

## REGENERACIÓN ESTRUCTURAL DE UN SUELO ARCILLOSO POR APORTES DE VERMICOMPOST EN LA CHONTALPA, TABASCO, MÉXICO

### Structural regeneration of a clayey soil through the addition of vermicompost in the Chontalpa, Tabasco, Mexico

R Sánchez-Hernández ✉, VM Ordaz-Chaparro, GS Benedicto-Valdés, CI Hidalgo-Moreno, DJ Palma-López

(RSH) Programa de edafología. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, Km. 36.5 Montecillo, Texcoco, 56230 Edo. de México, México. rsanchez@colpos.mx  
(VMOC) (GSBV) (CHM) Colegio de Postgraduados. (DJPL) Campus Tabasco. Colegio de Postgraduados

**Artículo recibido:** 19 de septiembre de 2005, **aceptado:** 19 de mayo de 2006

**RESUMEN.** El efecto de la adición de vermicompost de cachaza fue evaluado sobre las propiedades físicas de un suelo vertisol (Oxiaquic hapludert) en la región de la Chontalpa, Tabasco. El vermicompost fue aplicado en enero de 2003 y se mantuvo sin alteración mecánica durante 18 meses. En junio de 2004 fueron medidos la densidad aparente, la distribución y estabilidad de agregados en seco y húmedo, y el carbono total (Ct) asociado a cada tamaño de agregado, y se elaboraron láminas delgadas. Microagregados y macroagregados de los tratamientos de 0 y 60 t ha<sup>-1</sup> se visualizaron mediante microscopía electrónica. Los resultados indicaron que la densidad aparente disminuyó con el incremento de la dosis de vermicompost ( $r = 0.99$ ;  $p = 0.06$ ). A través de las láminas delgadas, se observó un cambio en la estructura de la superficie del suelo en los tratamientos de 40 y 60 t ha<sup>-1</sup>. En ambos tratamientos los macroagregados y el espacio poroso fueron más abundantes. Los resultados de los fraccionamientos por tamaño de agregados, tanto en seco como en húmedo, indicaron que hubo más macroagregados estables en los suelos que recibieron mayores dosis de la enmienda orgánica. La mayor cantidad de Ct se asoció con los macroagregados de entre 250 - 500  $\mu\text{m}$ , mientras que a los microagregados ( $< 250 \mu\text{m}$ ) se asoció menos Ct. La observación de microagregados y macroagregados por microscopía electrónica indicó una ausencia de materia orgánica particulada y macroagregados compuestos por una mayor cantidad de microagregados en el tratamiento de 60 t ha<sup>-1</sup>.

**Palabras clave:** Estructura del suelo, cachaza, vertisoles.

**ABSTRACT.** The effect of the addition of filter cake vermicompost on the physical properties of a vertic soil (Oxiaquic hapludert) in the region of the Chontalpa, Tabasco, was evaluated. The vermicompost was applied to the soil in January of 2003 and was left without tillage for 18 months. The bulk density, the distribution and stability of dry and wet aggregates, and the total carbon (Tc) associated with each aggregate size class were measured, and thin sections were prepared in June of 2004. Micro-aggregates and macro-aggregates of the 0 and 60 t ha<sup>-1</sup> treatments were studied under an electronic microscope. The results indicated that the bulk density decreased with an increase in the vermicompost dose ( $r = 0.99$ ,  $p = 0.06$ ). The thin sections made it possible to see that a change took place in the structure of the soil surface in the 40 and 60 t ha<sup>-1</sup> treatments. Macro-aggregates and interstitial spaces were more abundant in both treatments. The results obtained with the partition into aggregate sizes, both dry and wet, indicated that there were more stable macro-aggregates in the soils that received the greater organic amendment doses. A greater amount of Tc was associated with the 250 - 500  $\mu\text{m}$  macro-aggregates, whereas less Tc was associated with the micro-aggregates ( $< 250\mu\text{m}$ ). The observation of micro-aggregates and macro-aggregates through electronic microscopy showed an absence of particulate organic matter and macro-aggregates composed of a greater amount of micro-aggregates in the 60 t ha<sup>-1</sup> treatment.

**Key words:** Soil structure, filter cake, vertic soil.

## INTRODUCCIÓN

En el estado de Tabasco, alrededor del 20 % de la superficie del suelo es ocupada por Vertisoles (492 502 ha), los cuales tienen como principal restricción productiva, la baja agregación y drenaje deficiente (Palma-López & Cisneros 2000). Según Bresson *et al.* (2001) este problema puede ser atendido mediante aportes de enmiendas orgánicas como el compost, ya que las enmiendas ayudan a regenerar las estructuras perturbadas a causa de las prácticas agrícolas y la pérdida de la materia orgánica del suelo (MOS). Mikha & Rice (2004) identificaron diferentes fracciones en la MOS consideradas como agentes activos que favorecen la agregación a través de mecanismos físicos y químicos. Las propuestas para explicar la formación de agregados han sido varias. Tisdall & Oades (1982) sugirieron que los agregados son formados mediante el enlace de partículas minerales, que se unen para formar los microagregados (50-250  $\mu\text{m}$ ), a partir de la unión de esos microagregados se forman los macroagregados ( $> 250 \mu\text{m}$ ). Posteriormente, Oades (1984) señaló que primero los macroagregados (250-2000  $\mu\text{m}$ ) se forman alrededor de MO fresca. Si los macroagregados no son perturbados por la labranza o factores ambientales, entonces esos residuos se descomponen y se fragmentan en materia orgánica más fina, la cual gradualmente empieza a incrustarse con partículas de arcillas y productos microbianos, formando microagregados dentro de los macroagregados. Cuando los macroagregados se desestabilizan debido a la degradación de los agentes enlazantes, los microagregados estables empiezan a liberarse, esos microagregados constituyen los bloques necesarios, para la formación de nuevos macroagregados. Puget *et al.* (2000) respaldaron este modelo al mostrar que los agregados estables fueron enriquecidos con incorporaciones recientes de MO. Posteriormente Bossuyt *et al.* (2004) señalaron que la macroagregación es resultado de un enriquecimiento con materia orgánica fresca, la cual constituye un núcleo alrededor del cual, se adhieren las partículas minerales, posteriormente, la alteración de los macroagregados da como resultado, la aparición de microagregados estables.

Debido a la importancia que tiene la estructura del suelo en los procesos edáficos, así como el

reciclaje de residuos orgánicos, los objetivos de esta investigación fueron determinar los cambios provocados en la estructura de un suelo arcilloso por los aportes de vermicompost de cachaza y medir el porcentaje de Carbono orgánico que se asocia con diferentes tamaños de agregados.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El sitio experimental se ubicó en el Poblado C-11 General José María Morelos y Pavón, perteneciente al Municipio de Cárdenas, Tabasco, México ( $17^{\circ} 59' \text{ N}$  y  $93^{\circ} 33' \text{ O}$ ). De acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1973), el clima de esta zona corresponde a un Amw, el cual es definido como cálido, húmedo tropical lluvioso. La precipitación media anual es de 2 163.4 mm y la temperatura media anual es de  $26.5^{\circ} \text{ C}$  (Trujillo-Narcia & Palma-López 1990).

El experimento se inició en el mes de enero de 2003 y consistió en delimitar microparcels de  $1 \text{ m}^2$  de acuerdo a los métodos propuestos por Raison *et al.* (1987). El suelo fue clasificado como un Oxiaquic hapludert (Anónimo 2003). Este suelo fue barbechado y rastreado manualmente a semejanza de una preparación mecánica. El barbecho fue realizado con pala en un sólo evento, mientras que el rastreado o mullido fue efectuado en dos ocasiones con azadón. Mientras se rastreaba el suelo se aportaron e incorporaron las diferentes dosis de vermicompost a una profundidad no mayor a 10 cm. En el vermicompost se determinó la materia orgánica (MO) por el método de combustión seca (Ball, 1964) y el nitrógeno total (Nt) por el método semi-microkjeldahl (Bremner, 1965). La relación C/N fue calculada a partir de las determinaciones de MO y Nt. Las dosis empleadas en cada tratamiento fueron 0, 20, 40 y  $60 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente. El tratamiento testigo fue el de  $0 \text{ t ha}^{-1}$  (suelo sin aporte de vermicompost). En el terreno, los tratamientos se dispusieron en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Durante la conducción del experimento, las parcelas se mantuvieron libres de malezas y cultivos, con la finalidad de evitar el efecto agregante de las raíces de las plantas.

