

# El Colegio de la Frontera Sur

Mineralización en suelos abonados con sustratos orgánicos y efectos de la inoculación micorrízica en la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) cultivado en huertos orgánicos biointensivos

### **TESIS**

presentada como requisito parcial para optar al grado de Doctor en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable

por

José Armando León Nájera

# **INDICE**

	RESUMEN
1	INTRODUCCIÓN
2	MATERIALES Y MÉTODOS
2.1	Sitios de muestreo de suelos en el Alto Bloque Central de
	Chiapas
2.2	Residuos orgánicos incorporados a los suelos en el Alto Bloque Central
	de Chiapas
2.3	Planeación del experimento de incubación
2.4	El experimento con huertos orgánicos biointensivos en la planicie
	tabasqueña
2.4.1	Descripción del sitio.
2.4.2	Las compostas
2.4.3	El inóculo micorrízico.
2.4.4	Establecimiento del experimento.
2.4.5	Muestreo del suelo y plantas y determinación de parámetros
3	RESULTADOS
3.1	Características físicas y químicas de los suelos Acrisol húmico, Feozem
	háplico y Fluvisol éutrico
3.2	Mineralización en los suelos.
3.2.1	Acrisol húmico.
3.2.2	Feozem háplico
3.2.3	Fluvisol éutrico
3.3	Efectos de los sustratos orgánicos y las inoculación micorrízica en el
	suelo Fluvisol éutrico
3.3.1	Tensión de humedad
3.3.2	Contenido de humedad
3.3.3	Estabilidad de agregados.
3 3 4	Potencial de hidrógeno (pH)

3.3.5	Carbono de la biomasa microbiana.	27
3.4	Efectos de los sustratos orgánicos y la inoculación micorrízica en el	
	cultivo de chile habanero	28
3.4.1	Altura de plantas	28
3.4.2	Diámetro de tallos.	29
3.4.3	Peso fresco de frutos por planta	29
4	DISCUSIÓN	31
4.1	Características físicas y químicas de los suelos Acrisol húmico, Feozem	
	háplico y Fluvisol éutrico	31
4.2	Mineralización en los suelos	32
4.2.1	Acrisol húmico	32
4.2.2	Feozem háplico	33
4.2.3	Fluvisol éutrico	34
4.3	Efectos de los sustratos orgánicos y la inoculación micorrízica en el	
	suelo Fluvisol éutrico	35
4.3.1	Tensión de humedad	35
4.3.2	Contenido de humedad	36
4.3.3	Estabilidad de agregados	37
4.3.4	Potencial de hidrógeno (pH)	37
4.3.5	Carbono de la biomasa microbiana.	38
4.4	Efectos de los sustratos orgánicos y la inoculación micorrízica en el	
	cultivo de chile habanero	38
4.4.1	Altura de plantas	38
4.4.2	Diámetro de tallo	39
4.4.3	Peso fresco de frutos por planta	40
5	CONCLUSIONES.	43
	BIBLIOGRAFÍA	45

#### **RESUMEN**

Por su naturaleza la materia orgánica proporciona al suelo un conjunto de atributos clave en el mantenimiento de la productividad de agroecosistemas, sin embargo, en las zonas tropicales húmedas los bajos niveles de materia orgánica del suelo se deben a la deforestación y la alta tasa de mineralización. Dos condiciones fisiográficas extensas del sureste de México son la montaña y la planicie, en la primera predominan suelos arcillosos ácidos; en la segunda, suelos aluviales cuya fertilidad natural ha sido disminuida por interrupción de las descargas de aluvión, debido a la construcción de presas y caminos. En ambas regiones se ha intensificado el uso de los suelos y aumentado la superficie agropecuaria como consecuencia del crecimiento de la población humana. Los objetivos del presente trabajo fueron: (1) Estudiar el efecto de la adición de diferentes residuos orgánicos en la tasa de mineralización de suelos ácidos, con baja saturación de bases y pendiente abrupta, forestales o cultivados; (2) Conocer la influencia de diversas compostas combinadas con hongos micorrízicos en el crecimiento y rendimiento de chile habanero y las propiedades físicas, químicas y la actividad microbiológica de un Fluvisol, bajo sistema orgánico. En el primer caso se utilizó un diseño factorial 4X4, en el segundo, bloques aleatorizados. En los sitios cultivado y forestal, la incorporación del estiércol, en el Acrisol húmico tuvo tasas medias de mineralización de 180 y 146 μg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> y en el Feozem háplico, 245 y 359 μg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> respectivamente, las cuales 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 la fertilidad de ambos suelos. Este residuo incorporado al Acrisol húmico cultivado incrementó 164 % la tasa de mineralización. En el Fluvisol éutrico, al final del primer ciclo de cultivo con chile habanero, el bocashi, la cachaza o la vermicomposta más micorriza mostraron tensiones de humedad del suelo más bajas que sin inocular (ANDEVA; F=5.54, p=0.0361), con 30.3, 31.4 y 32.4 cb; mayor altura de planta (ANDEVA; F=8.09, p=0.0198) y más alto peso fresco de frutos (ANDEVA; F=5.68, p=0.0412), con 394, 279 y 301 g planta<sup>-1</sup> respectivamente, con incrementos de 62, 26 y 48 % en relación a las compostas solas. Las tres compostas más la inoculación micorrízica mejoraron propiedades físicas, químicas y la actividad microbiológica del Fluvisol éutrico, así como el crecimiento y rendimiento de chile, debido a la incorporación de ácidos húmicos, suministro de carbono, nitrógeno y potasio y su absorción más eficiente por las plantas, propiciada por las micorrizas.

# 1. INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo desempeña funciones relevantes en el funcionamiento de agroecosistemas, influye en un conjunto de atributos del suelo, los cuales determinan su fertilidad y productividad (Swift & Woomer 1993; Labrador-Moreno 2001). Los bajos niveles de la materia orgánica del suelo en las zonas tropicales húmedas son causados por la deforestación y la serie de factores que favorecen la alta tasa de descomposición de los residuos orgánicos (Swift & Woomer 1993; Montagnini & Jordan 2002).

Los microorganismos rizosféricos afectan el crecimiento y nutrición vegetal y el desequilibrio en sus funciones puede ocasionar la pérdida de una productividad sostenida; entre las actividades microbianas destacan las reacciones químicas y procesos físicos producidos por acciones metabólicas, las cuales son clave para el crecimiento vegetal y el mejoramiento de la estructura del suelo (Azcón 2000; Vessey 2003).

La agricultura orgánica es un sistema conceptual que se estructura en la evolución del conocimiento de los recursos naturales, desde la aparición del hombre hasta la actualidad, sistematizados en un marco teórico amplio denominado agroecología (Altieri 1987; Fregoso 1996; Altieri & Nicholls 2000).

En la agricultura orgánica, las prácticas están enfocadas a la producción, sin el uso de agroquímicos, utiliza residuos orgánicos como estiércoles, leguminosas, rotación de cultivos, abonos verdes, control biológico y físico de plagas y malezas (Altieri & Nicholls 2000).

Los agricultores en su larga convivencia con los recursos naturales han aprendido de problemas como la deforestación, la baja fertilidad del suelo, la erosión. Emplean compostas para mejorar la fertilidad del suelo y la activación de las poblaciones de microorganismos (Anónimo 1995).

La utilización de compostas en suelos degradados, es frecuente, con la finalidad de recuperar la fertilidad y su productividad (Nieto-Garibay *et al.* 2002). La magnitud y la estabilidad de

los cambios en la fertilidad de los suelos dependen de la cantidad y calidad de la materia orgánica aplicada al suelo como composta (Drozd 2003; León-Nájera *et al.* 2006), la calidad e incremento del rendimiento de cultivos están determinados por el grado de madurez y la dosis de la misma (Weber *et al.* 2003; Contreras-Ramos *et al.* 2005).

La mineralización de la materia orgánica es un proceso 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, azufre y carbono (van Amelsvoort *et al.* 1988; Coûteaux *et al.* 1995; Franzluebbers 1999; Calderón *et al.* 2001; Montagnini & Jordan 2002).

En este proceso influyen el clima, la mineralogía de las arcillas, el estado de los nutrimentos del suelo, la actividad de la biota edáfica y la calidad de los residuos en descomposición (Smith *et al.* 1993; Lavelle *et al.* 1993; Jedidi *et al.* 1993; Murwira & Kirchmann 1993; Obatolu & Agboola 1993; Vogt *et al.* 1995; Geissen & Brümer 1999; Sundarapandian & Swamy 1999).

El desarrollo vegetal puede ser promovido por ciertos grupos microbianos, entre los que son fundamentales los hongos formadores de micorriza y otros microorganismos rizosféricos que actúan coordinadamente con ellos en la interfase suelo-raíz; esta interacción afecta el ciclado y disponibilidad de nutrimentos necesarios en la nutrición del vegetal; la simbiosis plantahongo micorrízico arbuscular intensifica la absorción de nutrimentos y agua, aumenta la resistencia al ataque de patógenos y a metales pesados en el suelo (Azcón 2000; Bago *et al.* 2000; Corlay-Chee *et al.* 2000; Vessey 2003).

Se documenta ampliamente que la simbiosis *Capsicum annuum*-hongo micorrízico arbuscular incrementa la absorción del fósforo cuando existe baja disponibilidad de este elemento en el suelo, debido al desarrollo más grande de hifas extraradicales, permitiendo mayor explotación del suelo (Gaur *et al.* 1998; Aguilera-Gómez *et al.* 1999; Kim *et al.* 2002; Schroeder & Janos 2005).

Manjarrez-Martínez *et al.* (1999) registran que no hubo efectos de la vermicomposta, incorporada al suelo, en dosis equivalente a 12 t ha<sup>-1</sup> y la inoculación simultánea del complejo de micorrizas *Glomus* spp. Zac-19, sin embargo, numéricamente la producción de biomasa de *C. annuum* fue mayor en plantas inoculadas que sin inocular, bajo condiciones de invernadero.

