

## MINERALIZACIÓN EN SUELOS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN LOS ALTOS DE CHIAPAS, MÉXICO

### Soil mineralisation through the incorporation of organic residues in Chiapas, Mexico

JA León-Nájera , R Gómez-Álvarez, S Hernández-Daumás, JD Álvarez-Solís, DJ Palma-López

(JALN) División Académica de Ciencias Agropecuarias-UJAT. Carretera Villahermosa-Teapa, Ranchería La Huasteca, Villahermosa 86000 Tabasco, México armando.leon@daca.ujat.mx. (RGA)(SHD) Unidad Villahermosa-ECOSUR. (JDAS) Unidad San Cristóbal de las Casas-ECOSUR. (DJPL) Campus Tabasco Colegio de Posgraduados.

**Artículo recibido:** 8 de octubre de 2005, **aceptado:** 2 de octubre de 2006

**RESUMEN.** Atributos críticos de la región Altos de Chiapas son el relieve abrupto, suelos con baja disponibilidad de nutrientes y acidez, la intensificación de su uso y el crecimiento de la superficie agropecuaria a expensas de los bosques. El objetivo del estudio fue conocer el efecto del estiércol de bovino, la cascarilla de cacao y la composta, incorporados a suelos Acrisol húmico y Feozem háplico, cultivados o forestales, en la mineralización de la materia orgánica y su potencial para aumentar su fertilidad. La variable utilizada fue la tasa de mineralización, como dióxido de carbono formado en mezclas de suelo más residuo orgánico, incubadas durante 10 días. Se utilizó un diseño completamente al azar, con un arreglo factorial 4x4 y cuatro repeticiones. Ambos suelos cultivados, comparados con los forestales, disminuyeron 24 y 39 % su contenido de materia orgánica e incrementaron 21 y 23 % su densidad aparente. En los sitios cultivado y forestal, la incorporación del estiércol, en el Acrisol húmico tuvo tasas medias de mineralización de 180 y 146  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{d}^{-1}$  y en el Feozem háplico, 245 y 359  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{d}^{-1}$  respectivamente. Estas fueron más altas (ANDEVA;  $F=3.33$ ;  $p=0.0031$ ) que sus controles y mezclas con cascarilla o composta. La incorporación del estiércol mostró mayor potencial para restituir y aumentar su fertilidad. Este residuo incorporado al Acrisol húmico cultivado incrementó 164 % la tasa de mineralización. Este incremento fue el más alto de todos los sitios comparados con sus respectivos controles.

**Palabras clave:** Estiércol de bovino, cascarilla de cacao, composta, Feozem háplico, Acrisol húmico.

**ABSTRACT.** The Altos de Chiapas region is characterised by an abrupt topography, a low availability of nutrients and acidity in the soil, an increase in the use of the land and a growth of agriculture at the expense of the forest. The purpose of the study was to determine the effect of cow manure, cocoa shell and compost on organic matter mineralisation through their incorporation to humic Acrisol and haplic Feozem soils, both cultivated and in forests, and their potential to increase soil fertility. The variable used was the rate of mineralisation, represented by the carbon dioxide formed in soils mixed with organic residues after 10 days of incubation. A completely random design was used with a 4x4 factorial arrangement and four repetitions. Both cultivated soils, in comparison with forest soils, decreased their organic matter content by 24 and 39 % and increased apparent density by 21 and 23 %. In both the cultivated and forest areas, the incorporation of cow manure presented average mineralisation rates of 180 and 146  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{d}^{-1}$  in the humic Acrisol and of 245 and 359  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{d}^{-1}$  in the haplic Feozem respectively. These were greater (ANOVA;  $F=3.33$ ;  $p=0.0031$ ) than the controls and the cocoa shell or compost mixtures. The incorporation of cow manure showed a greater potential to restore and increase fertility. This residue incorporated to cultivated humic Acrisol increased by 164 % the mineralisation rate. This increase was the greatest of all sites compared with their respective controls.

**Key words:** Cow manure, cocoa shell, compost, haplic Feozem, humic Acrisol.

### INTRODUCCIÓN

La mineralización de la materia orgánica es un factor de suma importancia en el mantenimiento

de la fertilidad de los suelos, puesto que a través de este proceso se reciclan nutrimentos como nitrógeno, fósforo y azufre y dióxido de carbono (van Amelsvoort *et al.* 1988; Coûteaux *et al.* 1995; Franz-

luebbers 1999; Calderón *et al.* 2001; Montagnini & Jordan 2002). En este proceso influyen el clima, la mineralogía de las arcillas, el estado de los nutrientes del suelo, la actividad de la biota edáfica y la calidad de los recursos en descomposición (Smith *et al.* 1993; Vogt *et al.* 1995; Geissen & Brümer 1999; Sundarapandian & Swamy 1999).

Burke *et al.* (1995) indicaron que suelos incubados, de textura fina y ricos en materia orgánica, aumentaron su respiración, y suelos con alto contenido de materia orgánica, no arados, alcanzaron tasas de mineralización del carbono orgánico más altas que con labranza. Los Acrisoles, a pesar de poseer un alto contenido de materia orgánica (Vogt *et al.* 1995), se caracterizan por tener una baja saturación de cationes básicos y otros nutrimentos poco disponibles (Porta-Casanellas *et al.* 1999).

La pobreza de nutrimentos asimilables reduce la capacidad de los microorganismos edáficos para atacar los tejidos vegetales (Vogt *et al.* 1995; Geissen & Brümer 1999).

En la región Altos de Chiapas, atributos críticos relacionados con los suelos son el relieve accidentado (Pool-Novelo 1997), la baja disponibilidad de cationes básicos, alta acidez del suelo y disminución de la diversidad de especies en los campos de cultivo (García-Barrios *et al.* 1991). La explosión demográfica humana ha intensificado el uso del suelo, provocando la disminución de los ciclos de la rotación de cultivos (Díaz-Hernández & Parra-Vázquez 1997; Pool-Novelo 1997; Álvarez-Solís *et al.* 1998), lo cual causa que la biodiversidad y la complejidad estructural de los sistemas agrícolas tiendan a disminuir (García-Barrios 2003). La frontera agropecuaria se ha expandido a expensas de la superficie que ocupaban los bosques, provocando todo lo anterior que los ciclos de nutrimentos se alteren, al disminuir la cantidad de biomasa que entraba al suelo, además de extraerse nutrimentos a través de las cosechas (Álvarez-Solís *et al.* 1998; Pool-Novelo 1998a; 1998b; Soto-Pinto 1998). De todo lo anterior se infiere la importancia de la incorporación de la materia orgánica al suelo para promover el ciclaje de los nutrimentos del suelo, para recuperar y mantener su fertilidad.

