

BIOMASA MICROBIANA EN UN SUELO SOMETIDO A DIFERENTES MANEJOS DE LABRANZA Y ROTACIÓN¹

Microbial biomass in a soil with different management of tillage and rotation

Iván Vidal P.², Jorge Etchevers³ y Anthony Fischer⁴

S U M M A R Y

The effects of tillage (conventional vs no-till), management of residues (retention vs removal), and rotation (continuous wheat, continuous maize, wheat-maize, medicago-wheat, medicago-maize, oats/vetch-wheat and oats/vetch-maize), on C and N microbial biomass in soil. The experiment begun in 1991 and the present work covered the agricultural cycle of 1993 (the third year of the experiment). The C-biomass was affected by both tillage system and management of residues. Microbial biomass increased 30-40% under no-till and 20-30% under residue retention. N-biomass was highly correlated with C-biomass ($r = 0.86^{**}$), and no-till with residue retention had the highest values of the treatments (38, 55 and 92% for no-till/remove, conventional/retention and conventional/remove, respectively). The determination of microbial biomass appears to be easier than measurement of organic-C and total N to evaluate the effects of management practices in soil.

Key words: no-till, conventional tillage, C-biomass, N-biomass, residues.

INTRODUCCIÓN

Actualmente no se cuenta con un conjunto adecuado de índices para evaluar la sustentabilidad de las prácticas agronómicas en relación al suelo. Debido a la justificada preocupación por la degradación del suelo y sus efectos adversos sobre la productividad agrícola y calidad del ambiente, es preciso ofrecer algunas alternativas de respuesta. El deterioro del suelo comprende procesos tales como erosión, pérdida de materia orgánica, compactación, salinización, contaminación y reducida actividad biológica, lo que se ha extendido ampliamente en los suelos agrícolas, como consecuencia de prácticas de producción más intensivas y por la expansión de la agricultura en ambientes más frágiles.

El presente trabajo es fruto de la convicción de que las actuales prácticas de cultivo que se llevan a cabo en las diferentes regiones del mundo, como son la labranza indiscriminada del suelo, la aplicación de grandes cantidades de energía, el monocultivo y la quema o remoción de los residuos de cosecha, no

son técnicas compatibles con el concepto de agricultura sostenible, particularmente en lo referente a la situación de la biomasa microbiana.

La biomasa microbiana del suelo, se refiere a la parte viviente de la materia orgánica, sin considerar las raíces de las plantas ni organismos de tamaño mayor de $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ (Jenkinson y Ladd, 1981). La biomasa juega un doble papel en el suelo: como agente de transformación de todos los materiales orgánicos que llegan al suelo y también como una reserva lábil de N, P y S (Jenkinson y Ladd, 1981; Bonde *et al.*, 1988). La calidad ambiental y productividad sostenida de los agrosistemas están relacionados con el mantenimiento de la biomasa microbiana del suelo, la cual está fuertemente influenciada por el manejo (Janzen, 1987).

Prácticas tales como la labranza, rotación de cultivos, manejo de residuos y fertilización, regulan la biomasa microbiana, la que interviene en los procesos de descomposición de los residuos, ciclos de los nutrientes y transformación de la materia orgánica del suelo (Collins *et al.*, 1992; Doran y Smith, 1987). De esta forma, por ejemplo, la adición de residuos vegetales o estiércol animal, influyen positivamente la actividad y cantidad de la biomasa microbiana. El rango normal de C-biomasa (biomasa microbiana expresada en función de su contenido de C) en suelos bajo cultivo de cereales es de 100

¹Recepción originales: 30 de septiembre de 1996.

²Dpto. de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. Casilla 537, Chillán, Chile. email: ivaldal@rocketmail.com

³Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Naturales, Chapingo, Méx., México.

⁴Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, Méx., México.

a 600 mg/kg y puede exceder 1.500 mg/kg bajo pradera o en condiciones de suelo virgen (Anderson y Domsch, 1989).

Sparling *et al.* (1992), informan que después de 11 años de maíz continuo, el C-biomasa se redujo en un intervalo de 54 a 60% en los primeros 20 cm de suelo, en comparación con pradera permanente. Se presentó, además, una estrecha correlación positiva con la estabilidad de los agregados del suelo ($r^2 = 0,78$). Por otro lado, Collins *et al.* (1992), en relación al manejo de residuos, en un ensayo de larga duración, reportaron una reducción de 57% en C-biomasa cuando se procedió a quemar el rastrojo.

El presente trabajo forma parte de un proyecto de investigación en agricultura sostenida, para maíz y trigo que el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) lleva a cabo en su Estación Experimental El Batán, México. Dentro de este proyecto se diseñó un ensayo de larga duración donde se están evaluando sistemas de labranza (cero y convencional), rotación, manejo de residuos (con y sin residuos) y nitrógeno (dos dosis). En este escrito se cuantifica la incidencia de diferentes técnicas de manejo del suelo sobre la biomasa microbiana del suelo (C-biomasa y N-biomasa) al cabo del tercer año de haber establecido el experimento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del experimento y características del terreno experimental

La investigación se desarrolló bajo condiciones de secano, en la Estación Experimental de CIMMYT "El Batán", México Central (19° 31' lat. N, 98° 50' lat. O; 2.249 m.s.n.m.) en un experimento de larga duración que se había iniciado en 1991. La precipitación promedio anual en el sitio es de 625 mm, las temperaturas mínima y máxima promedio son 5 °C y 23,3 °C. El suelo es un Vertisol y algunas características físicas y químicas se presentan en el Cuadro 1.