En el sureste de México, una condición fisiográfica que se extiende ampliamente es la montañosa, en la cual los 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).

Un ejemplo de lo anterior son los Acrisoles en el Alto Bloque Central de Chiapas, los cuales 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).

Otra condición fisiográfica extensa es la planicie costera del Golfo de México, en la cual los suelos se originaron por la dinámica de los ríos que bajan de las sierras, los cuales descargan materiales rocosos que se van depositando a distancias diferenciales en función de su diámetro, formando suelos distintos (Ortiz-Pérez *et al.* 2005).

En la planicie deltáica Grijalva-Usumacinta, en Tabasco, los Fluvisoles abarcan 272 189 ha, aparentemente no tienen limitaciones para su uso agrícola, son los utilizados en mayor extensión para la agricultura y la ganadería (Palma-López & Cisneros-Domínguez 1997).

Características comunes a las dos regiones fisiográficas son la explosión demográfica humana y la expansión de la frontera agropecuaria. El crecimiento de la población humana es un factor que ha propiciado la intensificación del uso del suelo y con esto la disminución de los ciclos de la rotación de cultivos (Díaz-Hernández & Parra-Vázquez 1997; Pool-Novelo

1997; Alvarez-Solís *et al.* 1998), lo anterior causa que la biodiversidad y la complejidad estructural de los sistemas agrícolas tiendan a disminuir (García-Barrios 2003).

Además, la frontera agropecuaria se ha expandido a expensas de la superficie que ocupaban las selvas y los bosques, todo lo cual provocó que los ciclos de los nutrimentos se alteraran, puesto que disminuyó la cantidad de biomasa vegetal que entraba al suelo, a lo anterior se suma la extracción de nutrimentos a través de las cosechas (Álvarez-Solís *et al.* 1998; Pool-Novelo 1998a; 1998b; Soto-Pinto 1998).

En la planicie deltáica Grijalva-Usumacinta existe disminución de la fertilidad de los suelos y la productividad de los cultivos, que se atribuyen a la interrupción de la regeneración periódica de la fertilidad de los suelos, debido a la eliminación de las descargas de aluviones provocada por la construcción de presas sobre el río Grijalva y la edificación de infraestructura de drenaje agrícola y vías de comunicación (Sánchez & Barba 2005).

Los Fluvisoles también se encuentran entre los suelos que cubren las áreas con mayor densidad de pozos petroleros, por lo que son afectados por algunos elementos metálicos, los cuales se han detectado en concentraciones superiores a los niveles críticos (Zavala-Cruz 2003).

Las condiciones anteriores reducen los rendimientos de cultivos y generan riesgo de contaminación de productos alimenticios y el ambiente, los cuales repercuten en una menor calidad de vida de la población que se asienta en el Alto Bloque Central de Chiapas y la planicie tabasqueña.

La adopción del enfoque orgánico es una opción para mejorar el nivel de vida de las familias rurales y enfrentar la necesidad de más alimento de la creciente población, en el sureste de México, puesto que dichas metodologías recuperan el funcionamiento equilibrado del sistema fisicobiológico, potenciando su habilidad para la productividad bajo un uso regulado de los recursos (Jeavons 1991; Astier & Hollands 2005).

El sistema orgánico contribuiría al aumento de la cantidad y la calidad de los productos obtenidos, la eliminación de riesgos de deterioro del ambiente y la oportunidad de generar ingresos al insertarse en los nacientes mercados nacional e internacional de los productos orgánicos (Torres-Torres & Trápaga-Delfín 1997; Gómez-Tovar *et al.* 1999).

Los objetivos del presente trabajo fueron: (1) 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 en suelos Acrisol húmico y Feozem háplico, forestales y cultivados, en el Alto Bloque Central de Chiapas; y (2) Estudiar los efectos del bocashi, la cachaza o la vermicomposta y la inoculación simultánea del complejo de hongos micorrízicos arbusculares *Glomus* spp. Zac-19 en el crecimiento y producción de chile habanero y su influencia en las propiedades físicas, químicas y la actividad microbiológica de un Fluvisol, bajo manejo orgánico, en la planicie tabasqueña.

# 2. MATERIALES Y MÉTODOS

# 2.1 Sitios de muestreo de suelos en el Alto Bloque Central de Chiapas

Las muestras de suelo fueron colectadas en enero de 2003, 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, endopedión 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).

Tabla 1. Características físicas y químicas de los suelos.

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> t 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</i> spp.	25.3	46.7	28	0.84	4.7	163	0.81	31.50	7.0
Acrisol húmico cultivado con	15.3	54.7	30	1.02	5.2	124	0.42	21.00	8.5
Zea mays L. Feozem háplico y bosque de	19.3	56.7	24	0.90	6.6	214	0.84	31.50	8.2
Quercus spp. Feozem háplico cultivado con Zea mays L.	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 microKhjeldahl con ácido salicílico. <sup>6</sup>Nitrógeno inorgánico, método de Bremner, por arrastre de vapor. <sup>7</sup>Relación carbono/nitrógeno.

#### 2.2. Residuos incorporados a los suelos en el Alto Bloque Central de Chiapas

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 el material 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 negro. 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).

# 2.3. Planeación del experimento de incubación

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 cada medición del dióxido de carbono.

Tabla 2. Características químicas de los residuos orgánicos incorporados al suelo.

Residuo orgánico	C/N	рН	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>&</sup>lt;sup>1</sup> Fuente: Bonvehí & Jordá 1998 y Chepote 2003.

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 Normal (Subba-Rao 1982; Alvarez-Solís *et al.* 2000).

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

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Fuente: García et al 2000. ND: Dato no disponible

Tabla 3. Suelos y residuos orgánicos incorporados.

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

La variable utilizada fue la tasa de mineralización, medida en microgramos de dióxido de carbono por gramo de suelo por día (µg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), 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 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).

Tabla 4. Parámetros de Normalidad de los datos de mineralización.

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
AMC	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>&</sup>lt;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).

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

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

# 2.4. El experimento con huertos orgánicos biointensivos en la planicie tabasqueña

### 2.4.1. Descripción del sitio

La fase de campo se llevó a cabo durante el 2004, en el área experimental de la Unidad Villahermosa de El Colegio de la Frontera Sur, en el municipio de Centro Tabasco, México. El clima es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, la estación Villahermosa, registra para el período 1969-1999 temperatura media anual de 26.9 °C, la temperatura más alta ocurre en mayo con 29.4 °C y la mínima en enero con 24.1 °C, precipitación total anual de 2159 mm, el mes más lluvioso es septiembre y con menos precipitación es abril (Anónimo 2007).

El sitio se ubica en la planicie deltáica formada por los ríos Grijalva y Usumacinta (Ortiz-Pérez *et al.* 2005), en la parte alta de una cubeta de decantación, en la unidad de suelo identificada como Fluvisol éutrico (Palma-López & Cisneros-Domínguez 1997), es profundo, con estratos de texturas medias, buen drenaje. El terreno fue cultivado con *Musa* sp., sin aplicación de agroquímicos, las labores manuales.

#### 2.4.2. Las compostas

En la elaboración del bocashi se utilizaron los siguientes ingredientes: cascarilla de cacao, aserrín, estiércol de bovino, suelo, carbón vegetal, cal, alimento balanceado para aves, azúcar de caña, levadura para pan (*Saccharomyces cerevisiae*) y agua, con ellos se preparó una mezcla homogénea, se formó un montículo y se cubrió con un plástico negro. Este montículo se volteó dos veces por día para promover la descomposición microbiana aeróbica, durante 15 días (Gómez-Álvarez & Castañeda-Ceja 2000).

La cachaza es un subproducto de la industria azucarera local, la cual se colectó en las instalaciones del ingenio Santa Rosalía, en el municipio de Cárdenas, Tabasco y se transportó al área experimental, donde se amontonó y se protegió de la lluvia y los rayos solares durante aproximadamente 1 año.

La vermicomposta se obtuvo a partir de folíolos verdes de *Gliricidia sepium*, estiércol de bovinos, residuos secos de pasto y agua, se formó una mezcla homogénea y se almacenó en un sitio aireado durante 8 días, durante los cuales sufrió una descomposición microbiana parcial. Este material se proporcionó como alimento de una población de lombrices de tierra *Eisenia foetida* Saving, las cuales lo transformaron a un producto con color oscuro, poroso, suave y olor a suelo de bosque. Las características químicas de las compostas se presentan en la Tabla 6.

#### 2.4.3. El inóculo micorrízico

El inóculo de hongos micorrízicos arbusculares fue el complejo de hongos micorrízicos *Glomus* spp. Zac-19, formado por fragmentos de raíces con 85% de colonización y 656 esporas por 100 g de inóculo, integrado por *Glomus clarum* Nicolson *et* Schenk, *G. claroideum* Schenk *et* Smith y *G. diaphanum* Morton *et* Walker (Chamizo-Checa *et al.* 

1996), proporcionado por el área de microbiología de suelos del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.

#### 2.4.4. Establecimiento del experimento

Se roturó el suelo de 0 a 60 cm de profundidad, en dos etapas, aflojando primero de 0 a 30 cm y en seguida de 30 a 60 cm, construyendo 10 camas de siembra de 8.4 m X 1.5 m cada una. Después de aflojar y mullir la capa de 30 a 60 cm de profundidad, a cada cama se le incorporó cachaza en dosis de 30 kg m<sup>-2</sup> distribuida homogéneamente, cubriéndose con el suelo extraído del estrato de 0 a 30 cm. El diseño experimental fue bloques completamente aleatorizados, con arreglo de parcelas divididas (Montgomery 1991). Las parcelas estuvieron formadas por las camas y las subparcelas por secciones de éstas de 2.8 m X 1.5 m, las primeras contuvieron los tratamientos con y sin inoculación con los hongos micorrízicos, y las segundas, la incorporación de las compostas (Tabla 7), se emplearon cinco repeticiones en ambos casos.

