

Adriana GARCIA*
Alejandro MORON**

* Ing. Agr., Suelos. Est. Exp. Alberto Boerger,
INIA La Estanzuela, 70000, Colonia, Uruguay

** Ing. Agr., Dr., Suelos. Est. Exp. Alberto
Boerger, INIA La Estanzuela, 70000, Colonia,
Uruguay

INTRODUCCION

La biomasa microbiana del suelo constituye la parte viva de la materia orgánica excluyendo la fauna macroscópica y las raíces. Representa de 1 a 4% del carbono total del suelo (Alexander, 1977).

El medio ambiente caracterizado por las condiciones edafotopográficas, el tipo de cobertura vegetal y la dinámica estacional determinan la composición biológica de la comunidad microbiana del suelo, su actividad y sobrevivencia. Aquellos factores que alteren las condiciones de equilibrio del ecosistema tenderán a provocar modificaciones en la biomasa y por lo tanto en los procesos en donde ella está involucrada,

SUMMARY

Amounts and dynamics of microbial biomass (biomass C) were studied in three different agricultural systems which had been cropped for 27 years at Alberto Boerger Experimental Station, INIA La Estanzuela, Uruguay.

Plots were sampled 5 times between June/89 and January/90. Biomass C, N, and P were measured using the chloroform fumigation technique.

Average microbial biomass was higher in the pasture crop system than in the continuous crop systems ($P < 0.05$).

Quantities of nutrients (N and P) immobilized in soil biomass were also higher in the crop pasture system, and were linearly related in the 9 plots sampled to biomass C.

Seasonal variations in biomass were observed over the growing season of crops and generally followed their pattern of dry matter production.

Mean annual fluxes of N and P through the biomass (20 cm depth) were estimated and related to crop N and P extractions.

ESTUDIOS DE C, N Y P EN LA BIOMASA MICROBIANA DEL SUELO EN TRES SISTEMAS DE ROTACION AGRICOLA

principalmente en la descomposición de residuos orgánicos y en la dinámica de los nutrientes del suelo, y en consecuencia en su productividad agrícola.

La biomasa microbiana es una fracción relativamente lábil controlada por factores ambientales y aquellos relacionados con los sistemas de producción y manejo de suelos (Jenkinson, 1966; 1976; Jenkinson & Ladd, 1981).

El manejo del suelo y el uso de insumos como fertilizantes y pesticidas, producen cambios cuali y cuantitativos en la biomasa microbiana debidos a efectos directos e indirectos sobre el desarrollo vegetal.

El uso y manejo de los suelos a través de la adición de materia orgánica, modificaciones físicas del suelo provocadas por el laboreo y la inclusión de pasturas, son prácticas de manejo de gran impacto sobre la biomasa (Jenkinson & Powlson, 1976; Adams & Laughlin, 1981; Biederbeck et al., 1984; Carter & Rennie, 1982; 1984; Fyles et al., 1988; Brookes et al., 1984; Follett & Schimel, 1989).

El laboreo en el corto plazo favorece el desarrollo de microorganismos al mejorar las condiciones de aireación, humedad y temperatura del suelo. En suelos sometidos a cultivos intensivos durante largos períodos sin un adecuado suministro de sustrato orgánico, los microorganismos utilizan la materia orgánica del suelo como fuente de C. Así en el largo plazo, las prácticas culturales conducen a un deterioro de las condiciones físicas y disminución del sustrato

orgánico, provocando una reducción en el crecimiento y actividad microbiana (Follett & Schimel, 1989; Woods, 1989).

Se ha sugerido que la biomasa microbiana del suelo puede ser un indicador para estimar el pool de nutrientes disponibles para las plantas (Marumoto et al., 1982).

La célula microbiana puede almacenar cantidades importantes de nutrientes (Anderson & Domsch, 1980), incluso provenientes de los fertilizantes (Huber, 1977). Estos nutrientes quedan inmovilizados en las células microbianas pero son de fácil liberación. Los mecanismos que controlan la proliferación y muerte de microorganismos permitirán que haya o no liberación de esos nutrientes almacenados en la biomasa hacia la solución del suelo. Se ha visto que los ciclos de secado y rehumedecimiento, procesos muy comunes en los suelos, tienen este efecto (Birch, 1964; Marumoto et al., 1982; Tiessen & Stewart, 1983).