El experimento consistió en una combinación de dos tipos de labranza (convencional vs cero), manejo de residuos (retención vs remoción) y varios patrones de cultivo (trigo continuo, maíz continuo, trigo-maíz, medicago-trigo, medicago-maíz, avena/vicia-trigo y avena/vicia-maíz) sobre el C-biomasa y N-biomasa. Las leguminosas empleadas fueron *Medicago polymorpha* L. y *Vicia benghalensis* L.

El diseño experimental fue bloques al azar con parcelas principales divididas. Las parcelas principales (7,5 x 22 m) se manejaron con la combinación de

CUADRO 1. Características físicas y químicas iniciales del suelo a la profundidad 0 - 20 cm

TABLE 1. Chemical and physic characteristics of the soil at depth 0 to 20 cm

Determinación	Valor
Arcilla	47%
Limo	18%
Arena	35%
Densidad aparente	1,20 g/cc
Agua a 0,3 bar	33,98% bps
Agua a 15 bar	18,18% bps
Agua aprovechable	15,80%
N inorgánico	50 ppm
N total	0,126%
Materia orgánica	2,41%
Fósforo Olsen	50 ppm
K intercambio	1,18 cmol(+)/kg suelo
Ca intercambio	14,3 cmol(+)/kg suelo
Mg intercambio	6,2 cmol(+)/kg suelo
Na intercambio	0,26 cmol(+)/kg suelo
CIC	25,8 cmol(+)/kg suelo
Saturación de bases	85%
pH	6,48
Conductividad eléctrica	0,125 mmhos/cm

los tratamientos rotación, labranza y residuo y las subparcelas (7,5 x 11 m) con dos niveles de N utilizados en maíz y trigo (0 y 100 kg N/ha). En el terreno los tratamientos se agruparon en dos bloques.

Determinación de C orgánico y N total

Al comienzo del tercer ciclo de cultivos (4 de junio de 1993), se extrajeron cinco muestras de suelo de la profundidad de 0 a 20 cm en las subparcelas con y sin N sembradas ese año con maíz y trigo. Estas muestras fueron analizadas en su contenido de N total y C orgánico. El N total del suelo fue determinado por el procedimiento semi micro-Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982) y el C orgánico por oxidación húmeda (Mebius, 1960).

Estimación del C-Biomasa y N-Biomasa del suelo

Todos los tratamientos con fertilización nitrogenada y sembrados ese año con trigo y maíz fueron muestreados (0-20 cm) después de cosecha (9 de diciembre de 1993). Estas muestras fueron secadas al aire y posteriormente almacenadas a 5 °C hasta su posterior análisis.

Para la determinación de C-biomasa se emplearon las técnicas de fumigación-incubación (FI) (Jenkinson, 1988) y fumigación-extracción (FE) (Vance *et al.*, 1987). Para N-biomasa se usaron las técnicas

FI (Gallardo y Schlesinger, 1990) y FE (Joergensen y Brookes, 1990), con ligeras modificaciones.

Método Fumigación-Incubación (C-biomasa): Las muestras (25 g) se preincubaron en un frasco plástico hermético de 500 cm³, por un período de 7 días a un 40% de la capacidad de retención de agua y 25 °C, en presencia de "soda lime". Posteriormente, se sometieron a un proceso de fumigación con cloroformo libre de etanol por un período de 24 horas. La operación se realizó en un desecador, al cual se le reguló la presión a 0,7 a 0,8 atm. Para evacuar el cloroformo de las muestras se aplicó seis veces consecutivas un vacío de -0,7 atm. La incubación se condujo en un frasco plástico de aproximadamente 500 cm³ cerrado herméticamente, las muestras fumigadas se colocaron en un vaso precipitado de 100 cm³ y se introdujeron en el frasco acompañadas de dos depósitos, uno conteniendo 5 ml de NaOH 0,5 M, para atrapar el CO₂ desprendido, y el otro conteniendo 5 ml de agua para mantener un ambiente húmedo dentro del frasco y evitar evaporación de la muestra. El período de incubación correspondió a 10 días a una temperatura de 25 °C. En forma paralela se llevaron controles con los mismos suelos, pero sin fumigación.

Para calcular el C-biomasa se usó la siguiente expresión:

$$\text{C-biomasa} = (\text{Ct} - \text{Cc}) / \text{Kc}$$

donde:

Ct = ugC/g suelo en la muestra fumigada.
Cc = ugC/g suelo en la muestra control no fumigada.
Kc = 0,45 (Jenkinson y Ladd, 1981).

