

ENMIENDAS ORGÁNICAS Y ACTIVIDAD METABÓLICA DEL SUELO EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ

Organic Amendments and Soil Metabolic Activity in Corn Yield

Álvarez-Solís J. D.^{1‡}, Díaz-Pérez E.¹, León-Martínez N. S.¹ y Guillén-Velásquez J.¹

RESUMEN

La incorporación de estiércol de ovino, rastrojo de maíz y cobertura de leguminosas son prácticas agrícolas realizadas por algunos productores para hacer más eficiente o disminuir el uso de fertilizantes en los sistemas de producción de maíz. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de esas enmiendas orgánicas sobre la actividad metabólica del suelo y el rendimiento de maíz. En un experimento en campo bajo condiciones de temporal en Teopisca, Chiapas, México, se evaluaron 8 tratamientos que incluyeron una fertilización convencional (120-60-00 de NPK) y una fertilización al 60% (72-36-00 de NPK) y estiércol ovino (4.3 Mg ha⁻¹), en ambos casos con y sin la incorporación del rastrojo de maíz (5 Mg ha⁻¹) o la cobertura de frijol botil e ibes (1 Mg ha⁻¹), bajo un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. El suelo rizosférico, a la floración del maíz, presentó una biomasa microbiana 20% más alta con la fertilización disminuida y complementada con estiércol, rastrojo y cobertura de leguminosa que con la fertilización convencional sin enmiendas orgánicas. El C orgánico y la respiración microbiana no variaron significativamente. Los cocientes metabólico (qCO_2) y microbiano (relación C microbiano/C orgánico), fueron positivamente influidos por la incorporación de las enmiendas orgánicas, indicando una mayor eficiencia en la utilización del C y en la construcción de la materia orgánica lábil del suelo, lo que se reflejó en el incremento de una tonelada de grano de maíz. La biomasa microbiana y el cociente microbiano mostraron una correlación positiva con el rendimiento de maíz ($r = 0.89$ y 0.71). Se concluye que la incorporación combinada de estiércol, rastrojo y cobertura de leguminosa

es una estrategia adecuada para disminuir la fertilización inorgánica, con un efecto positivo en la biomasa microbiana, la materia orgánica del suelo y el rendimiento de maíz.

Palabras clave: biomasa microbiana, materia orgánica, cociente metabólico.

SUMMARY

The incorporation of sheep manure, corn stubble and leguminous cover crops are agricultural management practices used by some farmers to make fertilizers more efficient, or to reduce their use, in corn production systems. This study assessed the effect of these organic amendments on the soil metabolic activity and corn yield. In a field experiment established under rainfed conditions in Teopisca, Chiapas, Mexico, eight treatments were evaluated: conventional fertilization (120-60-00 of NPK) and fertilization reduced to 60% (72-36-00 of NPK) plus sheep manure (4.3 Mg ha⁻¹), both with and without the incorporation of corn stubble (5 Mg ha⁻¹) or botil and ibes bean (1 Mg ha⁻¹) cover crop. Data were analyzed under a design of randomized blocks which had four replications. The microbial biomass in rhizospheric soil samples at corn flowering was 20% higher with reduced fertilization complemented with manure, stubble and leguminous cover crop than with conventional fertilization without organic amendments. Organic C and microbial respiration did not vary significantly. The metabolic (qCO_2) and microbial (C microbial/C organic relation) quotients were influenced positively by the organic amendments, indicating greater efficiency in C utilization and an increase in the soil organic matter labile fraction. This was reflected in one ton increase in grain yield. The microbial biomass and microbial quotient showed a positive correlation with corn yield ($r = 0.89$ and 0.79). It was concluded that the incorporation of mixed manure, stubble and leguminous cover crop is an appropriate strategy for reducing inorganic fertilization, with positive effects on microbial biomass, organic matter and corn yield.

¹ Departamento de Agroecología, División de Sistemas de Producción Alternativos. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Apartado Postal 63. 29290 San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.

