Comportamiento de la materia orgánica del suelo en pastizales

G. Crespo
Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba
Correo electrónico: gcrespo@ica.co.cu

Se hace una revisión actualizada de los conocimientos relacionados con el comportamiento de la materia orgánica en los suelos (MOS) de pastizales tropicales. Entre los principales factores que inciden en la cuantía y las características de la MOS en estos ecosistemas se identifican la hojarasca, intensidad de manejo, degradación del pastizal, sistema radicular de los pastos, población de lombrices, propiedades físicas del suelo, uso del mismo y naturaleza de la materia orgánica. Se realiza además, un análisis de cómo se comporta la captura de C en el suelo y las formas para incrementarla y disminuir la magnitud del efecto invernadero. Se valoran las principales tendencias a nivel internacional en las investigaciones acerca de la MOS.

Palabras clave: *MOS, pastizales, trópico, captura de C.*

INTRODUCCIÓN

La vida del suelo depende del agua, los elementos químicos y la materia orgánica. Con la fotosíntesis se produce el crecimiento de los vegetales, que comprende la producción neta primaria. Ernst (2004) ha descrito el efecto de los distintos tipos de vegetación en la variación de la calidad y salud del suelo.

La materia orgánica del suelo está compuesta por todos los materiales orgánicos muertos, de origen animal o vegetal y por productos orgánicos producidos en su transformación. Una pequeña fracción de la materia orgánica incluye materiales ligeramente transformados, y otros transformados por completo, de color oscuro y de alto peso molecular, llamados compuestos húmicos (Burbano 2004).

Los pastizales permanentes producen efectos muy intensos en el contenido y las transformaciones de la MO del suelo. Influyen, principalmente, las especies de plantas presentes, la actividad de los macro y microorganismos y la intensidad de manejo, entre otros factores (De Olliveira *et al*. 2004, Müller *et al*. 2004, Agbein y Adeniyi 2005 y Frost y Siri Prieto 2009).

El objetivo de esta reseña es la revisión de los conocimientos relacionados con el estudio de la naturaleza de la materia orgánica del suelo (MOS) en los pastizales, su comportamiento y los diferentes factores que la afectan. Se pretende además, la actualización en las investigaciones desarrolladas a nivel mundial acerca de este tema.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA MOS EN PASTIZALES

La hojarasca. Los cambios continuos en el uso de los suelos producen notables variaciones en la entrada de hojarasca. En muchas regiones de América del Sur, como Ecuador, Brasil y otros, los bosques son raleados con frecuencia para convertirlos en pastizales. Frecuentemente, especies arbustivas invaden estos pastizales y disminuyen su productividad. Luego, terminan abandonados. En Ecuador, Potthast *et al*. (2010) compararon muestras de suelo de un pastizal activo de *Setaria sphacelata*, y de otro abandonado e invadido de malezas. La hojarasca de la gramínea (C_4) y de la arbustiva (C_3) difirieron en la relación C: N (33 y 77, respectivamente) y en el contenido de lignina (18 y 45 %, respectivamente). El desplazamiento masivo de la gramínea por la maleza disminuyó el pH, C y N orgánicos del suelo, así como su biomasa y actividad microbiana, con aumento de la población de actinomicetos. Los autores referidos encontraron una mineralización preferencial de C-orgánico, proveniente de la hojarasca de la gramínea.

En Tailandia, Waring y Gibson (1994) estudiaron los cambios físicos y químicos que se produjeron en suelos ocupados por pastizales de leguminosas perennes, y en otros sembrados por cultivos de ciclo corto durante un tiempo prolongado. Al final del estudio encontraron mayor diámetro promedio de las partículas en los suelos ocupados por las leguminosas. No se produjo cambio de pH por efecto de los tratamientos, pero la capacidad de cambio catiónico (CCC) se elevó, de solo 0.84 cmol (+) kg^{-1} con los cultivos a 1.40 cmol (+) kg^{-1} en las parcelas con siratro (*Macroptillium atropurpureum*). La ganancia de N del suelo en el pastizal con leguminosa varió entre 49 a 192 kg N ha^{-1}.

