

# RELACIÓN DE LA TEXTURA Y SUPERFICIE ESPECÍFICA CON LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN SELVAS

S. M. Avilés-Marín<sup>1</sup>; A. Galvis-Spinola<sup>1</sup>;  
T. M. Hernández-Mendoza<sup>2</sup>; G. Arévalo-Galarza<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados.  
Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México.  
C. P. 56230. Correo-e: galvis@colpos.mx

<sup>2</sup>Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo.  
Km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230.

## RESUMEN

La materia orgánica edáfica ( $M_{OS}$ ) influye significativamente sobre la capacidad productiva del suelo y su conservación es una creciente preocupación ambiental y económica. Para ello, es necesario entender los procesos que rigen su dinámica como es el caso de su interacción con la fracción mineral del suelo, donde el efecto de la textura sobre la acumulación de la  $M_{OS}$  aún es motivo de controversia, lo cual fue motivo del presente trabajo. Para ello, se establecieron relaciones cuantitativas entre la  $M_{OS}$ , contenido de partículas minerales <50 mm ( $F_F$ ) y superficie específica ( $S_E$ ) en muestras de suelo (0-5 cm de profundidad) colectadas en el estado de Campeche, México, en sitios con vegetación de selva perennifolia no perturbada por la actividad agrícola o pecuaria. Aunque se observó una relación significativa ( $R^2=0.66$ ;  $P<0.0001$ ) entre la  $F_F$  y la  $S_E$ , ambas variables explicaron de manera distinta la variación de la  $M_{OS}$  (39 %;  $P<0.0001$  y 77 %;  $P<0.0001$ , respectivamente), lo cual se atribuye a que el vínculo entre los compuestos orgánicos y minerales del suelo está dado fundamentalmente por reacciones de adsorción.

**PALABRAS CLAVE:** protección, fracción fina, selva perennifolia

## RELATION OF THE TEXTURE AND SPECIFIC SURFACE WITH THE ORGANIC MATTER OF THE GROUND IN FORESTS

## SUMMARY

Soil organic matter ( $M_{OS}$ ) has a significant influence on soil capacity productivity and its conservation is an increasing environmental and economic concern. Dealing with this matter is necessary to understand the process which conducts performance as interaction with soil mineral fraction, where the effect of texture over the accumulation of  $M_{OS}$  is a controversial matter, and will be explained throughout this work. On first hand, we establish quantitative relationships between  $M_{OS}$ , mineral particles <50 mm ( $F_F$ ) and specific surface ( $S_E$ ) in soil samples (0-5 cm deep) collected in Campeche state, México, in tropical dry forest sites absent from agricultural and cattle activity. We observed a significant relationship ( $R^2=0.66$ ;  $P<0.0001$ ) between  $F_F$  and  $S_E$ , both variables explain differently the variation of  $M_{OS}$  (39 %;  $P<0.0001$  and 77 %;  $P<0.0001$ , respectively), this attributed to the vinculum between organic and mineral compounds from soil, due to adsorption reactions.

**KEY WORDS:** protection, fine fraction, tropical dry forest.

## INTRODUCCIÓN

La materia orgánica edáfica ( $M_{OS}$ ) es uno de los principales componentes de los ciclos biogeoquímicos y coadyuva al mantenimiento de la calidad del suelo (Percival *et al.*, 2000), por fomentar su capacidad productiva (Mikha y Rice, 2004) y aminorar el efecto nocivo de agroquímicos y

materiales de desecho en general. La diferencia en el contenido de  $M_{OS}$  entre los distintos suelos minerales y manejos a los que son sometidos se encuentra en los primeros 5 cm de profundidad (Needelman *et al.*, 1999), por lo que hay una creciente preocupación ambiental y económica para entender su dinámica y promover su