[‡] Autor responsable (dalvarez@ecosur.mx)

Index words: *microbial biomass, organic matter, metabolic quotient.*

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento perdurable de la capacidad productiva del suelo requiere la integración de prácticas de nutrición vegetal y de mejoramiento del suelo, que permitan un manejo adecuado de los nutrientes para evitar su carencia o pérdidas por lixiviación, y de la materia orgánica para potenciar la biodiversidad edáfica y optimizar los parámetros edáficos ligados a su conservación (Labrador, 1996). El manejo integrado del suelo permite abordar simultáneamente este binomio a través de la optimización de los beneficios de todas las fuentes posibles de nutrientes provenientes de la unidad de producción, y su complementación con fuentes externas que son necesarias para satisfacer los requerimientos del cultivo, todo ello orientado a alcanzar niveles de producción deseados y disminuir riesgos de degradación ambiental. Para este fin se requiere la aplicación de prácticas agroecológicas, así como la generación de información del curso que seguirá la evolución de las características del suelo frente a diferentes condiciones de manejo (Astier-Calderón *et al.*, 2002; Bautista-Cruz *et al.*, 2004).

La incorporación de materiales orgánicos, tales como los estiércoles, el rastrojo de maíz o los residuos de la cobertura de leguminosas, son prácticas de manejo agrícola realizadas por los productores campesinos para disminuir o hacer más eficiente el uso de fertilizantes inorgánicos en el sistema de producción de maíz. Las enmiendas orgánicas aportan al suelo materia orgánica y nutrientes, con lo que se favorece la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas (Pool-Novelo *et al.*, 2000); sin embargo, tienen una baja concentración de algunos macronutrientes, principalmente de nitrógeno y fósforo, comparado con los fertilizantes. Por ello, la cantidad, calidad y variedad de los residuos orgánicos retornados al suelo es un factor clave que regula la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la estabilidad del reciclaje nutricional en los sistemas agrícolas (Swift y Anderson, 1993). La descomposición de residuos con baja concentración de N y alta relación C/N es lenta y ocasiona una inmovilización del N inorgánico del suelo (Nicolardot *et al.*, 2001). Por el contrario, la mezcla de residuos de composición química contrastantes, enriquecida con la incorporación de estiércoles, acelera la tasa de descomposición, disminuye

el N inmovilizado y mejora la calidad del suelo (Franco-Vizcaíno, 1997; Ernst *et al.*, 2002).

La biotransformación de los residuos orgánicos es un proceso imprescindible para la síntesis de sustancias húmicas y la mineralización de nutrientes que se reincorporan al suelo y quedan disponibles a las plantas para su reutilización. La biomasa microbiana del suelo juega un papel fundamental en este proceso, ya que constituye el medio de transformación de la materia orgánica, y a su vez, representa un importante reservorio lábil de nutrientes; por lo que las fluctuaciones de su tamaño o actividad influyen en la producción de los cultivos (Díaz *et al.*, 1993). La biomasa microbiana se encuentra regulada por las características del suelo, la composición de los materiales orgánicos y la naturaleza de la comunidad microbiana (Álvarez-Solís y Anzueto-Martínez, 2004). El metabolismo del suelo ocasionado por la biomasa microbiana refleja las condiciones del ambiente edáfico (Knoepp *et al.*, 2000; Moscatelli *et al.*, 2005).

