FRACCIONAMIENTO Y ACUMULACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN TRES SUELOS VOLCÁNICOS DEGRADADOS DE MÉXICO

Aurelio Báez Pérez[1, 3], Claudia I. Hidalgo Moreno[1], Francisco Matus Baeza[2], Christian Prat[4] y Jorge D. Etchevers Barra[1]

[1]Colegio de Postgraduados, Campus Montecilllo, km. 36,5 Carretera México-Texcoco Montecillo 56230 (Estado de México, México). [2]Departamento de Ciencias Químicas, Universidad de La Frontera, P.O. Box 54-D, Temuco (Chile). [3]Dirección actual: INIFAP, Campo Experimental Bajío. Carretera Celaya-San Miguel Allende km 7.5, Celaya 381100 (Guanajuato, México). [4]I.R.D., IRD-LTHE, BP 53, Grenoble 38041, Cedex 9. (Francia). <pbaez@colpos.mx>, <jetchev@colpos.mx>.

Resumen: Para comprender los mecanismos de acumulación y distribución de C en los agregados y partículas elementales del suelo se precisa estudiar la interacción del C con la fracción mineral de éste, relacionándolo con la capacidad de captura de C del suelo. Se evaluaron tres suelos volcánicos deteriorados: Un *Acrisol* de la cuenca de Cointzio (Michoacán, México); un *Andosol* de la misma zona (cuya capa superficial se había perdido tendiendo actualmente a *Cambisol*); y, un tepetate de Tlalpan (originalmente una toba volcánica) habilitado para la agricultura aproximadamente 15 años atrás y ya transformado en suelo (Tlaxcala, México). En los tres sitios se evaluó el COS asociado a los agregados y partículas elementales en dos tipos de manejo agronómico: (1) Tradicional (como lo hace el agricultor, con monocultivo de gramíneas y bajos insumos de fertilizantes); y (2) con adición regular de abonos químicos y orgánicos, y leguminosas en rotación. Las muestras de suelo recolectadas se separaron primero, mediante tamizado en húmedo, en dos fracciones: 2000-250 µm y <250 µm; la primera se dividió en arenas gruesas y materia orgánica particulada (MOP). La segunda, se fraccionó en: arena fina (250 a 50 µm), limo (50 y 2 µm) y arcilla (<2 µm), empleando una sonda ultrasónica previamente calibrada para aplicar 0, 228, 455, 910 y 1365 J mL^{-1} (energía que se aplicó a la suspensión de suelo durante 0, 10, 20, 40 y 60 minutos, respectivamente). Las partículas dispersadas por la sonda se colocaron en columnas de vidrio y se separaron de acuerdo a la ley de Stokes. Se midió el COS en cada fracción mediante combustión seca automatizada. La proporción de partículas elementales separadas por este método se comparó con la obtenida mediante el método de referencia de la pipeta. El efecto de la energía aplicada en la dispersión de la fracción <250 µm varió en función de la proporción limo y arcilla y de la naturaleza misma de los minerales secundarios presentes en cada suelo. La arena gruesa sólo contuvo trazas de COS en el tepetate y el *Acrisol*, mientras que en el *Andosol* esa fracción aportó a la masa de suelo alrededor de 2 g kg^{-1} de COS (independientemente del sistema de cultivo). La MOP, que contiene C potencialmente mineralizable, representó alrededor de 4 g kg^{-1} en el *Andosol* (que fue el mayor de todos los casos). En el tepetate el COS estuvo asociado principalmente a la arcilla (2.9 g C kg^{-1}) y el limo (1.7 g C kg^{-1}) con el manejo orgánico. En el *Acrisol* el limo y la arcilla

contuvieron una cantidad semejante (p >0.05) de COS (aproximadamente 19 g C kg^{-1}) en ambos sistemas de cultivo. En el *Andosol*, el COS se acumuló mayormente en el limo, con cerca de 28 g C kg^{-1}, es decir, cerca de 60 % de las reservas de COS contenidas en este suelo deteriorado. El COS mostró diferencias significativas (p <0.05) por tipo de manejo sólo en el tepetate con el tratamiento orgánico, lo cual indica que estos materiales volcánicos tienen capacidad de almacenar más C en su matriz mineral (por la ausencia casi absoluta que presentan de este elemento). El *Acrisol* y el *Andosol* no mostraron diferencias significativas (p >0.05) con el tratamiento orgánico, lo cual sugiere que se requiere un mayor ingreso de residuos orgánicos en estos suelos para lograr que la tasa de acumulación del COS supere la tasa de mineralización de la materia orgánica edáfica en las condiciones edafoclimáticas en que se encuentran estos suelos.

***Palabras clave*:** Captura de carbono, fraccionamiento, tepetates, *Andosoles*, *Acrisoles*.

Fractionation and accumulation of organic carbon in three Mexican volcanic degraded soils

Abstract: *The study of mechanisms of accumulation and distribution of carbon (C) within the soil aggregates and soil elementary particles is necessary for establish the nature of the interaction of C with the mineral size-fractions. This phenomenon is related to the C sequestration by soil and climate change mitigation. Three volcanic degraded soils were evaluated: an Acrisol of the Cointzio basin, Michoacán; México; an Andosol of the same area, which had lost its surface layer, currently tending to Cambisol; and a tepetate of Tlalpan, Tlaxcala, México (originally a volcanic tuff) conditioned for agriculture about 15 years ago, and which turned into soil. In all three sites the SOC associated with aggregates and elementary particles was evaluated in two types of agricultural management: (1) traditional, as the farmer does, with monoculture of grasses and low inputs of fertilizers; 2) with regular additions of organic and chemical fertilizers and use of legumes in rotation. The soil samples collected were first tly separated by wet sieving into two fractions: 2000-250* µm *and <250* µm. *The first was divided into coarse sands and particulate organic matter (POM). The second was divided in: fine sand (250 to 50* µm*), silt (50 and 2* µm*), and clay (<2* µm*), for which an ultrasonic probe previously calibrated was used to apply 0, 228, 455, 910, and 1365 J* ml^{-1}*, energy obtained by using the probe in the soil suspension during 0, 10, 20, 40, and 60 minutes respectively. The particles dispersed by the probe were placed in glass columns and separated according to the law of Stokes. Then C was measured in each fraction using automated dry combustion. The proportion of elementary particles separated by this method was compared with that obtained by using the pipette method as a reference. The effect of the energy used in the dispersion of the fraction <250* µm *varied depending on the silt and clay proportion and the nature of secondary minerals present in the soil.*

Coarse sand contained only traces of SOC in the tepetate and Acrisol, while in Andosol this fraction contributed about 2 g C kg^{-1} of C to the soil mass in both cropping systems. The POM containing potentially mineralizable C accounted for 4 g C kg^{-1} in the Andosol, which was the largest of the cases. In the tepetate, SOC was associated mostly with clay (2.9 g C kg^{-1}) under the organic management. In Acrisols, silt and clay had a similar amount ($p > 0.05$) of SOC (approximately 19 g C kg^{-1}) in both cropping systems. In the Andosol, SOC accumulated mostly in silt, with about 28 g C kg^{-1}, i.e. approximately 60 % of the SOC reserves contained in this degraded soil. The SOC showed significant differences ($p <0.05$) by type of management only in the tepetates grown with the organic treatment, indicating that these volcanic materials have the capacity to store more C in their mineral matrix, due to the almost total absence of this element. Acrisols and Andosols showed no significant differences ($p> 0.05$) under the organic treatment, suggesting that a greater input of organic residues is required in these soils to ensure that the accumulation rate of SOC exceeds the mineralization rate of the soil organic matter under the soil and climatic conditions of these soils.

Key words: Carbon sequestration, fractionation, tepetates, Andosols, Acrisols.