La intensidad de manejo. No es suficiente aún el conocimiento acerca de cómo varía la MOS por el efecto de la intensidad de manejo de los pastizales. En este sentido, Dubeux *et al*. (2006) investigaron el efecto de la intensidad de manejo de un pastizal de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Flügge) en el contenido de la fracción ligera de la MOS. Encontraron que la concentración de C y N en la masa del suelo no

se afectó por la intensidad de manejo, pero esto sí tuvo efecto en las fracciones ligeras de la materia orgánica. Así, con la menor intensidad de manejo las partículas < 53 μg presentaron las mayores concentraciones de C y N. Esto indicaría que, al aumentar la intensidad de manejo, las fracciones de MOS de lenta liberación favorecerían el secuestro de C y la fertilidad potencial del suelo. No obstante, se debe tener en cuenta el efecto negativo y la sostenibilidad cuestionable de los sistemas intensivos que utilizan altas aplicaciones de fertilizantes.

El tiempo de explotación de un pastizal produce cambios espaciales y temporales en el contenido de MOS. Haynes (2000) encontró en un pastizal permanente, con más de nueve años de manejo, aumento del contenido de MO, que se manifestó por el incremento del C microbiano, de 1.0 a 2.2 %, el C-orgánico, la fracción ligera de C-orgánico, de 1.8 a 4.6 %, y de C soluble en agua, de 0.7 a 1.2 % del C-orgánico.

La degradación del pastizal. Según Müller *et al*. (2004), la degradación de los pastizales constituye uno de los problemas más graves relacionados con el uso de los suelos en la región del Amazonas, por lo que muchos productores abren nuevas áreas con bosques. Al examinar la relación entre la degradación del pastizal y algunas propiedades de los suelos, estos investigadores encontraron gran disminución de la biomasa de las gramíneas según el pastizal presentaba mayor degradación. Comprobaron además, que la recuperación fue muy eficiente y rápida con la siembra de *Andropogon gayanus* y *Panicum maximum*, especies que lograron mayores producciones de fitomasa aérea y subterránea.

De Oliveira *et al*. (2004) encontraron que en las sabanas de Los Cerrados, en Brasil, la productividad de los forrajes y de los animales disminuyó varios años después de establecer pastizales mejorados con Brachiarias y otras gramíneas de África. Advirtieron que si no se tomaban medidas para remediar esa situación, estas áreas se invadirían nuevamente de malezas y los suelos se comenzarían a compactar y degradar. En estas situaciones se han observado bajas acumulaciones de hojarasca, de MO y de biomasa microbiana en los suelos. A partir de los resultados de esta investigación, sus autores recomendaron como indicadores más reales y simples del deterioro del suelo en un pastizal, la tasa de deposición de hojarasca, el contenido de C de la biomasa microbiana y el rebrote del pasto después del pastoreo.

El sistema radicular. Además de suministrar agua, nutrientes, hormonas y servir de soporte mecánico a las plantas, las raíces contribuyen al incremento de la MOS, al aumentar el C- orgánico, el N y la biomasa microbiana. Se ha indicado que el C procedente de las raíces se retiene y forma más agregados estables en el suelo con respecto al que procede de la biomasa aérea (Trujillo *et al*. 2006 y Frageria y Moreira 2011).

Aunque normalmente las raíces solo contribuyen con 10 y 20 % del peso total de una planta, un sistema radical bien desarrollado es esencial para su crecimiento y desarrollo. Si bien el desarrollo de este órgano se controla genéticamente, los factores ambientales también son de gran influencia (Trujillo *et al*. 2006).

El efecto de los fertilizantes en el crecimiento de la raíz es similar al que ejercen en la parte aérea. Sin embargo, la magnitud de la respuesta puede variar. En suelos deficientes en nutrientes, el peso de la raíz y el volumen de pelos radicales responden frecuentemente a una ecuación cuadrática, cuando se adiciona fertilizante al suelo. No obstante, la mayor parte del sistema radical de los pastos se localiza en la capa de 0-20 cm del suelo (Hernández 2003).

Frageria y Moreira (2011) refieren que la utilización de especies y cultivares de plantas tolerantes al estrés biótico y abiótico, unida a la aplicación de prácticas culturales adecuadas, puede mejorar la función del sistema radical de las plantas en condiciones ambientales favorables y desfavorables.

Según Trujillo *et al*. (2006), el entendimiento de los procesos de acumulación de C en el suelo de los pastizales es muy limitado, ya que la información acerca de la producción, transformación y descomposición de las raíces es aún insuficiente. Estos autores encontraron que, en un pastizal de *Brachiaria humidicola* bien manejado, la producción de raíces fue el doble, con respecto a una sabana nativa. Esto, unido a una producción superior de hojarasca de baja calidad (mayor relación C:N y C:P), propició mayor acumulación de C en el suelo.