En junio de 2004 se muestreó por triplicado en cada una de las parcelas experimentales.

La primera serie de muestras se ocuparon para los análisis de distribución de agregados en seco (Chepil & Bisal 1943), estabilidad de agregados en agua (Kemper & Rosenau 1986) y determinación automática de Carbono total (C-total) en los agregados mediante combustión seca con equipo TOC-5050 (Etchevers *et al.* 2005). La segunda serie se utilizó para determinar la densidad aparente ( $\rho_b$ ) por el método del doble cilindro (Brewer 1964). Las muestras de la tercera serie fueron utilizadas para la elaboración de láminas delgadas (Fitzpatrick & Gudmundson 1978). Los macroagregados y microagregados de los tratamientos más contrastantes, en cuanto al contenido de C-total se seleccionaron para visualizarlos a través de un microscopio electrónico de barrido marca JEOL modelo 35C JSM 35C mediante el protocolo propuesto por Bozzola & Russel (1992).

Con los datos generados a partir del tamizado en seco se determinó el diámetro medio ponderado (DMP) y la estabilidad de agregados en seco (EAS). De acuerdo con Eynard *et al.* (2004), ambos indicadores pueden calcularse mediante las siguientes ecuaciones:

$$DMP = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n X_i W_i}{STW} \right]$$

donde: DMP = diámetro medio ponderado de los agregados tamizados en seco (mm);  $X_i$  = diámetro medio de la fracción de cada tamiz (mm),  $W_i$  = peso total de la muestra correspondiente a cada tamaño fracción y STW = peso total de la muestra.

$$EAS = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n AW > 1mm}{STW} \right]$$

donde: EAS = estabilidad de agregados en seco ( $g\ g^{-1}$ ),  $AW > 1mm$  = peso de los agregados  $> 1mm$  y STW = peso total de la muestra. Con los datos generados a partir del tamizado en agua

se calculó la proporción de agregados estables en agua (AEA) mediante la ecuación:

$$AEA = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n M_{a+ar} - M_{ar}}{M_t - M_{ar}} \right] X100$$

donde: AEA = agregados estables en agua,  $M_{a+ar}$  = masa de agregados resistentes en agua más la arena (g),  $M_{ar}$  = masa de la fracción de arena sola (g),  $M_t$  = masa total del suelo tamizado (g). El diámetro medio ponderado (DMP) se cálculo con la ecuación:

$$DMP = \sum_{i=1}^n X_i W_i$$

donde: MWD = diámetro medio ponderado de los agregados estables en agua (mm),  $X_i$  = diámetro medio de la fracción de cada tamiz (mm),  $W_i$  = peso total de la muestra correspondiente a cada tamaño fracción, después de deducir el peso de piedras (por dispersión y al pasar cada fracción por el tamiz correspondiente).

El análisis de las imágenes de las láminas delgadas se realizó a través de un dispositivo conectado a una computadora. El dispositivo cuenta con una cámara Hitachi KP-D50 montada a un estereoscopio marca Olympus modelo SZ-CTV. La computadora cuenta con el programa IMAGE-PRO-PLUS versión 3.0, el cual permite captar la imagen a través del estereoscopio, fotografiarla y archivarla para realizar posteriores análisis. La ampliación de la imagen se realizó con los objetivos 0.67 x y 1.2 x. Los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de varianzas, análisis de correlación y comparaciones múltiples de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), con el paquete estadístico SAS 9.0 (Anónimo 2004).

## RESULTADOS

### Desarrollo organogenético

Distribución de tamaños de agregados en seco. En todos los tratamientos se observó una mayor cantidad de estructuras mayores a 11.5 mm,

**Tabla 1.** Diámetro medio ponderado (DMP) y estabilidad de agregados en seco (EAS) en un Oxiaquic hapludert tratado con vermicompost. Los valores corresponden a las medias  $\pm$  el error estándar y la diferencia mínima significativa (DMS  $\alpha \leq 0.05$ ).

**Table 1.** Weighed mean diameter (WMD) and stability of dry aggregates in an Oxiaquic hapludert treated with vermicompost. Values correspond to the mean  $\pm$  standard error and the least significant difference (LSD  $\alpha \leq 0.05$ ).

Tamaños de agregados (mm)	Tratamientos (t ha <sup>-1</sup> )				DMS $\alpha \leq 0.055$
	0	20	40	60	
> 11.5	27.9 $\pm$ 1.1	51.3 $\pm$ 2.5	26.8 $\pm$ 0.5	39.0 $\pm$ 2.6	37.46
4.76-11.5	24.8 $\pm$ 0.4	17.2 $\pm$ 0.9	23.0 $\pm$ 0.1	24.8 $\pm$ 1.2	14.06
3.36-4.76	12.5 $\pm$ 0.01	7.8 $\pm$ 0.5	12.4 $\pm$ 0.01	8.9 $\pm$ 0.8	8.42
2.0-3.36	10.2 $\pm$ 0.2	5.9 $\pm$ 0.4	11.22 $\pm$ 0.5	7.7 $\pm$ 0.3	7.47
1.0-2.0	7.9 $\pm$ 0.2	4.7 $\pm$ 0.4	10.03 $\pm$ 0.2	5.7 $\pm$ 0.2	5.71
0.5-1.0	3.5 $\pm$ 0.1	2.2 $\pm$ 0.2	4.6 $\pm$ 0.2	2.7 $\pm$ 0.02	2.36
0.25-0.5	1.3 $\pm$ 0.05	0.95 $\pm$ 0.06	1.5 $\pm$ 0.10	1.0 $\pm$ 0.02	0.93
<0.25	11.9 $\pm$ 0.19	9.9 $\pm$ 0.14	10.4 $\pm$ 0.15	10.2 $\pm$ 0.15	2.13
DMP (mm)	5.84 $\pm$ 0.02	6.26 $\pm$ 0.07	6.73 $\pm$ 0.01	8.31 $\pm$ 0.24	1.7
EAS (g g <sup>-1</sup> )	0.82 $\pm$ 0.03 c	0.84 $\pm$ 0.01 b	0.86 $\pm$ 0.07 ab	0.87 $\pm$ 0.04 a	2.56

**Tabla 2.** Distribución de agregados tamizados en agua en suelos tratados con diferentes dosis de vermicompost. Los valores corresponden a las medias  $\pm$  el error estándar y la diferencia mínima significativa (DMS  $\alpha \leq 0.05$ ).

**Table 2.** Distribution of wet aggregates in soils treated with different doses of vermicompost. Values correspond to the mean  $\pm$  standard error and the least significant difference (LSD  $\alpha \leq 0.05$ )

Tamaños de agregados (mm)	Tratamientos (t ha <sup>-1</sup> )				DMS $\alpha \leq 0.05$
	0	20	40	60	
>3.36	13.9 $\pm$ 0.13 d	15.3 $\pm$ 0.04 c	17.9 $\pm$ 0.09 b	20.3 $\pm$ 0.29 a	1.1
2.0-3.36	13.1 $\pm$ 0.48 a	12.8 $\pm$ 1.18 a	11.3 $\pm$ 0.08 a	14.6 $\pm$ 0.01 a	3.4
1.0-2.0	6.4 $\pm$ 0.67 a	5.9 $\pm$ 0.02 a	4.7 $\pm$ 0.78 a	7.5 $\pm$ 0.21 a	3.8
0.5-1.0	7.6 $\pm$ 0.13 c	7.9 $\pm$ 0.12 c	9.9 $\pm$ 0.30 b	13.3 $\pm$ 0.04 a	1.1
0.25-0.5	11.1 $\pm$ 1.10 a	10.9 $\pm$ 0.17 a	8.9 $\pm$ 0.15 a	8.8 $\pm$ 0.44 a	4.4
<0.25	47.8 $\pm$ 0.66 a	47.2 $\pm$ 1.15 a	47.3 $\pm$ 0.51 a	35.5 $\pm$ 0.55 b	4.5