La estimación de la biomasa microbiana suministra un índice sensible al cambio provocado por el manejo, antes de que algún cambio pueda ser detectado en la materia orgánica total del suelo (Anderson y Domsch, 1989). Como la biomasa microbiana es más sensible al cambio que el C orgánico total, se ha propuesto la combinación de parámetros microbianos para derivar índices de metabolismo del suelo, tales como: a) la relación C-microbiano/C-orgánico que refleja la contribución de la biomasa microbiana al C orgánico del suelo, y es de utilidad para detectar cambios tempranos en la proporción de materia orgánica lábil o, a la inversa, la fracción recalcitrante de materia orgánica en el suelo; y b) la respiración microbiana por unidad de biomasa o cociente metabólico (qCO_2), que tiene una valiosa aplicación como una medida relativa de que tan eficazmente la biomasa microbiana está utilizando los recursos de C (Anderson y Domsch, 1990). Por lo tanto, el impacto de las prácticas de fertilización orgánica e inorgánica que afectara a los miembros de una población microbiana del suelo debe ser detectado por el cambio de una actividad particular de la biomasa microbiana que pueda ser cuantificada. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto que tiene la sustitución parcial de la fertilización inorgánica convencional mediante la incorporación de estiércol de ovino, rastrojo de maíz y la cobertura de leguminosas sobre la actividad metabólica del suelo y el rendimiento de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante el ciclo primavera-otoño de 2004 bajo condiciones de temporal en el Centro Universitario de Investigación y Transferencia de Tecnología de la Universidad Autónoma de Chiapas ubicado en Teopisca, Chiapas, a una altitud de 1800 m. El clima es templado subhúmedo (C(w2)w) con temperatura media anual de 12 a 18 °C y precipitación media anual de 1100 a 1300 mm, con lluvias en verano y época seca de noviembre a mayo (Mera, 1989). Las características del suelo se muestran en el Cuadro 1.

Se estableció un experimento en el que se mantuvo durante tres años (2003-2005) una serie de tratamientos con dosis de fertilización inorgánica de 120-60-00 (NPK), y otra en la que se redujo en forma parcial y progresiva al 80, 60 y 50% la dosis de fertilización inorgánica y se complementó con la incorporación de estiércol ovino en cantidades de 3.3, 4.3 y 6 Mg ha⁻¹ por año. El primer año se realizó la siembra de maíz criollo (*Zeamays* L. raza Olotón) en monocultivo y en asociación con frijol botil (*Phaseolus coccineus* L. subespecie *coccineus* Delgado) e ibes (*P. coccineus* L. subespecie *darwinianus* Delgado) en ambas series de fertilización. A partir del segundo año se evaluó el efecto de la remoción o el retorno de los rastrojos de maíz y la cobertura de las leguminosas. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos durante el segundo año.

Se evaluaron 8 tratamientos (Cuadro 2) que incluyeron una fertilización inorgánica convencional de 120-60-00 (NPK), con y sin la incorporación de rastrojo de maíz (5 Mg ha⁻¹) o la cobertura de frijol botil e ibes (1 Mg ha⁻¹); así como una fertilización inorgánica al 60% de 72-36-00 (NPK) y estiércol ovino (4.3 Mg ha⁻¹), con y sin la incorporación de rastrojo de maíz (5 Mg ha⁻¹) o la cobertura de frijol botil e ibes (1 Mg ha⁻¹), bajo un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones.

El tamaño de las unidades experimentales fue de 12 m de ancho por 12 m de largo, con parcela útil de 10 surcos centrales de 10 m de largo y 100 matas de maíz. Antes de la siembra se picó y se incorporó

el rastrojo de maíz o el rastrojo de maíz y la cobertura de frijol botil e ibes sobre la superficie del suelo de las unidades experimentales que llevaron tales enmiendas orgánicas. En los tratamientos con estiércol se utilizó 430 g mata⁻¹ de estiércol ovino descompuesto, aplicado al fondo de la cepa previo a la siembra. La cantidad de estiércol utilizada por año se ajustó con base en el contenido de nitrógeno (Cuadro 3). Como fuente de fósforo se utilizó el superfosfato de calcio triple y de nitrógeno la urea. El superfosfato de calcio triple se aplicó al momento de la siembra (21 de mayo) y la urea en forma fraccionada, la mitad a los 40 días después de la siembra y el resto en la segunda escarda. El control de arvenses se realizó con azadón en dos ocasiones (21 de junio y 2 de agosto).