Método Fumigación-Incubación (N-biomasa): A las muestras de suelo descritas en el punto anterior, después de fumigarlas e incubarlas por 10 días, se les extrajo el amonio, agitando por 60 minutos con 100 ml K₂SO₄ 0,25 M. La determinación de amonio se efectuó de acuerdo a la técnica de microdifusión (Stanford *et al.*, 1973). No se midió nitratos porque se considera que los suelos recientemente fumigados no nitrifican en el período de la determinación.

Con la determinación de amonio de las muestras, se calculó el N-biomasa usando la relación:

$$\text{N-biomasa} = \text{FN} / \text{Kn}$$

donde:

FN = Flujo de N (N-NH₄) mineralizado después de la fumigación.

Kn = Fracción de N en la biomasa muerta que es mineralizada bajo las condiciones particulares del método (0,57).

Método Fumigación-Extracción (C-biomasa): Las muestras de suelo fueron tratadas igual que en el caso anterior, pero se extrajo inmediatamente el C y N después de la fumigación, para lo cual se usó como extractante K₂SO₄ (0,25M), en una relación suelo:extractante 1:4, agitando por 60 minutos. Simultáneamente se trataron las muestras control sin fumigar. Los extractos de suelo fueron congelados hasta su uso posterior, después de filtrados y tratados con H₂SO₄ (2 a 3 gotas) para inhibir la descomposición de C orgánico. El C orgánico extraído con el K₂SO₄ fue medido por digestión con dicromato (Vance *et al.*, 1987). El C-biomasa se estimó desde la relación:

$$\text{C-biomasa} = \text{Ec} / \text{Kec}$$

donde:

Kec = 0,38 (Vance *et al.*, 1987).
Ec = C orgánico extraído desde la muestra fumigada menos el C orgánico extraído de la muestra sin fumigar.

Método Fumigación-Extracción (N-biomasa): El N orgánico fue determinado en 10 ml de extracto K₂SO₄, por la técnica Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982), después de evaporar el agua por alrededor de 3 horas con una mezcla de H₂SO₄ (1 ml) y FeSO₄ · 7H₂O. El N-biomasa se calculó mediante la relación:

$$\text{N-biomasa} = \text{En} / \text{Ken}$$

donde:

En = N total extraído de la muestra fumigada menos el N total extraído de la muestra sin fumigar.
Ken = 0,23 de acuerdo a Sparling y Zhu (1993).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

C orgánico y N total

Algunas propiedades químicas del suelo fueron alteradas por efecto de los diferentes tratamientos de manejo de suelos. El C orgánico a la profundidad de 0 a 20 cm fue afectado por residuos, nitrógeno e interacciones labranza x residuos y residuos x rotación (Cuadro 2). El C orgánico varió de 0,98 a 1,33% en los diferentes tratamientos y la retención de residuos significó un incremento promedio de esta variable del orden del 5%, y fue superior este efecto en

CUADRO 2. Efecto de los tratamientos de rotación, labranza, residuos y nitrógeno sobre el N total y C orgánico del suelo**TABLE 2. Effect of the nitrogen, residues, tillage and rotation treatments on total N and organic C of the soil**

Rotación	Labranza/Residuos	N total (%)			C orgánico (%)			Rel. C/N
		N1	N2	Media	N1	N2	Media	
Trigo-Trigo	Cero Retención	0,129	0,129	0,129	1,087	1,171	1,129	8,73
	Cero Remoción	0,125	0,127	0,126	1,229	1,160	1,194	9,44
	Conv. Retención	0,125	0,131	0,128	1,180	1,122	1,151	8,97
	Conv. Remoción	0,126	0,144	0,135	1,204	1,162	1,183	8,75
Maíz-Trigo	Cero Retención	0,132	0,130	0,131	1,212	1,148	1,180	9,00
	Cero Remoción	0,127	0,126	0,126	1,154	1,067	1,110	8,76
	Conv. Retención	0,120	0,137	0,129	1,241	1,238	1,239	9,60
	Conv. Remoción	0,123	0,118	0,120	1,218	1,084	1,151	9,53
Vicia-Trigo	Cero Retención	0,136	0,138	0,137	1,212	1,116	1,164	8,49
	Cero remoción	0,126	0,134	0,130	1,238	1,148	1,193	9,14
	Conv. Retención	0,126	0,139	0,133	1,328	1,134	1,231	9,25
	Conv. Remoción	0,130	0,125	0,127	1,148	1,218	1,183	9,27
Med.-Trigo	Cero Retención	0,141	0,150	0,145	1,183	1,282	1,232	8,47
	Cero Remoción	0,137	0,141	0,139	1,212	1,061	1,136	8,17
Maíz-Maíz	Cero Retención	0,126	0,120	0,123	1,197	1,232	1,215	9,87
	Cero Remoción	0,124	0,120	0,122	1,064	1,041	1,052	8,59
	Conv. Retención	0,138	0,143	0,140	1,191	1,099	1,145	8,13
	Conv. Remoción	0,135	0,121	0,128	1,212	1,183	1,197	9,33
Trigo-Maíz	Cero Retención	0,141	0,128	0,134	1,177	1,218	1,197	8,88
	Cero Remoción	0,122	0,126	0,124	1,160	1,116	1,138	9,16
	Conv. Retención	0,124	0,129	0,126	1,258	1,189	1,223	9,65
	Conv. Remoción	0,124	0,122	0,123	1,081	1,200	1,140	9,25
Vicia-Maíz	Cero Remoción	0,133	0,129	0,131	1,116	1,114	1,115	8,49
	Conv. Remoción	0,128	0,118	0,123	1,081	0,983	1,032	8,35
Error St.	- Tratamiento principal			0,003			0,018	
	- N dentro trat. Principal			0,003			0,015	
Promedios factor principal								
Trigo-Trigo				0,129 a*			1,164 a	8,97
Maíz-Trigo				0,126 a			1,170 a	9,22
Vicia-Trigo				0,132 a			1,192 a	9,03
Medicago-Trigo				0,142 a			1,184 a	8,32
Maíz-Maíz				0,128 a			1,152 a	8,96
Trigo-Maíz				0,127 a			1,175 a	9,23
Vicia-Maíz				0,127 a			1,073 b	8,42
Labranza	Cero			0,131 a			1,160 a	8,85
	Convencional			0,129 a			1,173 a	9,09
Residuos	Retención			0,132 a			1,192 a	9,03
	Remoción			0,127 b			1,141 b	8,98
Nitrógeno	N1 = 0 kg N ha ⁻¹			0,129 a			1,185 a	9,19
	N2 = 100 kg N ha ⁻¹			0,130 a			1,147 b	8,82