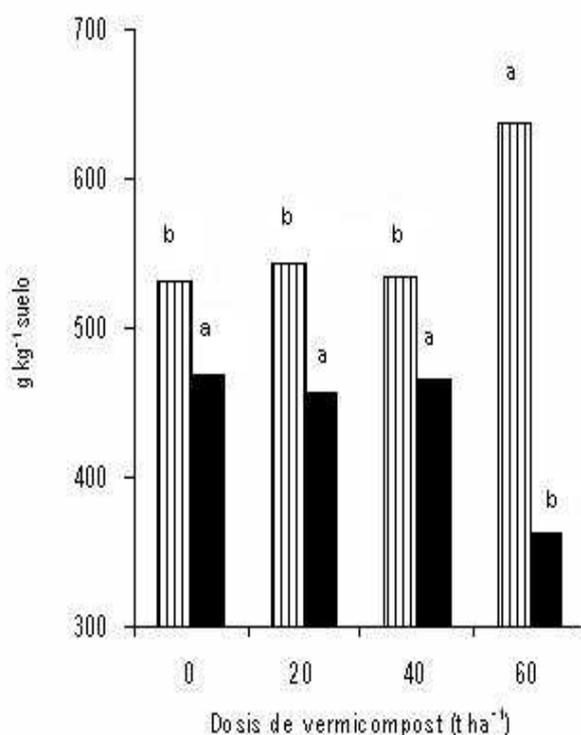
aunque fue en los tratamientos de 20, 40 y 60 t ha<sup>-1</sup> donde fueron más frecuentes estas estructuras. Los tamaños de agregados entre 4.76 - 11.5 mm, 3.36 - 4.76 mm, 2 - 3.36 mm y 1 - 2 mm siguieron en porcentaje. Los tamaños de agregados que en menor porcentaje se presentaron fueron los de 0.5 - 1 mm y 0.25 - 0.5 mm. Sin embargo, en ninguno de los tamaños de agregados hubieron diferencias estadísticas (Tukey;  $p \geq 0.05$ ; Tabla 1). El DMP aumentó en relación directa a las dosis de la enmienda orgánica ( $r = 0.90$ ;  $p < 0.0001$ ). Sin embargo, este incremento no resultó significativamente diferente (Tukey;  $p \geq 0.05$ ; Tabla 1). De esta forma el tratamiento de 60 t ha<sup>-1</sup> presentó el DMP mayor, mientras que en el testigo mostró el menor.

En la EAS, al igual que en la variable anterior, se observó un crecimiento conforme se incrementó la dosis de vermicompost. En éste caso, sí se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos, y el tratamiento de 60 t ha<sup>-1</sup> presentó el mayor EAS. Entre ambas variables se estimó una correlación significativa ( $r = 0.86$ ;  $p \leq 0.05$ ), la cual sugiere que el DMP de los agregados tamizados en seco y la EAS se incrementaron linealmente.

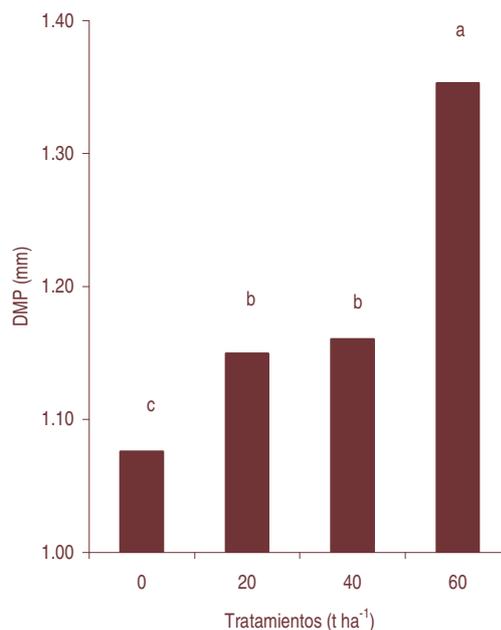
#### Distribución de agregados estables en agua

El incremento en la dosis de vermicompost provocó un incremento en la proporción de macroagregados estables en agua, específicamente los de tamaño mayor a 0.5 mm. Los agregados menores

a ese tamaño fueron más frecuentes en los suelos que recibieron menos cantidad de la enmienda. Solamente, los agregados mayores a 3.36 mm y entre 0.5 - 1 mm se diferenciaron estadísticamente, particularmente en los suelos que recibieron las dosis más altas. En general, el intervalo de tamaño de agregado, que se presentó en menor porcentaje, fue el de 1 - 2 mm (Tabla 2). En los microagregados (< 0.25 mm) se observaron diferencias estadísticas, aunque en sentido contrario al de los macroagregados. En el tratamiento testigo hubo mayor cantidad de microagregados y al incrementarse la dosis de vermicompost, la cantidad de microagregados disminuyó (Tabla 2).



**Figura 1.** Efecto de la aplicación de vermicompost sobre la distribución de agregados en seco. ▨ = Macroagregados (diferencia mínima significativa DMS  $\alpha \leq 0.05 = 4.58$ ). ■ = Microagregados (DMS  $\alpha \leq 0.05 = 4.56$ ).  
**Figure 1.** Effect of the addition of vermicompost on the distribution of dry aggregates. ▨ = Macro-aggregates (least significant difference LSD  $\alpha = 0.05 = 4.58$ ). ■ = Micro-aggregates (LSD  $\alpha = 0.05 = 4.56$ ).



**Figura 2.** Cambios en el DMP de los agregados del suelo por el incremento en la dosis de vermicompost (DMS  $\alpha \leq 0.05 = 0.01$ ).

**Figure 2.** Changes in the WMD of the soil aggregates with an increase in vermicompost dose (LSD  $\alpha \leq 0.05 = 0.01$ ).

Para fines analíticos, el fraccionamiento del suelo (Tabla 2) fue agrupado en dos intervalos de tamaños, los macroagregados (> 0.25 mm) y los microagregados (< 0.25 mm) (Figura 1). En ambos tamaños se estimaron diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey;  $p \leq 0.05$ ). La mayor parte del suelo se concentró en los macroagregados (> 0.25 mm). Por su parte, la proporción de macroagregados en los tratamientos de 0, 20 y 40 t ha⁻¹ de vermicompost fueron iguales estadísticamente (Tukey;  $p \geq 0.05$ ), solamente el tratamiento de 60 t ha⁻¹ fue diferente (Tukey;  $p \leq 0.05$ ). En la proporción de microagregados no se estimaron diferencias estadísticas entre los tratamientos de 0, 20 y 40 t ha⁻¹, excepto en el tratamiento de 60 t ha⁻¹ (Tukey;  $p \leq 0.05$ ). Al considerar los valores absolutos de los tres primeros tratamientos, el testigo registró una mayor masa de suelo dentro del rango de microagregados (469 g kg⁻¹ de suelo).

La investigación desarrollada mostró que el DMP fue mayor que en el tratamiento correspondiente a 60 t ha⁻¹ de vermicompost (Figura 2). El análisis de correlación sugirió que el incremento en la dosis de la enmienda provocó un aumento del DMP ( $r = 0.92$ ,  $p < 0.0001$ ). El DMP es el

resultado de la sumatoria de los productos entre el diámetro medio de cada fracción por tamaño de agregado y la proporción de cada una de esas fracciones.

Uno de los factores que inciden sobre el incremento del DMP es la concentración de C-total. Esta investigación constató una correlación lineal y significativa ( $r = 0.96$ ;  $p < 0.0001$ ) entre la concentración de C-total y el DMP (Figura 3). En los tratamientos de 0, 20 y 40 t ha<sup>-1</sup> de vermicompost, en donde el porcentaje de C-total fue de 1.75, 1.76 y 1.79, respectivamente, el DMP varió entre 1.08 y 1.16 mm. En cambio, en el tratamiento de 60 t ha<sup>-1</sup>, donde el porcentaje de C-total fue de 1.91, el DMP se incrementó a 1.35 mm.