En la floración del maíz (16 de agosto) se recolectaron muestras compuestas de 15 muestras simples del suelo rizosférico, a una distancia de 10 cm del tallo de la planta y profundidad de 0-15 cm en cada una de las unidades experimentales. Las muestras se pasaron por un tamiz con diámetro de 5 mm para eliminar fragmentos de raíces y piedras. Una porción de ellas fue secada a temperatura ambiente, molida con un mazo de madera y tamizada con malla de 0.5 mm para la determinación de C orgánico mediante la técnica de digestión húmeda de Walkley y Black (Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000); el resto de la muestra se conservó en refrigeración y se utilizó en las determinaciones de la respiración y la biomasa microbiana. En la madurez fisiológica del cultivo (16 de noviembre) se cosecharon las mazorcas de 25 matas de maíz en la parte central de la parcela útil y se obtuvo el rendimiento de grano.

La respiración microbiana se midió por la cuantificación de la producción de C-CO₂ durante 24 h mediante el método de Stotzky (1965), y la biomasa microbiana por el método de fumigación e incubación (Jenkinson y Powlson, 1976), con Kc = 0.45. En ambos casos se utilizaron muestras duplicadas de 25 g de suelo de cada una de las muestras compuestas que se obtuvieron en las 32 unidades experimentales, las cuales fueron colocadas en frascos de vidrio con tapa de rosca

Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo en el sitio del experimento.

Arena	Limo	Arcilla	DA	pH	MO	N total	P-Olsen	CIC	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
----- % -----			g cm ⁻³		----- % -----		mg kg ⁻¹	-----	cmol kg ⁻¹	-----	
16.4	28.0	55.6	1.16	5.4	3.6	0.18	5.2	24.6	4.52	3.06	0.3

DA = densidad aparente; MO = materia orgánica.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos que fueron evaluados.

Tratamiento	Fertilizante mineral (N-P-K) kg ha ⁻¹	Estiércol ovino	Rastrojo de maíz Mg ha ⁻¹	Cobertura de leguminosas
Testigo	120-60-00	0	0	0
Rastrojo (R)	120-60-00	0	5	0
Cobertura (C)	120-60-00	0	0	1
R+C	120-60-00	0	5	1
Estiércol (E)	72-36-00	4.3	0	0
E+R	72-36-00	4.3	5	0
E+C	72-36-00	4.3	0	1
E+R+C	72-36-00	4.3	5	1

y pre-incubadas a 25 °C durante 7 días. La humedad del suelo se ajustó al 40% de la capacidad de campo. Para adsorber el C-CO₂ se utilizó 4 mL de NaOH 1 N y una pequeña cinta de papel filtro en un tubo de ensayo ubicado dentro del frasco con suelo. El carbonato se precipitó con cloruro de bario a 2%, y el exceso de NaOH se tituló con HCl 0.2 N, empleando fenolftaleína como indicador. Con los datos obtenidos se calculó el cociente microbiano (Cmic:Corg) como la relación entre el C de la biomasa microbiana y el C orgánico total del suelo expresado en porcentaje, y la fracción de C-CO₂ liberado por unidad de biomasa microbiana, llamado cociente metabólico (*q*CO₂) de acuerdo con la siguiente ecuación: $qCO_2 = (\mu g \text{ C-CO}_2 \text{ basal h}^{-1} \times \mu g \text{ Cmic}^{-1}) \times 10^3$ (Anderson y Domsch, 1990).

Los datos se procesaron mediante análisis de varianza y la DSH de Tukey ($P \leq 0.05$). La relación entre índices microbianos y el rendimiento de maíz se verificó mediante un análisis de correlación bivariada de Pearson ($P \leq 0.05$). El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa SPSS 8 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de grano de maíz presentó una variación altamente significativa entre tratamientos ($P \leq 0.01$), con valores más altos en la fertilización inorgánica reducida (72-36-00) asociada a la incorporación de estiércol y rastrojo, o estiércol y la cobertura de leguminosas, que con la fertilización inorgánica completa (120-60-00), ya sea sin enmiendas orgánicas, con rastrojo, o con rastrojo y la cobertura de leguminosas; en un lugar intermedio se ubicaron los tratamientos de fertilización completa con cobertura de leguminosa y los de fertilización reducida

con estiércol, y con estiércol más cobertura de leguminosa (Figura 1). Destaca el rendimiento obtenido con la fertilización reducida que tuvo la incorporación de estiércol, rastrojo y cobertura de leguminosas, con un valor ligeramente superior a una tonelada respecto al tratamiento con fertilización completa sin enmiendas orgánicas.