INTRODUCCIÓN

La distribución, estabilización y nivel de saturación del C orgánico del suelo (COS) es función de la interacción de factores físicos, químicos y biológicos (Lal, 2004). El COS es un elemento que incide directamente en su fertilidad; sin embargo, la capacidad de la matriz del suelo para retenerlo está determinada por su textura y mineralogía, por el aporte y calidad de los residuos orgánicos y por los factores climáticos imperantes (Matus y Maire, 2000). Varios autores postulan que la proporción de limo y arcilla son las fracciones que determinan la capacidad de adsorción de C en los suelos (Van Veen y Kuikman, 1990; Hassink, 1994; Matus *et al.,* 2008). Se sabe que el COS puede ser estabilizado principalmente por tres mecanismos: a) Por protección física dentro de los agregados del suelo; b) por la interacción órgano-mineral (protección química); y c) por la transformación bioquímica de la materia orgánica del suelo (MOS) a formas recalcitrantes (Six *et al.,* 2002). Six y Jastrow (2002) postularon que las características físico-químicas inherentes de cada suelo en particular determinan la máxima capacidad de protección y acumulación de C. Sin embargo, la acumulación de COS varía también en función del grado de saturación de los suelos (Hassink y Whitmore, 1997).

En los sistemas agrícolas la perturbación a la que son sometidos los suelos por las prácticas de manejo agronómico repercute directamente en su estructura física y en las reservas de COS. Estas últimas al perderse paulatinamente provocan su deterioro físico, químico y biológico, lo cual impacta directamente en su fertilidad. Por lo anterior la continua incorporación de residuos orgánicos

(RO) es fundamental en la sostenibilidad de agroecosistemas y la acumulación de reservas de COS. Sin embargo, esto último está también influenciado, en parte, por la proporción y composición de los minerales de la arcilla y por la protección física a nivel de microagregados contra el ataque microbiano (Baldock y Skjemstad, 2000). Para determinar el potencial de acumulación de COS en suelos deteriorados es necesario estudiar su acumulación a nivel de las fracciones elementales de arena, limo y arcilla.

Los suelos volcánicos en México se ubican principalmente en las serranías del eje neovolcánico transversal, el cual atraviesa el país de oriente a occidente. Los *Andosoles* y las tobas volcánicas llamadas localmente *tepetates* son son abundantes. Se estima que los primeros ocupan 1,2 % del territorio nacional (*FAO-UNESCO-ISRIC*, 1998), mientras que los segundos (llamados localmente tepetates), abarcan 11,4 % (Guerrero *et al.,* 1992). Si bien existen distintos tipos de tepetates que han sido clasificados en función de la naturaleza del material que los constituyen y de los procesos que intervinieron en su formación, el que se utilizó para este estudio fue del tipo fragipán (denominado así por la similitud que presenta con estos materiales). Los tepetates son tobas volcánicas con distintos grados de intemperización formadas por procesos geológicos y pedológicos (Hidalgo, 1995; Etchevers *et al*., 2006). Estos materiales pueden acondicionarse en substratos cultivables mediante prácticas de roturación mecánica y un manejo agronómico adecuado (Báez *et al*., 2002)

Por otra parte los *Acrisoles* de la cuenca de Cointzio (Michoacán, México) cubre 223 km^2, esto es 33 % de su superficie (Medina-Orozco, 2008), mientras que en el total de México éstos cubren cerca de 10.000 km^2 (INEGI, 2004), aunque no todos son de origen volcánico. En la cuenca de Cointzio los *Acrisoles* presentan frecuentemente la pérdida del horizonte *A* debido a procesos erosivos. El horizonte *B* presenta restricciones físicas y químicas para el desarrollo de cultivos debido a la dureza que presenta en estado seco. Contienen más de 60 % de arcilla y pH ácido (alrededor de 5,0). La implementación de prácticas agronómicas (como encalado, adición de materia orgánica y uso de leguminosas) pueden contribuir a mejorar dichas limitaciones para la producción agrícola. En la misma cuenca la desforestación y el cambio de uso de suelo provocaron una drástica modificación en las propiedades físico-químicas de los *Andosoles*. La característica principal de estos suelos es la presencia de alofanes como mineral abundante de la fracción arcillosa, lo que les confiere una consistencia muy particular conocida como "tixotropía" (Shoji *et al.,* 1996). Por lo anterior estos suelos presentan una estructura muy porosa, con una densidad aparente (*Dap*) muy baja (entre 0,5 y 0,8 kg dm^{-3}), y una elevada permeabilidad. Sin embargo, la desecación de este tipo de suelos (ocasionada por la desforestación y cambio de uso de suelo), provoca una retracción irreversible de los agregados. En estas condiciones su capacidad de retención de humedad puede reducirse hasta en 60 % de la inicial y el suelo se convierte en una masa polvorienta e hidrófoba, con pérdida de sus mejores características físicas.

Para estudiar la cantidad de COS asociado a las distintas fracciones granulométricas es necesario efectuar la separación física de las fracciones elementales (arena, limo y arcilla), lo cual es posible mediante el empleo de energía aplicada a través de una sonda ultrasónica calibrada (Matus y Maire, 2000).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del manejo agronómico en la acumulación de COS a través de sus fracciones elementales en tres suelos volcánicos deteriorados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de estudio

El estudio se efectuó en dos sitios del de eje neovolcánico transversal de México (Fig. 1). El primero correspondió a Tlalpan (Tlaxcala) localiza a los 19° 20' N y 98° 20' O y a una altitud de 2600 m, en la vertiente oriental del eje neovolcánico transversal (Fig. 1). El clima del lugar es templado sub-húmedo: C (w1) (w). La temperatura media anual es de 14,0 °C, con una máxima de 19 °C y una mínima de -2 °C. La precipitación media anual es de 543 mm a^{-1} (concentrada principalmente en verano), pero con una distribución de las lluvias muy irregular (Fechter-Escamilla *et al.*, 1997). El segundo se localiza en la cuenca de Coinzio ubicada entre los 19° 33' 5" y 19° 37' 8" N y 101° 9' y 101° 15' O". De acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1984) el clima de la región corresponde a templado subhúmedo, con lluvias en verano Cb(w2)(w)(i')g. La temperatura media anual es de 13,8 °C. La precipitación media anual es cercana a los 900 mm a^{-1}, de la cual más del 90 % se distribuye de Mayo a Agosto.

Se estudiaron tres suelos de origen volcánico (Fig. 1): (a) Un tepetate cultivado de Tlalpan (Tlaxcala), en una parcela con 15 años de cultivo, textura franca y pH neutro. Los minerales primarios están constituido principalmente por vidrio volcánico, mientras que los minerales secundarios corresponden a arcillas del tipo haloisita, principalmente tubulares (Hidalgo *et al.*, 2010). También abundan materiales amorfos con bajo grado de cristalización; (b) Un *Acrisol* que se recolectó en Átecuaro (Michoacán), con textura arcillosa, pH ácido, arcillas del tipo caolinita y clorita rica en Fe, así como abundante presencia de óxidos de hierro; los principales componentes férricos son akaganeita, goethita y hematita, los cuales le confieren al suelo un color rojo intenso. (c) Un *Andosol* cultivado del mismo sitio, con alto grado de perturbación, pH ácido, textura franco limoso y con arcillas del tipo alófano; actualmente presenta características semejantes a las de un *Cambisol*.

En cada suelo se examinaron dos tipos de manejo agronómico bajo condiciones de temporal: (1) Tradicional (como lo hace el agricultor), con monocultivo de maíz (*Zea mays* L.) o trigo (*Triticum aestivum* L.) y bajos insumos de fertilizantes químicos y orgánicos; (2) con adición regular de abonos químicos y orgánicos

(compostas) y empleo de leguminosas como frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y haba (*Vicia faba* L.). En la cuenca de Cointzio (donde se sitúan los *Andosoles* y *Acrisoles*) los agricultores practican un sistema de cultivo que denominan "año y vez", que consiste en cultivar la tierra durante un año y dejarla en descanso en otro. Los suelos considerados en este estudio se cultivaron de manera continua durante cuatro años. El manejo agronómico se presenta en el Tabla 1.