En la región existen condiciones edafoclimáticas variadas (Cervantes-Trejo 1997; Díaz-Hernández & Parra-Vázquez 1997). Los residuos de

origen agrícola y pecuario susceptibles de utilizarse en la restauración de los ciclos de nutrimentos de los sistemas agrícolas también varían en sus concentraciones de compuestos carbonados fácilmente degradables (Pool-Novelo *et al.* 1998; Franzluebbers 1999; Gómez-Álvarez & Castañeda-Ceja 2000; Jürgen-Pohlan 2002).

Debido a que estos factores impactan negativamente los recursos naturales, es prioritario evaluar formas de manejo de los suelos que tiendan a aumentar la productividad de los agroecosistemas, que satisfagan las necesidades humanas, sin degradar el ambiente. La incorporación de residuos orgánicos al suelo, como los estiércoles, las cascarillas y las compostas podrían ser una opción en el logro de sistemas agrícolas productivos, estables y adaptables, en los cuales el agricultor no dependa de recursos externos (Astier & Hollands 2005). La mejora en la productividad de los sistemas agrícolas, empleando de manera regulada insumos orgánicos producidos en los mismos, coadyuvará a detener el deterioro de los recursos naturales y del ambiente, provocado por las condiciones físico biológicas y el crecimiento de la población humana. El presente trabajo tuvo como objetivo conocer el efecto del estiércol de bovino, la cascarilla de cacao y la composta, en la mineralización de la materia orgánica y su potencial en la restitución y aumento de la fertilidad de suelos, como una alternativa de los agricultores, para incrementar la productividad de los agroecosistemas de maíz establecidos en suelos Acrisoles húmicos y Feozems háplicos en la región Altos de Chiapas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitios de muestreo de suelos

Las muestras de suelo fueron colectadas en enero de 2002, en cuatro sitios ubicados en el Alto Bloque Central de Chiapas, México, el cual está constituido por un relieve cárstico caracterizado por tener un sustrato geológico formado por calizas y en algunas áreas con derrames de cenizas volcánicas ácidas (Anónimo 1985; Cervantes-Trejo 1997; Álvarez-Solís 2001); ubicados entre 2100 y 2400 msnm (Anónimo 1984). El clima es templado subhúmedo, con lluvias en verano y época seca de noviembre a mayo (Álvarez Solís *et al.* 1998; Anónimo 2003). La estación meteorológica de Chilil, en el

municipio de Huixtán, en el cual se ubicaron los cuatro sitios, registra para el período 1961-1990 temperatura media anual de 13.4 °C y precipitación total anual de 1 011 mm (Anónimo 1990).

Un par de sitios de muestreo se ubicó en la unidad cartográfica identificada como asociación de suelos Acrisol húmico más Luvisol crómico (Anónimo 1985). Los Acrisoles húmicos tienen alto contenido de materia orgánica y de aluminio intercambiable (FitzPatrick 1984), acumulación de arcilla, endopiedón con arcilla de baja actividad y saturación de cationes básicos menor del 50% (Porta-Casanellas *et al.* 1999).

Uno de estos sitios fue un bosque de *Pinus spp.*, el otro, una parcela cultivada con *Zea mays* L., ambos localizados en terrenos ondulados, con suelos profundos, los cuales son utilizados extensamente en las actividades agrícolas, pecuarias y forestales (Anónimo 1984; Cervantes-Trejo 1997).

El segundo par de sitios se ubicó en la unidad cartográfica denominada asociación de suelos Feozem háplico más Luvisol crómico (Anónimo 1985). Los Feozems háplicos poseen una marcada acumulación de materia orgánica, saturados en cationes básicos en la parte superior (Porta-Casanellas *et al.* 1999). Uno de estos sitios fue un bosque de *Quercus spp.*, el otro, una parcela cultivada con maíz. Ambos sitios se localizaron en laderas con pendiente pronunciada, suelos someros y pedregosos.

Los dos sitios bajo cultivo han sido manejados con labranza, empleando arado tirado por yunta de bueyes, con incorporación de una fracción del residuo del cultivo, adición de excretas de bovinos en pastoreo y fertilización con urea, en dosis aproximada por ciclo de cultivo de 100 kg ha<sup>-1</sup>. No se aplicó algún producto químico para el control de plagas y enfermedades. Los dos sitios de uso forestal están sujetos a la perturbación por extracción de leña y madera y quemas anuales (Soto-Pinto 1998; Álvarez-Solís 2001).

Siguiendo las recomendaciones de Rodríguez-Neave & Burguete-Hernández (1987), se extrajeron 10 muestras de suelo, de 0 a 20 cm de profundidad, en cada sitio. Con ellas se formaron muestras compuestas de aproximadamente 5 kg, las cuales se colocaron en bolsas de polietileno y se almacenaron a 4 °C. Aproximadamente 1 kg de suelo de cada sitio se separó, se puso a secar al aire,

bajo sombra, durante una semana, luego se tamizó con malla de 2 mm de diámetro y se le hicieron determinaciones físicas y químicas (Tabla 1).

### Residuos orgánicos

La cascarilla de cacao se obtuvo del producto que queda después de extraer las almendras de los frutos del cacao *Theobroma cacao* L., el cual el agricultor había almacenado en un área a cielo abierto de su parcela, donde sufrió descomposición parcial. El estiércol provino de las deyecciones de reses alimentadas en pastoreo, con gramíneas cultivadas y suplemento de sales minerales. Dichas heces se acumularon en el piso de los corrales, donde perdieron parte de la humedad e iniciaron su descomposición. Posteriormente, el material se almacenó en un lugar protegido del sol y la lluvia. La composta fue elaborada mezclando pasto seco, folíolos verdes de cocoíte (*Gliricidia sepium*), estiércol de bovino, cascarilla de cacao, aserrín, ceniza, suelo y agua. La mezcla se colocó en montículos cubiertos con plástico. Los montones se voltearon cada 30 días durante tres meses para favorecer la descomposición aerobia, de acuerdo con lo recomendado por Gómez-Álvarez & Castañeda-Ceja (2000). En la Tabla 2 se presentan algunas características químicas de los residuos orgánicos incorporados a los suelos.