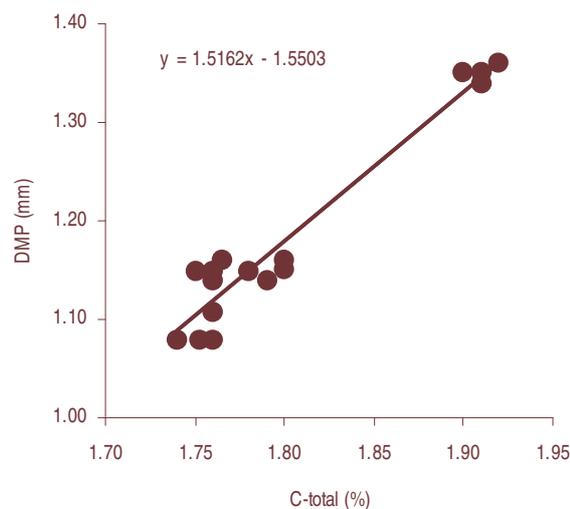
### Distribución de C asociado con diferentes tamaños de agregados

El fraccionamiento de C por tamaños de agregados, mostró que el C se asoció preferentemente a los macroagregados entre 0.25 - 0.5 mm, le siguieron aquellos entre 0.5 - 1 mm, 1 - 2 mm y fueron las fracciones menores a 0.25 mm, donde hubo una menor concentración de C (Figura 4).

De acuerdo con un análisis de correlación practicado, la asociación de C con los agregados del suelo se incrementó al aumentar la dosis de vermicompost. Este efecto es lineal, por lo que la mayor concentración de C (1.91 %) fue registrada en el tratamiento de 60 t ha<sup>-1</sup>. En el tratamiento testigo el C asociado fue de 1.76 % y representó el porcentaje más bajo. En los tratamientos de 20 y 40 t ha<sup>-1</sup>, los porcentajes fueron 1.76 y 1.79, respectivamente. La prueba de comparación de medias indicó que el tratamiento de 60 t ha<sup>-1</sup> fue el único que se diferenció estadísticamente de los demás (Figura 5).

### Densidad aparente ( $\rho_b$ )

El tratamiento testigo registró la  $\rho_b$  máxima (1.44 Mg m<sup>-3</sup>), mientras que, el tratamiento que recibió mayor cantidad de vermicompost fue el que presentó el valor mínimo (1.27 Mg m<sup>-3</sup>). Las  $\rho_b$  en los tratamientos de 40 y 60 t ha<sup>-1</sup> fueron menores que las de los tratamientos de 0 y 20 t ha<sup>-1</sup> respectivamente (Tukey;  $p \leq 0.05$ ); Figura 6).



**Figura 3.** Relación entre la concentración de C-total y el aumento del diámetro medio ponderado (DMP).

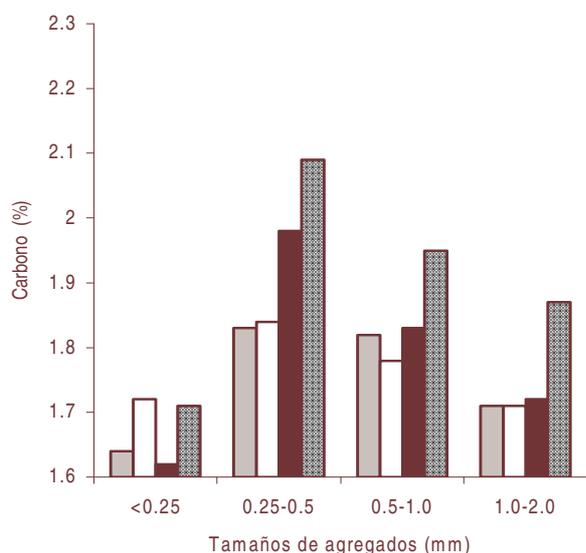
**Figure 3.** Relationship between total carbon concentration and the increase in the weighed mean diameter (WMD).

El tratamiento testigo registró una  $\rho_b$  de 1.39 Mg m<sup>-3</sup>, mientras que el tratamiento de 60 t ha<sup>-1</sup> presentó el valor más bajo con 1.29 Mg m<sup>-3</sup> (Figura 6). Este cambio se correlacionó con el incremento en el contenido de C-total ( $r = - 0.92$ ;  $p < 0.0001$ ).

### Láminas delgadas

Las imágenes de láminas delgadas sugieren un cambio en el arreglo estructural en los primeros 15 cm de la superficie después de la aplicación del vermicompost. En la Figura 7 (b, c, d) se observa la estructura del suelo con relación a su aspecto inicial (Figura 7 a). En ésta, se observó un agrietamiento típico de un suelo montmorillonítico, el cual generalmente es provocado por la contracción intralaminar que expresan las arcillas del tipo 2:1 cuando se secan. En el suelo testigo se apreció una estructura masiva, característica común de los suelos arcillosos compactados. Las imágenes que se muestran en la Figura 7 (b, c, d) corresponden a los tratamientos de 20, 40 y 60 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En éstas se detectaron algunos fragmentos de vermicompost menores a 0.25 mm, aunque en mínimas cantidades, lo que indica un importante grado de descomposición de la materia orgánica fresca.

El color en los suelos tratados fue más oscuro que en el testigo (Figura 7 b, c, d). Este cambio de color es debido al incremento en la dosis de vermicompost que fueron empleadas. Aunado a lo anterior, el arreglo estructural cambió en los suelos tratados, ya que el agrietamiento disminuyó gradualmente conforme se incrementó la dosis y una mayor proporción de agregados menores a 1 mm se hicieron presentes, particularmente en el suelo tratado con 60 t ha<sup>-1</sup> de vermicompost (Figura 7d). En el tratamiento de 60 t ha<sup>-1</sup> la forma del agregado se reconfiguró, lo cual no se evidenció contundentemente en los tratamientos de 20 y 40 t ha<sup>-1</sup>. Por el contrario, en esos tratamientos aún se notó un efecto disminuido de agrietamiento, producto del secado del suelo.



**Figura 4.** Concentración de Carbono en los agregados de los suelos tratados con vermicompost. Dosis de vermicompost en t ha<sup>-1</sup> □ = 0, □ = 20, ■ = 40 y ▨ = 60. (Diferencia mínima significativa  $\alpha \leq 0.05$  ).

**Figure 4.** Content of total carbon within aggregates of the soils treatments with vermicompost doses in t ha<sup>-1</sup> □ = 0, □ = 20, ■ = 40 y ▨ = 60 (Least significant differences  $\alpha \leq 0.05$  ).

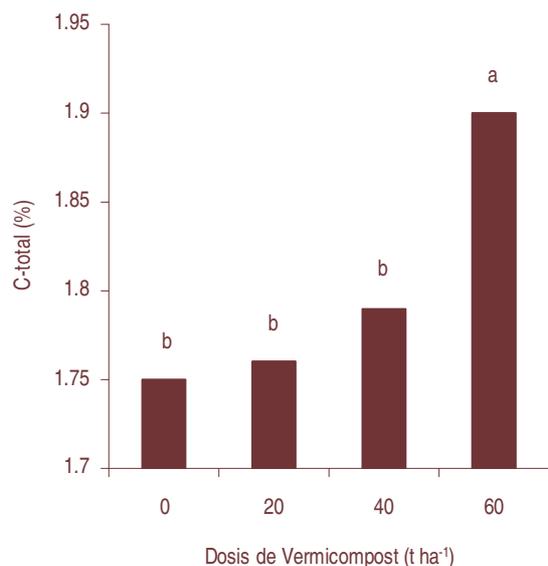
### Observación de agregados a través de microscopía electrónica