La sustitución del 40% de la fertilización inorgánica convencional y su complementación con la incorporación de estiércol (4.3 Mg ha⁻¹) tuvo un efecto significativo ($P \leq 0.05$) sobre la biomasa microbiana del suelo. El valor más alto de biomasa microbiana se registró en el tratamiento de fertilización reducida (72-36-00) que además de estiércol tuvo la incorporación de rastrojo y cobertura de leguminosa, en un lugar intermedio quedaron ubicados los tratamientos de fertilización reducida con estiércol, estiércol y rastrojo, o estiércol y cobertura de leguminosa, mientras que los valores más bajos se obtuvieron en los tratamientos de fertilización completa (120-60-00) sin enmiendas orgánicas, o con rastrojo o cobertura de leguminosa (Cuadro 4).

El contenido de carbono orgánico total del suelo presentó un rango entre 2.2 a 2.6% y no hubo significancia estadística entre tratamientos ($P = 0.059$); sin embargo, el cociente microbiano (relación C microbiano/C orgánico), que indica la contribución de la biomasa microbiana en la materia orgánica total del suelo, varió significativamente ($P < 0.05$) entre tratamientos. El cociente microbiano fue 18% más alto en el tratamiento con fertilización inorgánica reducida (72-36-00) que tuvo la incorporación de estiércol, rastrojo de maíz y la cobertura de leguminosa que en el tratamiento con fertilización inorgánica completa (120-60-00) sin enmiendas orgánicas (Cuadro 4). Al no haber diferencias significativas entre tratamientos

Cuadro 3. Composición química de las enmiendas orgánicas (g kg⁻¹).

Elemento	Estiércol de ovino	Rastrojo de maíz	Cobertura de leguminosas
Carbono	470.0	504.0	483.6
Nitrógeno	18.3	9.2	33.4
Relación C/N	25.7	54.9	14.5
Fósforo	11.3	2.6	nd [†]
Potasio	12.7	6.0	nd

[†] nd = no se determinó.

en el contenido de C orgánico del suelo pero sí en la biomasa microbiana, el cociente microbiano, que relaciona ambas variables, presentó una correlación positiva altamente significativa con la biomasa microbiana ($r = 0.86, P < 0.01$), y no significativa con el C orgánico ($r = -0.23, P = 0.21$). Lo anterior indica un aumento de la fracción lábil de la materia orgánica con la fertilización inorgánica reducida e incorporación del estiércol, rastrojo y la cobertura de leguminosa, debido a su efecto en el incremento de la biomasa microbiana.

La respiración microbiana presentó un rango de 22 a 35 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y no varió con significancia estadística entre tratamientos ($P = 0.075$). Sin embargo, el cociente metabólico ($q\text{CO}_2$, respiración por unidad de biomasa microbiana) que refleja la eficiencia de la biomasa microbiana en la utilización del C orgánico, varió significativamente ($P < 0.05$) entre tratamientos con fertilización inorgánica completa en función de la incorporación de las enmiendas orgánicas, con un valor 60% más alto con la incorporación de rastrojo ($q\text{CO}_2 = 4.51$) que con rastrojo y cobertura

de leguminosa ($q\text{CO}_2 = 2.78$). En los tratamientos con fertilización inorgánica reducida y estiércol ovino no hubo un efecto de la incorporación de los rastrojos, y los valores se ubicaron en un lugar intermedio entre ambos extremos, sin diferencia significativa del tratamiento con fertilización inorgánica completa sin enmiendas orgánicas (Cuadro 4). Los valores altos de $q\text{CO}_2$ indican una pérdida de C en la forma de CO_2 , y lo contrario su asimilación en el protoplasma microbiano (Knoepp *et al.*, 2000).