conservación (Konen *et al.*, 2003). El tiempo de permanencia de la  $M_{OS}$  varía por los procesos de descomposición a la que es sometida por la actividad de la biomasa microbiana, cuya intensidad depende de la composición bioquímica de la  $M_{OS}$ , condiciones climáticas (Amelung *et al.*, 1999) y su interacción con la fracción mineral del suelo (Jenkinson, 1988), donde se propicia una reacción de adsorción en la fracción fina del suelo (partículas menores a 50  $\mu m$ ), quedando fuera del alcance de la biomasa microbiana (Van Veen y Kuikman, 1990). Esto ocasiona una menor tasa de mineralización de C y N (Juma, 1993), lo que pudiese explicar al menos parcialmente la diferencia en la capacidad de acumulación de  $M_{OS}$  en suelos con diferente textura, aunque esto aún es motivo de controversia. Al respecto, algunos autores han obtenido relaciones altamente significativas entre la textura del suelo y la acumulación de la  $M_{OS}$  o su tasa de mineralización fortaleciendo dicha hipótesis (Vejre *et al.*, 2003; Shahandeh *et al.*, 2005; Carneiro *et al.*, 2006;). De hecho, Leggett y Kelting (2006) señalan que además de la protección que ejerce la fracción fina del suelo sobre la  $M_{OS}$ , los macroporos de los suelos arenosos crean un ambiente que conduce a una mayor oxidación de la  $M_{OS}$ . En contraste, otros no han encontrado una relación clara entre la textura del suelo y la tasa de mineralización (Gregorich *et al.*, 1991; Scott *et al.*, 1996;) o la acumulación de  $M_{OS}$  (Percival *et al.*, 2000). De acuerdo a Plante *et al.* (2006), la textura del suelo afecta de manera diferencial la distribución de la  $M_{OS}$ , actuando de manera directa e indirecta sobre los distintos mecanismos con los que la  $M_{OS}$  queda protegida contra la actividad de la biomasa microbiana, razón por la cual se propician resultados aparentemente contradictorios. Además, cabe aclarar que los procedimientos empleados para evaluar la relación de la  $M_{OS}$  con la fracción mineral del suelo son muy variados, entre los que destacan las técnicas colorimétricas (Konen *et al.*, 2003), fraccionamiento físico de la  $M_{OS}$  (Denef *et al.*, 2004) o químico (Plante *et al.* 2006), métodos isotópicos y técnicas de resonancia magnético nuclear (Kahle *et al.*, 2003), entre otros. Cada procedimiento mide una fracción de la composición total de la  $M_{OS}$ , por lo tanto, la interpretación de su dinámica en el suelo dependerá de los métodos empleados para evaluarla y de los sistemas de manejo estudiados (Paul *et al.*, 2003). Con base en lo anterior, y con el propósito de establecer si la textura influye sobre la acumulación de  $M_{OS}$  en condiciones naturales no perturbadas por la actividad humana, en el presente trabajo se determinó el contenido de  $M_{OS}$  en suelos de selva y se relacionó cuantitativamente con las partículas minerales < 50  $\mu m$ , denominadas como la fracción fina del suelo ( $F_F$ ) y su correspondiente superficie específica ( $S_E$ ).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio de estudio se ubicó en los municipios de Campeche y Hopelchén, estado de Campeche, en áreas con vegetación de selva perennifolia sin actividad agrícola o pecuaria. El terreno es una planicie con calizas cársticas y