Se tamizaron los residuos orgánicos con malla de apertura de 5 mm de diámetro y se prepararon las mezclas combinando los suelos con cada uno de materiales orgánicos, incluyéndose un control, formado por el suelo de cada sitio sin material orgánico, obteniéndose 12 mezclas y cuatro controles (Tabla 3).

### Planeación del experimento

El diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial 4X4 y cuatro repeticiones, se utilizó para probar el efecto de los residuos orgánicos incorporados a los suelos. Las unidades experimentales estuvieron constituidas por mezclas de 50 g de suelo con incorporación de 2 g de residuo orgánico y controles formados por 50 g de suelo, sin adición de material orgánico, preparadas homogéneamente. Las mezclas se colocaron en frascos de vidrio de aproximadamente 300 mL, se ajustaron a 35% de la humedad correspondiente a la capacidad de campo, al inicio de la incubación y después de ca-

da medición del dióxido de carbono. Dentro de cada frasco se colocó un frasco pequeño de vidrio sin tapa, conteniendo 5 mL de solución de hidróxido de sodio 1 N y una tira de papel filtro. Los frascos grandes se cerraron con tapas de rosca e inmediatamente se colocaron en la cámara de incubación Precision GCA Co a 29 °C (Subba-Rao 1982; Alvarez-Solís et al. 2000).

El dióxido de carbono formado dentro de cada frasco, fue captado por el hidróxido de sodio 1 N contenido en el frasco pequeño; el gas fue cuantificado a los siguientes períodos: primero, tercero, sexto, octavo y décimo días (Jedidi et al. 1993). Después de cada medición del dióxido de carbono, se reemplazó la solución de hidróxido de sodio. Los contenidos de los frasquitos se transfirieron a matraces Erlenmeyer de 125 mL, a los cuales se les adicionaron 5 mL de solución de cloruro de bario 2 %, para precipitar como carbonato de bario. La cantidad residual de hidróxido de sodio en el matraz se midió por titulación, empleando solución de ácido clorhídrico 0.5 N (Subba-Rao 1982; Alvarez-Solís et al. 2000).

La variable utilizada fue la tasa de mineralización, medida en microgramos de dióxido de carbono por gramo de suelo por día ( $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ), producido en las correspondientes mezclas y controles. Los datos de mineralización acumulada se estimaron sumando las cantidades de dióxido de carbono producidas en las cinco mediciones, dividiendo el total entre 10, los días de incubación. Para referir la mineralización a la unidad de suelo se dividió entre 50, que es la masa en gramos del suelo utilizado en la mezcla incubada.

Los análisis estadísticos realizados consistieron en la verificación del modelo de distribución probabilística de los datos de mineralización, a través de la comprobación del sesgo y la curtosis estándares en el intervalo de -2 a +2 (Tabla 4) y la igualdad de las varianzas de los conjuntos de datos para cada mezcla y control, por medio de las pruebas de hipótesis correspondientes, empleando el método de Cochran (Zar 1984) y el de Bartlett (Zar 1984).

Los efectos de las mezclas en las tasas de mineralización de la materia orgánica del suelo (Tabla 5) se determinaron utilizando la técnica del análisis de varianza (Montgomery 1991). Las diferencias entre medias de la variable mencionada se encontraron

por comparaciones múltiples, usando el método de la Diferencia Mínima Significativa de Fisher (Zar 1984). En todos los procesos estadísticos se empleó el programa de cómputo Statgraphics Plus para Windows, versión 4.0 (Anónimo 1999).

## RESULTADOS

### Características físicas y químicas de los suelos Acrisol húmico y Feozem háplico

Los sitios cultivados presentaron texturas finas, con 54.7 y 48.7 % de arcilla, densidades aparentes de 1.02 y 1.11  $\text{g cm}^{-3}$ ; pH 5.2 y 6.8, fuertemente ácido y neutro, materia orgánica 124 y 130  $\text{Mg ha}^{-1}$ , nitrógeno total 0.42 y 0.35 %, nitrógeno inorgánico 21.0 y 28.0  $\text{mg kg}^{-1}$  y relaciones carbono/nitrógeno 8.5 y 9.9 respectivamente. Los sitios forestales tuvieron texturas finas, con 46.7 y 56.7 % de arcilla, densidades aparentes de 0.84 y 0.90  $\text{g cm}^{-3}$ ; pH 4.7 y 6.6, muy fuertemente ácido y neutro, materia orgánica 163 y 214  $\text{Mg ha}^{-1}$ , nitrógeno total 0.81 y 0.84 %, nitrógeno inorgánico 31.5 y 31.5  $\text{mg kg}^{-1}$  y relaciones carbono/nitrógeno 7.0 y 8.2 (Tabla 1).

Los sitios cultivados comparados con los forestales disminuyeron sus contenidos de materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno inorgánico, el Acrisol húmico en 24, 48 y 33 %, y el Feozem háplico en 39, 58 y 11 %, y aumentaron en 21 y 23 % su densidad aparente respectivamente.

### Mineralización en el suelo Acrisol húmico

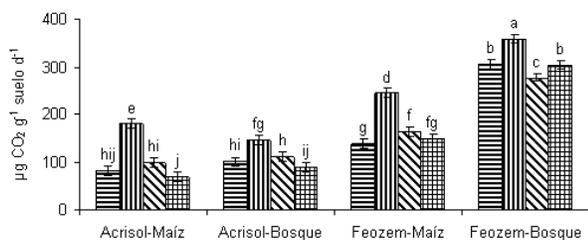
En el sitio cultivado con suelo más estiércol de bovino, tuvo tasa media de mineralización acumulada de 180  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , la cual fue más alta (ANDEVA;  $F=3.33$ ;  $p=0.0031$ ) que las mezclas de suelo más composta, suelo más cascarilla de cacao y el control, con 99, 82 y 69  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  respectivamente. La mezcla de suelo más composta mostró tasa media de mineralización acumulada más alta que el control y la de suelo más cascarilla de cacao no fue diferente a este último (Figura 1). El suelo adicionado con abono animal o composta tuvo incrementos promedio de 164 y 50 % respectivamente, en la tasa de mineralización acumulada, respecto al control. La mezcla de suelo más cascarilla de cacao experimentó decremento promedio de 2 % en dicha tasa, comparada con el control (Figura

**Tabla 1.** Características físicas y químicas de los suelos.  
**Table 1.** Physical and chemical characteristics of the soils.