Como resultado del reciclaje de la biomasa se han determinado flujos anuales de nitrógeno y fósforo de hasta 40 y 20 kg de nutriente/ha/año respectivamente (Marumoto et al., 1982; Brookes et al., 1984).

Los objetivos de este trabajo son:

- * Determinar el efecto de prácticas de manejo a largo plazo sobre la población microbiana del suelo.
- * Estudiar la dinámica estacional de la biomasa.
- * Realizar algunas estimaciones sobre la importancia de la biomasa en la disponibilidad de nutrientes (N y P) para el desarrollo de las plantas.

RESUMEN

Se estudió el tamaño y la dinámica estacional de la biomasa microbiana del suelo en tres sistemas agrícolas de un experimento de rotaciones luego de 27 años de iniciado, en la Estación Experimental Alberto Boerger, INIA-La Estanzuela, Uruguay.

Entre junio de 1989 y enero de 1990 se realizaron cinco muestreos en los que se determinó C, N y P usando la técnica de fumigación con cloroformo.

La biomasa microbiana del suelo fue significativamente más alta en el sistema de rotación de cultivos con pasturas que en los sistemas de cultivos continuos ($P < 0,05$).

Las cantidades de nutrientes (N y P) inmovilizadas en la biomasa fueron también mayores en el sistema con pasturas y estuvieron correlacionadas en las nueve parcelas muestreadas con las determinaciones de carbono.

El tamaño de la población microbiana mostró variaciones estacionales durante la estación de crecimiento de los cultivos que en general siguieron el patrón de producción de materia seca de los mismos.

Se estimaron los flujos anuales promedio de N y P provenientes de la biomasa y se compararon con las extracciones de estos nutrientes por los cultivos.

MATERIALES Y METODOS

Datos del sitio experimental

Descripción del suelo: Brunosol Eutrítico Típico (Mollisol), con pendiente de 2-4%. Horizonte superficial de 25 cm promedio con textura franco-arcillo-limosa. Capacidad de Intercambio catiónico (CIC) promedio de 22,5 meq/100 g y 80% de saturación en bases.

Los muestreos se realizaron en un experimento de rotaciones iniciado en 1963 en la Estación Experimental Alberto Boerger, INIA La Estanzuela (Uruguay). Del mismo se seleccionaron 3 tratamientos.

Sistema 1: rotación continua de cultivos sin fertilización

Sistema 2: rotación continua de cultivos con fertilización (N-P)

Sistema 5: rotación de pasturas (gramínea + leguminosa) con cultivos y fertilización (3 años de cultivos, 3 años de pasturas).

Cada sistema consta de tres repeticiones desfasadas en el tiempo. Estas parcelas son fajas de 25 metros de ancho por 200 metros de largo. En el cuadro 1 se presenta la secuencia de cultivos y pasturas de los 3 sistemas estudiados, en el período 1984-89.

Se procura mantener el manejo del suelo y de los cultivos lo más homogéneo posible entre las diferentes rotaciones, excepto, naturalmente, en las variables que distinguen un sistema de otro. Las dosis de fertilizantes utilizadas son de aproximadamente 40 kg de P_2O_5 /ha/año y 40 kg de N/ha/año. En el sistema 5 el fertilizante nitrogenado se aplica solo en la etapa de cultivos. Promedialmente, incluyendo la etapa de pasturas, el sistema 5, recibe 20 kg de N/ha/año.

Los cultivos son cosechados y los rastrojos incorporados al suelo. Las pasturas se manejan con cortes mecánicos y el forraje producido es generalmente devuelto al suelo.

Muestreos de suelo y preparación de las muestras

En cada repetición de los tres sistemas estudiados se muestrearon los primeros 20 cm superficiales extrayéndose 15 tomas al azar que se constituyeron en una muestra

compuesta. Las fechas de muestreo y la situación de la chacra figuran en el cuadro 2.