El cociente metabólico ($q\text{CO}_2$) mostró una correlación positiva altamente significativa con la respiración microbiana (producción de C- CO_2) ($r = 0.83, P < 0.01$), y negativa con el cociente microbiano ($r = -0.54, P = < 0.01$). Las correlaciones obtenidas muestran la existencia de una estricta interdependencia entre crecimiento y mantenimiento de la biomasa microbiana, e indican que a una alta actividad respiratoria corresponde un alto cociente metabólico y, en consecuencia, una baja asimilación del C orgánico, y a la inversa, a un bajo cociente metabólico corresponde una alta relación C_{mic}/C_{org} , esto es: una mayor asimilación del C orgánico en la biomasa microbiana y en la construcción de la materia orgánica del suelo (Anderson y Domsch, 1989, 1990).

La mayor eficiencia de la biomasa microbiana en la asimilación del C orgánico cuando la fertilización inorgánica se acompañó de la incorporación del rastrojo enriquecido con la cobertura de leguminosa que solo con rastrojos, sugiere un cambio en la composición y actividad de la comunidad microbiana del suelo ocasionado por las diferencias en la calidad bioquímica

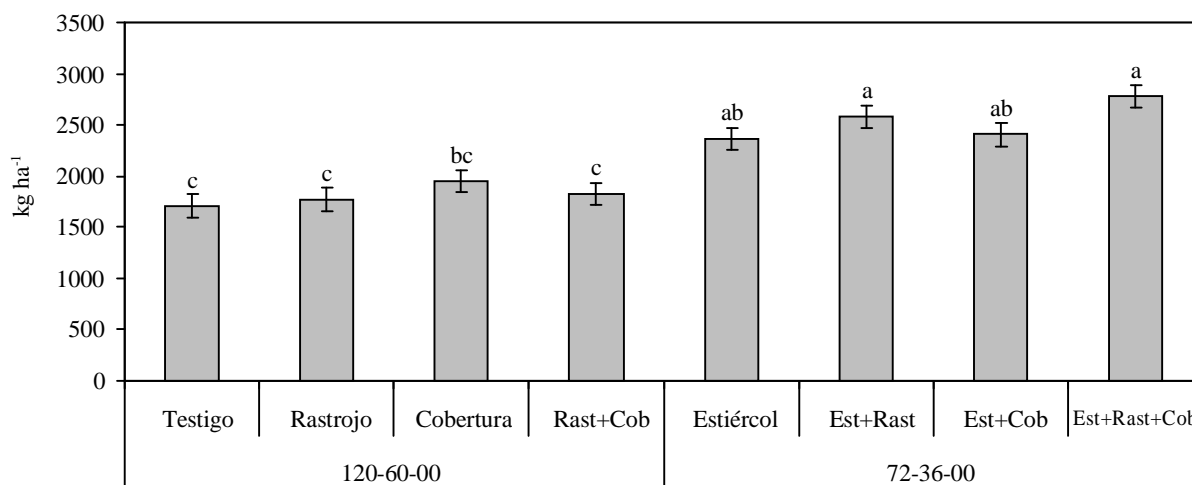


Figura 1. Rendimiento de grano de maíz en los diferentes tratamientos de fertilización inorgánica e incorporación de materiales orgánicos. Las barras seguidas por la misma letra no difieren significativamente entre sí (DSH Tukey, $P \leq 0.05$).

Cuadro 4. Valores medios de los índices del suelo en los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Biomasa microbiana $\mu\text{g C g}^{-1}$	Respiración microbiana $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$	Cociente metabólico ($q\text{CO}_2$)	Carbono orgánico %	Cociente microbiano (Cmic/Corg)
Testigo	326.0 b [†]	23.6 a	3.04 ab	2.47 a	1.32 b
Rastrojos (R)	338.2 ab	35.2 a	4.51 a	2.50 a	1.37 ab
Cobertura (C)	328.3 b	24.5 a	3.14 ab	2.19 a	1.49 ab
R+C	332.8 b	21.9 a	2.78 b	2.43 a	1.37 ab
Estiércol (E)	347.8 ab	29.8 a	3.58 ab	2.56 a	1.36 ab
E+R	352.1 ab	31.6 a	3.77 ab	2.33 a	1.45 ab
E+C	364.2 ab	28.0 a	3.32 ab	2.44 a	1.48 ab
E+R+C	390.2 a	28.3 a	2.96 ab	2.50 a	1.56 a