En la estimación de las dosis de las compostas que se emplearon en los tratamientos se consideraron su contenido de nitrógeno total, tasa de mineralización y humedad (Salgado-García *et al.* 2000) y la dosis convencional de nitrógeno recomendada para el cultivo de chile habanero (Prado-Urbina 2005). Cada bloque estuvo formado por pares de camas de siembra seleccionadas aleatoriamente.

La dosis de inóculo micorrízico fue 10 g planta<sup>-1</sup>, colocados en contacto con las raíces de las plántulas de chile al momento del transplante. Los tratamientos con composta se asignaron aleatoriamente, incorporándolas en los 10 cm superficiales del suelo en toda el área de las subparcelas, a las cuales se les aplicaron riegos durante la semana previa al transplante.

Tabla 6. Características físicas y químicas de las compostas utilizadas en los huertos orgánicos.

Compostas	pН	Humedad	Corg.	Nt	C/N	P	C/P	$K^{+1}$	Ca <sup>+2</sup>	$Mg^{+2}$	CIC
			%			mg kg <sup>-1</sup>			-cmol (	+) kg <sup>-1</sup>	
Bocashi	8.9	44.8	21.7	1.88	11.6	892	243.8	32.8	9.1	11.8	36.1
Cachaza	7.6	69.4	16.6	1.44	11.6	870	191.3	4.9	19.0	13.2	29.5
Vermicomposta	6.2	81.1	32.1	1.92	16.7	771	416.7	21.5	38.1	9.9	38.4

Las plántulas de chile se sembraron en un arreglo topológico de triángulos, a una distancia de 60 cm entre plantas y 52 cm entre hileras, con una población de 15 plantas por subparcela, equivalente a 24 000 plantas ha<sup>-1</sup>. El cultivo se le aplicó riegos en días alternos, con agua de pozo, los métodos fueron manual y aspersión. Cada tercer día se asperjó al follaje, usando bomba de mochila, una mezcla de extractos vegetales diluidos en agua y alternamente el producto orgánico comercial Bio-Insect para controlar poblaciones de mosca blanca (*Bimisia tabaci*), diabrótica (*Diabrotica* spp.) y pulgón (*Myzus persicae*).

Tabla 7. Tratamientos empleados en el experimento de huertos orgánicos.

Micorriza	Composta	Dosis¹ (t ha⁻¹)
Con	Bocashi	55
Con	Cachaza	130
Con	Vermicomposta	12
Sin	Bocashi	55
Sin	Cachaza	130
Sin	Vermicomposta	12

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>En peso fresco.

#### 2.4.5. Muestreos del suelo y plantas y determinación de parámetros

En septiembre de 2004 se hicieron los muestreos de suelo, a la profundidad de 0 a 20 cm, se extrajeron cinco núcleos de suelo de cada subparcela, empleando una barrena muestreadora, con ellos se formó una muestra compuesta de 1 kg, la cual se almacenó a 4 °C.

Una fracción de estas muestras de secó al aire, se tamizó a 2 mm de diámetro y se envió para su análisis físico y químico. Se tomó una porción fresca para calcular el contenido de humedad por el método gravimétrico, seco en horno a 105 °C. Otra porción fresca se utilizó para determinar la actividad microbiológica.

En la determinación de la estabilidad de agregados del suelo se seleccionaron 10 agregados de suelo fresco, de 1 a 3 mm de diámetro, saturándolos con agua en una cápsula de porcelana, rotándola durante 30 s, asignándole la categoría correspondiente, según la escala propuesta por Siebe *et al.* (1996).

Se cuantificó en campo, la tensión de humedad del suelo en centibares (cb), considerando el espesor de 0 a 20 cm, en dos puntos equidistantes y alineados al centro de las subparcelas, empleando el aparato "Quickdraw" Soilmoisture Probe Serie 2900.

De julio a octubre se cuantificaron el peso fresco de frutos de chile habanero por planta, correspondiente a la cosecha formada por la suma de tres recolecciones de frutos; asimismo, se midió la altura de planta y se estimó el diámetro de tallo, en estas tres variables se tomaron en cuenta todas las plantas de las subparcelas.

En la determinación de la tasa de mineralización se empleó el método de incubación y medición de dióxido de carbono producido por la respiración microbiana de las muestras de suelo colectado en las subparcelas, correspondiente a cada tratamiento de incorporación de composta; dicho método fue descrito en el experimento de mineralización en suelos del Alto Bloque Central de Chiapas.

Para la medición del carbono de la biomasa microbiana del suelo se siguió el método de fumigación-incubación propuesto por Jenkinson & Powlson (1976); se pesaron cuatro porciones de 25 g del suelo fresco colectado en las subparcelas, por cada tratamiento de adición de compostas y se colocaron en frascos de vidrio, dichas muestras se les agregó agua hasta alcanzar el 55 % de la humedad a capacidad de campo y se incubaron durante 7 días, a 25 °C, en cámara de incubación marca Riossa.

Un par de frascos con suelo preincubado se expuso al vapor de cloroformo libre de alcohol, para esto se colocaron los frascos en un desecador conectado a una bomba de vacío, a 0.7 atm, durante 3 min, entonces se quitó el vacío y se dejaron las muestras por 24 h a 25 °C; después de ese período se quitó el recipiente con cloroformo y se eliminó el vapor residual de este compuesto por medio de aplicación de vacío. Los otros dos frascos se colocaron en un desecador, pero sin cloroformo y se incubaron durante 24 h a 25 °C.

Las muestras fumigadas se inocularon con 1 g de suelo fresco sin fumigar y se mezclaron vigorosamente. Las muestras de suelo sin fumigar no se inocularon. Todas las muestras de suelo se llevaron a 55 % de la capacidad de campo; dentro de cada frasco se introdujo un frasco más pequeño, de vidrio, con 5 mL de NaOH 1N y una tira de papel filtro, los frascos que contenían el suelo se cerraron herméticamente con tapas de rosca.

Los frascos con las muestras de suelos fumigados y sin fumigar, así como dos frascos testigo sin suelo, se incubaron durante 10 días a 25 °C, en cámara de incubación Riossa.

Para la determinación de dióxido de carbono formado en las muestras fumigadas y no fumigadas se vertió el contenido del frasco pequeño en un matraz erlenmeyer, transfiriendo también la tira de papel filtro, se le adicionó 2 mL de BaCl<sub>2</sub> al 2 % y se le agregaron unas gotas de fenolftaleína al 1 % como indicador. La solución se tituló con HCl empleando un equipo automático. El carbono de la biomasa microbiana se estimó en microgramos de dióxido de carbono por gramo de suelo (μg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>), empleando el factor de recuperación 0.45.

Los análisis estadísticos consistieron en la determinación del modelo de distribución probabilística de los datos, a través de la estimación del sesgo y la curtosis estándares y la verificación de la igualdad de las varianzas (Zar 1984). La evaluación de los efectos de la inoculación con hongos micorrízicos y la incorporación de las compostas al suelo (Tabla 8) se realizó siguiendo el método de análisis de varianza multifactorial (ANDEVA; Montgomery 1991). Las diferencias entre medias se determinaron por comparaciones múltiples, usando la técnica 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).

Tabla 8. Resultado del Análisis de Varianza Multifactorial (ANDEVA) por efecto de las compostas y micorriza sobre las variables vegetales y edáficas.

Tensión de humedad del 0.4064 0.00 suelo  Contenido de humedad del 0.4504 0.07 suelo  pH del suelo 0.6523 0.556  Tasa de mineralización NR 0.06  Carbono de la biomasa NR 0.003  microbiana 0.0001* 0.39	1* 0.0361*
suelo pH del suelo 0.6523 0.556 Tasa de mineralización NR 0.06 Carbono de la biomasa microbiana NR 0.003	
Tasa de mineralización NR 0.06 Carbono de la biomasa NR 0.003 microbiana	0.1228
Carbono de la biomasa NR 0.003 microbiana	0.6944
microbiana	85 NR
Altura de plante 0.0001* 0.20	7* NR
Altura de planta 0.0001* 0.39	96 0.0198*
Diámetro de tallo 0.0687 0.41	0.7821
Peso fresco de frutos 0.0001* 0.000	

<sup>\*:</sup> Significativo estadísticamente con p≤0.05, NR: No se realizó.

#### 3. RESULTADOS

# 3.1. Características físicas y químicas de los suelos Acrisol húmico, Feozem háplico y Fluvisol éutrico

Los sitios cultivados, ubicados en los suelos Acrisol húmico y Feozem háplico, presentaron texturas finas, con 54.7 % y 48.7 % de arcilla, densidades aparentes de 1.02 y 1.11 g cm<sup>-3</sup>; pH 5.2 y 6.8, fuertemente ácido y neutro, materia orgánica 124 y 130 t ha<sup>-1</sup>, nitrógeno total 0.42 % y 0.35 %, nitrógeno inorgánico 21.0 y 28.0 mg kg<sup>-1</sup> 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 g cm<sup>-3</sup>; pH 4.7 y 6.6, muy fuertemente ácido y neutro, materia orgánica 163 y 214 t ha<sup>-1</sup>, nitrógeno total 0.81 % y 0.84 %, nitrógeno inorgánico 31.5 y 31.5 mg kg<sup>-1</sup> 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.

Las determinaciones físicas y químicas del suelo Fluvisol éutrico, en el estrato de 0 a 20 cm de profundidad fueron: Textura franca, con 38 % de arena, 36 % de limo y 26 % de arcilla; 1.26 g cm<sup>-3</sup> de densidad aparente; relación carbono/nitrógeno de 11.2, bajos contenidos de carbono orgánico (0.67 %), nitrógeno orgánico total (0.06 %) y fósforo disponible (Olsen 5.6 mg kg<sup>-1</sup>); valores altos de los siguientes cationes, determinados con acetato de amonio como catión saturante: 2.6 cmol (+) kg<sup>-1</sup> de potasio, 12.5 cmol (+) kg<sup>-1</sup> de calcio, 6.4 cmol (+) kg<sup>-1</sup> de magnesio, capacidad de intercambio de cationes media, con 20 cmol (+) kg<sup>-1</sup> y pH neutro (6.7).