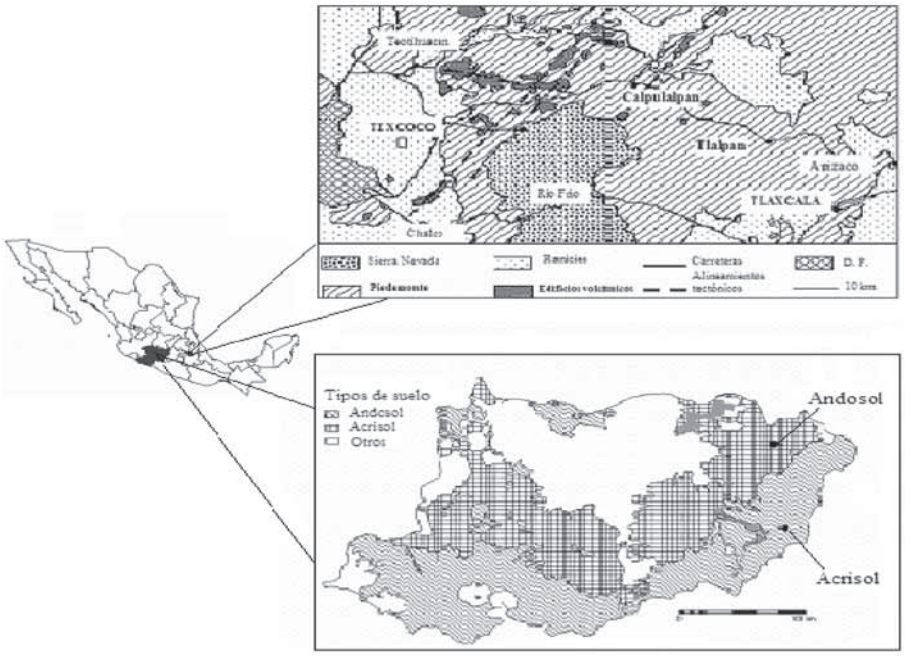

Figura 1. Localización de los suelos recolectados en el Eje neovolcánico de México. (a) Tlalpan (Tlaxcala) y (b) Cuenca de Cointzio (Michoacán).

Muestreo de suelos

Se recolectaron muestras de suelo compuestas por 22 submuestras en cada tipo de suelo de 0-20 cm de profundidad con un barreno de acero inoxidable. Se consideraron dos modalidades de manejo agronómico: tradicional (TT) y orgánico (TO). El primero de estos correspondió a parcelas cultivadas como lo hacen comúnmente los agricultores de la zona donde se colectaron los suelos, con monocultivos de gramíneas, retirada de rastrojos y una dosis complementaria de fertilizantes químicos nitrogenados. El segundo correspondió a parcelas experimentales donde en los últimos tres años (2004 a 2006) se practicó la rotación o asociación de cultivos (gramínea-leguminosa); se adicionaron anualmente más de tres toneladas por hectárea de composta, con la aplicación de una dosis complementaria de fertilizantes químicos nitrogenados y fosfatados.

Tabla 1. Manejo agronómico de las parcelas experimentales (Méjico).

SUELO	TRAT.	ÁREA	FERTILIZACIÓN				AÑOS DE CULTIVO			
		(m^2)	2002	2003	2004	2005	2002	2003	2004	2005
Tepetate	TT	1300	23-00-00	23-00-00	80-00-00	61-23-00	H+V	Av+V	M+F	T
Tepetate	TO	1400	3 Mg/MS ha^{-1} (Co)	15 Mg EF ha^{-1}	2 Mg MS ha^{-1}	3 Mg Co ha^{-1}	H+V	Av+V	M+F	T
Acrisol	TT	1240	23-00-00	23-00-00	81-00-00	65-23-00	H+V	Av	M+F	M
Acrisol	TO	1230	3 Mg/MS ha^{-1} (Co)	15 Mg EF ha^{-1}	3 Mg MS ha^{-1}	3 Mg Co ha^{-1}	H+V	Av+V	M+F	M
Andosol	TT	1450	23-46-00	23-00-00	81-00-00	67-23-00	H+V	Av	M+F	M
Andosol	TO	1200	23-46-00	15 Mg EF ha^{-1}	3 Mg MS ha^{-1}	4 Mg Co ha^{-1}	H+V	Av+V	M+F	M

Av: avena, C: convencional, Co: composta, EF: estiércol fresco, F: frijol, H: haba, V: veza, T: trigo, TO: tratamiento orgánico, TT: tratamiento tradicional, MS: materia seca.

Tabla 2. Fraccionamiento de tres suelos del Eje Neovolcánico Transversal (ENT) de México mediante dos métodos.

	Método de la pipeta*						Ultrasonido (1365 J mL^{-1})					
	TRADICIONAL			ORGÁNICO			TRADICIONAL			ORGÁNICO		
Suelo	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla
Tepetate	36	36	28	44	33	23	39±0.6	29±0.1	32±1.2	46±1.1	26±0.5	28±0.0
Acrisol	10	37	53	7	37	56	12±0.4	32±0.6	56±1.8	15±0.1	32±0.1	53±1.0
Andosol	33	51	16	21	61	18	24±0.7	49±0.3	27±0.7	16±0.5	50±0.5	29±0.5

*: No hicieron repeticiones.

Fraccionamiento físico

El suelo se separó primero en dos fracciones: 2000-250 µm y <250 µm. La primera estuvo constituida por la materia orgánica particulada (MOP) y por arena gruesa (AG). La segunda por arena fina (AF), limo (L) y arcilla (AR). Se colocaron 50 g de suelo seco al aire y tamizado en malla de 2 mm en vasos de acero inoxidable de 500 mL; se les agregó 180 mL de agua destilada y se dejaron reposar durante 24 h a temperatura ambiente. A cada vaso se adicionaron 10 esferas de vidrio de 5 mm de diámetro y se colocaron en un agitador de vaivén de acción recíproca regulado a 60 ciclos min^{-1} por 16 h; la separación se hizo por tamizado en húmedo a través de una malla de 250 µm. Las fracciones se secaron en vasos de vidrio de 600 mL en estufa a 60 °C de 7 a 10 días. La fracción <250 µm se disgregó en un mortero de ágata, se tomó una muestra de 10 g y se colocó a un vaso de precipitado de 250 mL. Se adicionaron 100 mL de agua destilada y se dejó saturar la muestra por 12 h a temperatura ambiente. La suspensión en agua fue sometida a cinco niveles de energía con una sonda de ultrasonido: 0, 228, 455, 910 y 1365 J mL^{-1} energías que se lograron haciéndola funcionar por 0, 10, 20, 40 y 60 min, respectivamente. Las muestras sonicadas fueron colocadas en columnas de vidrios y las partículas de limo (50 a 2 µm) y arcilla (<2 µm) se separaron por medio de un sifón después de un tiempo determinado de agitación y reposo, siguiendo la Ley de Stokes. Las fracciones recolectadas después de cada proceso de agitación fueron puestas en vasos de precipitado de 600 mL y se secaron lentamente en una estufa a 60 °C. Las muestras secas se homogenizaron y se disgregaron en un mortero de ágata. Las partículas más gruesas correspondientes a las arenas finas (250 a 50 µm) se recolectaron después de separar completamente las partículas más finas. La concentración de C en cada fracción de tamaño se determinó con un analizador automatizado para carbono total *TOC-5050A* Shimatzu. Como referencias para definir la máxima dispersión del suelo se usaron muestras de los mismos suelos que fueron sometidas a análisis de partículas elementales por el método de la pipeta (Van-Reeuwijk 1996).