Sitio	Arena <sup>1</sup>	Arcilla <sup>1</sup>	Limo <sup>1</sup>	Da <sup>2</sup> g cm <sup>-3</sup>	pH <sup>3</sup>	M.Org. <sup>4</sup> Mg ha <sup>-1</sup>	NT <sup>5</sup> %	NI <sup>6</sup> mg kg <sup>-1</sup>	C/N <sup>7</sup>
	%								
Acrisol húmico y bosque de <i>Pinus spp.</i>	25.3	46.7	28	0.84	4.7	163	0.81	31.50	7.0
Acrisol húmico cultivado con <i>Zea mays L.</i>	15.3	54.7	30	1.02	5.2	124	0.42	21.00	8.5
Feozem háplico y bosque de <i>Quercus spp.</i>	19.3	56.7	24	0.90	6.6	214	0.84	31.50	8.2
Feozem háplico cultivado con <i>Zea mays L.</i>	27.3	48.7	24	1.11	6.8	130	0.35	28.00	9.9

<sup>1</sup>Por el método de Bouyoucos. <sup>2</sup>Densidad aparente, método de la probeta. <sup>3</sup>Potencial de hidrógeno, método potenciométrico, proporción suelo:agua: 1:2.5. <sup>4</sup>Materia orgánica, método de Walkley y Black, digestión húmeda. <sup>5</sup>Nitrógeno total, método microKjeldahl con ácido salicílico. <sup>6</sup>Nitrógeno inorgánico, método de Bremner, por arrastre de vapor. <sup>7</sup>Relación carbono/nitrógeno.

2).



**Figura 1.** Tasas medias de mineralización acumulada de los suelos con incorporación de residuos orgánicos. (Las barras representan un error estándar; letras distintas indican diferencias significativas,  $p \leq 0.05$ ). ■ Cascarilla de cacao ■ Estiércol de bovino ■ Compost ■ Control (sin adición de residuo orgánico).

**Figure 1.** Accumulated average mineralisation rates of soils with incorporated organic residues. (The bars represent a standard error; different letters indicate significant differences,  $p \leq 0.05$ ). ■ Cocoa shell ■ Cow manure ■ Compost ■ Control (with no organic residue).

En el sitio forestal el suelo más estiércol tuvo tasa media de mineralización acumulada de  $146 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  la cual fue más alta (ANDEVA;  $F=3.33$ ;  $p=0.0031$ ) que las mezclas de suelo más cascarilla de cacao, suelo más composta y el control, con  $100$ ,  $111$  y  $89 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  respectivamente. El suelo más la cascarilla de cacao tuvo tasa media de mineralización que no fue diferente al control, la mezcla de suelo más composta experimentó tasa media de mineralización más alta que el control (Figura 1), con un incremento promedio de 28 %

respecto a este último. El suelo con incorporación de cascarilla de cacao o estiércol tuvo incrementos promedio de 13 y 73 % respectivamente, en la tasa de mineralización acumulada, comparada con el control (Figura 2).

### Mineralización en el suelo Feozem háplico

En el sitio cultivado la mezcla de suelo más estiércol mostró tasa media de mineralización acumulada de  $245 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , la cual fue más alta (ANDEVA;  $F=3.33$ ;  $p=0.0031$ ) que las mezclas de suelo más composta, suelo más cascarilla de cacao y el control con  $163$ ,  $139$  y  $149 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  respectivamente. La mezcla de suelo más composta fue más alta que la de suelo más cascarilla, sin embargo, dichas mezclas no fueron diferentes al control (Figura 1).

El suelo con adición del abono animal o composta tuvo un incremento promedio de 64 y 9 % respectivamente, en la tasa de mineralización acumulada, respecto al control y la incorporación de cascarilla de cacao provocó una disminución promedio de 7 % en dicha tasa (Figura 2).

En el sitio forestal el suelo más estiércol tuvo tasa media de mineralización acumulada de  $359 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , la cual fue más alta (ANDEVA;  $F=3.33$ ;  $p=0.0031$ ) que las mezclas de suelo más cascarilla de cacao, suelo más composta y el control con  $306$ ,  $278$  y  $305 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  respectiva-

**Tabla 2.** Características químicas de los residuos orgánicos incorporados a los suelos.  
**Table 2.** Chemical characteristics of the organic residues incorporated to the soils.

Residuo orgánico	C/N	pH	M.Org. (%)	N total (%)	P (%)	K (%)	Ca <sup>++</sup> (%)	Mg <sup>++</sup> (%)
Cascarilla de cacao <sup>1</sup>	ND	ND	ND	1.2	0.69	1.63	0.33	0.93
Estiércol <sup>2</sup>	18	6.9	33.3	1.06	0.07	1.14	0.64	0.06
Composta <sup>3</sup>	ND	6.4	6.9	1.2	0.003	0.12	ND	ND

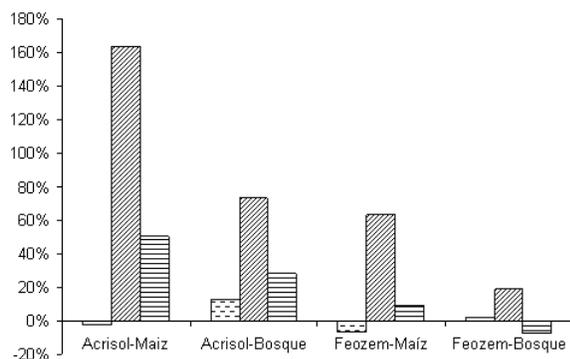
<sup>1</sup>Fuente: Bonvehí & Jordá 1998 y Chepote 2003.

<sup>2</sup>Determinaciones realizadas en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas del Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados.

<sup>3</sup>Fuente: García et al 2000.

ND: Dato no disponible

mente. La mezcla de suelo más cascarilla mostró tasa media de mineralización acumulada más alta que la de suelo más composta, sin embargo, no hubo diferencia entre la primera mezcla y el control y la segunda fue menor que éste (Figura 1). El suelo con incorporación de estiércol o cascarilla de cacao mostró un incremento promedio de 19 y 2 % respectivamente, en la tasa de mineralización acumulada, comparada con el control y la adición de composta provocó una disminución promedio de 7 % en la tasa de mineralización (Figura 2).