*Letras distintas indican diferencias significativas a ($P < 0,05$), según Prueba de Rango Múltiple de Duncan.

las rotaciones que incluyeron maíz como cultivo previo. En la rotación vicia-trigo se dio un efecto inverso, posiblemente como consecuencia de una mineralización más rápida de los rastrojos. La fertilización nitrogenada redujo esta variable en 380 mg kg⁻¹, lo que posiblemente también es consecuencia de una mineralización más rápida del C orgánico. La cero labranza con retención de residuos presentó los mayores valores de C orgánico y este efecto fue más manifiesto en el cultivo de maíz. Esta cantidad extra de C orgánico en el tratamiento cero labranza con residuos podría ser atribuido a una menor tasa de descomposición de la materia orgánica como consecuencia de una distribución diferente de la materia orgánica en el perfil de suelo (Baeumer y Bakermans, 1973; House *et al.*, 1984).

El N total del suelo varió de 0,118% a 0,150% y fue sólo afectado por el manejo de residuos. La retención de éstos aportó en promedio 50 mg N kg⁻¹, extra al suelo, esto es aproximadamente 100 kg de N en los primeros 20 cm de suelo. El porcentaje de N total fue similar entre las rotaciones, sistemas de labranza y dosis de N, lo que sugiere que los cambios de la concentración de este elemento fueron dominados por el nivel de residuos retenidos y no por el contenido de N en este material.

Los cambios producidos en las variables químicas mencionadas deja de manifiesto que, bajo las condiciones edafoclimáticas del presente ensayo, y con las prácticas de manejo empleadas es posible revertir en corto plazo las tendencias degradativas del suelo, para hacer los sistemas de cultivo más sostenibles. Es ampliamente reconocida la importante contribución de la materia orgánica: (1) como la mayor fuente natural de nutrientes inorgánicos y de energía microbiana para el suelo, (2) como materia prima para la producción de sustancias que exhiben intercambio iónico y capacidad quelante, lo cual mejora la retención de agua y de nutrientes, (3) para promover una mejor agregación del suelo y un mayor desarrollo radical, y (4) para mejorar la infiltración y eficiencia de uso de agua (Rasmussen y Collins, 1991).

Biomasa microbiana

La biomasa microbiana (C-biomasa), medida por los métodos FI y FE se muestra en el Cuadro 3. El intervalo de variación de ésta fue de 137 a 434 ug C g⁻¹ suelo, usando el método FI y de 142 a 477 ug C g⁻¹ suelo para FE. Cabe señalar, que el flujo de C orgánico (Ec) representó aproximadamente un 50% de la liberación de C-CO₂ (Fc), después de la fumigación con cloroformo, lo que se considera una pro-

porción relativamente baja, puesto que en trabajos anteriores Ec ha variado entre 60 a 100% de Fc (Chaussod *et al.*, 1988; Zagal, 1993 y Vance *et al.*, 1987). Los valores de C-biomasa medidos por ambos métodos fueron consistentes y correlacionaron alta y significativamente entre ellos ($r = 0,77^{**}$). El C-biomasa representó un 2,6% del C orgánico total del suelo, lo cual está dentro del intervalo de 1 - 4% indicados por muchos autores (ej.: Chander y Brookes, 1993; Insam *et al.*, 1989 y Jenkinson y Ladd, 1981). Existe, además, acuerdo con lo indicado por Jenkinson y Ladd (1981), en relación a que las situaciones que favorecen la acumulación de materia orgánica en el suelo, incrementan la cantidad de biomasa y la proporción de esta biomasa en la materia orgánica total del suelo.