drenaje subterráneo, altitud menor a 400 m con clima cálido subhúmedo y 1,000 mm de precipitación promedio anual (INEGI, 2005). Se realizaron recorridos por la zona para detectar variaciones evidentes en la morfología del suelo en concordancia con el objetivo de este estudio. Una vez seleccionados los sitios de muestreo, se colectaron un total de 15 muestras por triplicado con pala recta de 0-5 cm de profundidad, excluyendo residuos vegetales, minerales y raíces superficiales. Las muestras se secaron al aire y a la sombra, se cernieron con un tamiz de 2 mm para homogeneizar cada muestra y analizar su contenido de  $M_{OS}$  por el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982). La  $S_E$  se midió con base en la técnica BET- $N_2$  (Petersen *et al.*, 1996) y la distribución del tamaño de partículas por el método de la pipeta (Gee y Bauder, 1986), para obtener las partículas minerales menores a 50  $\mu m$ , denominada fracción fina del suelo ( $F_F$ ). Como referencia de la condición de los suelos, con base en los métodos descritos en Page *et al.* (1982), se midió en extracto agua:suelo el pH y conductividad eléctrica con relación 2:1 y 5:1, respectivamente, el P se extrajo con  $NaHCO_3$  0.5M y el K con el método del acetato de amonio 1N y a pH 7.0. La diferencia estadística en la concentración de  $M_{OS}$ ,  $F_F$  y magnitud de  $S_E$  entre las distintas muestras analizadas se evaluó mediante la comparación de medias de acuerdo con la prueba de Tukey a una ( $P \leq 0.05$ ) con el programa SAS (SAS Institute, 2003). La relación cuantitativa entre las variables estudiadas se analizó por regresión simple (la  $M_{OS}$  como función de  $S_E$  ó  $F_F$ ) incluyendo cada una de las tres repeticiones de los 15 suelos estudiados. La selección de cada modelo se hizo empleando el criterio del máximo coeficiente de determinación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos no presentaron problemas de sales solubles (0.04 a 0.19  $dS \cdot m^{-1}$ ) y el contenido de P extractable en  $NaHCO_3$  mostró una escasa diferencia entre las muestras estudiadas (1.3 a 3.9  $mg \cdot kg^{-1}$ ), valores frecuentes en este tipo de ecosistemas (Vargas y Valdivia, 2005). En el Cuadro 1 se presenta la distribución de frecuencia de los resultados de los demás análisis determinados.

La zona de exploración de las raíces varió entre 50 y 100 cm según se ubicó la profundidad de la caliza. Esto también influyó sobre la reacción del suelo porque los sitios con  $pH > 6.8$  estuvieron asociados a la ubicación de carbonatos alrededor de los 50 cm de la calicata. El K se correlacionó de manera directa y significativa ( $r = 0.81^{**}$ ;  $n=45$ ) con la  $S_E$  de la  $F_F$ , lo cual es consecuencia de su capacidad de adsorción. A pesar de ser una región aparentemente homogénea en cuanto al tipo de vegetación y clima, las condiciones de suelo variaron considerablemente. El ámbito de exploración en los suelos estudiados respecto a la  $S_E$ ,  $F_F$  y  $M_{OS}$  de los 15 suelos estudiados se muestra en el Cuadro 2.

**CUADRO 1. Distribución de frecuencia (n=45<sup>1</sup>) de los valores de superficie específica ( $S_E$ ), materia orgánica total ( $M_{OS}$ ), pH, potasio (K) y partículas minerales <50  $\mu$ m ( $F_F$ ) en los suelos estudiados.**

$S_E$		$M_{OS}$		pH		K		$F_F$	
G·m <sup>-2</sup>	%	g·kg <sup>-1</sup>	%	%	mg·kg <sup>-1</sup>	%	<50 $\mu$ m	%	
<20	8.9	<30	11.1	<5.5	<50	22.2	<40	17.8	
20-40	17.8	30-40	8.9	5.5-6.0	50-600	24.4	40-50	20.0	
40-60	22.2	40-50	26.7	6.0-6.5	600-700	20.0	50-60	20.0	
60-80	35.6	50-60	42.2	6.5-7.0	700-800	17.8	60-70	26.7	
>80	15.6	>60	11.1	>7.5	>800	15.6	>70	15.6	

<sup>1</sup>Se incluyeron de manera independiente las tres repeticiones de cada una de las 15 muestras colectadas.