#### 3.2. Mineralización en los suelos

#### 3.2.1. Acrisol húmico

En el sitio cultivado la mezcla del suelo más estiércol de bovino tuvo tasa media de mineralización acumulada de 180 μg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, la cual fue más alta que las mezclas de suelo más composta, suelo más cascarilla de cacao y el control, con 99, 82 y 69 μg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> 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 de 164 % y 50 % respectivamente, en la tasa de mineralización acumulada, respecto al control. En la mezcla de suelo más cascarilla de cacao dicha tasa fue 2 % menor, comparada con el control (Figura 2).

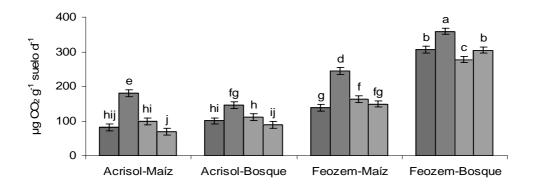


Figura 1. Tasas de mineralización en los suelos con incorporación de residuos orgánicos. (Las barras representan un error estándar; letras distintas indican diferencias significativas entre medias con p< 0.05).  $\blacksquare$  Cascarilla de cacao  $\blacksquare$  Estiércol de bovino  $\blacksquare$  Composta  $\blacksquare$  Control (sin adición de residuo orgánico).

En el sitio forestal el suelo más estiércol tuvo tasa media de mineralización acumulada de 146  $\mu g CO_2 g^{-1} d^{-1}$ , la cual fue más alta que las mezclas de suelo más cascarilla de cacao, suelo

más composta y el control, con 100, 111 y 89 μg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> 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 de 28 % respecto a este último. El suelo con incorporación de cascarilla de cacao o estiércol tuvo incrementos de 13 % y 73 % respectivamente, en la tasa de mineralización acumulada, comparada con el control (Figura 2).

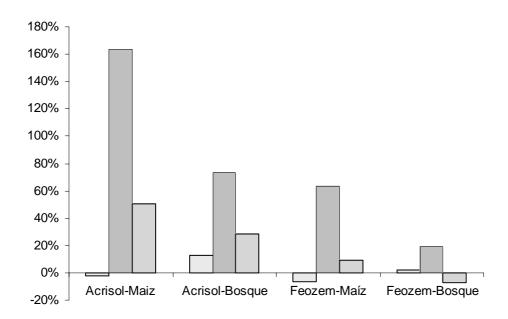


Figura 2. Incrementos en las tasas de mineralización acumulada en suelos con incorporación de residuos orgánicos respecto a los controles. █ Cascarilla de cacao █ Estiércol de bovino ■ Composta

#### 3.2.2. Feozem háplico

En el sitio cultivado la mezcla de suelo más estiércol mostró tasa media de mineralización acumulada de 245  $\mu$ g CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, la cual fue más alta que las mezclas de suelo más composta, suelo más cascarilla de cacao y el control con 163, 139 y 149  $\mu$ g CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>

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 de 64 % y 9 % respectivamente, en la tasa de mineralización acumulada, respecto al control, sin embargo, la incorporación de la cascarilla de cacao provocó una disminución de 7 % respecto de aquel (Figura 2).

En el sitio forestal el suelo más estiércol tuvo tasa media de mineralización acumulada de 359 μg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, la cual fue más alta que las mezclas de suelo más cascarilla de cacao, suelo más composta y el control con 306, 278 y 305 μg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> respectivamente. 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 de 19 % y 2 % respectivamente, en la tasa de mineralización acumulada, comparada con el control y la adición de composta provocó una disminución de 7 % en la tasa de mineralización, respecto de aquél (Figura 2).

La mezcla de suelo Acrisol húmico cultivado más estiércol tuvo tasa media de mineralización acumulada más alta que la mezcla con suelo forestal, con 180 y 146 μg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> 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 μg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> respectivamente, las cuales no difieren de sus correspondientes mezclas en el sitio forestal, con 100, 111 y 89 μg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>.

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 μg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, las cuales fueron más bajas que las mezclas correspondientes y el

control, en el sitio forestal, con 359, 306, 278 y 305  $\mu$ g CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> respectivamente (Figura 1).

#### 3.2.3. Fluvisol éutrico

El efecto de la incorporación al suelo de la vermicomposta, la cachaza o el bocashi y el control en las tasas medias de mineralización no fueron diferentes, con 47, 42, 33 y 12 μg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 3). El suelo con la incorporación de la vermicomposta, la cachaza o el bocashi tuvieron incrementos en la tasa de mineralización de 282, 241 y 172 % respectivamente, en relación al control.

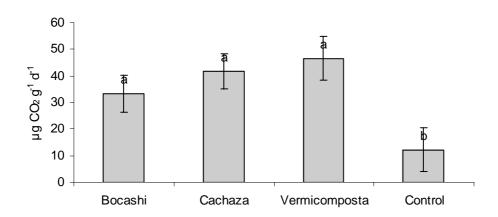


Figura 3. Efecto de las compostas en la tasa de mineralización en el Fluvisol éutrico, 200 días después de la incorporación. (Las barras indican un error estándar; letras distintas denotan diferencia significativa entre medias con p<0.05)

# 3.3. Efectos de los sustratos orgánicos y la inoculación micorrízica en el suelo Fluvisol éutrico

#### 3.3.1. Tensión de humedad

Los efectos de las compostas y la inoculación simultánea tuvieron tensiones medias de humedad del suelo más bajas que sin inoculación. La inoculación más el bocashi, más la cachaza o más la vermicomposta, en la tensión media de humedad no fueron diferentes entre ellas, con 30.3, 31.4 y 32.4 cb respectivamente. El bocashi sin inoculación tuvo tensión media de 35.6 cb, la cual fue más alta que la cachaza y la vermicomposta, ambas sin inocular, con 33.1 y 33.7 cb respectivamente, entre estas últimas no hubo diferencia (Tabla 9).

Tabla 9. Características físicas y químicas del suelo con y sin micorriza y diferentes compostas 190 días después del transplante de chile habanero. (Letras distintas en las columnas denotan diferencia significativa entre medias, p<0.05).

Compostas	TH	СН	EA	pH <sub>H2O</sub>
	cb	%		
Con micorriza				
Bocashi	30.3c	31.0a	3.0a	7.28a
Cachaza	31.4c	30.4a	3.0a	7.06a
Vermicomposta	32.4c	29.2a	3.0a	7.27a
Sin micorriza				
Bocashi	35.6a	28.2a	3.0a	7.31a
Cachaza	33.1b	32.4a	3.0a	7.23a
Vermicomposta	33.7b	28.1a	3.0a	7.22a
	DMS=1.8			

TH: Tensión de humedad del suelo, cb: centibar, CH: Contenido de humedad del suelo, EA: Estabilidad de agregados del suelo: 0-0.95=Muy baja, 1.0-1.95=Baja; 2.0-2.95=Moderada, 3.0-3.95=Mediana, 4.0-4.95=Alta, 5.0-5.95 Muy alta, pH: Potencial de hidrógeno en agua, proporción suelo: agua 1:2.5, DMS: Diferencia mínima significativa de Fisher.

# 3.3.2. Contenido de humedad

El efecto de la aplicación de las compostas con y sin la inoculación en el contenido medio de humedad del suelo no fue diferente. La inoculación más el bocashi, más la cachaza o más la vermicomposta, en el contenido de humedad del suelo no fue diferente entre ellas, con 31.0, 30.4 y 29.2 %. En el mismo orden las compostas sin inocular no difirieron entre ellas, con 28.2, 32.4 y 28.1 % respectivamente (Tabla 9).

# 3.3.3. Estabilidad de agregados

Los efectos de las compostas combinadas o no con la inoculación, en la estabilidad de agregados del suelo, no fueron diferentes entre ellas. Ubicándose sus valores en la categoría de "mediana" (Tabla 9).

# 3.3.4. Potencial de hidrógeno (pH)

Los efectos de las compostas con y sin inoculación, en el pH medio del suelo, no fueron diferentes. La inoculación más el bocashi, más la cachaza o más la vermicomposta, en el pH medio del suelo, no fueron diferentes entre ellas, con valores de 7.28, 7.06 y 7.27. Las compostas sin inocular tuvieron valores de 7.31, 7.23 y 7.22 respectivamente (Tabla 9).

#### 3.3.5. Carbono de la biomasa microbiana

La incorporación del bocashi produjo un valor medio del dióxido de carbono de la biomasa microbiana del suelo de 883 μg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>, la cual fue más alta que la cachaza, la vermicomposta y el control, con valores de 247, 167 y 590 μg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> respectivamente, el control fue más alto que la cachaza y la vermicomposta, sin embargo, no hubo diferencia entre estas dos últimas (Figura 4).

# 3.4. Efectos de los sustratos orgánicos y la inoculación micorrízica en el cultivo de chile habanero

# 3.4.1. Altura de planta

Los efectos de la incorporación de las compostas y la inoculación simultánea de hongos micorrízicos en la altura media de plantas fueron superiores que sin inocular. La aplicación combinada del inóculo micorrízico y la vermicomposta tuvo altura media de planta de 60.5 cm, la cual fue superior que la inoculación más la cachaza o más el bocashi, cuyos valores fueron 56.6 y 54.6 cm respectivamente. El bocashi sin inoculación tuvo altura media de planta de 49.8 cm, la cual fue superior que la cachaza o la vermicomposta, ambas sin inocular, con 44.1 y 44.0 cm, respectivamente, entre estas últimas no hubo diferencia (Tabla 10).