Las lombrices. Blanchart *et al*. (2004) demostraron la notable influencia de las raíces y las lombrices en la estabilidad del contenido de MO, actividad biológica, porosidad y estabilidad de los agregados en el suelo de los pastizales. Anteriormente, Guggenberger *et al*. (1996) concluyeron que los restos de plantas ricos en carbohidratos eran responsables de la estabilidad estructural de las excretas (casting) de las lombrices, además de los mucopolisacáridos presentes en los microorganismos del tracto gastrointestinal de estos animales. Estos autores indicaron que el metabolismo microbiano de las plantas con alto contenido de carbohidratos libera mucílagos y otros metabolitos que aumentan la permeabilidad de las partículas minerales, lo cual contribuye a la estabilidad de las excretas.

Las lombrices desempeñan importantes funciones en el ciclo del N en el suelo. Por medio de sus actividades afectan, directa e indirectamente, la mineralización de la MO. Al mismo tiempo, la presencia de MO en el suelo influye favorablemente en la población de lombrices. Van Vliet *et al*. (2007) encontraron que los pastizales con mayores contenidos de MOS presentaron también las poblaciones superiores de lombrices (hasta 858 u/m^2). Estos pastizales tuvieron además, los mayores valores de biomasa de raíces. Además, al incrementarse el contenido de MO (de 5 a 10.2 %), la mineralización potencial del nitrógeno aumentó en seis meses, de 138 a 310 kg de N.

Las propiedades físicas. Se ha demostrado que los suelos tropicales, principalmente los Oxisoles, poseen excelentes características físicas cuando son bien manejados. Se destacan por su alta tasa de infiltración y estructura estable que, consecuentemente, les permiten asimilar adecuadamente la agricultura mecanizada. Sin embargo, en Colombia, en los Llanos Orientales, Amézquita *et al*. (2004) encontraron deterioro rápido de las propiedades físicas de estos suelos, cuando utilizaron intensamente el arado de discos y el cultivador. En estas circunstancias recomendaron el establecimiento de pastos mejorados de raíces profundas, con cultivo mínimo. Este tipo de pasto construye y mantiene una capa de suelo productiva, con propiedades físicas, químicas y biológicas muy mejoradas, principalmente en lo referido al contenido de MOS y al tamaño y estabilidad de los agregados.

La abundancia de los agregados estables en el suelo depende notablemente del contenido de MOS. Los agregados constituyen la unidad estructural que agrupa a las partículas primarias que se cohesionan íntimamente unas con otras, en magnitud mayor que las partículas que las rodean. Wei *et al*. (2006) proponen un modelo que explica el mecanismo de agregación de las partículas en el suelo, basado en la hipótesis de que los macroagregados (>250 µm) constituyen colecciones de microagregados (< 250 µm), retenidos por bandas de MO. Según estos autores, los restos vegetales jóvenes, ricos en C, intervienen en la formación y estabilidad de los microagregados.

La naturaleza y las propiedades de los agregados están determinadas por la cantidad y la calidad de los residuos vegetales y los compuestos húmicos, así como por el grado de interacción con las partículas restantes del suelo. La prácticas de manejo, entre las que se encuentran los métodos de cultivo, el tratamiento de los residuos, las enmiendas y la fertilización del suelo favorecen que se agreguen partículas (Six *et al*. 2004). Sin embargo, se necesitan más investigaciones para comprender mejor los mecanismos de formación de los agregados y su respuesta a las actividades humanas.

La utilización del suelo. Los cambios en la utilización del suelo pueden modificar de forma marcada el contenido y la naturaleza de la MOS. Las investigaciones de Stuart Grandy *et al*. (2009) han contribuido al conocimiento de este problema. Estos autores compararon en doce sitios las variaciones en la composición química de la MOS y las comunidades microbianas. Las regiones escogidas representaron un amplio espectro de los diferentes usos del suelo. En este estudio encontraron una variación considerable en las propiedades químicas de la MOS en los distintos sitios. Sin embargo, aclararon que este comportamiento no puede atribuirse totalmente a la utilización que se le dio al suelo "per se", sino a la variación de las propiedades edáficas y a las prácticas de manejo específicas dentro de cada categoría de uso del suelo. Concluyeron que las categorías de uso no constituyen un indicador claro de la variación de la composición química de la MOS, cuando varían las propiedades edáficas y las prácticas de manejo. Para ello proponen los indicadores actividad enzimática, relación hongos-bacterias y textura, aspectos que evidencian las interacciones entre la actividad microbiana y la composición química de la MO.