**CUADRO 2. Comparación del promedio de superficie específica ( $S_E$ ), materia orgánica total ( $M_{OS}$ ) y partículas minerales <50  $\mu$ m ( $F_F$ ) en los suelos estudiados.**

Suelo	$S_E$	Suelo	$F_F$	Suelo	$M_{OS}$
	g m <sup>-2</sup>		<50 $\mu$ m		g kg <sup>-1</sup>
15	88.7 a	13	73.7 a	15	62 a
14	84.1 a	14	68.7 ab	11	58 a
13	77.4 b	15	68.3 abc	10	57 ab
12	75.1 cb	10	66.0 abc	14	56 ab
11	71.5 cd	6	63.7 abc	6	55 abc
10	68.7 ed	9	62.0 abc	7	53 abc
9	64.8 ef	11	60.3 abc	12	53 abc
8	60.4 gf	7	57.7 abcd	5	53 abc
7	58.5 g	12	56.7 abcde	8	52 abc
6	56.6 g	8	49.3 bcde	13	50 abc
5	48.0 h	3	46.3 cde	9	49 abcd
4	38.1 i	4	38.7 de	3	41 bdc
3	31.2 j	5	38.7 de	4	39 cd
2	19.8 k	2	38.7 de	2	33 de
1	8.3 l	1	36.7 e	1	22 e
*DMS	5.4		20.4		16

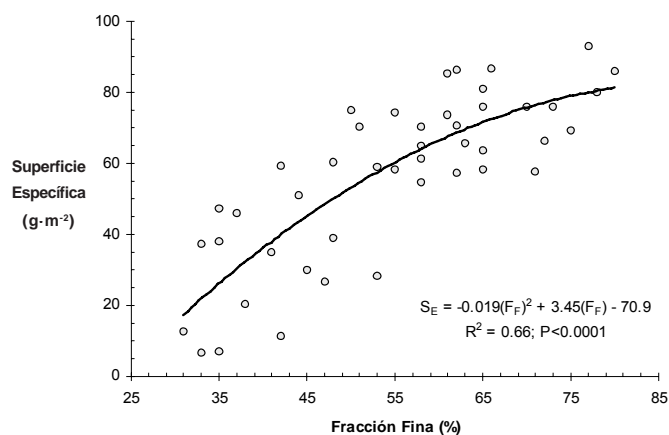
<sup>1</sup>Valores con diferente letra son distintos de acuerdo con la prueba de Tukey a una Pd\*0.05).

\*DMS = Diferencia mínima significativa.

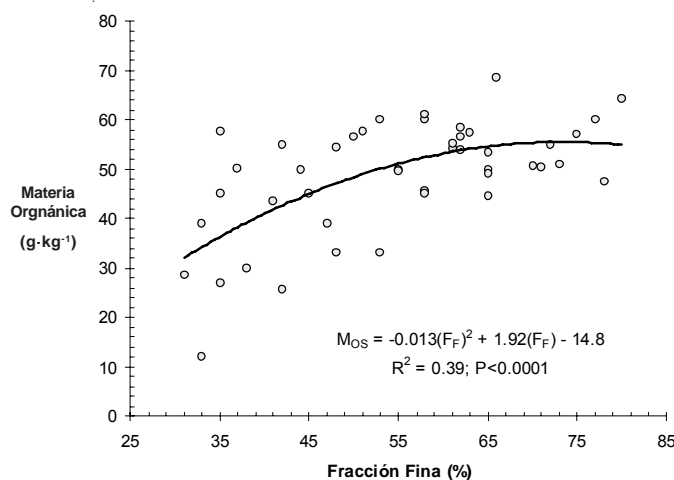
La relación entre la  $S_E$  y la  $F_F$  de los suelos evaluados se presenta en la Figura 1, donde se incluyen por separado cada una de las tres repeticiones de los 15 suelos colectados en la zona de estudio.

Mientras menor sea el tamaño de las partículas minerales del suelo, su superficie específica deberá ser mayor (Hillel, 2004). En consecuencia, a medida que sea más abundante la proporción de la  $F_F$  en el suelo, tendrá que incrementarse la  $S_E$  y de ahí que se haya encontrado en este estudio una relación altamente significativa entre ambas variables.

