## LAS FRACCIONES LÁBILES Y LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

Algunos estudios han demostrado que la relación entre el rendimiento del cultivo y la MO se encuentra por debajo de un umbral (Howard & Howard, 1990, Janzen *et al.*, 1992). Si bien en muchos casos se ha encontrado relación significativa entre el contenido de MO y las propiedades del suelo, es escasa la evidencia de su contribución cuando se encuentra por debajo o por encima de un determinado umbral crítico (Loveland & Webb, 2003). Posiblemente, esto se deba a las variaciones que dependen del tipo de suelo y características climáticas (Baldock & Skjemstad, 1999; Quiroga *et al.*, 1996).

La necesidad de estimar la provisión de N durante la mineralización de la MO ha llevado al estudio de las fracciones biológicamente más dinámicas (Spycher *et al.*, 1983; Mulvaney *et al.*, 2001), las que son más sensibles pero también más difíciles de utilizar como índices por su variabilidad anual.

La velocidad de descomposición de cada una de

las fracciones decrece con el aumento de la densidad o la disminución del tamaño (Hassink, 1995). La MO asociada a la fracción gruesa del suelo tiene un reciclado más rápido (Desjardins *et al.*, 2006).

La alta correlación entre los cambios en el contenido de MOP o MOL y la respiración del suelo o la mineralización del N, encontrada en muchos estudios, pone en evidencia el papel de esta fracción como fuente de energía y nutrientes en el corto plazo (Hassink, 1995; Alvarez *et al.*, 1998; Alvarez & Alvarez, 2000; Magid & Kjærsgaard, 2001).

Algunos estudios indican que el N de la MOP no está directamente relacionado con el N mineralizado, pero puede ser utilizado para su estimación (Curtin & Wen, 1999). El contenido de C y la calidad de la MOP pueden brindar información más precisa de la dinámica del N que el mismo contenido de N. Esto es porque la actividad heterotrófica, responsable de la amonificación, depende de la disponibilidad de MOP.

Altos contenidos de N en la MOP están asociados con una acentuada capacidad potencial de aportar N (Koutika *et al.*, 2001). Este potencial es variable en el año (Wilson *et al.*, 2001) y puede condicionar la respuesta a la fertilización así como la eficiencia en el uso del fertilizante (Quiroga *et al.*, 2001; Galantini *et al.*, 2007).

Si bien para estimar N potencialmente disponible es necesario conocer la fracción orgánica involucrada, también se deben conocer las fuentes de variabilidad, su distribución y cuánto influyen (Hassink *et al.* 1989).

La asimilación del N aplicado aumenta cuando hay mayor MOP en el suelo (Nissen & Wander, 2003), lo que indica una posible mayor intermediación biológica en la medida que las reservas de MO lábil se incrementan.

## LAS FRACCIONES LÁBILES COMO INDICADOR DE LA CALIDAD DEL SUELO

La MO lábil tiene un significado especial para el funcionamiento del ecosistema edáfico, ya que representa una fuente de energía primaria para los organismos heterótrofos y una reserva de nutrientes.

Bolinder *et al.* (1999) encontraron un efecto significativo del manejo sobre la abundancia relativa de la fracción orgánica lábil, con una mayor abundancia de la MOP (20-25%), los carbohidratos hidrolizables (10-15%) y la MOL (5-10%). La menos abundante fue la más sensible a los diferentes manejos.

En pastizales naturales de la región semiárida

pampeana los parámetros más sensibles para reflejar las diferencias en la calidad del suelos fueron el contenido de COT, de COP y la relación entre ambos, junto con el contenido de agregados mayores de 8 mm y menores de 1 mm (Noellemeyer *et al.*, 2006).

La relación MOP/MOT es un importante indicador del efecto de diferentes manejos que modifican el aporte de carbono o su velocidad de descomposición (Galantini *et al.*, 2004; Noellemeyer *et al.*, 2006). Sin embargo, también se deben tener en cuenta las características del suelo (Quiroga *et al.*, 2001; Galantini *et al.*, 2004; Noellemeyer *et al.*, 2006) y el efecto de los factores ambientales que modifican la producción y aporte de materia seca o su velocidad de transformación (Galantini & Rosell, 2006).