Las muestras llegadas del campo se tamizaron inmediatamente (malla 2 mm) y se acondicionaron manualmente extrayéndose restos vegetales, minerales o de fauna que pudiesen arrojar errores en los resultados. Se determinó la humedad en cada muestra por el método gravimétrico, en submuestras replicadas.

Las muestras se sometieron a una incubación previa en un recipiente grande tapado herméticamente en el que se puso agua, una mezcla de CaO, NaOH y agua y una solución de NaOH para retener el CO₂ liberado.

El período de incubación previa para estabilizar las muestras luego del tamizado fue de por lo menos una semana y no más de 10 días a una temperatura aproximada de 18-20°C.

Determinaciones químicas

Concluida la incubación, se destapó el recipiente que contenía las muestras, a las que se les volvió a determinar humedad por el método gravimétrico. Se tomaron submuestras para determinar M.O. (%) (Tinsley, 1967); N total (%) (Bremner, 1965); pH, en una relación suelo:solución de 1:2,5 y P disponible por los métodos de Resinas de intercambio catiónico (Zamuz & Castro, 1974, modificado), y Bray I (Bray & Kurtz, 1945, modificado). Un resumen de estos datos figuran en el cuadro 3.

Carbono en biomasa

En términos generales se siguió el procedimiento descrito por Cerri et al. (1988) basado en el método de fumigación con cloroformo propuesto por Jenkinson & Powelson (1976).

De cada muestra se tomaron y pesaron 4 submuestras de 50 g de suelo húmedo, 2 para fumigar previo a la incubación y 2 para incubar sin fumigar.

Las muestras a fumigar se pusieron en vasos de vidrio dentro de un desecador conectado a bomba de vacío, junto con un vaso con 15 ml de cloroformo. Las paredes laterales del desecador se cubrieron con papel absorbente embebido en agua para mantener la humedad de las muestras durante la operación de fumigación. Esta se

Cuadro 1. Secuencia de cultivos del experimento de rotaciones iniciado en 1963 (1984-1989).

Bloques	Sistemas 1 y 2		
	BI	BII	BIII
Año			
1984	Cebada/girasol	Sorgo	Trigo
1985	Trigo	Cebada/girasol	Sorgo
1986	Sorgo	Trigo	Cebada/girasol
1987	Cebada/girasol	Sorgo	Trigo
1988	Trigo	Cebada/girasol	Sorgo
1989	Sorgo	Trigo	Cebada/girasol
	Sistema 5		
1984	Cebada/girasol	Sorgo	Pastura
1985	Trigo/pastura	Cebada/girasol	Sorgo
1986	Pastura	Trigo/pastura	Cebada/girasol
1987	Pastura	Pastura	Trigo/pastura
1988	Pastura	Pastura	Pastura
1989	Sorgo	Pastura	Pastura

Cuadro 2. Situación de las parcelas en las diferentes fechas de muestreo.

	Fechas de muestreo				
	29/6/89	17/8/89	28/9/89	20/11/89	25/1/90
Sistema 1					
Parcela 4	Barbecho	Barbecho	Barbecho	Sorgo	Sorgo
Parcela 12	Trigo	Trigo	Trigo	Trigo	Rastrojo
Parcela 21	Barbecho	Cebada	Cebada	Cebada	Girasol
Sistema 2					
Parcela 5	Barbecho	Barbecho	Barbecho	Sorgo	Sorgo
Parcela 9	Trigo	Trigo	Trigo	Trigo	Rastrojo
Parcela 18	Barbecho	Cebada	Cebada	Cebada	Girasol
Sistema 5					
Parcela 6	Barbecho	Barbecho	Barbecho	Sorgo	Sorgo
Parcela 8	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Barbecho
Parcela 20	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura

Cuadro 3. Análisis de suelos (promedio de muestreos).