En la Figura 2 se presenta la relación entre el contenido de  $M_{OS}$  y la  $F_F$  de los suelos estudiados. Aunque la relación entre ambas variables fue altamente significativa, la  $F_F$  sólo



**FIGURA 1. Relación entre la superficie específica ( $S_E$ ) y porcentaje de partículas minerales menores a 50  $\mu$ m (fracción fina,  $F_F$ ) de los 15 suelos estudiados, incluyendo de manera independiente las tres repeticiones de cada uno.**



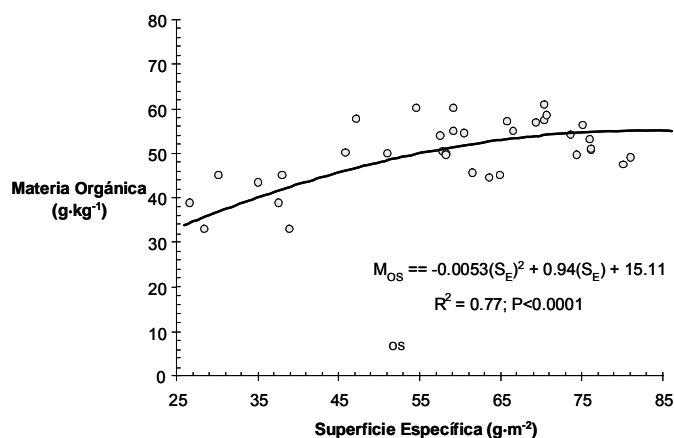
**FIGURA 2. Relación entre el contenido de materia orgánica del suelo ( $M_{OS}$ ) y porcentaje de partículas minerales <50  $\mu$ m (fracción fina,  $F_F$ ) de los 15 suelos estudiados, incluyendo de manera independiente las tres repeticiones de cada uno.**

explicó 39 % de la variación de la  $M_{OS}$ , lo cual pudiese significar que no se esté considerando apropiadamente el efecto del tipo de suelo sobre la acumulación de los materiales orgánicos edáficos (Giardina *et al.*, 2001).

Al respecto, de acuerdo con Whitney y Zabowski (2004), se subestima la  $M_{OS}$  en muestras de suelo en partículas minerales  $\leq 2$  mm, sobre todo en suelos forestales o que no han sido labreados.

En contraste, Homann *et al.* (2004) encontraron que aunque efectivamente hay carbono presente en partículas  $>2$  mm formando parte de agregados estables y concreciones de diverso tipo, al comparar sus resultados con el análisis en partículas  $<2$  mm, detectaron que no se altera el entendimiento de la importancia del clima y la textura del suelo como controles de las reservas orgánicas edáficas y, por lo tanto, concluyen que no representa una fuente de error hacer este tipo de análisis en la  $F_F$ . Así mismo, como la reacción principal entre la  $M_{OS}$  y la fracción mineral del suelo se da por procesos de adsorción (Six *et al.*, 2000; Hillel, 2004), es de esperarse que la  $S_E$  sea un mejor indicador de la variación de la  $M_{OS}$ , por lo que se llevó a cabo una relación cuantitativa entre ambas variables (Figura 3).

La  $S_E$  explicó en 77 % la variación de la  $M_{OS}$  en el área de estudio de manera altamente significativa ( $P < 0.0001$ ), mejorando considerablemente la relación que se obtuvo con la  $F_F$  de los suelos, lo cual puede ser explicado por el vínculo entre los compuestos orgánicos y minerales dado fundamentalmente por reacciones de adsorción como se hizo notar anteriormente. Resultados similares fueron obtenidos por Kahle *et al.*, (2003), quienes indican que los grupos bioquímicos que contiene la fracción gruesa de la arcilla (0.2–2  $\mu\text{m}$ ) difiere de los que contiene la fracción fina ( $<0.2$   $\mu\text{m}$ ), donde en esta última se encuentra la menor relación C/N y mayor proporción de compuestos de lenta descomposición, encontrando que al aumentar la superficie específica, la oxidación de la materia orgánica explicó en 66 % la variación del contenido de carbono y la arcilla gruesa el 97 %.