En la Figura 8 se presentan diferentes niveles de detalles de microagregados y macroagregados de los tratamientos de 0 y 60 t ha<sup>-1</sup>. Estos dos tratamientos se seleccionaron por ser los más con-

trastantes en cuanto al contenido de C. El fraccionamiento de C por tamaño de agregados reveló que el mayor contraste de C se dio entre los microagregados (< 250  $\mu\text{m}$ ) y los macroagregados entre 250 - 500  $\mu\text{m}$ . Por ello, esas dos fracciones fueron analizadas. Con la ampliación a 260 x de los microagregados de los tratamientos contrastantes (Figura 8 a, b) no se observaron fragmentos gruesos de MO, por el contrario solamente se distingue un recubrimiento de materiales amorfos en forma de red que recubre la mayoría de la superficie de dichos microagregados. Un aumento a 540 x del microagregado del tratamiento de 0 t ha<sup>-1</sup> de vermicompost (Figura 8 e, f) mostró áreas superficiales sin cubierta de material orgánico. En cambio en el tratamiento de 60 t ha<sup>-1</sup> la superficie estuvo completamente cubierta y aparecieron algunos indicios de vida microbiana. La Figura 8 (c, d) muestra un aumento a 120 x de macroagregados de los mismos tratamientos. En ambas imágenes se aprecia que el macroagregado del tratamiento de 60 t ha<sup>-1</sup> de vermicompost está conformado por un mayor número de microagregados. El tratamiento testigo mostró un menor número de microagregados en su constitución. El aumento a 440 x de los macroagregados (Figura 8 g, h) nuevamente deja ver algunos intersticios descubiertos en la superficie del macroagregado del testigo.

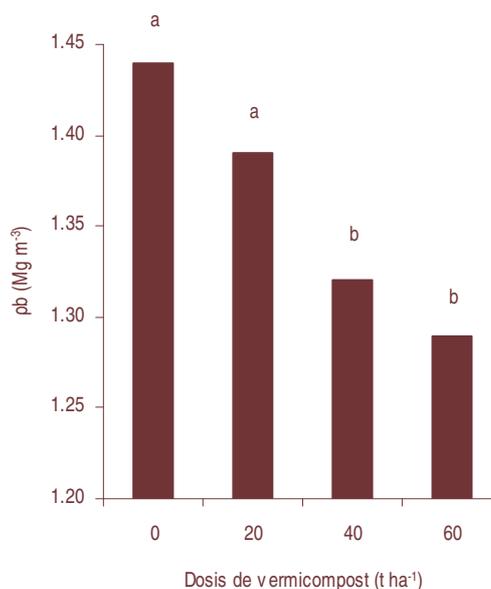
### DISCUSIÓN

Las condiciones climatológicas intensas y contrastantes que prevalecen en el estado de Tabasco representan un factor de degradación de suelo muy importante. Por ello, los planes de manejo deben incluir la conservación del recurso suelo. Los resultados de este estudio ponen de manifiesto que los efectos del aporte de vermicompost de cachaza y estiércol bovino (1:1) sobre las propiedades físicas de suelos arcillosos como los vertisoles, son perceptibles en periodos de tiempo relativamente cortos. La densidad aparente ( $\rho_b$ ) registró descensos cuando el suelo recibió aportes de dosis elevadas de vermicompost (40-60 t ha<sup>-1</sup>). Sánchez-Hernández *et al.* (2003) encontraron que el aporte de materiales orgánicos en suelos vertisoles durante dos años, disminuyó la  $\rho_b$  de 1.34 a 1.16 Mg m<sup>-3</sup>. Trousé & Humbert (1961) indicaron que un valor normal de



**Figura 5.** Contenido de Carbono total en suelos tratados con vermicompost (DMS  $\alpha \leq 0.05 = 0.06$ )

**Figure 5.** Total carbon in soils treated with vermicompost (LSD  $\alpha \leq 0.05 = 0.06$ ).



**Figura 6.** Efecto del vermicompost sobre la densidad aparente de un vertisol. DMS  $\alpha \leq 0.05 = 0.052$

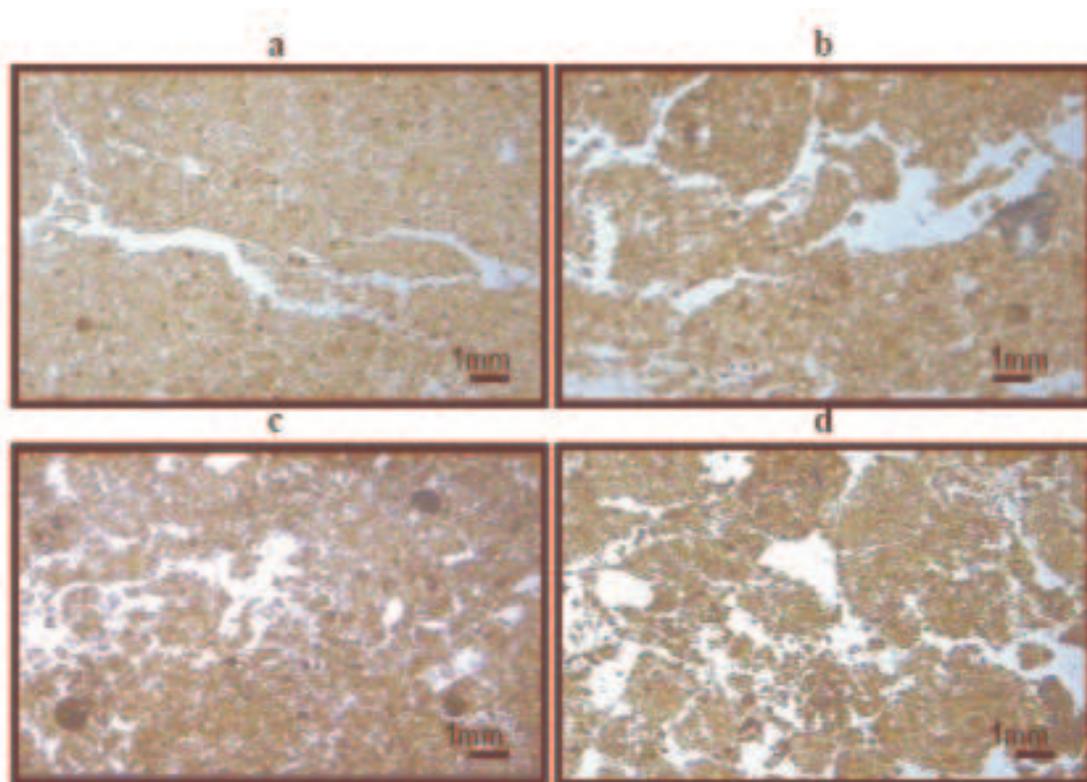
**Figura 6.** Effect of vermicompost on the bulk density of a vertic soil. LSD  $\alpha \leq 0.05 = 0.052$

la  $\rho_b$  en vertisoles con selva mediana perennifolia es de 1 a 1.49 Mg m<sup>-3</sup>. Anteriormente, Oliveira *et al.* (1993) y García (1998) habían reconocido que el aporte de residuos orgánicos, afecta favorablemente la  $\rho_b$  y ayudan a mantener la humedad del suelo.

Considerando que en el sitio de muestreo de esta investigación, la vegetación anterior a su uso actual fue selva mediana perennifolia, los resultados dejan entrever que la densidad aparente ( $\rho_b$ ) observada en el tratamiento control, mantiene intervalos similares a los de su condición nativa, a pesar de la remoción que se realizó durante el aporte e incorporación del vermicompost. Cassel (1980) argumentó que la densidad aparente ( $\rho_b$ ) interactúa con la consistencia del suelo, la estructura y el contenido de humedad. Al respecto, Hillel (2000) mencionó que la estructura del suelo tiene un efecto directo sobre la densidad aparente ( $\rho_b$ ) la cual es señalada como altamente variable. Los cambios registrados en la  $\rho_b$  fue consecuencia de una nueva condición en la agregación del suelo, lo que a su vez generó un nuevo arreglo estructural que se reflejó en una disminución del agrietamiento típico observado en suelos vertisoles. La distribu-

ción de agregados tamizados en seco es una determinación que permite valorar la fracción de suelo que está susceptible a erosionarse por la acción del viento. Los agregados que se disgregan durante una agitación en seco y cuyos tamaños son más pequeños, son los que presentan mayor fragilidad ante la erosión eólica. Por ello, los resultados de este trabajo se consideran satisfactorios, ya que se observa que en los suelos tratados con 60 t ha<sup>-1</sup> la mayor proporción del suelo se encuentra en los agregados de mayor tamaño. Estos resultados coinciden con lo expuesto por Boersma & Kooistra (1994), quienes señalaron que una menor proporción de microagregados son el reflejo de una menor degradación del suelo. Según Whalen & Chang (2002) la causa de que la mayor proporción del suelo se concentre en los macroagregados grandes se debe a un incremento en la MOS. Ellos mencionaron que la adición de materia orgánica incrementa la macroagregación, lo que favorece la agregación y estabilidad de los suelos agrícolas, aunque aclararon que la calidad de la materia orgánica que se utiliza como enmienda es muy importante para observar cambios favorables en la estructura.