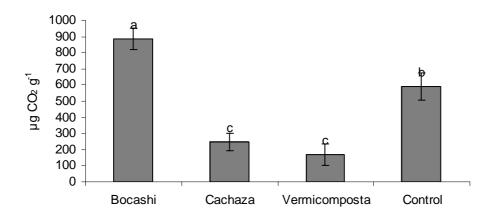


Figura 4. Efecto de las compostas en el carbono de la biomasa microbiana del Fluvisol éutrico, 200 días después de la incorporación. (Las barras indican un error estándar; letras distintas denotan deferencia significativa entre medias con p<0.05).

#### 3.4.2. Diámetro de tallo

Los efectos de la incorporación de las compostas con y sin el inóculo micorrízico, en el diámetro medio de tallo, no fueron diferentes. La inoculación más el bocashi, más la cachaza o más la vermicomposta, no fueron diferentes en el diámetro medio de tallo, con 1.49, 1.35 y 1.34 cm. Las compostas sin inocular tuvieron 1.29, 1.24 y 1.24 cm, respectivamente (Tabla 10).

Tabla 10. Peso fresco de frutos y crecimiento de plantas de chile habanero con y sin micorriza y diferentes compostas 190 días después del transplante. (Letras distintas en las columnas denotan diferencia significativa entre medias, p<0.05).

Compostas	Altura de planta	Diámetro de tallo m	Peso fresco de frutos g planta <sup>-1</sup>
Con micorriza			Ø F ··· ···
Bocashi	54.6b	1.49a	394a
Cachaza	56.6b	1.35a	279b
Vermicomposta	60.5a	1.34a	301b
Sin micorriza			
Bocashi	49.8c	1.29a	243c
Cachaza	44.1d	1.24a	222cd
Vermicomposta	44.0d	1.24a	203d
	DMS=3.6		DMS=34.48

DMS: Diferencia mínima significativa de Fisher.

# 3.4.3. Peso fresco de frutos por planta

Los efectos de la inoculación y la incorporación simultánea de las compostas, en el peso en fresco medio de frutos por planta, fueron más altos que sin inocular. La inoculación más el bocashi produjo rendimiento medio de 394 g planta<sup>-1</sup>, el cual fue más alto que la inoculación

más la cachaza o más la vermicomposta, con 279 y 301 g planta<sup>-1</sup>, las dos últimas no difirieron entre sí. Los efectos de las compostas sin inoculación fue como sigue, el bocashi produjo 243 g planta<sup>-1</sup>, el cual fue más alto que la vermicomposta, con 203 g planta<sup>-1</sup>, sin embargo el bocashi no fue diferente a la cachaza, la cual tuvo rendimiento de 222 g planta<sup>-1</sup>, entre la cachaza y la vermicomposta no hubo diferencia (Tabla 10).

# 4. DISCUSIÓN

# 4.1. Características físicas y químicas de los suelos Acrisol húmico, Feozem háplico y Fluvisol éutrico

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 1991; 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; Benítes & 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, nitrógeno 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 nutrimentos disponibles, lo cual restringe la producción primaria (Vogt *et al.* 1995; Geissen & Brümmer 1999; Porta-Casanellas *et al.* 1999).

El Fluvisol éutrico posee textura y densidad aparente que favorecen la retención de agua, la aireación y el desarrollo de raíces y microorganismos, con moderada reserva de minerales primarios, relación carbono/nitrógeno baja, reservas de carbono y nitrógeno totales muy bajas, el fósforo aprovechable es deficiente para cubrir las necesidades de varios cultivos; las concentraciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables son altos, aunque la relación calcio/magnesio se ubica en el intervalo en que la absorción del fósforo por las plantas puede ser inhibida (Landon 1991).

#### 4.2. Mineralización en los suelos

#### 4.2.1. 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 explican por su más alta riqueza y mayor degradabilidad, como lo verificaron Velasco *et al.* (2004), por medio de espectroscopia de fluorescencia de emisión, quienes concluyeron que el ácido húmico de la composta, en la cual se incluyó el estiércol en su elaboración, tiene peso molecular más bajo y grado de condensación aromática menor, así como grupos de más alta heterogeneidad en unidades estructurales más simples, lo cual se relaciona directamente con una mayor biodegradabilidad, comparado con ácidos húmicos de suelos sin abonar y atribuyeron dicho resultado al corto período de humificación que tiene lugar en el proceso de compostaje; además, el estiércol posee bacterias que degradan la celulosa (Benedicto-Valdés 1989); todo lo anterior promueve la diversidad y el tamaño de los grupos microbianos edáficos, aumentando su actividad (Metting Jr 1993; Coûteaux *et al.* 1995; Geissen & Brümer 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; Bonvehi & 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.

### 4.2.2. 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 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.

### 4.2.3. Fluvisol éutrico

Las tasas de mineralización más altas, producidas con la incorporación al suelo de la vermicomposta, la cachaza o el bocashi en relación al control, pueden atribuirse a la riqueza y variedad de compuestos orgánicos de estos materiales, así como a las altos contenidos de carbono, nitrógeno, fósforo y cationes intercambiables que favorecen la actividad microbiana (Vogt *et al.* 1995; Geissen & Brümmer 1999). La tasa de mineralización en el suelo sin abonar es limitada, debido a sus contenidos muy reducidos de carbono, nitrógeno y fósforo.

Lo anterior es apoyado por estudios analíticos de las compostas, en los que se ha encontrado que su mayor biodegradabilidad y sus efectos benéficos en la fertilidad del suelo, se deben a que los ácidos húmicos de las compostas son de más bajo peso molecular y menor condensación aromática, así como grupos de compuestos heterogéneos pero de estructura más simple que los ácidos húmicos de suelos sin abonar (Senesi *et al.* 2003; Velasco *et al.* 2004).

Senesi *et al.* (2003) encontraron que los ácidos húmicos aislados de un suelo franco arenoso abonado con composta son más ricos en estructuras que contienen nitrógeno, azufre y compuestos alifáticos, que los suelos sin abonar. Velasco *et al.* (2004) registran que el ácido húmico de la composta pura tuvo el más bajo peso molecular y la menor condensación aromática así como grupos heterogéneos de estructura más simple comparado con los ácidos húmicos aislados de suelos Haplustol éntico y Entisol típico.

Se afirma que cuando la composta se utiliza como abono del suelo los ácidos húmicos de aquélla se incorporan a la estructura de los ácidos húmicos del suelo, lo que contribuye a su fertilidad física y química (Senesi *et al.* 2003; Velasco *et al.* 2004).

## 4.3. Efectos de los sustratos orgánicos y la inoculación micorrízica en el suelo Fluvisol éutrico

#### 4.3.1. Tensión de humedad

La inoculación con los hongos micorrízicos y la incorporación simultánea de bocashi, cachaza o vermicomposta, produjeron tensiones medias de humedad más bajas que en el suelo sin inocular, lo anterior se atribuye a que el micelio fúngico extraradical y la raíz contribuyen a enlazar las partículas del suelo formando agregados estables (Andrade *et al.* 1998; Neergaard-Bearden & Petersen 2000; Lutgen *et al.* 2003), lo cual provoca la disminución del área superficial y consecuentemente reduce su carga eléctrica (Vogt *et al.* 1995), reflejándose en la menor energía que las raíces deberán ejercer para obtener el agua almacenada en el suelo (Landon 1991; Metting Jr 1993).

En los tratamientos sin inoculación, la cachaza y la vermicomposta provocan tensiones de humedad más bajas que el bocashi. Con la incorporación de la cachaza, dicho efecto se atribuye a la mayor agregación de las partículas, debidas a las sustancias cementantes del metabolismo microbiano (Smith *et al.* 1993), favorecidos por la riqueza en azúcares reducidos, como lo sugiere su más bajo contenido de carbono orgánico y la baja relación carbono/nitrógeno (Sánchez *et al.* 1999), adicionalmente la proporción carbono/fósforo sugiere que existe mineralización neta de fósforo (Siqueira & Franco 1988), todo lo anterior estimula la actividad microbiana.

Respecto a la vermicomposta, su mayor contenido de calcio y carbono orgánico sugieren que están involucradas en la agregación de las partículas del suelo, como lo señalan Schrader & Zhang (1997). Guidi *et al.* (1988) encuentran que la estabilidad de los agregados del suelo aumenta como consecuencia del incremento de la actividad de los microorganismos que desdoblan la celulosa en un suelo arenoso abonado con composta.

### 4.3.2. Contenido de humedad

Aunque no existen diferencias significativas, numéricamente la inoculación con hongos micorrízicos más la incorporación del bocashi o más la vermicomposta tienden a contenidos medios de humedad del suelo superiores que sin inocular, esto se atribuye a la mayor agregación de las partículas del suelo promovida por los hongos arbusculares (Andrade *et al.* 1998; Neergaard-Bearden & Petersen 2000; Lutgen *et al.* 2003) y la liberación de sustancias cementantes por la descomposición microbiana de las compostas (Guidi *et al.* 1988; Smith *et al.* 1993).

Adicionalmente, el alto contenido de calcio y carbono orgánico de la vermicomposta sugiere que el carbonato de calcio y la materia orgánica contribuyen fuertemente a la unión entre partículas del suelo, lo anterior incrementa la porosidad y en consecuencia aumenta la infiltración del agua en el suelo(Schrader & Zhang 1997).

### 4.3.3. Estabilidad de agregados

El grado de estabilidad de los agregados del suelo en todos los tratamientos fue "mediano". No se detectaron diferencias significativas entre las compostas con o sin la inoculación micorrízica, debido posiblemente al método simicuantitativo empleado. Sin embargo, se documenta el efecto positivo de la adición de residuos orgánicos al suelo en la estabilidad de los agregados (Guidi *et al.* 1988; Smith *et al.* 1993; Contreras-Ramos *et al.* 2005; Sánchez-Hernández *et al.* 2006).

Los últimos autores registran que la incorporación de 20 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta a un suelo Vertisol, en la planicie tabasqueña, promovió la formación de agregados de mayor diámetro y la estabilidad de los mismos es más alta que sin la aplicación de la composta. Guidi *et al.* (1988) encuentran que altas dosis de composta y la colonización micorrízica arbuscular promovieron la estabilidad de los agregados en un suelo arenoso. Neergaard-Bearden & Petersen (2000) registran que la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares promueve la formación de agregados del suelo como resultado de la exposición del mismo al crecimiento de hifas y raíces.