Sist.	Parcela	pH	MO(%)	Nt(%)	P-Bray µg/g	P-Resinas µg/g
1	4	6.1	2.3	0.12	5.54	2.94
1	12	5.8	2.7	0.13	3.82	2.82
1	21	6.0	2.8	0.14	5.50	4.44
2	5	6.0	2.6	0.13	17.18	15.00
2	9	5.6	3.1	0.15	14.34	13.24
2	18	5.7	2.6	0.13	19.46	17.00
5	6	5.4	3.4	0.18	10.46	9.46
5	8	5.5	3.8	0.20	7.00	6.88
5	20	5.7	3.7	0.20	13.82	11.22
Promedios						
1		6.0	2.6	0.13	4.95	3.40
2		5.8	2.8	0.14	16.99	15.08
5		5.5	3.7	0.20	10.43	9.19

realizó conectando 3 ó 4 veces la bomba de vacío. La muestras estuvieron tratadas con el biocida durante 24 horas.

Concluida la fumigación se quitaron los papeles humedecidos y el cloroformo y se eliminó el fumigante mediante la bomba de vacío.

Se inocularon las muestras provenientes de la fumigación con una punta de espátula de suelo sin fumigar. Posteriormente, las muestras se incubaron.

La incubación para muestras fumigadas y sin fumigar se realizó en frascos de vidrio de 2 litros de capacidad a los que se les selló la tapa con vaselina en pasta. Los frascos contenían la muestra en cuestión y 10 ml de NaOH 1 N. Se pusieron 3 blancos.

El período de incubación fue de 10 días a una temperatura aproximada de 20 °C. Luego de este período se sacaron los vasos con la solución 1 N de soda e inmediatamente se titularon con H₂SO₄ 0,5 N (valorado), agregando previamente 2 ml de solución de BaCl₂ saturada, para precipitar los carbonatos y 2 gotas de fenolftaleína como indicador.

Cálculos:

(C en muestras fumigadas-C en las muestras sin fumigar)/K_c = C en biomasa

Se considera que el 45% del C presente en la biomasa es determinado por este procedimiento, por lo que el K_c utilizado fue 0,45 (Jenkinson & Ladd, 1981).

Nitrógeno en biomasa

Se siguió el procedimiento sugerido por Brookes et al. (1985) con modificaciones.

Se pesaron 4 submuestras de 30 g de suelo húmedo, 2 para fumigación y 2 para extracción directa (control). Con la fumigación se procedió de igual forma que en la determinación de carbono.

En las muestras control, la extracción comenzó al inicio de la fumigación. La extracción en muestras fumigadas y control se realizó con una solución de K₂SO₄ 0,5 M, una relación solución:suelo de 4:1 y 60 minutos de agitado.

Luego del filtrado se tomó una alícuota de 20 ml de extracto a la que se le agregó 5 ml de H₂SO₄ puro para análisis y catalizador (K₂SO₄+Se). La digestión se realizó en un bloque de aluminio (TECATOR). Se hizo evaporar el agua de la solución poniendo los tubos en el digestor a 140 °C sin conectar el sistema de evacuación de gases, hasta que se hubo evaporado toda el agua, entonces, se elevó la temperatura a 400 °C y se realizó la digestión. La destilación y titulación se efectuaron en una unidad de destilación-titulación automática TECATOR (Kjeltec AUTO 1030 Analyzer).

Cálculos:

(N total en muestras fumigadas - N total en muestras sin fumigar)/K_N = N en biomasa microbiana

Se usó un K_N de 0,54.

Fósforo en biomasa

Fue analizado según el método propuesto por Brookes et al. (1982). Seis muestras de 10 g de suelo seco se dividieron en 3 grupos de 2 cada uno. El primer grupo se fumigó con CHCl₃ como fue descrito anteriormente, en tanto que el 2do. y 3er. grupo se incubaron aeróbicamente durante ese lapso. Finalizada la fumigación del 1er. grupo, se efectuó la extracción en los tres grupos, con solución de NaHCO₃ 0,5 M (pH 8,5). Previo a la extracción, al 3er. grupo se le agregó 25 µg de P inorgánico (KH₂PO₄) por gramo de suelo seco para corregir la cantidad de P inorgánico liberado de la biomasa y retenido por el suelo. Las muestras con 200 ml de solución extractiva y 2 g de carbón activado se agitaron 30 minutos y se filtraron (Whatman No. 42). Se tomó una alícuota de 10 ml del filtrado a la que se le

ajustó el pH a 5 con H_2SO_4 , se agregó 8 ml de reactivo (Murphy & Riley, 1962) y se llevó a volumen (50 ml) con agua deionizada. La medición se realizó en espectrofotómetro con un largo de onda de 882 nm.