Sun *et al.* (1995) registraron que la composi-

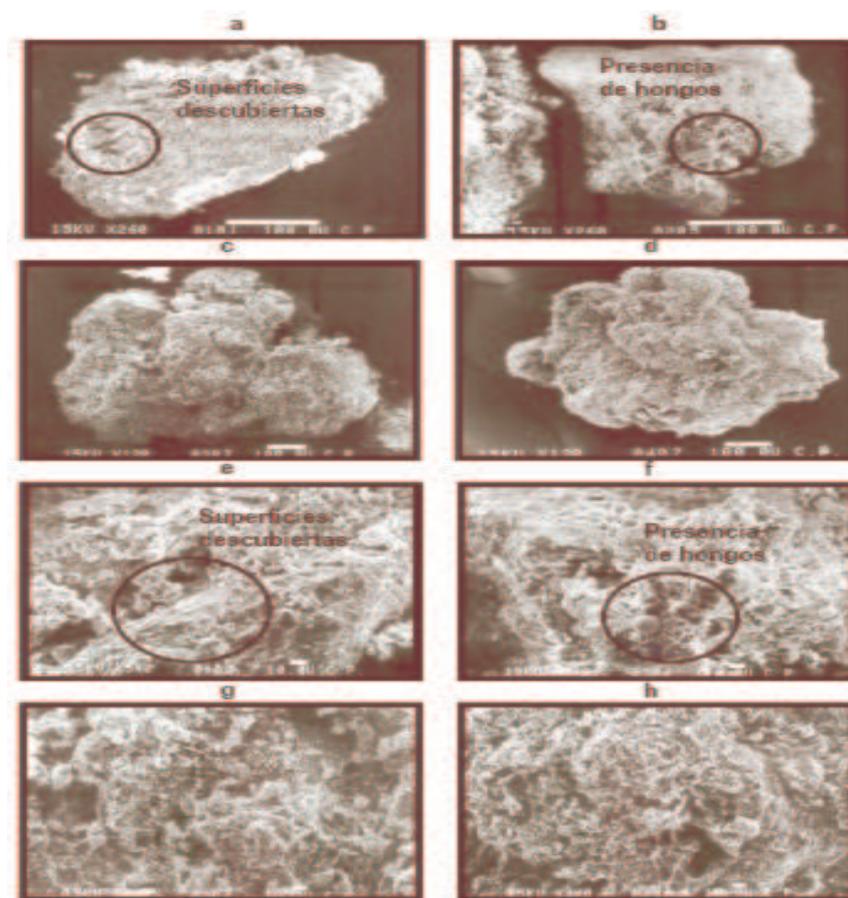


**Figura 7.** a) Láminas delgadas ampliadas a 0.67x el tamaño normal del tratamiento testigo; b) 20 t ha<sup>-1</sup>; c) 40 t ha<sup>-1</sup> y d) 60 t ha<sup>-1</sup>

**Figure 7.** a) Thin sections amplified 0.67x the normal size of the control treatment; b) 20 t ha<sup>-1</sup>; c) 40 t ha<sup>-1</sup> and d) 60 t ha<sup>-1</sup>

ción química de los residuos, influye en la permanencia de los cambios. Ellos señalaron que los residuos que se descomponen rápidamente producen un cambio rápido pero temporal en la agregación, mientras que, los residuos que se descomponen más lentamente ofrecen un cambio más prolongado. Martens (2000) mencionó que los residuos de cultivos difirieron en su habilidad para promover la agregación y que los suelos que retienen residuos de maíz contienen agregados con diámetros medios ponderados (DMP) más grandes que aquellos suelos que retienen residuos de soya. Blair *et al.* (1997) argumentaron que una disminución en el C-total del suelo, particularmente del C-lábil causa una disminución del DMP, mientras que Balcke *et al.* (2002) mostraron que los materiales ricos en C presentan mayor aromaticidad y son preferentes para formar complejos arcillo-húmicos estables, ya que poseen mayor afinidad de adsorción sobre la superficie de las arcillas. Aoyama *et al.* (1999) encontraron que los aportes de estiércol

al suelo, incrementaron el contenido de la MOS y consecuentemente aumentó la cantidad de macroagregados estables. De acuerdo con Six *et al.* (1999) y Lupwayi *et al.* (2001) los agregados estables en agua (AEA) mayores a 250  $\mu\text{m}$ , responden rápidamente a los aportes de enmiendas orgánicas. Kushwaha *et al.* (2001) citaron que la conservación de rastrojos en parcelas agrícolas, aumenta dramáticamente la proporción de los agregados mayores a 4.75 mm. Además, ellos señalaron que los agregados más pequeños (0.53 - 2.0 mm) se presentan en menor número en los suelos donde se conservan los residuos de cosecha. Grandy *et al.* (2002) observaron un incremento en los agregados grandes (> 2 mm) y medios (1 - 2 mm) entre el primero y segundo año posterior a la aplicación de una enmienda orgánica. Además, ellos señalaron que la influencia de las enmiendas sobre la estabilidad de los AEA es rápida y persistente, por lo que después de una aplicación, no se necesita de



**Figura 8.** Microagregado ampliado a 260x su tamaño normal ( a,b. a = 0 t ha<sup>-1</sup>, b = 60 t ha<sup>-1</sup>), macroagregado ampliado a 120x su tamaño normal (c,d. c = 0 t ha<sup>-1</sup>, d = 60 t ha<sup>-1</sup>), microagregado ampliado a 540 x su tamaño normal (e,f. e = 0 t ha<sup>-1</sup>, f = 60 t ha<sup>-1</sup>) y microagregado ampliado a 440 x su tamaño normal (g,h. g = 0 t ha<sup>-1</sup>, h = 60 t ha<sup>-1</sup>).

**Figure 8.** a,b) Micro-aggregate amplified 260 x its normal size (a = 0 t ha<sup>-1</sup>, b = 60 t ha<sup>-1</sup>), c,d) macro-aggregate amplified 120 x its normal size (c = 0 t ha<sup>-1</sup>, d = 60 t ha<sup>-1</sup>), e,f) micro-aggregate amplified 540 x its normal size (e = 0 t ha<sup>-1</sup>, f = 60 t ha<sup>-1</sup>), g,h), and micro-aggregate amplified 440 x its normal size (g = 0 t ha<sup>-1</sup>, h = 60 t ha<sup>-1</sup>).

aplicaciones anuales posteriores. Por su parte, Whalen *et al.* (2003) observaron, que después de cinco meses de aportar compost al suelo, se registró un incremento en la proporción de AEA > 4 mm. Mientras que la proporción de microagregados es menor en los suelos enmendados.