Schreiner *et al.* (1997), encuentran una correlación positiva entre el diámetro medio ponderado de agregados del suelo y la longitud de raíces y deducen que la presión radical ejercida es la responsable del diámetro medio ponderado más alto. Asimismo, registran que más suelo es incorporado como agregados estables por los hongos micorrízicos arbusculares que en el tratamiento sin hongos en un suelo franco arenoso.

### 4.3.4. Potencial de hidrógeno

No se detectaron diferencias significativas en los valores medios de pH del suelo con la adición de cada una de las compostas con y sin inoculación. No obstante, comparado con el pH inicial del suelo en todos los tratamientos con compostas con y sin inoculación los valores de pH se incrementaron ligeramente.

El aumento del pH del suelo por adición de residuos orgánicos puede tener varios orígenes, tales como el consumo de protones por sustancias húmicas, como los grupos funcionales carboxílico, fenólico y enólico y la descarboxilación de aniones ácidos orgánicos capaces de neutralizar la acidez del suelo (Mokolobate & Haynes 2002).

### 4.3.5. Carbono de la biomasa microbiana

El carbono de la biomasa microbiana del suelo, producida por la cachaza y la vermicomposta más bajos que el suelo sin abonar, puede atribuirse a la disminución del carbono lábil, debido a sus más altas tasas de mineralización comparado con el control, es decir, su mayor velocidad de liberación de dióxido de carbono (Ntougias *et al.* 2006); estos autores también mencionan que el aumento de la razón de la biomasa hongos/bacterias se relaciona con un coeficiente metabólico reducido, el cual puede derivarse de un cambio hacia los microorganismos filamentosos más que directamente de la disminución de carbono lábil que ocurre después del compostaje.

El carbono de la biomasa microbiana del suelo por efecto del bocashi no es consistente con lo mencionado anteriormente, lo cual puede deberse a una baja estabilidad, reflejada por su pH elevado. Los anterior podría estar relacionado con una relación amonio/nitrato alta, lo que indica que la amonificación y la nitrificación no han sido inhibidas, así como tasa de mineralización arriba de 2000 mg C-CO<sub>2</sub> por kg de carbono de la composta por día (Contreras-Ramos *et al.* 2005).

# 4.4. Efectos de los sustratos orgánicos y la inoculación micorrízica en el cultivo de chile habanero

### 4.4.1. Altura de plantas

La incorporación de cada una de las compostas más la inoculación micorrízica produjo alturas medias de planta superiores que sin inocular. Lo anterior se atribuye a que el hongo micorrízico tiene efecto sobre el crecimiento vegetativo, debido al incremento en la

asimilación de nutrimentos, principalmente del fósforo, ya que favorece el área superficial de absorción y mejora el transporte de agua (Manjarrez-Martínez *et al.* 1999).

Estos autores encontraron que la micorriza y la aplicación simultánea de vermicomposta incrementaron significativamente la tasa fotosintética de chile serrano, la cual manifiesta alta correlación con el peso seco de follaje.

La inoculación micorrízica más la vermicomposta presenta mayor altura de la planta que la inoculación más el bocashi o más la cachaza. Lo anterior se atribuye a que la vermicomposta posee relación carbono/fósforo más alta, lo que sugiere que el fósforo, que se encuentra en un nivel deficiente en este suelo, se tornó en el factor limitante del crecimiento vegetal (Sáinz *et al.* 1998), que estimula la colonización y la simbiosis de los hongos micorrízicos-planta, lo que propicia el incremento en la absorción de nutrimentos y agua que benefician el crecimiento.

Nuestros resultados están en concordancia con lo registrado por Rodríguez-Elizalde *et al.* (2000), quienes encuentran que la mayor altura de plantas de Gerbera jamesonii se alcanza con la aplicación al suelo de la micorriza Zac-19 más vermicomposta, en comparación con los tratamientos de vermicomposta sin inocular y mencionan que la adición de una fuente de nutrimentos no asegura la nutrición constante y oportuna, mientras que los tratamientos de micorrizas más vermicomposta sí lo realizan, ya que el hongo favorece la concentración de sustancias de fácil absorción en la inmediata vecindad de las raíces.

### 4.4.2. Diámetro de tallo

No hubo diferencias significativas en el diámetro medio de tallo por efecto de las compostas con y sin inoculación. Sin embargo, numéricamente, el abonado con las compostas y la inoculación simultánea con los hongos micorrízicos producen diámetro de tallo superior que sin inocular, lo anterior se explica por la intensificación en la absorción de diversos nutrimentos y agua, debido a los hongos que al interactuar con las raíces aumentan el

volumen de exploración de éstas en el suelo (Bago *et al.* 2000; Corlay-Chee *et al.* 2000; Schroeder & Janos 2005).

La inoculación tendió a mayor diámetro de tallo con la aplicación simultánea del bocashi que con la cachaza o la vermicomposta, lo anterior puede atribuirse al mayor contenido de fósforo y potasio en el bocashi, lo que sugiere la presencia de estos elementos en la cercanía del sistema radical, cuya absorción es intensificada por la hifas, puesto que dichos nutrimentos intervienen en las reacciones oscuras de la fotosíntesis (Gliessman 2002), y por lo tanto, en la formación de tejido vegetal, como lo confirman Kim *et al.* (2002), quienes registran mayor concentración de clorofila en hojas de *Capsicum annuum*, cuyo sustrato fue inoculado con el hongo *G. intraradices* y suplementada con 1 % de roca fosfórica, mencionan que se debe a la mayor absorción de fósforo total por las raíces colonizadas.

Lo anterior se corroboró en nuestro experimento, a través del análisis de la concentración de nutrimentos del suelo al final del ciclo del cultivo. La concentración de fósforo aprovechable fue claramente más baja en los tratamientos de compostas más el inóculo micorrízico que en los suelos con los abonos sin inocular, lo que sugiere una mayor absorción de este elemento por la planta (Tabla 11). Lo anterior coincide con lo reportado por Gaur *et al.* (1998) y Kim *et al.* (2002).

## 4.4.3. Peso fresco de frutos por planta

La inoculación de los hongos micorrízicos y el abonado con las diferentes compostas produjo más altos pesos frescos medios de frutos por planta que sin inocular, lo anterior debido al aumento de la absorción del fósforo por las raíces de las plantas inoculadas con los hongos, como lo corroboran Gaur *et al.* (1998), quienes registran el más alto rendimiento de frutos frescos por planta de *C. annuum*, cultivado en un suelo franco arenoso, abonado con el 33% de composta de residuos vegetales e inoculado con propágulos de *G. intraradices*, comparado con plantas sin inocular.

Tabla 11. Características químicas del suelo con y sin micorriza y diferentes compostas 190 días después del transplante de chile habanero.

Compostas	M. org.	Nt -%	P mg kg <sup>-1</sup>	K cmol (	CIC (+) kg <sup>-1</sup>
Con micorriza					
Bocashi	1.72	0.10	16.3	2.91	23.3
Cachaza	1.66	0.10	31.8	1.36	23.8
Vermicomposta	1.26	0.08	8.5	2.77	22.3
Sin micorriza					
Bocashi	1.26	0.09	22.0	2.50	22.3
Cachaza	1.33	0.09	26.5	1.09	24.3
Vermicomposta	1.33	0.07	12.4	2.15	20.3

M. org.: Materia orgánica Walkley y Black combustión húmeda, Nt: Nitrógeno total microkjeldhal, P: Fósforo aprovechable Olsen, K: Potasio intercambiable con Acetato de amonio, pH 7 y absorción atómica, CIC: Capacidad de intercambio de cationes con Acetato de amonio, pH 7, absorción atómica y titulación.

Nuestros resultados están de acuerdo con lo obtenido por Aguilera-Gómez et al. (1999), quienes inocularon plantas de *C. annuum* con *G. intraradices*, cultivadas en una mezcla de suelo y arena, a la cual se le aplicó cantidades crecientes de fósforo en solución y encuentran que la endomicorriza aumentó el peso de frutos de chile a las concentraciones bajas de fósforo, comparado con las plantas sin inocular, asimismo presentan datos que demuestran que las plantas micorrizadas y fertilizadas con fósforo, tuvieron más alta fotosíntesis neta y mayor contenido de fósforo en el tejido que en las plantas sin micorrizar, lo anterior es importante, debido a que se mantiene una fotosíntesis neta alta en la etapa reproductiva del chile y en condiciones de relativamente alta concentración de fósforo aprovechable en el suelo, lo que explica la presencia de frutos con distinto grado de madurez en una misma planta y período de cosecha no definido.

El orden de las concentraciones de potasio en las compostas fue bocashi>vermicomposta> cachaza (Tabla 11). El contenido de potasio más alto en el bocashi influyó considerablemente en el mayor peso fresco de frutos por planta, puesto que este nutrimento junto con el calcio

son los que más influyen para mejorar el rendimiento y la calidad de los frutos (Prado-Urbina 2005).

Además, la presencia de este ión en el suelo en cantidad apreciable tiene implicaciones importantes en el abastecimiento del mismo a la planta, dado que la máxima capacidad de absorción por las raíces de *C. chinense* Jacq. la puede alcanzar sólo en suelos que pueden mantener una alta concentración de potasio en solución (Borges-Gómez *et al.* 2006).

### 5. CONCLUSIONES

En los Altos de Chiapas, en los sitios cultivado y forestal, la incorporación del estiércol, en el Acrisol húmico y en el Feozem háplico tuvieron tasas medias de mineralización más altas que sus controles y mezclas con cascarilla o composta, debido al mayor contenido, en el abono animal, de compuestos carbonados más degradables. Este residuo podría ser una alternativa, para los agricultores, en el reciclaje de nutrimentos y en la restitución y aumento de la fertilidad de los mencionados suelos.