**Figura 2.** Incrementos y decrementos promedio de las tasas de mineralización acumulada en suelos con incorporación de residuos orgánicos respecto a los controles. ■ Cascarilla de cacao ■ Estiércol de bovino ■ Composta.

**Figure 2.** Average increases and decreases in the accumulated mineralisation rates in soils with incorporation of organic residues. ■ Cocoa shell ■ Cow manure ■ Compost.

La mezcla de suelo Acrisol húmico cultivado más estiércol tuvo tasa media de mineralización acumulada más alta (ANDEVA;  $F=3.33$ ;  $p=0.0031$ ) que la mezcla con suelo forestal, con 180 y 146  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  respectivamente, superando a este último en 23%. El suelo con incorporación de

cascarilla de cacao o composta y el control, en el sitio cultivado, tuvo tasas medias de mineralización acumulada de 82, 99 y 69  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  respectivamente, las cuales no difieren de sus correspondientes mezclas en el sitio forestal, con 100, 111 y 89  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ . En el sitio cultivado el suelo Feozem háplico con adición de estiércol, cascarilla de cacao o composta y el control produjeron tasas medias de mineralización acumulada de 245, 139, 163 y 149  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , las cuales fueron más bajas que las mezclas correspondientes y el control, en el sitio forestal, con 359, 306, 278 y 305  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  respectivamente (Figura 1).

## DISCUSIÓN

### Características físicas y químicas de los suelos Acrisol húmico y Feozem háplico

Los aumentos en las densidades aparentes de los suelos en los dos sitios cultivados, se deben a la compactación provocada por la rotura de los agregados del suelo al ararse y el paso de los aperos (FAO sin año; Landon 1984; Montagnini & Jordan 2002). Las disminuciones en los contenidos de materia orgánica, nitrógeno total e inorgánico en dichos sitios, se deben a la transformación del bosque a campo de cultivo (FAO sin año; Benítez & Valverde 1982; Lavelle et al. 1993). Los últimos autores afirman que el abatimiento en el contenido de dichos componentes, se debe a la rápida pérdida de la materia orgánica del suelo por la eliminación de la vegetación natural, el laboreo del mismo y la introducción de las especies vegetales cultivadas.

Las acumulaciones de materia orgánica, nitró-

**Tabla 3.** Suelos y residuos orgánicos incorporados.  
**Table 3.** Soils and organic residues incorporated to the soils.

Suelo más residuo orgánico	Abreviatura	Suelo más residuo orgánico	Abreviatura
1) Suelo Acrisol húmico cultivado con <i>Zea mays</i> L. + cascarilla de cacao.	AMCa	2) Suelo Acrisol húmico cultivado con <i>Zea mays</i> L. + estiércol de bovino.	AME
3) Suelo Acrisol húmico cultivado con <i>Zea mays</i> L. + composta.	AMC	4) Suelo Acrisol húmico cultivado con <i>Zea mays</i> L. sin adición de residuo orgánico (control).	AM
5) Suelo Acrisol húmico en bosque de <i>Pinus</i> spp + cascarilla de cacao.	ABCa	6) Suelo Acrisol húmico en bosque de <i>Pinus</i> spp. + estiércol de bovino.	ABE
7) Suelo Acrisol húmico en bosque de <i>Pinus</i> spp. + composta.	ABC	8) Suelo Acrisol húmico en bosque de <i>Pinus</i> spp. sin adición de residuo orgánico (control).	AB
9) Suelo Feozem háplico cultivado con <i>Zea mays</i> L. + cascarilla de cacao.	FMCa	10) Suelo Feozem háplico cultivado con <i>Zea mays</i> L. + estiércol de bovino.	FME
11) Suelo Feozem háplico cultivado con <i>Zea mays</i> L. + composta.	FMC	12) Suelo Feozem háplico cultivado con <i>Zea mays</i> L. sin adición de residuo orgánico (control).	FM
13) Suelo Feozem háplico en bosque de <i>Quercus</i> spp. + cascarilla de cacao.	FBCa	14) Suelo Feozem háplico en bosque de <i>Quercus</i> spp. + estiércol de bovino.	FBE
15) Suelo Feozem háplico en bosque de <i>Quercus</i> spp. + composta.	FBC	16) Suelo Feozem háplico en bosque de <i>Quercus</i> spp. sin adición de residuo orgánico (control).	FB

geno total y nitrógeno inorgánico del suelo, en los dos sitios forestales, se explican por el aporte de residuos del bosque, determinado por la cantidad de nutrientes en el suelo, la temperatura, la precipitación y el tiempo de vida del follaje (Coûteaux *et al.* 1995; Vogt *et al.* 1995). Los depósitos de la materia orgánica en los suelos también son favorecidos por el alto contenido de arcilla, debido al recubrimiento de los compuestos carbonados y la formación de complejos órgano-minerales que dificultan su descomposición por los microorganismos (Lavelle *et al.* 1993; Veldkamp 1994; Vogt *et al.* 1995).

Las bajas razones carbono/nitrógeno, en los dos suelos, pueden estar relacionadas con una tasa de mineralización del nitrógeno relativamente alta, esto concuerda con los contenidos de nitrógeno en sus formas amónica y nítrica observados, consistente con lo registrado por Finzi *et al.* (1998), quienes encuentran una correlación negativa entre la relación carbono/nitrógeno y la mineralización del segundo elemento.

No obstante, el contenido de materia orgánica es menor en el suelo Acrisol húmico que en el Feozem háplico, debido a la producción más baja de residuos vegetales, a causa de su pobreza en nutrientes disponibles, lo cual restringe la producción primaria (Vogt *et al.* 1995; Geissen & Brümmer 1999; Porta-Casanellas *et al.* 1999).

### Mineralización en el suelo Acrisol húmico

En las mezclas de suelo cultivado o forestal con incorporación de estiércol de bovino, las tasas medias de mineralización más altas que las mezclas con composta o cascarilla de cacao y los controles, se deben a la mayor variedad y cantidad de compuestos fácilmente descomponibles contenidos en el abono animal, por su mayor riqueza en materia orgánica, además de poseer bacterias que degradan la celulosa (Benedicto-Valdés 1989), todo esto promueve la diversidad y el tamaño de los grupos microbianos edáficos, aumentando su actividad (Metting Jr 1993; Coûteaux *et al.* 1995; Geissen & Brümmer

**Tabla 4.** Parámetros de Normalidad de los datos de mineralización.  
**Table 4.** Parameters of normality of the mineralisation data.