La materia orgánica estable se encuentra significativamente correlacionada con la fracción fina del suelo y es menos sensible a las prácticas agrícolas (Buschiazzo *et al.*, 1991; Quiroga *et al.*, 1996; Galantini *et al.*, 2004). En cambio, la MOP está más relacionada con el manejo y los efectos son más notorios en los suelos de textura fina. Por este motivo, se proponen las relaciones entre MOT, MOP y arcilla como indicador del efecto de las prácticas agrícolas sobre estos suelos.

La relación MOP/MOT cambió significativamente a lo largo de una rotación trigo-trébol, dependiendo de la cantidad de MOP y la calidad del cultivo presente (Galantini *et al.*, 2002).

En los pastizales pampeanos, los parámetros más sensibles para evidenciar cambios en la calidad del suelo son el contenido de COP, COP/COT y las fracciones de agregados entre 1 y 8 mm (Noellemeyer *et al.*, 2006).

Los factores que afectan la cantidad y calidad de la MO lábil pueden dividirse en aquellos relacionados con el aporte de residuos y con la actividad biológica del suelo (Gregorich *et al.*, 2006). En el primer caso, serán importantes los aspectos ligados con la cantidad, la composición y la accesibilidad de los residuos del cultivo que ingresan al suelo (clima, cultivo, rotación, fertilización, labranza, etc.). En el segundo, lo serán la accesibilidad del sustrato y el ambiente edáfico (relación agua-aire-sólido), así como las prácticas culturales que los modifiquen o mejoren el estado nutricional del suelo.

El contenido de ácidos fúlvicos está correlacionado con los residuos recientemente incorporados al suelo (Zalba & Quiroga, 1999) y, junto con la MOP, es una fracción susceptible a cambios debidos a las prácticas de manejo (Galantini, 2001; Rivarolla & Rosell, en prensa).

## CONCLUSIONES

Las fracciones orgánicas separadas físicamente han demostrado ser indicadores útiles para detectar cambios producidos por las prácticas de manejo en la mayoría de los estudios.

La dinámica y sensibilidad de esta fracción hacen que su valor sea relativo a las condiciones de tiempo, suelo y clima propias del estudio que se realiza. Esto hace que diferencias entre sistemas varíen con el tiempo, motivo por el cual el momento de comparación es muy importante y los resultados no deben considerarse absolutos.

Si bien la fracción lábil es una fuente importante de los nutrientes que necesitan las plantas, parecería no haber una relación directa entre la cantidad de MO lábil y la disponibilidad de nutrientes para los cultivos. Sin embargo, existe una fuerte correlación con la disponibilidad (debido a aspectos biológicos, por ser fuente de energía para los microorganismos) y favorece el mejor aprovechamiento de estos nutrientes (aspectos físicos del suelo).

La metodología influye sobre la calidad del material obtenido y su significado funcional. Este aspecto es clave para la interpretación de los resultados y la evaluación de la dinámica de las fracciones obtenidas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albanesi, A.; A. Anriquez y A. Polo Sánchez, 2003. Efectos de la agricultura convencional sobre algunas formas del C en un toposecuencia de la región Chaqueña, Argentina. *Agriscientia* 20:9-17
- Alvarez, C.R.; R. Alvarez; S. Grigera; and R.S. Lavado, 1998. Associations between organic matter fractions and the active soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 30:767-773.
- Alvarez, R. and C. R. Alvarez, 2000. Soil organic matter pools and their associations with carbon mineralization kinetics soil. *Sci. Soc. Am. J.* 64:184-189
- Alvarez, R. and R.S. Lavado, 1998. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma* 83: 127-141.
- Amado, T.J.C.; M. Cubilla; R.S. Nicoloso y T. Lovato, 2007. Fertilización del sistema de producción en siembra directa: importancia en el balance de carbono en el suelo. XV Congreso de AAPRESID, Rosario Argentina, 167-174.
- Andriulo, A.; J. Galantini; C. Pecorari y E. Torioni, 1990. Materia orgánica del suelo en la región pampeana. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. *Agrochimica (Italia)* XXXIV (5-6) 475-489.