La inclusión de los aportes de materia orgánica dentro de los sistemas de manejo de los suelos, permite incrementar el C-orgánico así como la biomasa microbiana, lo cual da como resultado una mejor fertilidad, agregación y estabilidad estructural (Mora-Gutiérrez *et al.* 2001). Además, la agregación en los suelos agrícolas por aportes de MO reduce las emisiones netas de gases contaminantes a la atmósfera a través del secuestro del

C, lo cual es benéfico ambientalmente, ya que las concentraciones de CO<sub>2</sub> y otros gases contaminantes se han incrementado a causa del aumento de la actividad industrial y está causando serios cambios climáticos (Wang *et al.* 2002). Algunas investigaciones sostienen que el incremento de la MO en regiones templadas, subhúmedas y tropicales húmedas juegan un papel fundamental sobre las condiciones del suelo, y esto a su vez favorece el almacenaje del Carbono (Janzen *et al.* 1998; Laird *et al.* 2001). Fortuna *et al.* (2003) mencionaron que en los materiales composteados, el C se encuentra como materia orgánica particulada (MOP) hasta en un 85 % y por lo tanto el aporte de compost a los suelos permite incrementar el 45 % del

C en la superficie y, esto puede aumentar la estabilidad estructural, particularmente la de los macroagregados. Los cambios en la cantidad de C de la MOP son un indicador temprano del incremento en el C-orgánico de suelos manejados con compost y, puede ser un indicador del incremento en la estabilización de los macroagregados. Mikha & Rice (2004) mencionaron que bajo sistemas de cero labranza (CL) el C-total aumenta, el C-labil se asocia con los macroagregados, por lo que los agregados estables en agua aumentan. Oyedele *et al.* (1999) aludieron que en climas tropicales, las altas temperaturas, humedad y alternancias de estaciones secas y húmedas, ocasionan un deterioro rápido de la MOS, afectando negativamente las propiedades químicas, físicas y biológicas. Por ello, si el sistema de labranza es inadecuado, la MOS queda expuesta y se deteriora rápidamente al igual que la estructura. Thapa *et al.* (1999) señalaron que bajo las condiciones del clima trópicamente húmedo, la labranza es el primer factor de degradación, ya que bajo este ambiente es más factible que el suelo fértil sea removido a causa de la erosión hídrica. Bernoux *et al.* (1998) señalaron que para poder valorar la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, se requiere analizar con precisión los cambios en cantidad, naturaleza y dinámica de la MOS, así como la estimación de los flujos de C entre el suelo y la atmósfera.

De acuerdo con Espinoza (2003) la incorporación de residuos, en un sistema de siembra directa con rotación maíz-fríjol, incrementa la cantidad de macroagregados (250-2000  $\mu\text{m}$ ), por lo que la posibilidad de conservar el C en el suelo aumenta. Por el contrario, el descenso de la MOS disminuye drásticamente el C lábil proveniente de la biomasa microbiana, lo que incrementa la microagregación y disminuye la macroagregación. De la misma manera, Kong *et al.* (2005) señalaron que la estabilidad de los agregados se incrementa linealmente con la entrada de C vía aportes de residuos ( $r = 0.75$ ;  $p \leq 0.001$ ) y con el carbono orgánico del suelo (COS) ( $r = 0.63$ ,  $p \leq 0.005$ ). Al respecto, Mikha & Rice (2004) argumentaron que el aporte de estiércoles incrementaron significativamente la proporción de agregados mayores a 2 mm. Dicho incremento es atribuido a la entrada de residuos orgánicos frescos y a la disponibilidad

de C, lo que incrementa la actividad microbiana, la cual produce sustancias que sirven como agentes enlazantes entre partículas y microagregados. Por lo tanto, una mayor proporción de agregados de mayor tamaño, incrementa el valor del diámetro medio ponderado (DMP), por lo que aquellos factores que favorecen la formación de agregados estables de mayor tamaño, inciden en el incremento del DMP. El DMP es un índice propuesto por Kemper Rosenau (1986) para valorar el grado de estabilidad de los agregados del suelo cuando se humedecen. Un bajo valor indica un menor grado de estabilidad, mientras que al incrementarse éste, la estabilidad estructural aumenta. Kushwaha *et al.* (2001) mencionaron que la retención de residuos orgánicos, por efecto del sistema de labranza, permite incrementar el DMP entre 71 - 98 % más con respecto a un suelo donde no se permite el reciclaje de residuos orgánicos. Igualmente, Whalen *et al.* (2003) manifestaron que el DMP se incrementa linealmente, con el incremento en las dosis de compost que se aplican al suelo.

De acuerdo con Bresson *et al.* (2001) la adición de compost al suelo representó un importante aporte de MOP, la cual permite incrementar la estabilidad de los agregados. Ellos consideraron que los materiales frescos permiten una redistribución del C-orgánico y una reformación de los agregados. Mientras que por otro lado, la disminución de MO por la degradación o transformación de los agregados, disminuye el DMP, lo que equivale a mencionar su tamaño. En este sentido, Bossuyt *et al.* (2004) señalaron que los macroagregados recientemente formados, contienen mayor riqueza de C que los microagregados. Esa es una de las razones por las cuales se explica, porque en aquellos suelos que recibieron dosis más altas de vermicompost, el C asociado es mayor. Puget *et al.* (2000) encontraron que los macroagregados estables, son más ricos en C total, en particular en C orgánico joven y propusieron una composición esquemática de agregados en la cual, los macroagregados son formados por el enlace de microagregados a través de la materia orgánica joven, misma que está dominada por tejidos de plantas. La materia orgánica joven es responsable de la agregación y eventualmente, es redistribuida en diferentes clases de agregados después de la destrucción y reformación de

los macroagregados. Según Matus (2003) cuando el C se concentra en macroagregados (250 - 2000  $\mu\text{m}$ ) el C asociado puede ser temporal debido a que son menos estables que los microagregados. Chenu *et al.* (2000) afirmaron que el contenido de C orgánico en niveles de 1 a 32  $\text{g kg}^{-1}$  de suelo, incrementa la agregación. La conclusión, basada en los resultados de la presente investigación, señala que la aplicación de vermicompost de cachaza y estiércol (1:1), en dosis de 40 a 60  $\text{t ha}^{-1}$ , permite incrementar la cantidad de C-orgánico, el cual favorece la formación de macroagregados estables y reduce la densidad aparente en seco ( $\rho_b$ ). Debido a que hubo una mayor concentración de C en los agregados mayores a 0.25 mm y, además hubo una mayor proporción de esos mismos macroagregados, se concluyó que la mayor riqueza del suelo está en las fracciones consideradas como macroagregados. El hecho de que este C se haya asociado con los agregados entre 250 y 500  $\mu\text{m}$  representa una ventaja adicional, ya que estos agregados se consideran más estables que aquellos de tamaño superior y son más ricos en C que los microagregados, por lo que puede influir favorablemente la permanencia del C por más tiempo. La mayor estabilidad de los agregados se presentó en los suelos

tratados con 40 - 60  $\text{t ha}^{-1}$  y que la formación de macroagregados estables, producto del efecto de la enmienda orgánica, trajo consigo un nuevo diseño estructural en la superficie del suelo. A través de las imágenes de las láminas delgadas, se observó un mayor número de macroagregados y mayor cantidad de poros. En los resultados se constató que la degradación de la materia orgánica suministrada vía aportes de vermicompost es intensa, por lo que después de un periodo de 18 meses no se observan fragmentos gruesos en la superficie de los macro y microagregados. Por el contrario, un recubrimiento amorfo en las superficies de los mismos es detectado y es el que aparentemente cumple con la función de mantener unidos los agregados que constituyen la estructura.

## AGRADECIMIENTOS

Reconocimiento a la Fundación Produce-Tabasco (FUPROTAB) y al Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Tabasco (CCYTET) por el apoyo financiero otorgado a esta investigación. A la Unidad de microscopía electrónica del Colegio de Postgraduados a cargo de la Biol. Rosa María Picaso Hernández

## LITERATURA CITADA

- Anónimo (2003) Key to Taxonomy Soil. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff Ninth Edition. Washington DC. 332 pp.
- Anónimo (2004) What's New in SAS 9.0, 9.1, 9.1.2, and 9.1.3. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina. 322 pp.
- Aoyama M, Angers DA, N'Dayegamiye A, Bissonnette N (1999) Particulate and mineral-associated organic-matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure applications. *Can. J. Soil Sci.* 79:295-302.
- Ball DF (1964) Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils. *J. Soil Sci.* 15: 84-92.
- Balcke GU, Kulikova NA, Hesse S, Koponke FD, Perminova IV, Frimmel FH (2002) Adsorption of humic Substances onto Kaolin Clay Related to Their Structural Features. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1805-1812.
- Bernoux M, Cerri CC, Neill C, De Moraes JFL (1998) The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. *Geoderma* 82: 43-58.
- Blair JG, Blair N, Lefroy RDB, Conteh A, Daniel H (1997) Relationships between  $\text{KMnO}_4$  oxidizable C and soil aggregate stability and the derivation of a carbon management index. En: Drozd J, Gonet SS, Senesi N, Weber J (eds) *The role of humic substances in the ecosystems and environmental protection.* Polish Society of humic substances. Wroclaw. 227-232.
- Boersma OH, Kooistra JM (1994) Differences in soil structure of silt loam Typic Fluvaquents under various agricultural management practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 51: 21-42.