Análisis estadístico

Se evaluaron tres suelos con dos tipos de manejo agronómico. Se obtuvo un total de seis tratamientos con tres repeticiones. Se relacionó la proporción de arena fina, limo y arcilla de cada tratamiento con la energía de sonicación y con la concentración de C medido para cada fracción separada. Se efectuó un análisis estadístico completamente al azar para evaluar el efecto de la energía aplicada entre tratamientos. Se efectuó la comparación de medias mediante el método de Tukey con $\alpha = 0{,}05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comparación de métodos

Los resultados de las fracciones relativas de arena, limo y arcilla se presentan en la Tabla 2.

Ambos métodos, de fraccionamiento granulométrico (el de la pipeta y el ultrasonido con 1365 J mL^{-1}), proporcionaron resultados semejantes ($p > 0,05$), con coeficientes de correlación del orden de $r = 0,73$, $r = 0,96$ y $r = 0,87$ para los tepetates, *Acrisoles* y *Andosoles*, respectivamente. De manera general, el tepetate cultivado con tratamiento orgánico (TO) presentó 6 % más arena y 5 % menos arcilla, respecto al TT. Esta diferencia se debió a la natural heterogeneidad que presentan estos materiales volcánicos, por lo cual no se puede atribuirse esta diferencia al TO. El *Acrisol*, por su parte, presentó una proporción semejante de las fracciones elementales con ambos métodos y ambos tipos de manejo agronómico. Los porcentajes de arena, limo y arcilla determinados con el método de referencia (pipeta) para evaluar la textura del suelo fueron semejantes ($p <0,05$) a los obtenidos por sonicación, tanto para el tepetate como para el *Acrisol*. En el *Andosol* difirió ligeramente en la proporción de arena y arcilla. Se obtuvo aproximadamente 10 % más arcilla con el método de sonicación. Sin embargo, en ambos casos la clase textural fue franco limosa.

Las propiedades físicas de los *Andosoles* están condicionadas por su mineralogía (Shoji *et al.*, 1993). Su contenido de arcilla y arena son generalmente inferiores a 25% y su estructura está formada por agregados muy finos (de tamaño limo y arena fina), como consecuencia de la formación de los complejos orgánico-metálicos que son el origen de este grupo de suelos. Estos complejos presentan un alto grado de dificultad para romperse con un análisis granulométrico convencional, por lo cual el fraccionamiento físico por sonicación proporcionó una mejor dispersión de los microagregados del suelo (<250 µm) con una mínima alteración del COS asociado a éstos.

Fraccionamiento físico

Los resultados del fraccionamiento físico en los suelos evaluados se presentan en el Tabla 3.

La masa de suelo recuperada (después de efectuar el proceso de separación de distintas fracciones) fluctuó entre 96 y 99 %. Los suelos mostraron diferentes proporciones de materia orgánica particulada (MOP), arena, limo y arcilla. La MOP (fracción fácilmente mineralizable que contribuye con la liberación de nutrientes) varió en función del tipo de manejo agronómico solamente en el tepetate cultivado, el cual se ubicó en el nivel más bajo, con alrededor de 0,2 % con el manejo tradicional. El tepetate con manejo orgánico tuvo 0,5 % de MOP en promedio, igual que el *Acrisol* con ambos tipos de manejo.

En el *Andosol* ésta fracción representó alrededor de 1 % de la masa total de suelo. La cantidad de MOP en suelos agrícola está determinada por el manejo agronómico, la calidad y cantidad de los residuos de cosecha incorporados y por las condiciones climáticas (Zagal *et al.*, 2002). El *Andosol* y *Acrisol* (que se sitúan en la cuenca de Cointzio) reciben anualmente más del doble de precipitación que los tepetates de Tlaxcala (menos de 500 mm anuales). Esta condición necesariamente propicia un mayor grado de mineralización de la MOP en estos suelos. Para lograr una mayor acumulación es necesario que los ingresos externos de residuos orgánicos sean mayores a las pérdidas por efecto de la mineralización, lixiviación y erosión. Lo anterior sugiere que para las condiciones edafoclimáticas imperantes en la Cuenca de Cointzio se requiere un mayor ingreso de materia orgánica para lograr una mayor acumulación MOP en el tratamiento orgánico.

La arena gruesa (fracción mineral del suelo que corresponde a las partículas de 2000-250 µm) constituyó 10 % de la masa de suelo en los tepetates cultivados, 14 % en el *Andosol* y menos de 5 % en el *Acrisol*.

Los resultados del fraccionamiento de las partículas <250 µm (que separaron mediante sonicación) mostraron, de manera global, que la proporción de arcilla aumentó de manera logarítmica en función de la energía aplicada, del mismo modo que disminuyeron las fracciones de limo y la arena fina (Fig. 2). Es evidente que la arcilla se encuentra asociada al limo y la arena fina con diferente fuerza de cohesión. En el tepetate y el *Acrisol* después de aplicar 228 J mL^{-1} de energía; el porcentaje de arenas finas no experimentó cambios significativos ($p \leq 0{,}05$). Lo anterior indica que las partículas <2 µm adheridas a las arenas finas fueron separadas casi por completo con esa cantidad de energía. En el *Andosol*, en cambio, se requirieron 910 J mL^{-1} para lograr sepáralas completamente, a pesar de que las arenas finas en este suelo representaron solamente el 10 % de la masa total.

En el tepetate y el *Andosol* la energía aplicada fue de 910 J mL^{-1} con ultrasonidos, lo que permitió dispersar los suelos de manera similar o cercana a lo obtenido por el método de la pipeta (Tabla 2). Sin embargo, en el *Acrisol* se requirió de los 1365 J mL^{-1} de energía para lograr este propósito, debido a la mayor cantidad de arcilla que contiene este tipo de suelo. En los tepetates parte de las arcillas presentes son de bajo grado de cristalización. Estos materiales volcánicos poseen además una baja concentración de MOS y, por tanto, una baja actividad biológica (Etchevers *et al.*, 1992), por lo cual la cohesión entre las partículas de la matriz mineral es muy débil por falta de cementantes orgánicos (Báez *et al.*, 2007). Aparentemente la situación anterior influye en la formación de agregados y microagregados con baja estabilidad. En los tepetates, después de la roturación mecánica, se genera un sustrato constituido únicamente de fragmentos, los cuales presentan una dureza y estabilidad mayor que los frágiles agregados que se forman lentamente con los años de cultivo.

En el *Andosol* el limo constituye más de 60 % de la masa de suelo, mientras que la fracción arcillosa fluctuó entre 16 y 18 %. Este suelo fue desforestado para establecer maíz y otros cultivos. Probablemente haya perdido parte de su fracción fina por efectos erosivos, además haber sido expuesto a la desecación, situación que no ocurre en forma natural cuando el suelo se encuentra con una cubierta vegetal boscosa, constituida principalmente por pinos (*Pinus spp*). En época de sequía (cuando no hay cultivos) el suelo se encuentra bastante suelto y se observa un arrastre significativo de partículas finas por el viento. El *Acrisol* se caracteriza por la abundancia de partículas inferiores a 2 µm (más de 60 %) y de óxidos de Fe que le atribuye el color rojo intenso. Lo anterior contribuye a que este suelo presente una fuerte cohesión entre las partículas (comparado con los casos anteriores) por lo cual se requirió mayor energía para dispersarlo completamente.