- Andriulo, A.; M.C. Sasal; A.B. Irizar; S.B. Restovich y F. Rimatori, en prensa. Efecto de diferentes sistemas de labranza, secuencias de cultivo y de la fertilización nitrogenada sobre los stocks de C y N edáficos. En: "Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de Argentina" (Ed. J.A. Galantini) Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, en prensa.
- Apezteguía, H., 2005. Dinámica de la materia orgánica de los suelos de la región semiárida central de Córdoba (Argentina). Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba.
- Apezteguía, H. y R. Sereno, 2002. Influencia de los sistemas de labranza sobre la cantidad y calidad del carbono orgánico del suelo. *Agricultura Técnica (Chile)* 62(3): 418 – 426.
- Baisden, W.T.; R. Amundson; D.L. Brenner; A.C. Cook; C Kendall and J.W. Harden, 2002. A multi-isotope C and N modeling analysis of soil organic matter turnover and transport as a function of soil depth in a California annual grassland soil chronosequence. *Global Biogeochemical Cycles*, 16: 1135.
- Baldock, J.A. and J.O. Skjemstad, 1999. Soil organic carbon/soil organic matter. In 'Soil Analysis: an Interpretation Manual. (Eds K. I. Peverill, L. A. Sparrow, and D. J. Reuter.) pp. 159-170. (CSIRO Publishing: Collingwood.)
- Balesdent, J.; C. Chenu and M. Balabane, 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Tillage Res.* 53: 215-230.
- Bolinder, M., D. Angers, E. Gregorich and M. Carter. 1999. The response of soil quality indicators to conservation management. *Canadian Journal of Soil Science* 79:37-45
- Bongiovanni, M. and J.C. Lobartini, 2006. Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro- and microaggregates as affected by cultivation. *Geoderma* 136: 660-665
- Broquen, P.; J. Lobartini; F. Candan and G. Falbo, 2005. Allophane, aluminium, and organic matter accumulation across a bioclimatic sequence of volcanic ash of Argentina. *Geoderma* 129: 167-177
- Buschiazio, D.E.; G. Hevia; E.N. Hepper and A. Urioste, 2001. Organic C, N and P in size fractions of virgin and cultivated soils of the semiarid pampa of Argentina. *Journal of Arid Environments* 48: 501-508.
- Buschiazio, D.E.; A.R. Quiroga and K. Stahr, 1991. Patterns of organic matter accumulation in soils of the semi-arid Argentinian Pampas. *Z. Pflanzenem. Bodenk.* 154: 347-441.
- Canteros, M.G.; C.A. Venialgo y N.C. Gutierrez, 2003. La materia orgánica y sus fracciones en distintas series de suelos del sudoeste Chaqueño. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, Universidad Nacional del Nordeste.