- Bossuyt H, Six J, Hendrix PF (2004) Rapid incorporation of carbon from fresh residues into newly formed stable microaggregates within earthworm casts. *Eu. J. Soil Sci.* 55 (2): 393-401.
- Bozzola J, Russel LD (1992) *Electron Microscopy*. Jones and Bortlett Publishers. Boston. 688 pp.
- Bremmer JM (1965) Total nitrogen En: Black CA (ed) *Methods for soil analysis. Part 2 Agronomy 9*. American Society of Agronomy, Madison. 1149-1178.
- Bresson LM, Coch C, Le Bissonais Y, Barruso E, Lecomte V (2001) Soil surface structure by municipal waste compost application. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1804-1811.
- Brewer R (1964) *Fabric and mineral analysis of soil*. John Wiley and Sons. New York. 482 pp.
- Cassel DK (1980) Effects of ploughing depth and deep incorporation of lime and phosphorus upon physical and chemical properties of two coastal plain soils after 15 years. *Soil Science Society of America Journal.* 41 (1), 89-95.
- Chenu C, Le Bissonais Y, Arrouays D (2000) Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1479-1486.
- Chepil WS, Bisal F (1943) A rotary sieve methods for determining the size distribution of soil clods. *Soil Sci.* 56: 95-100.
- Espinoza Y (2003) Potencialidad de suelos tropicales para almacenar fracciones labiles de Carbono. Seminarios CENIAP. Subproyecto INIA 601-4003-005. INIA-CENIAP-Biología de suelos. <http://www.ceniap.gob.ve/seminarios/yespinoza.htm>
- Etchevers BJD, Monreal CM, Hidalgo MC, Acosta MM, Padilla CJ, López R RM (2005) Manual para la determinación de carbono en la parte aerea y subterraneean de sistemas de producción en laderas. Colegio de Postgraduados, México. 27 pp.
- Eynard A, Schumacher TE, Lindstrom JM, Malo DD (2004) Aggregate sizes and stability in cultivated South Dakota prairie ustolls and usterts. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1360-1365.
- Fitzpatrick EA, Gudmundson T. 1978. The impregnation of wet peat for the production of thin sections. *J Soil Sci.* 29: 585-587.
- Fortuna A, Harwood RR, Paul EA (2003) The effects of compost and crop rotations on carbon turnover and the particulate organic matter fraction. *Soil Science* 168 (6): 434-444.
- García TJC (1998) Arrope orgánico y producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) en condiciones de riego y secano. Tesis. IRENAT-Colegio de Postgraduados. Texcoco. 95 pp.
- García E (1973) Modificaciones al sistema de clasificación de Köeppen para adaptarlas a la República Mexicana. UNAM., Distrito Federal. 71 pp.
- Grandy AS, Gregory AP, Erichb MS (2002) Organic amendment and rotation crop effects on the recovery of soil organic matter and aggregation in potato cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1311-1319
- Hillel (2000) *Environmental Soil Physics*. Academic Press. Massachusetts. 771 pp.
- Janzen HH, Campbell CA, Izaurrealde RC, Ellert BH, Juma N, Mc Gill WB, Zentner RP (1998) Management effect on soil C storage on the Canadian prairies. *Soil & Tillage Research* 47: 181-195.
- Kemper W, Rosenau C (1986) Aggregate stability and size distribution. En: Klute A (ed) *Methods of soil analysis. Part 1. Agronomy 9. Physical and minerological methods. Second edition*. ASA, SSSA. Madison 425-442.
- Kong AYY, Six J, Bryant DC, Ford Denison R, van Kessel C (2005) The Relationship between Carbon Input, Aggregation, and Soil Organic Carbon Stabilization in Sustainable Cropping Systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 1078-1085.
- Kushwaha CP, Tripathi SK, Singh KP (2001) Soil organic matter and water-stable aggregates under different tillage and residue conditions in a tropical dryland agroecosystem. *Aplied Soil Ecology* 16: 229-241.
- Laird DA, Martens DA, Kingery WL (2001) Nature of Clay-Humic Complexes in an Agricultural Soil. I. Chemical, Biochemical, and Spectroscopic Analyses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1413-1418.

- Lupwayi N Z, Arshad MA, Rice WA, Clayton GW (2001) Bacterial diversity in water-stable aggregates of soil under conventional and zero tillage management. *Appl. Soil. Ecol.* 16: 251-261.
- Martens DA (2000) Management and crop residue influence soil aggregate stability. *J. Environ. Qual.* 29: 723-727.
- Matus F (2003) Enrichment of carbon in particles-size separates of soils with different land-use management. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* 3 (1): 29-36
- Mikha MM, Rice CW (2004) Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 809-816.
- Mora-Gutiérrez M, Ordaz Ch V, Castellanos JZ, Aguilar S A, Gavi R F, Volke H V (2001) Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un vertisol, después de cuatro años de manejo. *Terra* 19: 67-74.
- Oades JM (1984) Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implication for management. *Plant and Soil* 76:319-337.
- Oliveira OC, Guimarães HD, Urquiaga SS, Boddey RM (1993) Efecto a largo plazo de la quema pre-cosecha en la producción de caña de azúcar y la fertilidad de suelo. En: *Memorias de los seminarios interamericanos de la caña de azúcar*. Miami. 292-300.
- Oyedele DJ, Schjonning P, Sibbesen E, Debosz K (1999) Aggregation and organic matter fractions of three Nigerian soils as affected by soil disturbance and incorporation of plant material. *Soil tillage Research* 50 (20): 105-114.
- Palma-López JD, Cisneros D J (2000) Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. Vol. 1. Segunda edición. Fundación Produce Tabasco, A.C. Villahermosa. 115 pp.
- Puget P, Chenu C, Balensdent J (2000) Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates. *Eu. J. Soil Sci.* 51 (4): 595-601.
- Raison, R.J., M.J. Connell, P.K. Khanna (1987) Methodology for studying fluxes of soil mineral-N in situ. *Soil Biol. Biochem.* 19: 521-530.
- Sánchez-Hernández R, Palma-López DJ, Obrador OJJ, López NU (2003) Efecto de los rastrojos sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo vertisol y rendimiento de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Tabasco, México. *Interciencia* 28 (7): 404-407.
- Six J, Elliott ET, Paustian K (1999) Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1350-1358.
- Sun H, Larney FJ, Bullock MS (1995) Soil amendments and water-stable aggregation of a desurfaced Dark Brown Chernozem. *Can. J. Soil Sci.* 75:319-325.
- Thapa BB, Cassel DK, Garrity DP (1999) Ridge tillage and contour natural grass barrier strips reduce tillage erosion. *Soil & Tillage Research* 55: 341-356.
- Tisdall JM, Oades JM (1982) Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33:141-163.
- Trouse AC Jr, Humbert PR (1961) Some effects of soil compacted on the development of sugar-cane roots. *Soil Sci.* 9: 208-217.
- Trujillo-Narcia A, Palma-López DJ (1990) Estudio agrológico detallado del campo experimental del CE-ICADES. CEICADES-Colegio de Postgraduados. 131pp.
- Wang H, Curtin D, Jame YR, McConkey BG, Zhou HF (2002) Simulation of soil carbon dioxide flux during Plant Residue Decomposition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1304-1310.
- Whalen JK, Chang Ch (2002) Macroaggregate characteristic in cultivated soils after 25 annual manure applications. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1637-1647.
- Whalen JK, Hu Q, Liu A (2003) Compost applications increase water-stable aggregates in conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1842-1847.