Suelo con residuo orgánico <sup>1</sup>	Tamaño de muestra	Sesgo estándar <sup>2</sup>	Curtosis estándar
AMCa	4	1.42	1.32
AME	4	-0.33	-17
AMCa	4	0.49	0.33
AM	4	0.24	0.55
ABCa	4	1.38	1.23
ABE	4	-0.26	-0.65
ABC	4	-1.35	1.06
AB	4	-0.68	-0.05
FMCa	4	-0.29	-1.4
FME	4	-0.29	0.52
FMC	4	-0.63	-0.62
FM	4	0.13	-2.05
FBCa	4	-0.07	-1.33
FBE	4	-0.13	0.59
FBC	4	-0.08	0.33
FB	4	-1.52	1.47

<sup>1</sup> El significado de las abreviaturas aparece en la tabla 3.

<sup>2</sup> Los valores del sesgo y la curtosis estándares deben ubicarse entre  $-2$  y  $+2$  (Zar 1984).

1999). En la mezcla de suelo más cascarilla la tasa media de mineralización no difiere del control, esto puede atribuirse a su menor riqueza en componentes de fácil degradabilidad, como lo indican Abiola & Tewe (1991), quienes registran que el secado bajo el sol reduce el contenido de nitrógeno, lípidos y proteínas en la cascarilla de cacao. La mezcla de suelo más composta supera al control, pero en menor proporción que la mezcla con estiércol, lo anterior es también explicado por su más bajo contenido en compuestos degradables, pues en su elaboración se utilizó una proporción alta de cascarilla de cacao, además de la posible presencia, en ambos residuos, de componentes como el ácido fítico y polifenoles (Bonvehí & Jordá 1998) y teobromina (Abiola & Tewe 1991; Bonvehí & Jordá 1998), que pueden actuar como bloqueadores químicos de los procesos de la descomposición (Lavelle *et al.* 1993).

La mezcla del suelo Acrisol húmico cultivado más estiércol tuvo tasa media de mineralización más alta que la mezcla con suelo forestal, lo que es explicado por el efecto mencionado del estiércol y el estímulo de la actividad microbiana por el manejo del cultivo, ya que el arado del suelo permite que los residuos del cultivo y el estiércol adicionado tengan condiciones de temperatura y humedad más constantes y estrecha proximidad con la población microbiana, lo que conduce a la rápida descomposición,

como lo afirman Siqueira & Franco (1988), Smith *et al.* (1993) y Emmerling & Eisenbeis (1998), estos últimos encontraron que el arado del suelo mejora su aireación, debido al aumento del volumen de poros y el mejoramiento del drenaje del suelo, lo que permite un nivel de descomposición de los residuos orgánicos más alto. Lo anterior se comprueba en el suelo del sitio forestal, con adición de estiércol que tiene tasa media de mineralización menor.

### Mineralización en el suelo Feozem háplico

En los sitios cultivado o forestal la mezcla de suelo con incorporación de estiércol muestra tasas medias de mineralización más altas que sus mezclas con cascarilla de cacao o composta y los controles, debido al efecto mencionado del abono animal. En el sitio cultivado las mezclas de suelo con cascarilla de cacao o composta, y en el sitio forestal la mezcla con cascarilla, poseen tasas medias de mineralización que no difieren de su control, sin embargo, en el segundo sitio la mezcla de suelo más composta es más baja que el control, las respuestas anteriores pueden atribuirse a desbalances en las relaciones carbono/fósforo y carbono/potasio, lo cual inhibe la descomposición (Lavelle *et al.* 1993), debido a la pobreza en fósforo y potasio de la composta, en el primer caso y en el segundo, a esta pobreza y la mayor acumulación de materia orgánica del suelo en el

**Tabla 5.** Análisis de varianza de los datos de mineralización acumulada por efecto de los suelos y los residuos orgánicos. Fc=F calculada, p=nivel de significancia.

**Table 5.** Analysis of variance of the accumulated mineralisation data, with the effect of the soils and organic residues. Fc=F calculated, p=significance level.

Fuente de variación	Grados de libertad	Fc	p
Residuo orgánico (RO)	3	64.06	0.0000
Sitio	3	409.29	0.0000
RO*Sitio	9	3.33	0.0031

bosque de *Quercus spp.*, como lo registran Hendrickson & Robinson (1984) y Vogt *et al.* (1995).

En el sitio forestal el control y las mezclas de suelo más cascarilla de cacao, estiércol o composta tienen tasas medias de mineralización más altas significativamente que el control y las correspondientes mezclas de los sitios restantes, debido al mayor contenido nutrimental del sitio, puesto que las características físicas y químicas del suelo y la calidad de los residuos orgánicos aportados por el bosque sugieren una variedad y cantidad más altas de nutrientes disponibles. Dichos resultados concuerdan con la correlaciones positivas entre el pH, los iones potasio, calcio, magnesio y la capacidad de intercambio de cationes y la respiración microbiana, encontradas por Álvarez-Solís & Ansueto-Martínez (2004), en suelos de la región Altos de Chiapas, donde también registran que la respiración microbiana fue menor en sistemas de cultivo continuo de maíz comparado con el acahual arbustivo y los sistemas de cultivo con barbechos cortos o largos.

Se concluye que la transformación de los suelos Acrisol húmico y Feozem háplico bajo uso forestal a cultivos de maíz provocó decrementos de 24 y 39 % en su contenido de materia orgánica e incrementos de 21 y 23 % en su densidad aparente respectivamente, características que influyen fuertemente en la tendencia a la declinación de su fertilidad.

El estiércol de bovino incorporado al suelo mostró más alto potencial en la reposición de elementos nutrientes que se pierden en el sistema de

producción de maíz en los suelos Acrisol húmico y Feozem háplico. Este residuo podría ser una alternativa, para los agricultores, en el reciclaje de nutrientes y en la restitución y aumento de la fertilidad de los mencionados suelos en la región Altos de Chiapas.