La naturaleza de la MOS. Se han desarrollado diversas investigaciones para conocer mejor la naturaleza de las fracciones de la MOS en diferentes ecosistemas. Tian *et al*. (2010) comprobaron que el contenido de la enzima catalasa es el indicador que mejor identifica a los compuestos orgánicos solubles y de bajo peso molecular. Son precisamente estas fracciones las que poseen mayor cantidad de energía, carbón y nutrientes para la actividad microbiana. Por tanto, desempeñan una función importante en los diversos procesos del suelo. La comparación entre los ecosistemas indica que la integración agricultura/ganadería mostró suelos con mayor concentración de C-orgánico soluble (78 µg/g), compuestos fenólicos (1.5 µg/g), azúcares reductores (23 µg/g) y aminoácidos (0.76 µg/g). Además, esta investigación constató que solo la enzima peroxidasa se correlacionó significativamente con la composición química de la MO y el C soluble del suelo.

CAPTURA DEL C EN LOS ECOSISTEMAS DE PASTIZALES

Los cambios en el uso del suelo y las prácticas de manejo influyen, frecuentemente, en la captura de C y en su emisión a la atmósfera. En Brasil, las investigaciones de Nunes Carvalho *et al*. (2010) demostraron que la conversión de un pastizal nativo a otro con especies mejoradas influyó favorablemente en la entrada de C en el suelo, según el manejo aplicado. En el pastizal con especies mejoradas en suelo fértil, la acumulación promedio fue de 0.46 Mg ha^{-1} $año^{-1}$, mientras que en los pastizales establecidos en suelos pobres, las pérdidas de C estuvieron entre 0.15 a 1.53 Mg ha^{-1} $año^{-1}$. Los sistemas integrados agricultura/ganadería han mostrado valores positivos de acumulación de C, que varían de 0.82 a 2.58 Mg ha^{-1} $año^{-1}$ (Frost y Siri-Prieto 2009) y, como consecuencia, reducen la emisión de CO_2 a la atmósfera.

Una estrategia utilizada para rehabilitar los pastizales nativos degradados o improductivos es el establecimiento de pastos de especies mejoradas para secuestrar el C orgánico de los suelos. El C, N y P de la biomasa microbiana constituyen las fracciones biológicas más activas de C orgánico, y son, por tanto, los indicadores más útiles para determinar la salud del suelo en los ecosistemas. Las investigaciones de Agbein y Adeniyi (2005) en diversos pastizales de Nigeria durante cinco años así lo demostraron.

En Brasil, Da Silva *et al*. (2004) también señalaron la importancia de las especies mejoradas de pastos para aumentar la captura de C en los suelos y disminuir la contaminación ambiental. Estos autores enfatizaron

que este descubrimiento podría tener gran magnitud en las 204 millones de ha de pastizales en Los Cerrados en Brasil. Los mayores valores de almacenamiento de C se encontraron en pastizales de *Panicum maximum*, con 100 Mg C ha^{-1}.

En Martinica, Chevalier *et al*. (2000) encontraron en vertisuelos cubiertos por pangola (*Digitaria decumbens* Stent) con cinco años de establecidos, incremento de C, 6 g C kg^{-1} en la capa de 0 - 10 cm y de 2.5 g C kg^{-1} de 10 – 30 cm. Un total de 8.5 Mg C ha^{-1} hasta la profundidad de 30 cm. La variación espacial del C orgánico encontrada en el suelo se explicó por la variabilidad de la cubierta vegetal y la estructura física del vertisuelo.

En Cuba, los estudios de Miranda *et al*. (2007) demostraron que los sistemas silvopastoriles logran mayor captura de C en el suelo (1.26 Mg de C ha^{-1} $año^{-1}$) que los pastizales compuestos solo por gramíneas (0.32 Mg de C ha^{-1} $año^{-1}$), cuyo beneficio económico se aproximó a los 1 300 dólares (USD) por año.