Carbono asociado a las fracciones <250 µm

El contenido de COS asociado a las fracciones de arena fina, limo y arcilla presentó un comportamiento característico para cada tipo de suelo (Figura 3). El COS asociado a los limos se mantuvo constante, de manera general, con la aplicación de los diferentes niveles de energía ultrasónica en cada tipo de suelo. Sin embargo, el COS asociado con la fracción arcillosa mostró una tendencia a disminuir en función de la cantidad de energía aplicada. Este comportamiento ha sido descrito por Christensen (1992). Hassink y Whitmore (1997) explicaron que esta situación ocurre principalmente en suelos arcillosos, donde los microagregados presentan una estructura masiva y el área por unidad de peso de la arcilla es menor, por lo cual el C se adsorbe menos en esta fracción. El caso del tepetate no es un sustrato arcilloso, pero presentó este tipo de comportamiento.

El COS en el tepetate cultivado se acumuló de manera primaria en la fracción arcillosa y de manera secundaria en el limo en ambos tipos de manejo agrícola. Las arenas finas prácticamente no retuvieron COS después de aplicar 445 J mL^{-1}. Con 228 J mL^{-1} de energía persistieron microagregados <250 µm, que retenían trazas de C. Lo anterior explica la fragilidad que tienen los agregados en estos sustratos volcánicos (Báez *et al*., 2007). El manejo orgánico en estos tepetates mostró un aumento sustancial de las reservas de COS respecto al manejo tradicional.

El *Acrisol* tuvo un comportamiento diferente al del tepetate. El COS se asoció de manera primaria en la fracción limosa en ambos tipos de manejo agronómico (2,9 %) y, de manera secundaria, en la fracción arcillosa. Las arenas finas acumularon hasta 0,5% de COS. En este tipo de suelos con pH ácido (5,0) las arcillas del tipo caolinita son dominantes (Hidalgo *et al.,* 2010). La abundante precipitación (>1000 mm anuales) propicia condiciones de intemperismo que derivan en la desnaturalización de los minerales arcillosos, de ahí la abundancia de óxidos de Fe y Al que ocasionan un acomplejamiento en sus propiedades químicas del suelo.

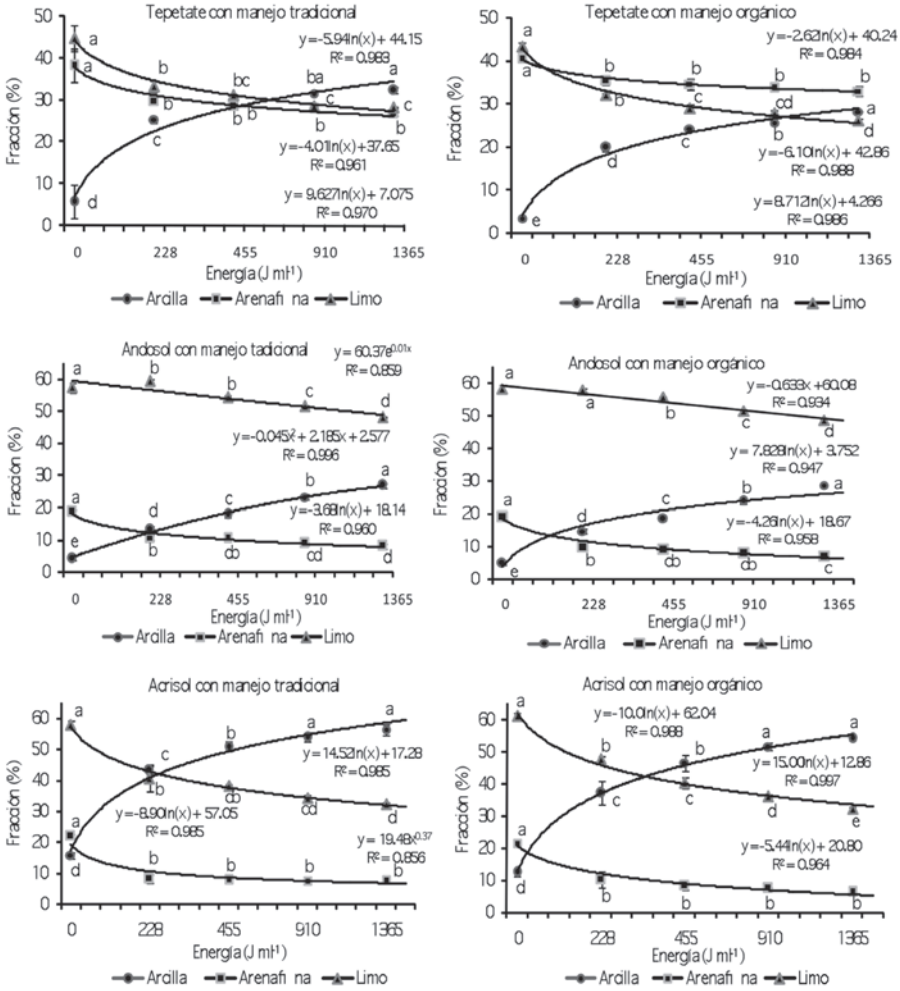

Figura 2. Fraccionamiento de microagregados (<250 µm) de tres suelos del eje neovolcánico de México bajo dos manejos agronómicos distintos (promedio de tres repeticiones). Letras semejantes son estadísticamente iguales en la aplicación de energía para cada fracción ($p \leq 0{,}05$).

En el *Andosol* el contenido de COS fue el más alto (≈6 %). Este elemento se asoció en igual proporción tanto en la fracción limosa como en la arcillosa. Sin embargo, debido al menor contenido de arcilla que tiene este suelo (28 %) la cantidad de COS asociada al limo resulta de mayor importancia. La fracción de arena fina acumuló cerca de 1 % de C, lo cual es un aporte importante comparado con lo observado en los otros suelos.

Tabla 3. Resultados del fraccionamiento físico y recuperación de masa de los suelos volcánicos evaluados.

MANEJO TRADICIONAL							MANEJO ORGÁNICO						
MOP	Arena gruesa	Energía	Arena fina	Limo	Arcilla	Total	MOP	Arena gruesa	Energía	Arena fina	Limo	Arcilla	Total
---------%--------		J mL^{-1}	----------%----------				---------%--------		J mL^{-1}	----------%----------			
Tepetate													
0,2	10	0	38a	45a	6d	99	0.5	10	0	40a	43a	3e	97
0,2	9	228	30b	33b	25c	98	0.5	10	228	35b	32b	20d	97
0,2	9	455	29b	31cb	29b	98	0.4	10	455	35b	29c	24c	98
0,2	9	910	28b	29c	32ba	98	0.5	10	910	34b	28cd	26b	97
0,1	10	1365	27b	28c	32a	97	0.4	10	1365	33b	26d	28a	98
Andosol													
1,4	14	0	19a	57a	4e	96	0.9	13	0	19a	58a	5e	97
1,1	14	228	11b	59a	13d	98	0.8	13	228	10a	58a	15d	96
1,4	15	455	10cb	55b	18c	99	0.8	12	455	9b	56b	19c	96
1,3	14	910	9cd	51c	23b	99	0.7	12	910	8cb	51c	24b	96
1,2	14	1365	8d	48d	27a	99	0.6	11	1365	7c	49d	29a	96
Acrisol													
0,3	2	0	22a	58a	16e	98	0.4	3	0	22a	61a	12e	98
0,5	3	228	8b	41b	43d	95	0.4	3	228	10b	48b	37d	98
0,5	2	455	8b	38cb	51c	100	0.4	3	455	8cb	40c	47c	98
0,5	2	910	8b	34cb	54b	99	0.5	3	910	8cb	36d	52b	98
0,6	3	1365	8b	32c	56a	100	0.5	2	1365	6c	32e	54a	96

MOP: Materia orgánica particulada. Letras semejantes son estadísticamente iguales en la aplicación de energía de cada fracción. (α = 0,05).