**FIGURA 3.** Relación entre el contenido de materia orgánica ( $M_{OS}$ ) y la superficie específica ( $S_E$ ) de los 15 suelos estudiados, incluyendo de manera independiente las tres repeticiones de cada uno.

La formación de macroagregados se promueve en suelos donde no se laborea y se tienen aportes continuos de materiales orgánicos (como es el caso del sitio en estudio), quedando protegidas la fracción lábil de la  $M_{OS}$  contra la acción de la biomasa microbiana (Mikha y Rice, 2004). De esta manera, el tiempo de residencia de la  $M_{OS}$  se incrementa, propiciando la formación de microagregados y su estabilización, independientemente de la mineralogía de las arcillas (Denef *et al.*, 2004). En este orden de ideas, Six *et al.* (2000) indican que los microagregados están ligados a los macroagregados por compuestos orgánicos que sirven de agentes de unión, cuya importancia radica en que al desmontarse el terreno, el laboreo conducirá a la pérdida de macroagregados ricos en  $M_{OS}$ , favoreciendo la formación de microagregados con escaso contenido de  $M_{OS}$ . La protección física de la  $M_{OS}$  dentro de los agregados del suelo es un mecanismo importante para su acumulación, cuya disminución ocasionará la pérdida de la capacidad productiva del suelo (Carneiro *et al.*, 2006).

## CONCLUSIONES

La relación entre la  $F_F$  y la  $S_E$  fue altamente significativa; sin embargo, ambas variables no explicaron de igual manera la variación de la  $M_{OS}$ . Esto se atribuye a que la interacción entre los compuestos orgánicos y minerales del suelo está influida principalmente por reacciones de adsorción y no por la distribución del tamaño de las partículas del suelo, lo que explica que la acumulación de  $M_{OS}$  estuviera asociada significativamente a la  $S_E$  de los suelos estudiados.

## LITERATURA CITADA

- AMELUNG, W.; FLACH, K. W.; ZECH, W. 1999. Lignin in particle-size fractions of native grassland soils as influenced by climate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1222-1228.
- CARNEIRO, A. T. J.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; SPAGNOLLO, E.; COSTA DE CAMPOS, B.; DA VEIGA, M. 2006. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. *J. Environ. Qual.* 35: 1599-1607.
- DENEFF, K.; SIX, J.; MERCKX, R.; PAUSTIAN, K. 2004. Carbon sequestration in microaggregates of no-tillage soils with different clay mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1935-1944.
- GEE, G. W.; BAUDER, J. W. 1986. Particle size analysis. Part 1 p. 383-409. *In:* Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis*. ASA, Madison, Wisconsin, USA.
- GIARDINA, C. P.; RYAN, M. G.; HUBBARD, R. M.; BINKLEY, D. 2001. Tree species and soil textural controls on carbon and nitrogen mineralization rates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1272-1279.
- GREGORICH, E. G.; VORONEY, R. P.; KACHANOSKI, R. G. 1991. Turn-over of carbon through the microbial biomass in soil with different textures. *Soil Biol. Biochem.* 23: 799-805.
- HILLEL, D. 2004. *Introduction to environmental soil physics*. Elsevier/ Acad. Press, San Diego, CA. 494 p.
- HOMANN, P. S.; REMILLARD, S. M.; HARMON, M. E.; BORMANN, B. T. 2004. Carbon storage in coarse and fine fractions of pa-