El C-biomasa fue significativamente menor ($P < 0,01$) en los tratamientos con labranza convencional y remoción de residuos. El tipo de rotación tuvo un efecto secundario ($P = 0,07$). No se presentó interacción entre ninguno de los efectos principales. El sistema de cero labranza incrementó en un 30 a 40% el C-biomasa y la retención de residuos en un 20 a 30%. Si se considera el efecto combinado de cero labranza y retención de residuos como 100% de C-biomasa los tratamientos cero labranza con remoción de residuos y labranza convencional con retención y remoción de éstos, alcanzaron valores de 80, 70 y 60%, respectivamente. Para el cálculo anterior se excluyeron las rotaciones medicago-trigo y vicia-maíz, ya que no consideraban todas las combinaciones de tratamientos. Similares resultados fueron obtenidos por Saffigna *et al.* (1989) y Santanoglia *et al.* (1989), quienes atribuyeron esta situación a mejores condiciones físicas del suelo, mayor retención de humedad y mayor sustrato carbonado en el sistema de cero labranza. Como consecuencia de las diferencias en la cantidad y tipo de residuos incorporados, el C-biomasa representó el 3,2; 2,9; 2,4 y 2,0% del C orgánico total del suelo, en los tratamientos labranza cero con y sin retención de residuos y labranza convencional con y sin retención de residuos, respectivamente.

El efecto de la rotación sobre C-biomasa, fue escaso y no se detectó efecto mediante el método FE. Cuando se empleó la técnica FI se observaron diferencias entre las rotaciones medicago-trigo y vicia-maíz, siendo menor el C-biomasa en esta última, consecuencia posiblemente de déficit de humedad en este tratamiento. No obstante, estas dos rotaciones no son muy comparables, puesto que no presentaban las mismas combinaciones de tratamientos.

CUADRO 3. Liberación de CO₂-C (Fc) y C orgánico extractable (Ec) después de la fumigación con cloroformo y C-Biomasa microbiana determinado por los métodos Fumigación-incubación (FI) y Fumigación-extracción (FE)

TABLE 3. CO₂-C (Fc) and extractable organic C (Ec) production after fumigation with chloroform and microbial C-biomass determined by Fumigation -Incubation (FI) and Fumigation-extraction (FE) methods

Rotación	Labranza/Residuos	Fumigación-Incubación		Fumigación-Extracción		Ec/Fc %
		Fc	C-Biomasa	Ec	C-Biomasa	
		----- ug g ⁻¹ ----->				
Trigo-Trigo	Cero Retención	142	316	76	330	53,5
	Cero Remoción	121	269	55	238	45,2
	Conv. Retención	94	209	33	142	34,6
	Conv. Remoción	89	197	63	276	71,7
Maíz-Trigo	Cero Retención	188	417	93	403	49,3
	Cero Remoción	154	343	84	366	54,5
	Conv. Retención	155	344	78	337	50,1
	Conv. Remoción	106	234	51	222	48,4
Vicia-Trigo	Cero Retención	176	391	94	408	53,4
	Cero Remoción	176	391	83	362	47,2
	Conv. Retención	129	287	69	300	53,3
	Conv. Remoción	123	272	51	220	41,2
Med-Trigo	Cero Retención	140	311	72	314	51,6
	Cero Remoción	188	418	76	329	40,2
Maíz-Maíz	Cero Retención	195	434	110	477	56,2
	Cero Remoción	117	260	61	264	51,9
	Conv. Retención	129	286	80	347	61,8
	Conv. Remoción	103	228	48	207	46,3
Trigo-Maíz	Cero Retención	159	353	78	340	49,3
	Cero Remoción	141	313	48	210	34,2
	Conv. Retención	122	271	70	306	57,6
	Conv. Remoción	106	234	57	246	53,6
Vicia-Maíz	Cero Remoción	124	274	62	271	50,4
	Conv.Remoción	62	137	35	150	56,1
Error st.		6	14	3	13	
		Promedios C-Biomasa factor principal				
Trigo-Trigo			248 ab		246 a	
Maíz-Trigo			335 ab		332 a	
Vicia-Trigo			335 ab		322 a	
Medicago-Trigo			365 a		322 a	
Maíz-Maíz			302 ab		323 a	
Trigo-Maíz			293 ab		275 a	
Vicia-Maíz			206 b		210 a	
Labranza	Cero		344 a		330 a	
	Convencional		244 b		252 b	
Residuos	Retención		329 a		335 a	
	Remoción		276 b		257 b	

*Letras distintas indican diferencias significativas a (P < 0,05), según Prueba de Rango Múltiple de Duncan.

El N-biomasa, medido por los métodos FI y FE se muestra en el Cuadro 4. La tendencia de esta variable fue consistente con la de los valores de C-biomasa observados en los diferentes tratamientos. La correlación entre ambas determinaciones fue estrecha ($r = 0,86^{**}$). Los promedios de N-biomasa medido con los métodos FI y FE fueron 51 ug N g^{-1} y 34 ug N g^{-1} suelo, respectivamente. El coeficiente de correlación (r) entre los valores establecidos con ambas técnicas fue de $0,61^{**}$. La N-biomasa correspondió a 3,9 y 2,6% del N total del suelo cuando se usó la técnica FI y FE, respectivamente. Anderson y Domsch (1980) encontraron desde 0,5 a 15,5% del N total asociado con la biomasa microbiana en 26 suelos agrícolas. El mayor de estos porcentajes es inusual, puesto que en la mayoría de los suelos no supera el 3% (Stevenson, 1986) y los valores presentados en el presente trabajo coinciden con los encontrados por Gallardo y Schlesinger (1990).