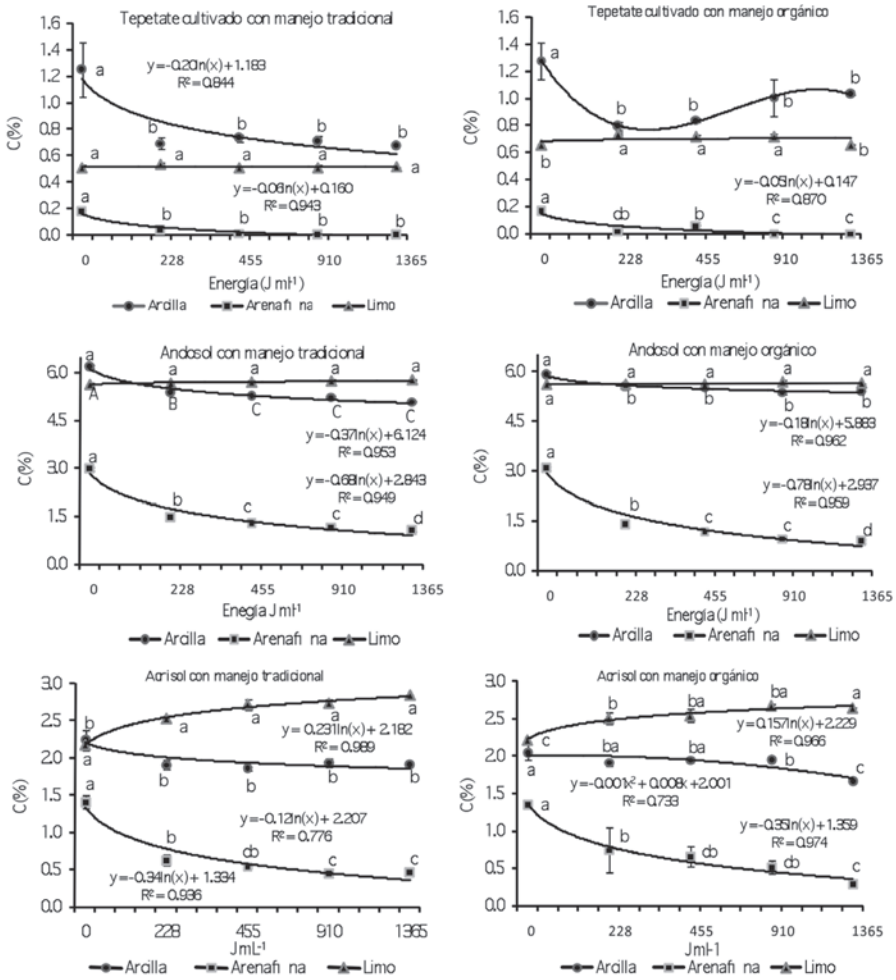

Figura 3. C orgánico en arena fina, limo y arcilla de tres suelos del eje neovolcánico de México bajo dos manejos agronómicos distintos (promedio de tres repeticiones). Letras semejantes son estadísticamente iguales en la aplicación de energía para cada fracción ($p \leq 0,05$).

Balance de COS en los suelos

El C que aporta las distintas fracciones a las reservas orgánicas del suelo es función de la proporción que éstas guardan dentro del mismo. Su expresión en g C kg^{-1} indica el aporte real de C con el que contribuye cada fracción a las reservas orgánicas de este elemento en el suelo (Tabla 4 y Fig. 4).

De manera global el *Andosol* presentó el nivel más alto en el contenido de COS. Fue 2,5 mayor a lo encontrado en el *Acrisol* y 14 veces mayor al

Tabla 4. C orgánico asociado a las fracciones >250 µm y <250 µm en los suelos evaluados (promedio de tres repeticiones).

MANEJO TRADICIONAL								MANEJO ORGÁNICO							
Suelo entero	MOP	Arena gruesa	Energía	Arena fina	Limo	Arcilla	Total	Suelo entero	MOP	Arena gruesa	Energía	Arena fina	Limo	Arcilla	Total
----------g C kg^{-1}----------			J mL^{-1}	----------g C kg^{-1}----------				----------g C kg^{-1}----------			J mL^{-1}	----------g C kg^{-1}----------			
Tepetate															
3.3	0.4	0.1	0	0.7a	2.3a	0.7a	4.1	4.3	0.9	0.1	0	0.6a	2.8b	0.4a	4.9
3.3	0.4	0.0	228	0.1b	1.8a	1.8b	4.0	4.3	1.1	0.1	228	0.1cb	2.4a	1.6b	5.2
3.3	0.4	0.0	455	0.0b	1.6a	2.1b	4.1	4.3	1.0	0.1	455	0.2b	2.1a	2.0b	5.4
3.3	0.5	0.0	910	0.0b	1.5a	2.2b	4.3	4.3	1.2	0.1	910	0.0c	2.0a	2.6b	5.9
3.3	0.3	0.0	1365	0.0b	1.5a	2.2b	4.0	4.3	1.1	0.0	1365	0.0c	1.7b	2.9b	5.8
Andosol															
46.7	3.7	2.0	0	5.6a	32.4b	2.7a	46.3	48.5	3.0	2.2	0	6.0a	32.7a	2.9a	46.8
46.7	3.8	2.0	228	1.6b	33.6a	7.1b	48.2	48.5	3.0	2.1	228	1.4b	32.5a	8.2b	47.2
46.7	4.5	2.0	455	1.3c	31.2a	9.5c	48.4	48.5	2.9	1.9	455	1.1c	31.2a	10.2b	47.3
46.7	4.4	1.7	910	1.0c	29.5a	12.2c	48.8	48.5	2.5	1.9	910	0.8c	29.2a	12.9b	47.3
46.7	4.5	2.0	1365	0.8d	27.9a	13.7c	49.0	48.5	2.0	2.0	1365	0.6d	27.6a	15.5b	47.7
Acrisol															
19.9	1.1	0.1	0	3.1a	12.6a	3.1a	20.0	18.8	1.2	0.3	0	2.9a	13.6c	2.6a	20.6
19.9	1.4	0.3	228	0.5b	10.3a	8.2a	20.8	18.8	1.2	0.2	228	0.8b	12.0b	7.2ba	21.4
19.9	1.4	0.2	455	0.4cb	10.4a	9.5a	21.9	18.8	1.1	0.2	455	0.5cb	10.3ba	9.1ba	21.2
19.9	1.3	0.2	910	0.3c	9.4a	10.4a	21.7	18.8	0.9	0.2	910	0.4cb	9.7ba	10.1b	21.3
19.9	1.5	0.2	1365	0.4c	9.2a	10.8a	22.1	18.8	0.7	0.2	1365	0.2c	8.5a	9.0c	18.6

MOP: materia orgánica particulada. Letras semejantes son estadísticamente iguales en la aplicación de energía de cada fracción. ($p \leq 0.05$).

de los tepetates cultivados. La fracción entre 2000-250 µm (correspondiente a la arena gruesa) presentó solamente traza de COS en el tepetate y el *Acrisol* con ambos tipos de manejo agronómico, mientras que en el *Andosol* esta fracción guardó alrededor de 2 g C kg^{-1} suelo.