Para elevar la calidad de la cascarilla de cacao y la composta con el fin de utilizarlos en el mejoramiento de la fertilidad de estos suelos, requieren evaluarse en campo y laboratorio, después de proporcionarles tratamientos, tales como composteo de la cascarilla de cacao, desde que se produce en las parcelas de los agricultores o su almacenamiento en un lugar protegido del sol y la lluvia para disminuir la degradación de sus compuestos solubles y la lixiviación. En la elaboración de la composta debe incluirse ingredientes ricos en potasio y fósforo para alcanzar relaciones entre estos elementos y el carbono orgánico que promuevan tasas de mineralización óptima, de la materia orgánica, al incorporarse a estos suelos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a El Colegio de la Frontera Sur por los apoyos recibidos para llevar a cabo este trabajo. Nuestro reconocimiento sincero por la colaboración, en los trabajos de campo y laboratorio, a los señores Miguel Ángel López Anaya y Manuel de Jesús Gutiérrez Gómez.

## LITERATURA CITADA

- Abiola SS, Tewe OO (1991) Chemical evaluation of cocoa by-products. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 68 (4): 335-336.

- Álvarez-Solís JD (2001) Investigación y desarrollo de la tecnología de biofertilización para la agricultura alteña de Chiapas, México. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F. 176 pp.
- Álvarez-Solís JD, Anzueto-Martínez MJ (2004) Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los Altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 38 (1): 13-22.
- Álvarez-Solís JD, Ferrera-Cerrato R, Etchervers-Barra JD (2000) Actividad microbiana en tepetate con incorporación de residuos orgánicos. *Agrociencia* 34 (5): 523-532.
- Álvarez-Solís JD, Rosset PM, Díaz-Hernández BM, Placencia-Vargas H, Rice RR (1998) El impacto de la transformación del paisaje sobre la base productiva de los Altos de Chiapas, México -avances preliminares-. Memorias del Seminario sobre manejo de suelos tropicales en Chiapas. Cuaderno de Divulgación 2º Seminario. ECOSUR. San Cristóbal de Las Casas. 196 pp.
- Anónimo (1984) Carta topográfica escala 1: 50 000. San Cristóbal de Las Casas E15 D62 Chiapas. DGG/INEGI. D. F.
- Anónimo (1985) Carta edafológica escala 1: 250 000. Tuxtla Gutiérrez E15-11 Chiapas. DGG/INEGI. D. F.
- Anónimo (1990) Normales climatológicas 1961-1990, Estación Chilil, Huixtán. Unidad del Servicio Meteorológico Nacional. <http://smn.cna.gob.mx/productos/normales/estacion/chis/NOR07036.TXT>. Visitado el 24 de mayo de 2005.
- Anónimo (1999) Statgraphics Plus para Windows, Versión 4.0.
- Anónimo (2003) Huixtán. Enciclopedia de los Municipios de México. Estado de Chiapas. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Chiapas. <http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/chiapas/municipios/07038a.htm>. Visitado el 27 de junio de 2005.
- Astier M, Hollands J (2005) La evaluación de la sustentabilidad de experiencias agroecológicas en Latinoamérica. En: Astier M, Hollands J (eds) *Sustentabilidad y campesinado. Seis experiencias agroecológicas en Latinoamérica*. GIRA A.C. Mundiprensa. D. F. 262 pp.
- Benedicto-Valdés GS (1989) Modificación de algunas condiciones físicas, químicas y de la actividad biológica del suelo por incorporación de estiércoles. Colegio de Postgraduados. Montecillo. 110 p.
- Benítez JR, Valverde CL (1982) Constraints in the use and management of infertile acid soils in the humid tropics. En: Wienk JF, de Wit HA (eds) *Proceedings of the joint workshop on management of low fertility acid soils of the american humid tropics*. San José. 220 pp.
- Bonvehí JS, Jordá RE (1998) Constituents of cocoa husks. *Verlag der Zeitschrift für Naturforschung* 53: 785-792.
- Burke IC, Elliott ET, Cole CV (1995) Influence of macroclimate, landscape position, and management on soil organic matter in agroecosystems. *Ecological applications* 5 (1): 124-131.
- Calderón FJ, Jackson LE, Scow KM, Rolston DE (2001) Short-term dynamics of nitrogen, microbial activity, and phospholipid fatty acids after tillage. *Soil Science Society of America Journal* 65: 118-126.
- Cervantes-Trejo E (1997) Clasificación tzotzil de suelos. En: Parra-Vázquez MR, Díaz-Hernández BM (eds) *Los Altos de Chiapas: Agricultura y Crisis Rural*. Tomo 1. ECOSUR. San Cristóbal de Las Casas. 192 p.
- Chepote RE (2003) Efeito do composto da casca do fruto do cacau no crescimento e produção do cacauero. *Agrotrópica* 15(1): 1-8.
- Coûteaux MM, Bottner P, Berg B (1995) Litter decomposition, climate and litter quality. *Tree* 10 (2): 63-66.
- Díaz-Hernández BM, Parra-Vázquez MR (1997) Introducción. En: Parra-Vázquez MR, Díaz-Hernández BM (eds) *Los Altos de Chiapas: Agricultura y crisis rural*. Tomo 1. ECOSUR. San Cristóbal de Las Casas. 192 pp.
- Emmerling C, Eisenbeis G (1998) Influence of modern restoration techniques on litter decomposition in forest soils. *Applied Soil Ecology* 9: 501-507.
- FAO (sin año) Manejo y dinámica de la materia orgánica en suelos de regiones semiáridas en relación con los sistemas de labranza. Food and Agriculture Organization. [http://www.fao.org/ag/AGS/AGSE/agse\\_e/7mo/66/cap9\\_1.pdf](http://www.fao.org/ag/AGS/AGSE/agse_e/7mo/66/cap9_1.pdf). Visitado el 15 de noviembre de 2005.