- Carreira, D., 2005. Carbono oxidable: Una forma de medir la materia orgánica del suelo. En: Manual "Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios" (Eds. L. Marban y S. Ratto) de la AACCS. Capítulo IV parte 1, 91-102.
- Casanovas, E.M.; G.A. Studdert y H.E. Echeverría, 1995a. Materia orgánica del suelo bajo rotaciones de cultivos. I Contenido total y de distintas fracciones. *Ciencia del Suelo* 13:16-20.
- Casanovas, E M; G A Studdert y H.E. Echeverría, 1995b. Materia orgánica del suelo bajo rotaciones de cultivos. II. Efecto de los ciclos de agricultura y pastura. *Ciencia del Suelo* 13:21-27
- Christensen, B.T., 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.* 20: 2-90.
- Christensen, B.T., 2001. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European J. Soil Sci.* 52:345-353.
- Ciarlo, D., D. Cosentino, O. Heredia, M. Conti. 2004. Efecto del uso del suelo sobre los componentes de la materia orgánica y estabilidad de agregados. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo,
- Corbella R.D., J.R. García, G.A Sanzano, A.M. Plasencia y J.Fernández de Ullivarri. Diferentes fracciones de carbono orgánico como indicadores de calidad de suelos del este tucumano. [http://www.inta.gov.ar/salta/info/documentos/Suelos/relacion\\_MO.pdf](http://www.inta.gov.ar/salta/info/documentos/Suelos/relacion_MO.pdf) (visita 29 mayo 2008)
- Curtin, D. and G. Wen, 1999. Organic matter fractions contributing to soil nitrogen mineralization potential. *Soil Sci. Soc. Am.* 63:410-415
- Dahnke, W.C. and G. Johnson, 1990. Testing soils for available nitrogen. In R.L. Westerman (Ed.), *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 127-139.
- Dalurzo, H.C.; R.C. Serial; S. Vazquez y S. Ratto, 2001. Indicadores químicos y biológicos de calidad de suelos en Oxisoles de Misiones (Argentina). UNNE - Comunicaciones Científicas y Tecnológicas
- Desjardins, T., P.J. Folgarait, A. Pando-Bahuon, C. Girardin and P. Lavelle, 2006. Soil organic matter dynamics along a rice chronosequence in north-eastern Argentina: Evidence from natural <sup>13</sup>C abundance and particle size fractionation. *Soil Biol. Biochem.* 38: 2753-2761
- Díaz Zorita, M, and D. Buschiazio, 2006. The potential for soil carbon sequestration in the Pampas. Chapter 16. In: *Carbon Sequestration in Soils of Latin America* (Eds. R. Lal, C.C. Cerri, M. Bernoux, J. Etchevers and C.E.P. Cerri). The Haworth Press Inc. NY, 369-382.