El análisis de varianza para ambos métodos mostró diferencias significativas entre los tratamientos de labranza ($P < 0,01$), residuos ($P < 0,01$) y rotación ($P < 0,05$). Ninguna de las interacciones incidieron en esta variable. El sistema de cero labranza con retención de residuos se destacó como el tratamiento con mayor contenido de N-Biomasa y superó a los tratamientos cero-remoción, convencional-retención y convencional-remoción en 38, 55 y 92%, respectivamente (usando método FI como referencia). Respecto al efecto de la rotación, la secuencia vicia-maíz (VM) presentó los valores menores y mostró diferencia estadísticamente significativa ($P < 0,05$) con el resto de las rotaciones.

La relación microbiana C/N varió de 4,1 a 8,8 (FI) y de 5,5 a 10,2 (FE). El método FE arrojó mayores valores de esta relación y algunos de estas cifras superaron levemente la relación C/N global del suelo, lo que no es razonable e indica que el uso de un simple factor de conversión (Kec) es inapropiado. Collins *et al.* (1992) y Dalal y Mayer (1987) también reportaron que la relación C/N microbiana a veces se aproxima a la relación global del suelo y sugieren que ello representa una biomasa microbiana estabilizada que permanece después de la mineralización de los componentes lábiles de la biomasa durante la incubación. Considerando como referencia los datos obtenidos con la técnica FI, las parcelas bajo el tratamiento de cero labranza con retención de residuos mantuvieron en general una relación más estrecha, resultado de un mayor aporte de N, y ello puede indicar un cambio en la población microbiana dominante. Wheatley *et al.* (1990), han señalado que la reducción en la relación C/N microbiana puede ser consecuencia de una transformación de las poblaciones desde hongos a bacterias. Por consiguiente,

para futuros trabajos de esta naturaleza, se desprende la necesidad de estudiar las poblaciones microbianas y la dinámica de éstas, puesto que en México no existen antecedentes al respecto.

El N-biomasa representó un 5,5, 4,1, 3,4 y 3,1% del N total del suelo en los tratamientos labranza cero con y sin retención de residuos y labranza convencional con y sin retención, respectivamente.

De acuerdo a lo anterior, se puede inferir que los cambios en el manejo del suelo causan incrementos o reducciones en la biomasa microbiana mucho más rápido que los cambios que sufre la materia orgánica total del suelo. Adams y Laughlin (1981) y Ayanaba *et al.* (1976), señalan que el cambio de manejo de un suelo de forestal o pradera a suelo arable causó una reducción considerablemente mayor en la biomasa microbiana que en el C orgánico del suelo. Igualmente, Powlson *et al.* (1987), reportaron que después de 18 años de incorporación de rastrojo en el suelo causó un incremento de 40 a 50% del C-biomasa y el C orgánico sólo se incrementó un 5%. Similares resultados han sido informados por Saffigna *et al.* (1989), para suelos australianos. Así, existen muchos otros trabajos que sustentan la misma idea original de Jenkinson (1976), que la biomasa microbiana es un indicador mucho más sensible de los cambios de las condiciones del suelo comparado con la materia orgánica total y puede servir como una "advertencia" antes que tales cambios puedan ser detectados de otras formas.

Los resultados anteriores son consistentes con lo informado por Doran (1980), quién encontró en suelos con labranza reducida, mayor población microbiana y una superior actividad fosfatasa y deshidrogenasa, que en suelos labrados convencionalmente. La cantidad de microorganismos aeróbicos fue 10 a 80% superior, y las bacterias anaeróbicas (incluyendo desnitrificadoras) fueron 60 a 300% superiores en la parte superficial de un suelo con labranza reducida comparado con convencional. Gupta y Germida (1988), hicieron similares observaciones y encontraron que los hongos son particularmente sensibles al efecto de la labranza.

A modo de conclusión se puede señalar, que la cero labranza con retención de residuos presentó los mayores valores de C orgánico del suelo. Las diferentes rotaciones no afectaron a esta variable. En tanto, el N total fue sólo afectado por el manejo de residuos, incrementándose significativamente con la retención de éstos. En tanto, la biomasa microbiana fue afectada significativamente por el sistema de labranza y manejo de residuos. Los niveles de C-biomasa y N-biomasa presentaron la siguiente secuencia: cero labranza con retención de residuos >

CUADRO 4. Liberación de N mineral (Fn) y N total extractable (En) después de la fumigación con cloroformo y N-Biomasa microbiana determinado por los métodos Fumigación-Incubación (FI) y Fumigación-Extracción (FE) a la profundidad de 0 a 20 cm