- Finzi AC, van Breemen N, Canham CD (1998) Canopy tree-soil interactions within temperate forests: species effects on soil carbon and nitrogen. *Ecological applications* 8 (2): 440-446.
- FitzPatrick EA (1984) Suelos. Su formación, clasificación y distribución. CECSA. D. F. 430 pp.
- Franzluebbers AJ (1999) Microbial activity in response to water-filled pore space of variably eroded Southern Piedmont soils. *Applied Soil Ecology* 11: 91-101.
- García-Barrios L (2003) Plant-plant interactions in tropical agriculture. En: Vandermeer JH (ed) *Tropical agroecosystem*. CRC Press LLC. Boca Ratón. 280 pp.
- García-Barrios L, Soto-Pinto L, Pool-Novelo L, Meza-Díaz S (1991) Efectos agroecológicos de la rotación pastizal-cultivo y la roturación del suelo en los sistemas de producción de maíz del carst chamula, Altos de Chiapas, México. En: Anaya-Garduño M, Arellano-Monterrosas JL, Pool-Novelo L, Medina SLM y López MJ (eds) *Memorias del Primer Seminario sobre Manejo de Suelos Tropicales en Chiapas*. Publicación Especial CIES. San Cristóbal de Las Casas. 51 pp.
- García VA, Fraire SL, Balboa CH (2000) Aprovechamiento de la cascarilla de cacao *Theobroma cacao* L. mediante vermicomposteo en el municipio Ostucán, Chiapas. En: Sánchez-Domínguez DC, López-Arias NC, Calles-Sánchez F (eds) *XIII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria*. INIFAP. Villahermosa. 167 pp.
- Geissen V, Brümer GW (1999) Decomposition rates and feeding activities of soil fauna in deciduous forest soils in relation to soil chemical parameters following liming and fertilization. *Biology and Fertility of Soils* 29: 335-342.
- Gómez-Álvarez R, Castañeda-Ceja R (2000) *Tecnologías de producción orgánica*. Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. Villahermosa. 91 pp.
- Hendrickson OQ, Robinson JB (1984) Effects of roots and litter on mineralization processes in forest soil. *Plant and Soil* 80: 391-405.
- Jedidi N, van Cleemput O, M'Hiri A (1993) Mineralization of organic amendments in a Tunisian soil. En: Mulongoy K, Merckx R (eds) *Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture*. John Wiley & Sons. Chippenham. 392 pp.
- Jürgen-Pohlen HA (2002) Nuevos aspectos en el manejo agronómico de cafetales -las perspectivas para el café ecológico-. En: Jürgen-Pohlen HA (ed) *México y la caficultura chiapaneca -reflexiones y alternativas para los caficultores*. Shaker Verlag. 386 pp.
- Landon JR (1984) *Booker Tropical Soil Manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*. Booker Agriculture International Limited. Londres. 410 pp.
- Lavelle P, Blanchart E, Martin A, Martin S, Spain A, Toutain F, Barois I, Schaefer R (1993) A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. *Biotrópica* 25(2): 130-150.
- Metting Jr FB (1993) Structure and physiological ecology of soil microbial communities. En: Metting FB Jr (ed) *Soil microbial ecology. Applications in agricultural and environmental management*. Marcel Dekker. Nueva York. 627 pp.
- Montagnini F, Jordan CF (2002) Reciclaje de nutrientes. En: Guariguata MR, Kattan GH (eds) *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Libro Universitario Regional. Cartago. 691 pp.
- Montgomery DC (1991) *Diseño y Análisis de Experimentos*. Traductor: Jaime Delgado Saldivar. Grupo Editorial Iberoamérica. D. F. 589 pp.
- Pool-Novelo L (1997) Intensificación de la agricultura tradicional y cambios en el uso del suelo. En: Parra-Vázquez MR, Díaz-Hernández BM (eds) *Los Altos de Chiapas: Agricultura y crisis rural*. Tomo 1. ECOSUR. San Cristóbal de Las Casas. 192 pp.
- Pool-Novelo L (1998a) El uso del fuego en el desarrollo agrícola de Chiapas. *Memorias del Seminario sobre manejo de suelos tropicales en Chiapas*. Cuaderno de Divulgación 2º Seminario. ECOSUR. San Cristóbal de Las Casas. 192 pp.

- Pool-Novelo L (1998b) Producción y conservación en el desarrollo agrícola de los Altos de Chiapas, México. Memorias del Seminario sobre manejo de suelos tropicales en Chiapas. Cuaderno de Divulgación 2º Seminario. ECOSUR. San Cristóbal de Las Casas. 192 pp.
- Pool-Novelo L, León-Martínez NS, Pérezgrovas-Garza V (1998) Harina de hueso adicionada a suelos de la zona cafetalera de los Altos de Chiapas, México. *Terra* 16(1): 71-77.  
<http://www.chapingo.mx/terra>.
- Porta-Casanellas J, López-Acevedo RM, Roquero-Laburu C (1999) Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2ª edición. Mundi-prensa. Barcelona. 849 pp.
- Rodríguez-Neave F, Burguete-Hernández F (1987) Muestreo de suelos. En: Aguilar-Santelises A, Etchevers-Barra JD, Castellanos-Ramos JZ (eds) Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Publicación especial No. 1. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. 217 pp.
- Siqueira JO, Franco AA (1988) Biotecnología do solo fundamentos e perspectivas. MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS. Brasilia. 235 pp.
- Smith JL, Papendick RI, Bezdicsek DF, Lynch JM (1993) Soil organic matter dynamics and crop residue management. En: Meeting FB Jr (ed) Soil microbial ecology. Applications in agricultural and environmental management. Marcel Dekker. Nueva York. 627 pp.
- Soto-Pinto ML (1998) Agroforestería para la conservación de suelos en Los Altos de Chiapas. Memorias del Seminario sobre manejo de suelos tropicales en Chiapas. Cuaderno de Divulgación 2º Seminario. ECOSUR. San Cristóbal de Las Casas. 192 pp.
- Subba-Rao NS (1982) Biofertilizers in agriculture. Serie 7. Oxford & IBH Publishing. Nueva Deli. 186 pp.
- Sundarapandian SM, Swamy PS (1999) Litter production and leaf-litter decomposition of selected tree species in tropical forests at Kodayar in the Western Ghats, India. *Forestry Ecology and Management* 123: 231-244.
- Van Amelsvoort PAM, van Dongen M, van der Werff PA (1988) The impact of Collembola on humification and mineralization of soil organic matter. *Pedobiología* 31: 103-111.
- Veldkamp D (1994) Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Science Society of America Journal* 58: 175-180.
- Vogt CA, Vogt DJ, Brown S, Tilley JP, Edmonds RL, Silver WL, Siccama TG (1995) Dynamics of forest floor and soil organic matter accumulation in boreal, temperate, and tropical forests. pp. 159-178. En: Lal R, Kimble J, Stewart BA (eds) Soil management and greenhouse effect. *Advances in Soil Science*. CRC. Boca Ratón.
- Zar JH (1984) Biostatistical analysis. Second edition. Prentice Hall. Englewood Cliffs. 718 pp.