TENDENCIAS DE LAS INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON LA MOS EN PASTIZALES

Aún no se han esclarecido muchos aspectos relacionados con la naturaleza y comportamiento de la MOS en los pastizales. En este sentido, la aplicación de modelos de simulación, basados en bancos de datos precisos pudieran explicar gran cantidad de incógnitas que aún existen. A finales de la década del setenta, Smith (1979) describió un modelo de resolución intermedia que explicó la descomposición de la MO a partir de un número amplio de datos experimentales publicados en revistas prestigiosas. La mayoría de las formas orgánicas e inorgánicas de N, P y K se trataron matemáticamente, junto a las diferentes transformaciones que estas experimentaron. La mayoría de las transformaciones son moderadas por microbios, y la dinámica de los microorganismos se encuentra explícitamente expuesta. Se hace una modelación de la población heterotrófica general, usando el C y el N orgánicos como energía, así como los nitrificadores que oxidan quimiotróficamente los compuestos nitrogenados. Este tratamiento dinámico de los microbios permite, entre otras cosas, estudiar la inmovilización microbiana de importantes nutrientes vegetales.

Además de la simulación de los aspectos biológicos de la descomposición, el modelo trata los procesos físico-químicos de precipitación, entrada de fertilizantes y minerales nativos, pérdidas por lavado, sorción de iones orgánicos e inorgánicos por los coloides del suelo, condensación entre N orgánico y compuestos aromáticos y reacciones de intercambio. También se incluyen los procesos de dependencia funcional con la temperatura y la humedad del suelo. Para la claridad de su presentación, el modelo de referencia está dividido en cuatro submodelos: para el N, P, K y para el C como sustrato energético. El modelo total se acopla a otro modelo de crecimiento vegetal que permite simular los ciclos completos de los elementos en el sistema suelo-planta.

Otro aspecto de mucho interés en las futuras investigaciones sobre este tema será el uso de isótopos de C (^{13}C) para identificar las fuentes de C del suelo y la tasa de transformación de la MOS. Esto es especialmente importante en las regiones tropicales, donde las áreas de bosques (plantas de sendero C_3) son reemplazadas por pastizales de gramíneas mejoradas (plantas de sendero C_4), lo que permitiría ampliar los conocimientos con respecto al comportamiento de los ecosistemas tropicales en el ciclo global del C (Bernoux *et al*. 1998).

Matlou y Haynes (2006) recalcaron la necesidad de continuar las investigaciones sobre nuevas técnicas analíticas de determinación de C y N orgánico, solubles en el suelo de pastizales. Estos autores recomendaron el método de extracción de estas sustancias con agua, cuando lo compararon con las extracciones con KSO_4 0.5M y KCl 2M.

También son de mucho interés los estudios acerca de la selección de indicadores que identifiquen mejor las transformaciones que ocurren en la MOS (Jan *et al*. 2009). Estos deben ser fáciles de determinar e interpretar.

REFERENCIAS

Agbein, J.O. & Adeniyi, T. 2005. The microbial biomass properties of a savanna soil under improved grass and legume pastures in Northern Nigeria. Agric. Ecosyst. Environ. 109:245

Amézquita, E, Thomas, R.J., Rao, J.M., Molina, D.L. & Hoyos, P. 2004. Use of deep-rooted tropical pastures to build- up an arable layer through improved soil properties of an Oxisol in the Eastern Plains (Llanos Orientales) of Colombia. Agric. Ecosyst. Environ. 103:269

Bernoux, M., Cerri, C.C., Neill, Ch. & Moraes, F.L. 1998. The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. Geoderma 82:43

Blanchart, E., Albrecht, A.A., Chevallier, T. & Hartmann, C. 2004. The respective roles of roots and earthworms in restoring physical properties of vertisol under a *Digitaria decumbens* pasture (Martinique, WI). Agric. Ecosyst. Environ. 103:343

Burbano, H. 2004. Manejo biorgánico de la fertilidad integral del suelo. Seminario interbacional de producción y salud animal. Facultad de Ciencias Pecuarias. Universidad Nariño, Colombia

Chevalier, T., Voltz, M., Blanchart, E., Chotte, J.L., Eschenbrenner, V., Mahieu, M. & Albrecht, A. 2000. Spatial and temporal changes of soil C after establishment of a pasture on a long-term cultivated vertisol (Martinique). Geoderma 94:43