TABLE 4. Mineral N (Fn) and extractable total N (En) production after fumigation with chloroform and microbial N-biomass determined by Fumigation-Incubation (FI) and Fumigation-Extraction (FE) methods

Rotación	Labranza/Residuos	Fumigación-Incubación		Fumigación-Extracción		En/Fn %
		Fn	N-Biomasa	En	N-Biomasa	
		<----- ug g ⁻¹ ----->				
Trigo-Trigo	Cero Retención	45	78	13	35	30,1
	Cero Remoción	25	43	12	30	46,8
	Conv. Retención	21	36	10	26	46,9
	Conv. Remoción	20	35	11	30	56,9
Maíz-Trigo	Cero Retención	40	70	16	43	41,2
	Cero Remoción	28	49	16	42	57,1
	Conv. Retención	29	51	15	38	50,3
	Conv. Remoción	22	38	10	26	44,4
Vicia-Trigo	Cero Retención	45	79	18	46	39,3
	Cero Remoción	39	69	16	42	40,7
	Conv. Retención	28	49	14	36	49,5
	Conv. Remoción	28	49	10	27	36,7
Med-Trigo	Cero Retención	22	39	13	34	59,1
	Cero Remoción	36	63	15	40	42,4
Maíz-Maíz	Cero Retención	39	68	20	54	52,5
	Cero Remoción	26	46	13	34	49,7
	Conv. Retención	25	45	13	35	52,2
	Conv. Remoción	19	34	10	26	52,6
Trigo-Maíz	Cero Retención	40	70	16	42	39,9
	Cero Remoción	34	60	11	28	31,2
	Conv. Retención	32	56	12	30	35,9
	Conv. Remoción	19	33	10	27	53,6
Vicia-Maíz	Cero Remoción	18	31	12	31	66,3
	Conv. Remoción	18	31	7	18	37,2
Error st.		1,9	3,4	0,5	1,4	
Promedios N-Biomasa factor principal						
Trigo-Trigo			48 a*		30 ab	
Maíz-Trigo			52 a		37 a	
Vicia-Trigo			62 a		38 a	
Medicago-Trigo			51 a		37 a	
Maíz-Maíz			48 a		37 a	
Trigo-Maíz			55 a		32 ab	
Vicia-Maíz			31 a		25 b	
Labranza	Cero		59 a		39 a	
	Convencional		42 b		29 b	
Residuos	Retención		58 a		38 a	
	Remoción		45 b		32 b	

*Letras distintas indican diferencias significativas a (P < 0,05), según Prueba de Rango Múltiple de Duncan.

cero labranza sin residuos > convencional con retención > convencional sin residuos. La determinación de la biomasa microbiana se destacó como una

técnica mucho más sensible que el C orgánico y N total del suelo, para evaluar el efecto de diferentes prácticas de manejo del suelo.

RESUMEN

Se evaluó el efecto del tipo de labranza (convencional vs cero), manejo de residuos (retención vs remoción) y rotación (trigo continuo, maíz continuo, trigo-maíz, trigo-medicago, maíz-medicago, trigo-avena/vicia y maíz-avena/vicia) sobre el C-biomasa y N-biomasa microbiano del suelo. Al experimento se le dio comienzo en 1991 y el presente trabajo cubrió el ciclo agrícola 1993, correspondientes al tercer año del experimento. El C-biomasa fue sólo afectado por el sistema de labranza y manejo de residuos. El sistema de cero labranza incrementó en un 30 a 40% la biomasa microbiana y la retención de residuos en un 20 a 30%. El N-biomasa presentó una alta

correlación con el C-biomasa ($r = 0,86^{**}$) y el sistema de cero labranza con retención de residuos se destacó como el tratamiento con mayores valores, superando en 38, 55 y 92% a los tratamientos cero labranza/remoción, convencional/retención y convencional/remoción, respectivamente. La determinación de la biomasa microbiana se destacó como una técnica mucho más sensible que el C orgánico y N total del suelo, para evaluar el efecto de las diferentes prácticas de manejo del suelo.

Palabras claves: cero labranza, labranza convencional, C-biomasa, N-biomasa y residuos.