- Domínguez, G.F.; G. Studdert; M. Eiza; N. Diovisalvi y N. Fioriti, 2006. Relación entre la materia orgánica y el rendimiento de maíz. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, CD-ROM
- Eiza, M.J.; N. Fioriti; G.A Studdert y H.E. Echeverría, 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
- Elliott, E.T. and C.A. Cambardella, 1991. Physical separation of soil organic matter. *Agric. Ecosystems Environ.* 34: 407-419.
- Fabrizzi, K.P.; A. Morón y F.O. García, 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. Non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67:1831-1841.
- Ferreras, L.A.; J.J. De Battista; A. Ausilio y C. Pecorari, 2001. Parámetros físicos del suelo en condiciones no perturbadas y bajo laboreo. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília 36 (1): 161-170.
- Galantini, J.A., 2001. Contenido y calidad de las fracciones orgánicas del suelo bajo rotaciones con trigo en la región semiárida pampeana. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA-INTA)* 30 (1) 125-146
- Galantini, J.A., 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: Manual "Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios" (Eds. L. Marban y S. Ratto) de la AACs. Capítulo IV parte 2, 103-114.
- Galantini, J.A. y J.O. Iglesias, 2007. Capacidad de secuestro de carbono y efecto de las prácticas agronómicas en suelos de la región Pampeana de Argentina. En: "Captura de Carbono en Ecosistemas Terrestres de Iberoamérica" Ed. Juan Gallardo Lancho. Págs. 169-182.
- Galantini, J.A.; J.O. Iglesias, C. Maneiro, L. Santiago y C. Kleine, 2006. Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense. Efectos de largo plazo sobre las fracciones orgánicas y el espacio poroso del suelo. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA) - INTA* 35: 15-30.
- Galantini, J.A. y M.R. Landriscini, 2007. Equilibrio y dinámica de las fracciones orgánicas del suelo: Relación con la fertilidad del suelo y la sustentabilidad del sistema. Capítulo 14 "De la Biología del Suelo a la Agricultura" (Eds. A. Thuar, F. Cassán, C. Olmedo) Universidad Nacional de Río Cuarto, 229-245.
- Galantini, J.A.; M. Landriscini, J. Iglesias, G. Minoldo y R. Fernández, 2007. Las fracciones orgánicas como herramienta de diagnóstico. En "La siembra directa en los sistemas productivos del S y SO Bonaerense", *Revista Técnica Especial AAPRESID, CIC, CERZOS y UNS.* Eds. Galantini *et al.* 46-49.
- Galantini, J.A. and R.A. Rosell, 1997. Organic fractions, N, P, and S changes in a semiarid Haplustoll of Argentine under different crop sequences. *Soil and Tillage Research* 42: 221-228.
- Galantini, J.A. and R.A. Rosell, 2006. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils. *Soil Tillage Research* 87: 72-79
- Galantini, J.A.; RA Rosell; G Brunetti and N Senesi, 2002. Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un Haplustol durante la rotación trigo-leguminosas. *Ciencia del Suelo Vol.* 20 (1) 17-26.
- Galantini, J.A, R.A. Rosell y J.O. Iglesias, 1994. Determinación de materia orgánica en fracciones granulométricas de suelos de la región semiárida bonaerense. *Ciencia del Suelo* 12 (2) 81-83.
- Galantini, J.A.; N. Senesi; G. Brunetti and R. Rosell, 2004. Influence of texture on the nitrogen and sulphur status and organic matter quality and distribution in semiarid Pampean grassland soils. *Geoderma* 123: 143-152.
- García F., L. Picone, A. Berardo, 2006. Fósforo. Pp. 99-121. En: *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos.* H.E. Echeverría y F.O. García (Eds). Editorial INTA BA, Argentina.
- González Montaner, J.; M. Di Napoli; R. Pozzi; V. Stangafarro y E. Tecco, 2004. Influencia de la fertilización sobre el balance de rastrojos y el estado nutricional de los cultivos en una rotación en siembra directa en Argiudoles del sur de Santa Fe. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná (ER), p. 221.
- Gregorich, E.G. and B.H. Ellert, 1993. Light fractions and macroorganic matter in mineral soils. P. 397-407. In M.R. Carter (ed.) *Soil sampling and methods of analysis.* Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Gregorich, E.G.; M.H. Beare; U.F. McKim and J.O. Skjemstad, 2006. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:975-985
- Gudelj, O. y E. Weir, 2000. Estabilidad estructural y materia orgánica en distintos grados de erosión provocada, en un suelo Argiudol típico. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 11 al 14 abril, Mar del Plata CD-ROM
- Hang, S. y E. Barriuso, 2002. Fraccionamiento de los suelos: Distribución del tamaño de partículas y del carbono orgánico. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, 16 al 19 de abril, CD-ROM
- Hashimoto, P., J. Sierra y L. Barberis, 1989. Dinámica de la fracción ligera de la materia orgánica en relación a la producción de nitratos a campo. *Anales Edafol. Agrobiol.* 1378-1392.
- Hassink, J., 1995. Prediction of the non-fertilizer N supply