Da Silva, J.E., Resck, D.V.S., Corazza, E.J. & Vivaldi, L. 2004. Carbon storage in clayed Oxisol cultivated pastures

in the "Cerrado" region, Brazil. Agric. Ecosyst. Environ. 103:357

De Oliviera, O.C., de Oliveira, I.P., Alvers, B.J.R., Urquiaga, S. & Baddey, R.M. 2004. Chemical and biological indicators of decline/degradation of Brachiaria pastures in the Brazilian Cerrado. Agric. Ecosyst. Environ.103:289

Dubeux Jr, J.C.B., Sollenberger, L.E., Comeford, N.B., Scholberg, J.M., Ruppieri, A.C. & Vendramini, J.M.B. 2006. Management intensity affects fractions of soil organic matter from grazed bahiagrass swards. Soil Biol. Biochem. 38:2705

Ernst, W.H.O. 2004. Vegetation, organic matter and soil quality. Dev. Soil Sci. 29:41

Frageria, N.K. & Moreira, A. 2011. The role of mineral nutrition on root growth plants. Adv. Agron. 110:251

Frost, O. & Siri-Prieto, G. 2009. Impact of perennial pasture and tillage systems on carbon input and soil quality indicators. Soil Tillage Res. 105:260

Guggenberger, G., Thomas, R.J. & Zech, W. 1996. Soil organic matter within earthworm casts of an anecic-endogeic tropical pasture community, Colombia. Appl. Soil Ecol. 3:263

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

Hernández, N. 2003. Caracterización de los componentes de la fitomasa de un pastizal tradicional y cuatro ecosistemas derivados de éste. Trabajo de Diploma. Fac. de Biología. Universidad de La Habana- Instituto de Ecología y Sistemática CITMA. p. 38

Jan, M.I., Roberts, S.K., Tonheim, S.K. & Jones, D.L. 2009. Protein breakdown represents a major bottleneck in nitrogen cycling in grassland soils. Soil Biol. Biochem. 41:2272

Matlou, M.C. & Haynes, R.J. 2006. Soluble organic matter and microbial biomass C and N in soils under pasture and arable management and the leaching of organic C, N and nitrate in Lysimeter. Appl. Soil Ecol. 34:160

Miranda, T., Machado, R., Machado, H. & Duquesne, P. 2007. Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración económica. Estudio de caso. Pastos y Forrajes 30:4

Müller, M.M., Guimaraes, M.F., Desjardins, T. & Mitja, D. 2004. The relationship between pasture degradation and soil properties in the Brazilian Amazon: a case study. Agric. Ecosyst. Environ. 103:279

Nunes Carvalho, J.L.N., Silva Rusi, G., Cerri, C.E.P. & Nernoux, M. 2010. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. Soil Tillage Res. 110:175

Potthast, K., Hamer, U. & Makeschin, F. 2010. Impact of litter quality on mineralization processes in managed and abandoned pasture soils in Southern Ecuador. Soil Biol. Biochem. 42: 56

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S. & Denet, K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. Soil Tillage Res. 79:7

Smith, O.L. 1979. An analytical model of the decomposition of soil organic matter. Soil Biol. Biochem. 11:585

Stuart Grandy, A., Strickland. M.S., Lauber, C.L., Bradford, M.A. & Fierer, N. 2009. The influence of microbial communities, management and soil texture on soil organic matter chemistry. Geoderma 150:278

Tian, L., Dell, E. & Shi, W. 2010. Chemical composition of dissolved organic matter in agroecosystems: Correlations with soil enzyme activity and carbon and nitrogen mineralization. Appl. Soil Ecol. 46:426

Trujillo, W., Fisher, M.J. & Lal, R. 2006. Root dynamics of native savanna and introduced pastures in the Eastern Plains of Colombia. Soil Tillage Res. 87:28

Van Vliet, P.C.J., van der Stelt, B., Rietberg, P.I. & de Goede, R.G.M. 2007. Effects of organic matter content and earthworms and nitrogen mineralization in grassland soils. Eur. J. Soil Biol. 43:222

Waring, S.A & Gibson, T.A. 1994. The soil fertility effects on leguminous hay pastures in north-east Thailand. II Effects on soil physical and chemical parameters. Field Crops Res. 39:129

Wei, Ch., Gao, M., Shao, X. & Pan, G. 2006. Soil aggregate and its response to land management practices. China Particuology 4:211

Recibido: 32 de marzo de 2011