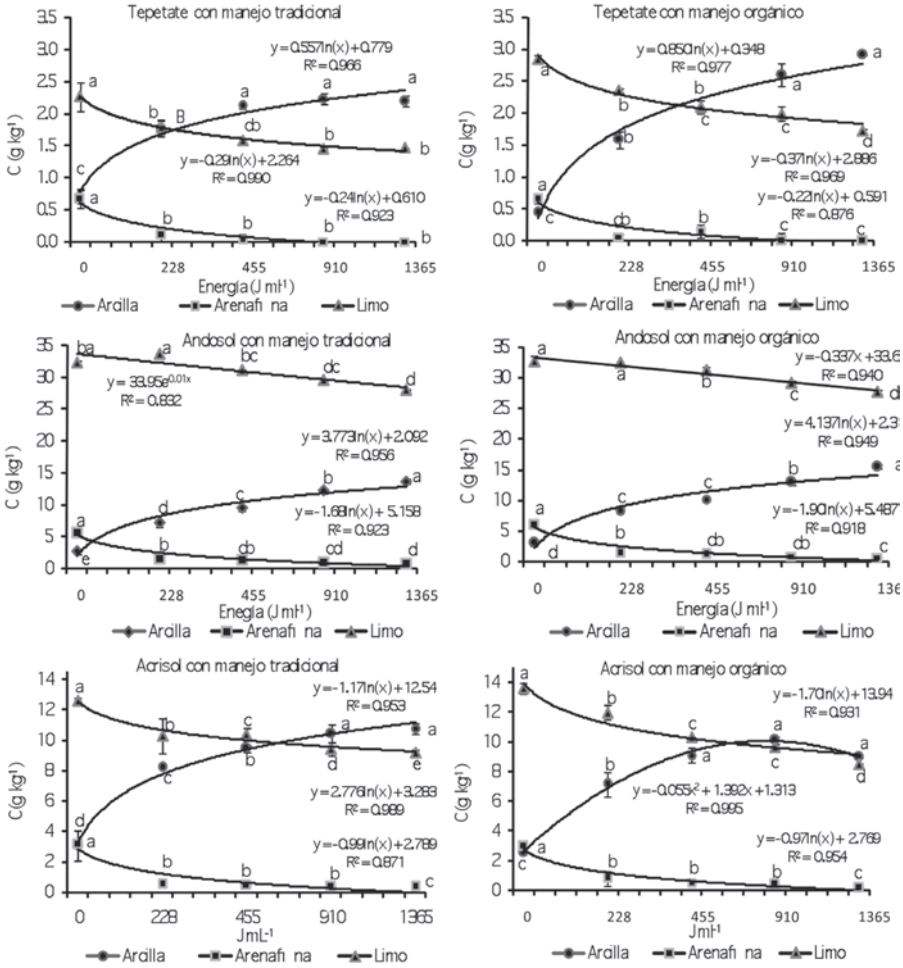

Figura 4. Balance de C orgánico en tres suelos del eje neovolcánico de México bajo dos manejos agronómicos distintos (promedio de tres repeticiones). Letras semejantes son estadísticamente iguales en la aplicación de energía para cada fracción ($p \leq 0,05$).

La MOP (fracción potencialmente mineralizable), tuvo una concentración de COS en el tepetate con TO (1,1 g C kg^{-1}) equivalente al doble de la encontrada con el TT. El *Andosol* presentó el mayor contenido de COS en esta fracción, entre 2.5 y 4.5 g kg^{-1}, y fue de tres a cuatro veces mayor a la

encontrada en el tepetates con TO y el acrisol con ambos tipos de manejo agrícola. Las condiciones climáticas en la cuenca de Cointzio (con más de 1000 mm de precipitación anual) conducen a un mayor potencial de mineralización de la materia orgánica respecto a la de los tepetates de Tlaxcala, con menos de mitad de precipitación anual. Esta es una de las principales causas por las que no hubo diferencias en las reservas de COS entre ambos tipos de manejo agronómico tanto para el *Acrisol*, como para el *Andosol*.

Las partículas <250 µm (correspondientes a las arenas finas, limos y arcillas) presentaron un contenido de COS diferente en cada fracción y en cada tipo de suelo. En el tepetate la fracción arcillosa independientemente del tipo de manejo agrícola se asoció con más del 60 % del COS contenido en la masa total de suelo, mientras el resto se encontró asociado al limo. Las arenas finas en estos sustratos volcánicos fueron completamente inertes. Antes de aplicar energía con el ultrasonido el *Acrisol* mostró una concentración de COS semejante entre el limo y la arcilla (Fig. 4) para ambos tipos de manejo (2,2 %). Aparentemente el C asociado a la arcilla se fue transfiriendo al limo a medida que se aplicaba energía con el ultrasonido y adsorbió 20 % más C que la fracción arcillosa (Fig. 4). Este comportamiento fue contrario a lo observado en el tepetate. La proporción de arcilla en el *Acrisol* representó más de 60 % del total de la masa de suelo por lo que, al efectuar el balance del contenido total de COS, el limo y la arcilla en este suelo aportaron una cantidad semejante de COS (menos de 50 % cada una) y una pequeña porción (alrededor del 2 %) se encontró asociada a la fracción arenosa. En el *Andosol*, por su parte, más de 60 % del COS se encontró asociado a los limos, alrededor de 35 % a las arcillas y 5 % con la fracción arenosa. Limo y arcilla fueron entonces las fracciones donde se almaceno más del 95 % de COS en los suelos evaluados.

CONCLUSIONES

La energía aplicada a una suspensión de suelo para separarlo en fracciones de arena fina (50-250 µm), limo (2-50 µm) y arcilla (<2 µm) fue diferente en cada tipo de suelo. Esta dependió, en parte a la proporción limo y arcilla y a la naturaleza misma de los minerales.

La acumulación de COS en cada tipo de suelo estuvo en función de la capacidad de adsorción del limo y arcilla y de la proporción relativa de dichas fracciones. En el tepetate el COS se asoció mayormente en la fracción arcilla (1,3%), en el *Acrisol* al limo (2,9 %) y en el *Andosol* fue semejante en ambas fracciones (5,8 %).

La transferencia arcilla procedentes de las fracciones arena fina y limo, después de aplicar diferentes niveles de energía, fue muy evidente y junto con estas también la transferencia de C. La proporción de arcilla aumentó logarítmicamente en el tepetate y *Acrisol* en función de la energía aplicada, mientras que la proporción de limo y arena fina disminuyó de manera inversa. En el *Andosol* este comportamiento fue lineal.

El COS mostró diferencias significativas (p <0,05) por tipo de manejo solamente en el tepetate. Esto sugiere que el tepetate puede almacenar más COS con mayor adición de materia orgánica. En el *Acrisol* y *Andosol* mostraron una acumulación de COS semejante en ambos tipos de manejo. El *Acrisol* y el *Andosol* no mostraron diferencias significativas (p >0,05) con el tratamiento orgánico, lo cual sugiere que se requiere un mayor ingreso de residuos orgánicos en estos suelos para lograr que la tasa de acumulación del COS supere la de mineralización de la MOS en las condiciones edafoclimáticas en que se encuentran estos suelos.

Agradecimientos

Agradecemos al proyecto *REVOLSO* (financiado por la U.E. N°. ICA4-CT-2001-10052) y al CONACYT (Méjico) por el financiamiento otorgado para realizar esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Báez A. J.D., C. Etchevers, C. Hidalgo, V. Prat, Ordaz y R. Núñez. 2002. C orgánico en tepetates cultivados de México. *Agrociencia* 36:643-653.

Báez A., J. D. Etchevers, C. Prat y C. Hidalgo. 2007. Formation of aggregates and carbon sequestration in ameliorated tepetates in the Río Texcoco basin, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24:487-497.

Baldock J. A. y J.O. Skjemstad. 2000. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Org. Geochem*. 31:697–710.

Christensen B.T. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advance of Soil Science* 20:1-89.

Etchevers J.D., R.M. López, C. Zebrowski y D. Peña. 1992. Fertilidad de los tepetates de la vertiente occidental de la sierra nevada (México). *Terra* 10 (Número especial): 379-384.

Etchevers J.D., C. Hidalgo, C. Prat y P. Quantin. 2006. Tepetates of Mexico. En: *Encyclopedia of soil science*. Lal R. (*ed.*). Marcel Dekker, Nueva York. Pp. 1745-1748.