[†] Los valores seguidos por la misma letra en una misma columna no difieren significativamente entre sí (Tukey, $P \leq 0.05$). Cmic = carbono microbiano, Corg = carbono orgánico.

de los materiales orgánicos utilizados, principalmente la concentración de N y la relación C/N. Es ampliamente conocido que durante la descomposición de residuos con alta relación C/N se presenta una disminución temporal del N inorgánico en el suelo debido al proceso de inmovilización microbiana (Nicolardot *et al.*, 2001). El rastrojo de maíz presentó una relación C/N de 54.9/1, mientras que en la cobertura de leguminosas dicha relación fue de 14.5/1 (Cuadro 3). Anderson y Domsch (1990) encontraron que el $q\text{CO}_2$ fue menor en suelos sujetos a una rotación de cultivos que en el monocultivo y la relación Cmic/Corg fue más alta, lo anterior sugiere que una comunidad vegetal diversa favorece la eficiencia de la comunidad microbiana al reducir sus demandas energéticas. Se ha observado que en residuos con menos de 0.8% de N y alta relación C/N la descomposición es producida principalmente por hongos, adquiriendo mayor relevancia la descomposición por bacterias cuando el residuo tiene más de 1.2% de N (Collins *et al.*, 1990).

El rendimiento de grano de maíz mostró una correlación positiva con significancia estadística con la biomasa microbiana ($r = 0.89$, $P < 0.01$) y con el cociente microbiano ($r = 0.71$, $P < 0.05$), y no hubo significancia con el C orgánico total ($r = 0.11$, $P = 0.79$), la respiración microbiana ($r = 0.32$, $P = 0.44$) ni con el cociente metabólico ($r = -0.07$, $P = 0.88$). Las correlaciones positivas de la biomasa microbiana y el cociente microbiano con el rendimiento de grano confirman su utilidad como índices de calidad del suelo. Asimismo, sugieren la importancia de la fracción “viva” y lábil de la materia orgánica en el reciclaje nutricional y en las relaciones bioecológicas que se establecen en la rizosfera de la planta de maíz en estadio de floración.

Los resultados indican que para mejorar la producción de maíz no basta con la aplicación de fertilizantes inorgánicos. La incorporación de rastrojo del maíz y la cobertura de leguminosas al descomponerse lentamente por la intensa actividad biológica del suelo, ayudan a recuperar paulatinamente la fertilidad del suelo, pero sus efectos sobre el rendimiento de maíz no son evidentes en el intervalo de un ciclo de cultivo. Sin embargo, cuando la incorporación de los rastrojos se combinó con la incorporación del estiércol ovino hubo el incremento de una tonelada en el rendimiento de grano del maíz. El estiércol de ovino es rico en nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio (Cuadro 3) y el rastrojo ayuda a disminuir el impacto directo de las gotas de lluvia, mejora la estructura y la retención de humedad, con lo que se favorece la conservación de la calidad y la productividad del suelo (Velázquez *et al.*, 2002). El uso de estas enmiendas orgánicas es una estrategia adecuada para complementar los requerimientos nutrimentales del cultivo y disminuir el uso de fertilizantes inorgánicos, con efectos positivos en la biomasa microbiana, el C orgánico lábil del suelo y el rendimiento de grano del maíz.