- of mineral grassland soils. *Plant Soil* 176:71-79.
- Haynes, R.J., 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biol. Biochem.* 32: 211-219.
- Hevia, G.G.; D.E. Buschiazso; E.N. Hepper; A.M. Urioste and E.L. Antón, 2003. Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina. Effects of climate, soil texture and management. *Geoderma* 116: 265-277.
- Howard, P.J.A. and D.M. Howard, 1990. Use of organic carbon and loss-on-ignition to estimate soil organic matter in different soil types and horizons. *Biology and Fertility Soils* 9, 306-310.
- Janzen, H.H.; F. J. Larney and B.M. Olson, 1992. Soil quality factors of problem soils in Alberta. *Proceedings of the Alberta Soil Science Workshop* 17-28.
- Jenkinson, D.S. and D.S. Powlson, 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8: 209-213.
- Koutika, L.S., S. Hauser and J. Henrot, 2001 Soil organic matter in natural regrowth, *Pueraria phaseoloides* and *Mucuna pruriens* fallow. *Soil Biol. Biochem.* 33, 1095-1101.
- Krüger, H.; S. Venanzi y J.A. Galantini, 2004. Rotación y cambios en propiedades químicas de un Hapludol típico del sudoeste bonaerense bajo labranza. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná. Resumen p. 43, CD-ROM 10 pp.
- Loveland, P. and J. Webb, 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil Till. Res.* 70 1-18
- Magdoff, F.R.; D. Ross, and J. Amadon, 1984. A soil test for nitrogen availability to corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 1301-1304.
- Magid, J. and C. Kjærsgaard, 2001. Recovering decomposing plant residues from the particulate soil organic matter fraction: Size versus density separation. *Biol. Fertil. Soils* 33:252-257.
- Mandolesi, M.; P. Vidal; M. Ron y H. Forjan, 2002. Carbono orgánico y sus fracciones según uso del suelo en un Argiudol Típico del centro sur bonaerense. *Boletín del INTA. Chacra Experimental Integrada Barrow, Tres Arroyos (Buenos Aires)*, 6 pp.
- Manlay, R.J.; C. Feller and M.J. Swift. 2006. Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 119: 217-233
- Miglierina, A.M.; J.O. Iglesias; M.R. Landriscini; J.A. Galantini and R.A. Rosell, 2000. The effects of crop rotations and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina. 1. Soil physical and chemical properties. *Soil Tillage Research* 53: 129-135.
- Miglierina, A.M.; M.A. Landriscini; J.A. Galantini y R.A. Rosell, 1997. Transformación de diferentes residuos orgánicos en un ecosistema árido de la Pampa Argentina. *Actas del VIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, La Serena, Chile.*
- Minoldo, G.; J. Galantini; R. Rosell; H. Krüger y S. Venanzi, 2004. Fracciones orgánicas en suelos de la región semiárida bajo diferentes rotaciones. XIX Congreso Argentino Ciencia del Suelo, Paraná. Resumen p. 72, CD-ROM 10 pp.
- Mulvaney, R.L.; S.A. Khan; R.G. Hoefl and H.M. Brown, 2001. A soil nitrogen fraction that reduces the need for nitrogen fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 1164-1172.
- Nico, A.I.; Aragón, A. y H.O. Chidichimo, 1997. La materia orgánica en un suelo bajo labranza convencional y siembra directa: análisis comparativo del perfil de distribución y el fraccionamiento físico. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata.* 102 (1): 45-50.
- Nissen, T.M. and M.M. Wander, 2003. Management and soil-quality effects on fertilizer-use efficiency and leaching. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67, pp. 1524-1532.
- Noellemeyer, E.; A.R. Quiroga and D. Estelrich, 2006. Soil quality in three range soils of the semi-arid Pampa of Argentina. *Journal of Arid Environments* 65: 142-155
- Pecorari, C; J Guerif y P Stengel, 1990. Fitólitos en suelos pampeanos Influencia sobre las propiedades físicas determinantes de la evolución de la estructura. *Ciencia del Suelo* 8: 135-141
- Piccolo, G.; J.A. Galantini and R.A. Rosell, 2004. Particulate organic carbon in sustainable agriculture of subtropical soils in Argentina. *Geoderma* 123: 333-341.
- Quiroga, A.R.; D.E. Buschiazso and N. Peinemann, 1996. Soil organic matter particle size fractions in soils of the semiarid Argentinian Pampas. *Soil Sci.* 161: 104-108.
- Quiroga, A.; O. Ormeño y N. Peineman, 2001. Materia orgánica: un indicador de la calidad de los suelos relacionado con la productividad de los cultivos. *Boletín Divulgación Técnica* 70 EEA INTA Anguil, 28 pp.
- Reeves, D.W., 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil & Tillage Research* 43, 131-167
- Richter, M., I. Mizuno, S. Aranguez and S Uriarte, 1975. Densimetric fractionation of soil organo-mineral complexes. *Soil Sci.* 26 (2): 112-123.
- Rivarola, S.E. y R.A. Rosell, Sustancias húmicas como indicadores de calidad del suelo. En: *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de Argentina* (Ed. J.A. Galantini) Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, en prensa.
- Roldán, S., G. Lorenz y L. Bonelli, 2000. Aspectos de calidad de la materia orgánica del suelo en función del uso de la tierra en el centro este santiagueño. XVII Con-