FAO-UNESCO-ISRIC. 1998. *Mapa de suelos dominantes, escala 1:4000000*; primera aproximación. SEMARNAP/CP/INEGI, México D. F.

Fechter-Escamilla E.U., A. Verea y G. Werner. 1997. Erosión hídrica en un suelo volcánico endurecido (tepetate t3) en bloque de Tlaxcala, México. En: *III Simposio Internacional: Suelos Volcánicos y Endurecidos*. Zebrowski, C., Quantin, P y Trujillo, G. (eds.). ORSTOM. Quito (Ecuador). Pp. 351-358.

García E. 1984. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen*. Universidad Nacional Autónoma de México (México), pp: 16-21.

Guerrero-Eufracio E.L., J.L. Luna y E.C. Ochoa. 1992. Distribución de los tepetates de la República Mexicana. Escala 1:4000, 000. *Terra* 10 (Número especial): 131-136.

Hassink J. 1994. Effects of soil texture and grassland management on soil organic C and N and rates of C and N mineralization. Soil Biology & Biochemistry 26:1221-1231.

Hassink J. y A.P. Whitmore. 1997. A model of the physical protection of soil organic matter in soils. *Soil Science Society of America J.* 61:131-139.

Hidalgo C.I. 1995. *Étude des horizons indurés à comportement de fragipan, appelés tepetates, dans les sols volcaniques de la vallée de México*. Tesis doctoral. *O.R.S.T.O.M.*, París (Francia).

Hidalgo C., J.D. Etchevers, A. Martínez-Richa, H. Yee-Madeira, H. A. Calderón, R. Vera-Graziano y F. Matus. 2010. Mineralogical characterization of the fine fraction (<2 µm) of degraded volcanic soils and tepetates in Mexico. *Applied Clay Science* 49:348-358.

I.N.E.G.I. 2004. *Conjunto de datos vectoriales de la carta fisiográfica, escala 1:1000,000*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México. Aguascalientes (México).

Lal R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304:1624-1627.

Matus F.J. y C.R. Maire. 2000. Relación entre la materia orgánica y textura del suelo y tasa de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agricultura Técnica de Chile* 60:112-126.

Matus F., C. Lusk y C.R. Maire. 2008. Effects of soil texture, C input rates and litter quality on free organic matter and N mineralization in Chilean rain forest and agricultural soils. *Comm. in Soil Science and Plant & Soil Analysis* 39:187-2001.

Medina-Orozco L., M. Bravo-Espinosa, C. Prat, M. Martínez-Menes, E. Ojeda-Trejo y B.E. Serrato-Barajas. 2008. Pérdida de suelo, agua y nutrientes en un acrisol bajo diferentes sistemas agrícolas en Michoacán, México. *Agricultura Técnica en México* 34:201-2011.

Shoji S., M. Nanzio y R.A. Dalhgren. 1993. *Volcanic ash soils. Genesis, properties, and utilization*. Developments in Soil Science 21. Elsevier, Amsterdam. Pp. 8-30.

Shoji S., M. Nanzio, R.A. Dalhgren y P. Quantin. 1996. Evaluation and proposed revisions of criteria for andosols in the world reference base for soil resources. *Soil Science* 161:605-615.

Six J., R.T. Conant, E.A. Paul y K. Paustian. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturations of soils. *Plant & soil* 241:155-176.

Six J. y J.D. Jastrow. 2002. Organic matter turnover. En: *Encyclopedia of soil science*. Lal R. (Ed.). Marcel Dekker, Nueva York. Pp. 936-942.

Van-Veen J.A. y P.J. Kuikman. 1990. Soil structural aspects of decomposition of organic matter by micro-organisms. *Biogeochemistry* 11:213-233.

Van-Reeuwijk L.P. (ed.). 1996. *Procedures for soil analysis*. 5ª edn. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen (Holanda).

Zagal E., N. Rodríguez, I. Vidal y A.B. Flores. 2002. La fracción liviana de la materia orgánica de un suelo volcánico bajo distinto manejo agronómico como índice de cambios de la materia orgánica lábil. *Agricultura Técnica de Chile* 62:284-296.

Juan F. GALLARDO LANCHO (Coord.)

MATERIA ORGÁNICA EDÁFICA Y CAPTURA DE CARBONO EN SISTEMAS IBEROAMERICANOS

RED POCAIBA

Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental

<www.sifyqa.org.es>

Editores de este volumen:

Materia orgánica de suelos y sedimentos:
M. Belén Turrión Nieves y Felipe García Oliva

Residuos sólidos orgánicos:
Gerardo C. Díaz Trujillo y Engracia Madejón Rodríguez

Cuantificación y Captura de Carbono:
Felipe García Oliva y M. Belén Turrión Nieves

SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE FÍSICA Y QUÍMICA AMBIENTAL
SALAMANCA (ESPAÑA)

ÍNDICE

Presentación 25

Prólogo 27

I Parte
MATERIA ORGÁNICA DE SUELOS Y SEDIMENTOS

Pérdida y recuperación de la materia orgánica edáfica en Córdoba (R. Argentina). H. P. Apezteguía y R. Sereno 33

Fraccionamiento y acumulación de carbono orgánico en tres suelos volcánicos degradados de México. A. Báez Pérez, C.I. Hidalgo Moreno, F. Matus Baeza, C. Prat y J. D. Etchevers Barra 61

Caracterización de materia orgánica humificada en los sedimentos del cauce de la cuenca Matanza-Riachuelo (Argentina). M. Bargiela y A. Fabrizio de Iorio..... 81

Impacto del reemplazo de pastizales por plantaciones de «Eucalyptus grandis» en el carbono edáfico en Vertisoles de Argentina. M. García, O. A. Bachmeier y A. Rollán..... 103

Nitrogen Mineralisation and CO_2 evolution from «Arachis pintoi» residues in an acid soil (Brasil). B. Valles de la Mora y G. Cardisch..... 117

II Parte
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Aprovechamiento agronómico de residuos de almazaras (alperujos): impacto en la movilidad y persistencia de herbicida terbutilazina. A. Albarrán, A. López-Piñeiro, D. Cabrera y D. Peña..... 135

Evaluación del uso agrícola de lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Santiago de Chile. S. González Martineaux, R. Ruiz Schneider y F. Tapias Flores..... 153

Compostagem: A reciclagem da maior parte dos resíduos urbanos (Brasil). A. Marco da Silva e S. Donini Mancini 169

Efectos de la relación C/N y el contenido de humedad sobre la eficiencia del compostaje en reactores a escala banco-laboratorio. A. R. Prono, C. A. Martín y M. J. Mazzarino..... 193

III Parte
CUANTIFICACIÓN Y CAPTURA DE CARBONO

Estudio diacrónico del carbono orgánico del suelo en diferentes agrosistemas mexicanos. M. Fuentes, J. Etchevers, C.I. Hidalgo, F. de León, L. Dendooven y B. Govaerts 215

El uso potencial del modelo RothC-26.3 en inventarios nacionales de carbono orgánico del suelo en México. L. González Molina, J. D. Etchevers Barra, F. Paz Pellat y J. M. González Camacho 229

Cuantificación de carbono en el suelo y en el matillo en pinares y rebollares del Norte de España. C. Herrero, F. Bravo y M. B. Turrión 249

Estoque de carbono em solos com diferentes coberturas (São Paulo, Brasil). A. Marco da Silva, R. Custódio Urban, L. A. Manfré, R. Martins Carvalho e P. Barbosa de Camargo 267

Efecto del uso del suelo sobre el contenido de carbono del horizonte edáfico superficial y de la hojarasca en dos zonas del centro-norte de la península Ibérica. M. B. Turrión, F. Lafuente, R. Mulas, O. López y C. Ruipérez 281