CONCLUSIONES

La disminución de la fertilización inorgánica y su complementación mediante la incorporación de estiércol ovino, rastrojo de maíz y la cobertura de leguminosas tuvo un efecto positivo en la biomasa microbiana del suelo, la cual presentó un incremento de 20% en relación con la fertilización convencional sin dichas enmiendas orgánicas. Ello se reflejó también en una relación carbono

microbiano/carbono orgánico más alta, lo que indica una mayor eficiencia de los microorganismos en la asimilación del carbono orgánico y en la construcción de la materia orgánica lábil del suelo. Ambos parámetros microbianos mostraron una correlación significativa con el rendimiento de grano del maíz, el cual tuvo un incremento de 62% con la fertilización inorgánica reducida asociada a la incorporación de estiércol, rastrojo y cobertura de leguminosas en relación con la fertilización convencional sin enmiendas orgánicas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Chiapas el apoyo financiero para la realización del trabajo, a través del proyecto con clave: CHIS-2005-CO3-059; y al editor y revisores de Terra Latinoamericana sus observaciones para mejorar este artículo.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Solís, J. D. y M. J. Anzuelo-Martínez. 2004. Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 38: 13-22.
- Anderson, T. H. and K. H. Domsch. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21: 471-479.
- Anderson, T. H. and K. H. Domsch. 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biol. Biochem.* 22: 251-255.
- Astier-Calderón, M., M. Maass-Moreno y J. Etchevers-Barra. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620.
- Bautista-Cruz, A., J. Etchevers-Barra, R. F. del Castillo y C. Gutiérrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 13: 96-105.
- Collins, H. P., L. F. Elliot, R. W. Rickman, D. F. Bezdicsek, and R. I. Papendick. 1990. Decomposition and interactions among wheat residue components. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:780-785.
- Díaz R., M., M. J. Acea, and T. Carballas. 1993. Microbial biomass and its contribution to nutrients concentrations in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 25: 25-31.
- Ernst, O., O. Betancur y R. Borges. 2002. Descomposición de rastrojo de cultivos en siembra sin laboreo: trigo, maíz soja y trigo después de maíz o de soja. *Agrociencia* 6: 20-26.
- Franco-Vizcaíno, E. 1997. Comparative soil quality in maize rotations with high or low residue diversity. *Biol. Fertil. Soils* 24: 32-38.
- Jenkinson, D. S. and D. S. Powelson. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8: 209-213.
- Knoepp, J. D., D. C. Coleman, D. A. Crossley Jr., and J. S. Clark. 2000. Biological indices of soil quality: an ecosystem case study of their use. *For. Ecol. Manage.* 138: 357-368.
- Labrador, M. J. 1996. La materia orgánica en los agrosistemas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Mera O., L. M. 1989. Condiciones naturales para la producción. pp. 21-49. *In*: Parra-Vázquez, M. R. (ed.). El subdesarrollo agrícola en los Altos de Chiapas. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste-Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.
- Moscatelli, M. C., A. Lagomarsino, S. Marinari, P. de Angelis, and S. Grego. 2005. Soil microbial indices as bioindicators of environmental changes in a poplar plantation. *Ecol. Indicators* 5: 171-179.
- Nicolardot, B., S. Recous, and B. Mary. 2001. Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C:N ratio of the residues. *Plant Soil* 228: 83-103.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, Martes 31 de diciembre de 2002.
- Pool-Novelo, L., A. Trinidad-Santos, J. Etchevers-Barra, J. Pérez-Moreno y A. Martínez-Garza. 2000. Mejoradores de la fertilidad del suelo en la agricultura de ladera de Los Altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 34: 251-259.
- Stotzky, G. 1965. Microbial respiration. pp. 1550-1572. *In*: Black, C. A., Evans, D. D., White, J. L., Ensminger, L. E., and Clark, F. E. (eds.). *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and Microbial Properties.* American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.
- Swift, M. J. and J. M. Anderson. 1993. Biodiversity and ecosystem function in agricultural systems. pp. 15-41. *In*: Schulze E. D., Mooney H. A. (eds.). *Biodiversity and ecosystem function. Ecological studies: Analysis and synthesis*, vol 99. Springer, Berlin Heidelberg New York, NY, USA.
- Velázquez G, J. de J., J. R. Salinas G., K. N. Potter, M. Gallardo V., F. Caballero H. y P. Díaz M. 2002. Cantidad, cobertura y descomposición de residuos de maíz sobre el suelo. *Terra* 20: 171-182.