- greso Argentino de la Ciencia del Suelo, 11 al 14 abril, Mar del Plata CD-ROM
- Rosell, R.A.; J.C. Gasparoni and J.A. Galantini, 2001. Soil organic matter evaluation. In *Assessment Methods for Soil Carbon* (Ed. R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett y B.A. Stewart). Serie *Advances in Soil Science*, Chapter 21, pp. 311-322.
- Sánchez, M.C., O. Heredia, N. Bartoloni, C. González y N. Arrigo. 2006. *Secuencias de Cultivos y Labranzas: efecto sobre las fracciones de carbono del suelo*. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 19 al 22 de Septiembre. Salta. En CD-ROM
- Schnitzer, M., 2000. A lifetime perspective on the chemistry of soil organic matter. *Adv. Agron.* 68: 1-58.
- Six J., P. Callewaer, S. Lenders, Gregorich and K. Paustian. 2002. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1981-1987.
- Soil Science Society of America. 1997. *Glossary of soil science terms*. Rev. Ed. SSSA, Madison, WI.
- Sollins, P.; C. Glassman; E.A. Paul; C. Swanston; K. Lajtha; J.W. Heil and E.T. Elliott, 1999. Soil carbon and nitrogen: Pools and fractions. pp. 89-105. In G.P. Robertson *et al.* (ed.) *Standard soil methods for long-term ecological research*. Oxford Univ. Press, Oxford, UK.
- Spycher, G.; P. Sollins, and S. Rose, 1983. Carbon and nitrogen in the light fraction of a forest soil: Vertical distribution and seasonal patterns. *Soil Sci.* 135, 79-87.
- Steinbach, H. and R. Alvarez, 2006. Changes in soil organic carbon contents and nitrous oxide emissions after introduction of no-till in Pampean agroecosystems. *J. Environ. Qual.* 35:3-13.
- Studdert, G.A. and H.E. Echeverría, 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 64:1496-1503
- Studdert, G.A.; H.E. Echeverría and E.M. Casanovas, 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a typic argiudol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:1466-1472.
- Tan, Z.; R. Lal; L. Owens and R.C. Izaurralde, 2007. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil Till. Res.* 92: 53-59
- Urioste, A.M.; G.G. Hevia; E.N. Hepper; L.E. Antón; A.A. Bono and D.E. Buschiazzi, 2006. Cultivation effects on the distribution of organic carbon, total nitrogen and phosphorus in soils of the semiarid region of Argentinian Pampas. *Geoderma*, 136 (3-4): 621-630.
- Vazquez, M.E.; A.E. Pellegrini y G. Diosma, 2001. Efecto de la vegetación y tamaño de los agregados sobre formas orgánicas del suelo. *Agricultura Técnica (Chile)* 61(1): 61-69.
- Venanzi, S.; J. Galantini; J. Iglesias; M. Barreiro; A. Albin; A. Rausch; M. Ripoll y H. Krüger, 2001. *Sistemas de labranzas: 1. Distribución y calidad de la materia orgánica del suelo*. V Congreso Nacional de Trigo, Carlos Paz., Córdoba.
- Videla, C.; P.C Trivelin; G.A Studdert; H.E Echeverría y J.A Bendasolli, 2004. Fraccionamiento granulométrico de materia orgánica de suelos del SE bonaerense bajo pastura, labranza convencional y siembra directa. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Vilche, M. S.; C. Alzugaray and S. Montico, 2002. Tillage effect and duration of prairies on the physical condition in Vertic Argiudol soil in Argentina. *Revista Latinoamericana de Ciencias de la Agricultura* 29: 159-169.
- Wander, M, 2004. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. p. 67-102. In F. Magdoff and R.R. Weil (ed.) *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Wilson, T., E. Paul and R. Harwood, 2001. Biologically active soil organic matter fractions in sustainable cropping systems. *Applied Soil Ecology* 16(1): 63-76.
- Zalba, P. and A.R. Quiroga, 1999. Fulvic acid carbon as a diagnostic feature for agricultural soil evaluation. *Soil Sci.* 164: 57-61.