El cambio de uso del Acrisol húmico y Feozem háplico, de forestal a cultivo de maíz, provocó decrementos en 24 y 39 % en su contenido de materia orgánica y aumentos de 21 y 23 % en la densidad aparente respectivamente, aspectos críticos para la conservación de su fertilidad.

En el suelo Fluvisol éutrico, en la planicie tabasqueña, las más altas tasas de mineralización cuando se incorporaron el bocashi, la cachaza o vermicomposta se explicó por los altos contenidos, en los sustratos orgánicos, de carbono, nitrógeno, fósforo y cationes básicos, así como compuestos húmicos más biodegradables, lo cual promovió la actividad microbiana.

En el Fluvisol éutrico, los tres sustratos más la inoculación con los hongos micorrízicos Zac-19 aumentaron el contenido de humedad y ésta estuvo más disponible para las plantas, debido a la influencia cementante de los productos microbianos más el efecto de agregación de las partículas del suelo por hifas de los hongos micorrízicos y la presión radicular producida por sistemas de raíces más vigorosos.

La incorporación de los sustratos orgánicos combinados con la inoculación micorrízica mostraron la mayor altura de plantas de chile habanero y los más altos rendimientos de frutos frescos, lo cual se explicó por la riqueza en carbono, nitrógeno y fósforo y cationes básicos que estimuló su mineralización y luego absorbidos más eficientemente por la asociación planta-hongo micorrízico.

Para la utilización de la cascarilla de cacao en la restitución de los ciclos de nutrimentos en los suelos de los Altos de Chiapas, es necesario darle un compostaje regulado y evitar dejarla a la exposición del sol y la lluvia; la composta requiere elevarse su contenido de potasio y fósforo, para ello deberá incluirse en su elaboración materiales vegetales ricos en dichos elementos.

Debido a los cambios que se introducen en el suelo Fluvisol éutrico al manejarlo orgánicamente se requiere mayor tiempo de evaluación que oriente las prácticas de abonado óptimas.

El aporte de nitrógeno por las compostas al suelo Fluvisol éutrico, posiblemente se subestimó en el presente trabajo, puesto que la tasa de mineralización que se consideró fue más baja que la reportada para compostas similares en composición y madurez (Reider *et al.* 2000), por lo que el uso eficiente de las compostas requiere del estudio de la dinámica de los nutrimentos, en el sistema de huertos orgánicos bioitensivos propuestos, considerando las condiciones edafoclimáticas de la planicie tabasqueña, ya que excedentes de nutrimentos lixiviados podrían constituir fuentes de contaminación de suelos y aguas (Laos *et al.* 2000; Reider *et al.* 2000).

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Abiola SS, Tewe OO (1991) Chemical evaluation of cocoa by-products. Tropical Agriculture (Trinidad) 68 (4): 335-336.
- Aguilera-Gomez L, Davies FT Jr, Olalde-Portugal V, Duray SA, Phavaphutanon L (1999) Influence of phosphorus and endomycorrhiza (*Glomus intraradices*) on gas exchange and plant growth of chile ancho pepper (Capsicum annuum L. cv. San Luís). Photosynthetica 36: 441-449.
- Altieri MA (1987) Agroecology. The Scientific Basis of Alternative Agricultura. Westview Press/IT Publications. London. 227 p.
- Altieri M, Nicholls CI (2000) Agroecología, Teoría y Práctica de una Agricultura Sustentable. Serie Textos básicos para la formación ambiental. PNUMA, Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. D.F. 250 p.
- Álvarez-Solís JD (2001) Investigación y desarrollo de la tecnología de biofertilización para la agricultura alteña de Chiapas, México. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 176 p.
- 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, 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 p.
- Álvarez-Solís JD, Ferrera-Cerrato R, Etchervers-Barra JD (2000) Actividad microbiana en tepetate con incorporación de residuos orgánicos. Agrociencia 34 (5): 523-532.
- Andrade G, Mihara KL, Linderman RG, Bethlenfalvay GJ (1998) Soil aggregation status and rhizobacteria in the mycorrhizosphere. Plant and Soil 202: 89–96.
- Anónimo (1984) Carta topográfica escala 1: 50 000. San Cristóbal de Las Casas E15 D62 Chiapas. DGG/INEGI. México, D. F.

- Anónimo (1985) Carta edafológica escala 1: 250 000. Tuxtla Gutiérrez E15-11 Chiapas. DGG/INEGI. México, D. F.
- Anónimo (1990) Normales climatológicas 1961-1990, Estación Chilil, Huixtán. Unidad del Servicio Meteorológico Nacional. <a href="http://smn.cna.gob.mx/productos/normales/estacion/chis/NOR07036.TXT">http://smn.cna.gob.mx/productos/normales/estacion/chis/NOR07036.TXT</a>. Visitado el 24 de mayo de 2005.
- Anónimo (1995) Fundamentos Básicos de la Agricultura Orgánica "para capacitación campesina". Federación Indígena Ecológica de Chiapas. Motozintla, Chiapas, México. 187 p.
- 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. <a href="http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/chiapas/municipios/07038a.htm">http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/chiapas/municipios/07038a.htm</a>. (Visitado el 27 de junio de 2005).
- Anónimo (2007) Tabasco. Datos Generales. INEGI. <a href="http://www.inegi.gob.mx/geo/default.aspx?c=124&e=27">http://www.inegi.gob.mx/geo/default.aspx?c=124&e=27</a> (Visitado el 31 de agosto de 2007).
- 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. México, D. F. 262 p.
- Azcón R (2000) Papel de la simbiosis micorrízica y su interacción con otros microorganismos rizosféricos en el crecimiento vegetal y sostenibilidad agrícola. En: Alarcón A, Ferrera-Cerrato R (eds) Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. CP-Mundi Prensa. Montecillo. 251 p.
- Bago B, Azcón-Aguilar C, Shachar-Hill Y, Pfeffer PE (2000) El micelio externo de la micorriza arbuscular como puente simbiótico entre raíz y su entorno. En: Alarcón A, Ferrera-Cerrato R (eds) Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. CP-Mundi Prensa. Montecillo. 251 p.

- 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.
- Benítes 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 p.
- Bonvehí JS, Jordá RE (1998) Constituents of cocoa husks. Verlag der Zeitschrift für Naturforschung 53: 785-792.
- Borges-Gómez L, Chuc-Puc J, Escamilla-Bencomo A, Medina-Lara F (2006) Cinética de la absorción de potasio por las raíces de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Agrociencia 40: 431-440.
- 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.
- Chamizo-Checa A, Ferrera-Cerrato R, González-Chávez MC, Varela L, Santizo J, Ortíz CA (1996) Germinación de esporas de *Glomus claroideum* y *G. diaphanum*. Simposium Nacional de la Simbiosis Micorrízica. Xalapa.
- Chepote RE (2003) Efeito do composto da casca do fruto do cacau no crescimento e produção do cacaueiro. Agrotrópica 15(1): 1-8.
- Contreras-Ramos SM, Escamilla-Silva EM, Dendooven L (2005) Vermicomposting of biosolids with cow manure and oat straw. Biol Fertil Soils 41: 190–198.
- Corlay-Chee L, García CR, Ferrera-Cerrato R (2000) Aplicación de vermicomposta y micorriza arbuscular en cebolla establecida en tepetate. En: Alarcón A, Ferrera-

- Cerrato R (eds) Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. CP-Mundi-Prensa. Montecillo. 251 p.
- 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 p.
- Drozd J (2003) The Risks and Benefits Associated with Utilising Composts from Municipal Solid Waste (MSWC) in Agriculture. En: Lynch JM, Schepers JS, Ünver I (eds) Innovative Soil-Plant Systems for Sustainable Agricultural Practices, University of Ankara / O.E.C.D., 530 p.
- Emmerling C, Eisenbeis G (1998) Infuence 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. <a href="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</a>. 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. México, D. F. 430 p.
- Franzluebbers AJ (1999) Microbial activity in response to water-filled pore space of variably eroded Southern Piedmont soils. Applied Soil Ecology 11:91-101.
- Fregoso A (1996) Ciencia y realidad ¿fe o conocimiento? Serie saber y creer, libro III. Textos y pretextos sobre el pensamiento científico y el pensamiento religioso. Universidad Autónoma Chapingo.166 p.
- García VA, Fraire SL, Balboa CH (2000) Aprovechamiento de la cascarilla de cacao *Theobroma cacao* L. mediante vermicomposteo en el municipio Ostuacán, Chiapas. En: Sánchez-Domínguez DC, López-Arias NC, Calles-Sánchez F (eds) XIII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria. INIFAP. Villahermosa. 167 p.

- García-Barrios L (2003) Plant-plant interactions in tropical agriculture. En: Vandermeer JH (ed) Tropical agroecosystem. CRC Press LLC. Boca Ratón FL. 280 p.
- 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 p.
- Gaur A, Adholeya A, Mukerji KG (1998) A comparison of AM fungi inoculants using *Capsicum* and *Polianthes* in marginal soil amended with organic matter. Mycorrhiza 7: 307–312.
- Geissen V, Brümer GW (1999) Decomposition rates and feeding activities of soil fauna in deciduos forest soils in relation to soil chemical parameters following liming and fertilization. Biology and Fertility of Soils 29:335-342.
- Gliessman SR (2002) Agroecología. Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. Traducido del Inglés por Cohen R. y otros. Turrialba. 359 p.
- 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 p.
- 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 p.
- Gómez-Tovar L, Gómez-Cruz MA, Schwentesius RR (1999) Desafíos de la Agricultura Orgánica. Comercialización y Certificación. Mundi-Prensa. D.F. 224 p.
- Guidi G, Pera A, Giovannetti M, Poggio G, Bertoldi M (1988) Variations of soil structure and microbial population in a compost amended soil. Plant and Soil 106: 113-119.
- Haynes RJ, Tregurtha R (1999). Effects of increasing periods under intensive arable vegetable production on biological, chemical and physical indices of soil quality. Biol Fertil Soils 28: 259–266.
- Hendrickson OQ, Robinson JB (1984) Effects of roots and litter on mineralization processes in forest soil. Plant and Soil 80: 391-405.