- cific northwest old-growth forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 2023-2030.
- INSTITUTO NACIONAL DE GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). 2005. Anuario de estadísticas por entidad federativa. Aguascalientes, México. 688 p.
- JENKINSON, D. S. 1988. Soil organic matter and its dynamics. *In: Wild, A. (Ed.). Russel's soil conditions and plant growth.* 11th ed. Longman. New York, USA. p. 564-607.
- JUMA, N.G. 1993. Interrelationships between soil structure/texture, soil biota/soil organic matter and crop production. *Geoderma* 57: 3-30.
- KAHLE, M.; KLEBER, M.; TORN, M. S.; JAHN, R. 2003. Carbon storage in coarse and fine clay fractions of illitic soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1732-1739.
- KONEN, M. E.; BURRAS, C. L.; SANDOR, J. A. 2003. Organic carbon, texture, and quantitative color measurement relationships for cultivated soils in north central Iowa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1823-1830.
- LEGGETT, Z. H.; KELTING, D. L. 2006. Fertilization effects on carbon pools in loblolly pine plantations on two upland sites. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 279-286.
- MIKHA, M. M.; RICE, C. W. 2004. Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 809-816.
- NEEDELMAN, B. A.; WANDER, M. M.; BOLLERO, G. A.; BOAST, C. W.; SIMS, G. K.; BULLOCK, D. G. 1999. Interaction of tillage and soil texture: biologically active soil organic matter in Illinois. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1326-1334.
- NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. pp. 539-579 en: Page AL, Miller DH, DR (Keeney Eds) *Methods of Soil Analysis*, ASA, SSSA, Madison, WI, USA.
- PAGE, A. L.; MILLER, D. H.; KEENEY, D. R. 1982. *Methods of soil analysis, Part 2*, 2nd ed. Chemical and microbiological properties. Agronomy Series 9 ASA SSSA, Madison, WI. USA.
- PAUL, E. A.; MORRIS, S. J.; SIX, J.; PAUSTIAN, K.; GREGORICH, E. G. 2003. Interpretation of soil carbon and nitrogen dynamics in agricultural and afforested soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1620-1628.
- PERCIVAL, H. J.; PARFITT, R. L.; SCOTT, N. A. 2000. Factors controlling soil carbon levels in New Zealand grasslands: is clay content important? *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1623-1630.
- PETERSEN, W.; MOLDRUP, P.; JACOBSEN, H.; ROLSTON, D. 1996. Relations between specific surface area and soil physical and chemical properties. *Soil Sci.* 161: 9-20.
- PLANTE, F. A.; CONANT, R. T.; STEWART, C. E.; PAUSTIAN, K.; SIX, J. 2006. Impact of soil texture on the distribution of soil organic matter in physical and chemical fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 287-296.
- SAS INSTITUTE. 2003. SAS 9.1.3 Service pack 2, version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- SCOTT, N. A.; COLE, C.; ELLIOTT, E. T.; HUFFMAN, S. 1996. Soil textural control on decomposition and soil organic matter dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1102-1109.
- SHAHANDEH, H.; WRIGHT, A. L.; HONS, F. M.; LASCANO, R. J. 2005. Spatial and temporal variation of soil nitrogen parameters related to soil texture and corn yield. *Agron. J.* 97: 772-782.
- SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOT, E. T.; COMBRINK, C. 2000. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 681-689.
- VAN VEEN, J. A.; KUIKMAN, P. J. 1990. Soil structural aspects of decomposition of organic matter by micro-organisms. *Biogeochemistry* 11: 213-233.
- VARGAS, C. Y.; VALDIVIA, E. L. A. 2005. Recuperación, mediante leguminosas rastreras, de suelos degradados (ex coteles) en la Selva Alta del Perú. *Mosaico Cient.* 2(2): 78-83.
- VEJRE, H.; CALLESEN, I.; VESTERDAL, L.; RAULUND-RASMUSSEN, K. 2003. Carbon and nitrogen in Danish forest soils. Contents and distribution determined by soil order. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 335-343.
- WHITNEY, N.; ZABOWSKI, D. 2004. Total soil nitrogen in the coarse fraction and at depth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 612-619.