LITERATURA CITADA

- ADAMS, T. and LAUGHLIN, R.L. 1981. The effects of agronomy on the carbon and nitrogen contained in the soil biomass. *J. Agric. Sci.* 97: 319-327.
- ANDERSON, J.P.E. and DOMSCH, K.H. 1980. Quantities of plant nutrient in the microbial biomass of selected soils. *Soil Science* 130: 211-216.
- ANDERSON, T. and DOMSCH, K.H. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21: 471-479.
- AYANABA, A., TUCKWELL, S.B. and JENKINSON, D.S. 1976. The effect of clearing and cropping on the organic reserves and biomass of tropical forest soil. *Soil Biol. Biochem.* 8: 519-525.
- BAEUMER, K. and BAKERMANS W., A.P. 1973. Zero tillage. *Advances in Agronomy* 25: 77-123.
- BONDE, T.A., SCHURER, J. and ROSSWALL, T. 1988. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. *Soil Biol. Biochem.* 20: 447-452.
- BREMNER, J.M. and MULVANEY, C.S. 1982. Nitrogen total. In: A.L. Page *et al.* (Ed). *Methods of soil analysis*, Part 2. 2^a Ed. *Agronomy* 9: 595-624.
- CHANDER, K. and BROOKES, P.C. 1993. Effects of heavy metals on soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 25: 1231-1239.
- CHAUSSOD, R., NICOLARDOT, B., SOULAS, G. and JOANNES, H. 1988. Mesure de la biomasse microbienne dans les sols cultivés. *Rev. Ecol. Biol. Sol* 23: 183-196.
- COLLINS, H.P., RASMUSSEN, P.E. and DOUGLAS, C.L. Jr. 1992. Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 56: 783-788.
- DALAL, R.C. and MAYER, R.J. 1987. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. VII. Dynamics of nitrogen mineralization potentials and microbial biomass. *Austr. J. Soil Res.* 25: 461-472.
- DORAN, J.W. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44: 765-771.
- DORAN, J.W. and SMITH, M.S. 1987. Organic matter management and utilization of soil and fertilizer nutrients. In: J.J. Mortvedt *et al.* (Ed.). *Soil fertility and organic matter as critical components of production systems*. SSSA Spec. Publ. 19. SSSA, Madison, WI. p.: 53-72.
- GALLARDO, A., and SCHLESINGER, W.H. 1990. Estimating microbial biomass nitrogen using the fumigation-extraction methods in a warm-temperate forest soil. *Soil Biol. Biochem.* 22: 927- 932.
- GUPTA, V.V.S.R. and Germida, J.J. 1988. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. *Soil Biol. Biochem.* 20: 777-786.
- HOUSE, G.J.; STINNER, B.J.; CROSSLEY, D.A. ODUM, E.P. and LANGDALE, G.W. 1984. Nitrogen cycling in conventional and no-tillage agroecosystem in the Southern Piedmont. *J. Soil and Water Conservation* 39: 194-200.

- INSAM, H.; PARKINSON, D. and DOMSCH, K.H. 1989. Influence of macroclimate on soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 21: 211-221.
- JANZEN, H.H. 1987. Soil organic matter characteristics after long-term cropping to various spring wheat rotations. *Can. J. Soil Sci.* 67: 845-856.
- JENKINSON, D.S. 1988. The determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. *In: Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Ecosystems.* J.R. Wilson (Ed.). C.A.B. International, Wallingford. p.: 368-386.
- JENKINSON, D.S. and POWLSON, D.S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I. *Soil Biol. Biochem.* 8: 167-177.
- JENKINSON, D.S. and LADD, J.N. 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. *In: Soil Biochemistry.* Vol. 5 (Paul & Ladd, Eds.) Marcel Dekker: New York. p.: 415-471.
- JOERGENSEN, R.G. and BROOKES, P.C. 1990. Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0.5 M K₂SO₄ soil extracts. *Soil Biol. Biochem.* 22: 1023-1027.
- MEBIUS, L.J. 1960. A rapid method for the determination of organic carbon in soil. *Anal. Chim. Acta* 22: 120-124.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C. and CHRISTENSEN, B.T. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 19: 159-164.
- RASMUSSEN, P.E. and COLLINS, H.P. 1991. Long-term impacts of tillage, fertilizer, and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. *Advances in Agronomy* 45: 93-134.
- SAFFIGNA, P.G., POWLSON, D.S. BROOKES, P.C. and THOMAS, G.A. 1989. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian vertisol. *Soil Biol. Biochem.* 21: 759-765.
- SANTANATOGLIA, O.J.; ÁLVAREZ, R.; DANIEL, P.E.; BRAZZOLA, G.M. y GARCÍA, R. 1989. Descomposición de rastrojo de trigo, respiración y biomasa microbiana bajo labranza convencional y siembra directa. *Anales de Edafología y Agrobiología XLVIII(5-12):787-798.*
- SPARLING, G.P. and ZHU, C. 1993. Evaluation and calibration of biochemical methods to measure microbial biomass C and N in soils from Western Australia. *Soil Biol. Biochem.* 25: 1795-1803.
- SPARLING, G.P., SHEPHERD, T.G. and KETTLES, H.A. 1992. Changes in soil organic C, microbial C and aggregate stability under continuous maize and cereal cropping, and after restoration to pasture in soils from the Manawatu region, New Zealand. *Soil & Tillage Research*, 24: 225-241.
- STANFORD, G.; CARTER, J.N. SIMPSON, E.C. and SCHWANNINGER, D.E. 1973. Nitrate determination by a modified Conway microdiffusion method. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 56: 1365-1368.
- STEVENSON, F.J. 1986. *Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients.* Wiley, New York.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. and JENKINSON, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19(6): 703-707.
- WHEATLEY, R.; RITZ, K. and GRIFFITHS, B. 1990. Microbial biomass and mineral N transformations in soil planted with barley, ryegrass, pea, or turnip. *Plant and Soil* 17: 157-167.
- ZAGAL, E. 1993. Carbon and nitrogen flows in the root zone of some agricultural crop species. Influence of plant-microorganism interacción. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Soil Sciences. Uppsala 1993. Ph D. Thesis.