- Jeavons J (1991) Cultivo Biointensivo de Alimentos. Traducido al Español de la cuarta edición de "How to grow more vegetables than you ever thought possible on less land than you can imagine". Ecology Action of the Midpeninsula, Palo Alto, California. 206 p.
- 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 p.
- Jenkinson DS, Powlson DS (1976) The effects of biocidal treatments on metabolism in soil.

  V. A method for measuring soil biomass. Soil Biology and Biochemistry 8: 209–213.
- Jürgen-Pohlan HA (2002) Nuevos aspectos en el manejo agronómico de cafetales -las perspectivas para el café ecológico-. En: Jürgen-Pohlan HA (ed) México y la cafeticultura chiapaneca -reflexiones y alternativas para los caficultores. Shaker Verlag. 386 p.
- Kim KY, Cho YS, Sohn BK, Park RD, Shim JH, Jung SJ, Kim YW, Seong KY (2002) Cold-storage of mixed inoculum of *Glomus intraradices* enhances root colonization, phosphorus status and growth of hot pepper. Plant and Soil 238: 267–272.
- Labrador-Moreno J (2001) La Materia Orgánica en los Agrosistemas. Mundi-prensa. España. 293 p.
- Landon JR (1991) Booker Tropical Soil Manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. Reedición. Longman, Scientific & Technical. Hong Kong. 474 p.
- Laos F, Satti P, Walter I, Mazzarino MJ, Moyano S (2000) Nutrient availability of composted and noncomposted residues in a Patagonian Xeric Mollisol. Biol Fertil Soils 31:462–469.
- 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.
- León-Nájera JA, Gómez-Álvarez R, Hernández-Daumás S, Álvarez-Solís JD, Palma-López DJ (2006) Mineralización en suelos con incorporación de residuos orgánicos en los Altos de Chiapas. Universidad y Ciencia 22 (2): 163-174.

- Lutgen ER, Muir-Clairmont D, Graham J, Rillig MC (2003) Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a western Montana grassland. Plant and Soil 257: 71-83
- Manjarrez-Martínez MJ, Ferrera-Cerrato R, González-Chávez MC (1999) Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. Terra 17 (1): 9-15.
- Metting Jr FB (1993) Structure and physiological ecology of soil microbial communities. En: Meeting FB Jr (ed) Soil microbial ecology. Applications in agricultural and environmental management. Marcel Dekker. Nueva York. 627 p.
- Mokolobate MS, Haynes RJ (2002) Comparative liming effect of four organic residues applied to an acid soil. Biol Fertil Soils 35:79–85.
- 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 p.
- Montgomery DC (1991) Diseño y Análisis de Experimentos. Traductor: Jaime Delgado Saldivar. Grupo Editorial Iberoamérica. D. F. 589 p.
- Murwira H, Kirchmann H (1993) Carbon and nitrogen mineralization of cattle manures, subjected to different treatments, in Zimbabwean and Swedish soils. En: Mulongoy K, Merckx R (eds) Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture. John Wiley & Sons. Chippenham. 392 p.
- Neergaard-Bearden B, Petersen L (2000) Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on soil structure and aggregate stability of a Vertisol. Plant and Soil 218: 173–183.
- Nieto-Garibay A, Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, Larrinaga-Mayoral JA, García-Hernández JL (2002) El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible de chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. Interciencia 27: 417-421.
- Ntougias S, Ehaliotis C, Papadopoulou KK, Zervakis G (2006) Application of respiration and FDA hydrolysis measurements for estimating microbial activity during composting processes. Biol Fertil Soils 42: 330–337.
- Obatolu CR, Agboola AA (1993) The potential of Siam weed (*Chromolaena odorata*) as a source of organic matter for soils in the humid tropics. En: Mulongoy K, Merckx R

- (eds) Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture. John Wiley & Sons. Chippenham. 392 p.
- Ortiz-Pérez MA, Siebe C, Cram S (2005) Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. En: Bueno J, Álvarez F, Santiago S (eds) Biodiversidad del Estado de Tabasco. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 370 p.
- Palma-López DJ, Cisneros-Domínguez J (1997) Plan de Uso Sustentable de los Suelos de Tabasco. Volumen I. Fundación Produce Tabasco. Villahermosa. 116 p.
- 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 p.
- 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 p.
- 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 p.
- 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 p.
- Prado-Urbina G (2005) Tecnología de producción comercial de chile habanero (Capsicum chinense Jacq). ISPROTAB, Villahermosa. 44 p.
- Reider CR, Herdman WR, Drinkwater LE, Janke R (2000) Yields and nutrients budgets under composts, raw dairy manure and mineral fertilizer. Compost Science & Utilization 8: 328-339.
- Rodríguez-Elizalde MA, Mejía-Muñoz JM, Ferrera-Cerrato R, Ruíz-Salazar J, Alarcón A (2000) Micorriza arbuscular, fertilización y vermicomposta en el crecimiento vegetativo de *Gerbera jamesonii*. En: Alarcón A, Ferrera-Cerrato R (eds) Ecología,

- Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. CP-Mundi-Prensa, Montecillo. 251 p.
- 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 p.
- Sáinz MJ, Taboada-Castro MT, Vilariño A (1998) Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. Plant and Soil 205: 85–92.
- Salgado-García S, Palma-López DJ, Núñez-Escobar R, Lagunes-Espinoza LC, Debernardi-de la Vequia H (2000) Manejo de Fertilizantes y Abonos Orgánicos. CP-ISPROTAB, Villahermosa. 135 p.
- Sánchez AJ, Barba E (2005) Biodiversidad de Tabasco. En: Bueno J, Álvarez F, Santiago S (eds) Biodiversidad del Estado de Tabasco. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 370 p.
- Sánchez G, Olguín EJ, Mercado G (1999) Accelerated coffee pulp composting. Biodegradation 10: 35–41.
- Sánchez-Hernández R, Ordaz-Chaparro VM, Hidalgo-Moreno C, Palma-López DJ, Benedicto-Valdés GS (2006) Evolución estructural de un Vertisol por el aporte de vermicompost y la inalteración mecánica en la Chontalpa Tabasco. p. 202-207. En: Báez-Ruíz UA, Sánchez-Domínguez DC, López-Arias NC (eds). SAGARPA. Villahermosa.
- Schrader S, Zhang H (1997) Earthworm casting: stabilization or destabilization of soil structure? Soil Biology and Biochemistry 29: 469-475.
- Schreiner RP, Mihara KL, McDaniel H, Bethlenfalvay GJ (1997) Mycorrhizal fungi influence plant and soil functions and interactions. Plant and Soil 188: 199–209.
- Schroeder MS, Janos DP (2005) Plant growth, phosphorus nutrition, and root morphological responses to arbuscular mycorrhizas, phosphorus fertilization, and intraspecific density. Mycorrhiza 15: 203-216.
- Senesi N, Brunetti G, La Ghezza V (2003) The effect of organic amendment on native soil humic substances, with emphasis on the use of olive-oil mill wastewaters. En: Lynch

- JM, Schepers JS, Ünver I (eds) Innovative Soil-Plant Systems for Sustainable Agricultural Practices, University of Ankara / O.E.C.D. 530 p.
- Shrestha RK, Ladha JK, Lefroy RDB (2002) Carbon management for sustainability of an intensively managed rice-based cropping system. Biol Fertil Soils 36:215–223.
- Siebe C, Jhan R, Stahr K (1996) Manual para la Descripción y Evaluación Ecológica de Suelos en el Campo. S.M.C.S. Publicación especial 4. 57 p.
- Siqueira JO, Franco AA (1988) Biotecnología do solo fundamentos e perspectivas. MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS. Brasilia. 235 p.
- Smith JL, Papendick RI, Bezdicek 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 p.
- 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 p.
- Subba-Rao NS (1982) Biofertilizers in agriculture. Serie 7. Oxford & IBH Publishing. Nueva Deli. 186 p.
- 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.
- Swift MJ, Woomer P (1993) Organic matter and the sustainability of agricultural systems: Definition and measurement. En: Mulongoy K, Merckx R (eds). Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture. IITA/KU-John Wiley & Son. Leuven. 392 p.
- Torres-Torres F, Trápaga-Delfin Y (1997) La Agricultura Orgánica: Una Alternativa para la Economía Campesina de la Globalización. UNAM. pp. 103-124.
- 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.
- Velasco MI, Campitelli PA, Ceppi SB, Havel J (2004) Analysis of humic acid from compost of urban wastes and soil by fluorescence spectroscopy. Agriscientia 21: 31-38.

- Veldkamp D (1994) Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. Soil Science Society of America Journal 58: 175-180.
- Vessey JK (2003) Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil 255: 571-586.
- 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. p. 159-178. En: Lal R, Kimble J, Stewart BA (eds) Soil
  management and greenhouse effect. Advances in Soil Science. CRC. Boca Ratón.
- Volke T, Velasco JA, de la Rosa DA (2005) Suelos Contaminados por Metales y Metaloides: Muestreo y Alternativas para su Remediación. Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 141 p.
- Weber J, Licznar M, Drozd J (2003) Changes in Physical and Physico-Chemical Properties of Sandy Soil Amended with Composted Municipal Solid Wastes. En: Lynch JM, Schepers JS, Ünver I (eds) Innovative Soil-Plant Systems for Sustainable Agricultural Practices, University of Ankara / O.E.C.D. 530 p.
- Zar JH (1984) Biostatistical analysis. Second edition. Prentice Hall. Englewood Clifs. 718 p.
- Zavala-Cruz J (2003) Introducción General. En: Zavala-Cruz J, Gutiérrez-Castorena MC, Palma-López DJ (eds) Impacto Ambiental en las Tierras del Campo Petrolero Samaria, Tabasco. CP-CONACYT-CCYTET. Villahermosa. 131 p.