Cálculos

$25(b - a)/0,40(c - a) = g \text{ de P en biomasa/}$
g de suelo seco.

Donde:

a = μg de P/g de suelo no fumigado

b = μg de P/g de suelo fumigado

c = μg de P/g de suelo no fumigado y
tratado con KH_2PO_4

Se utilizó un K_p de 0,40.

Para convertir las concentraciones de nutrientes en biomasa en cantidades absolutas, se efectuaron mediciones de densidad aparente en cada sistema. El reciente laboreo en la mayoría de las parcelas muestreadas motivó una subestimación de este parámetro, por lo que se utilizaron los datos de un relevamiento previo de propiedades físicas (García et al., 1979) en el que se mantenían las mismas tendencias aunque valores de densidad aparente más altos. Las densidades aparentes consideradas para los cálculos fueron: $1,26 g/cm^3$, $1,22 g/$

cm^3 y $1,06 g/cm^3$ para los sistemas 1, 2 y 5 respectivamente.

Se realizaron análisis de varianza para determinar el efecto de diferentes manejos sobre la biomasa microbiana y se efectuaron correlaciones entre los valores de C, N y P en biomasa y los datos de análisis de suelos para examinar la relación entre estos parámetros y la disponibilidad de nutrientes.

RESULTADOS

Carbono en biomasa

Los datos de Carbono en biomasa microbiana determinados en todos los muestreos se presentan en el cuadro 4.

El C en biomasa promedio de los diferentes sistemas y fechas de muestreo fue de $224 \mu g/g$ de suelo seco y el rango de variación de las determinaciones estuvo entre 88 y $619 \mu g/g$ de C/g, valores determinados en el sistema 1 en tierra arada y en el tercer año de una pastura del sistema 5, respectivamente.

Para una fecha de muestreo dada, el C en biomasa, promedio de los 3 bloques, fue significativamente mayor ($P < 0,05$) en el sis-

Cuadro 4. C en biomasa microbiana. g C/g suelo seco en los 0-20 cm, en distintas fechas de muestreo.

Sistema	Parcela	Fecha de muestreo (día/mes)					Media	21/6/90
		29/6/89	17/8/89	28/9/89	20/11/89	25/1/90		
1	4	137	110	154	105	180	137	121
1	12	103	134	151	223	183	159	174
1	21	88	131	139	222	165	149	N.D.
2	5	195	127	192	189	127	166	164
2	9	166	113	191	229	219	183	138
2	18	136	113	188	219	187	169	N.D.
5	6	288	166	292	298	502	309	289
5	8	390	225	338	620	496	414	313
5	20	276	296	332	431	311	329	N.D.
Promedio sistemas								
	1	109 b	125 b	148 c	183 b	176 b	148 b	
	2	166 b	117 b	190 b	212 b	178 b	173 b	
	5	318 a	229 a	321 a	449 a	436 a	351 a	

(N.D. = no determinado)

Dentro de cada fecha los valores precedidos por una misma letra no difieren estadísticamente entre sí ($P < 0,05$)

tema 5 de rotación con pastura que en los sistemas 1 y 2 de agricultura continua.

Los niveles de C en biomasa determinados en el sistema 2 con fertilización (N-P) fueron en general superiores a los determinados en el control sin fertilizar (Sistema 1), pero las diferencias no fueron estadísticamente significativas, excepto en el 3er. muestreo (fecha: 28/9/89) donde los tres sistemas difirieron significativamente ($P < 0,05$) en el orden $S1 < S2 < S5$.

El C en biomasa promedio de los tres sistemas fue 148, 173 y 352 $\mu\text{g C/g}$ de suelo seco (figura 1) y constituyó un 0,98%, 1,07% y 1,66% del C orgánico total del suelo.

En los tres sistemas, considerando promedios de las 5 fechas de muestreo, las parcelas con suelo desnudo (tierra arada) hasta octubre en que se sembró sorgo (B I), tuvieron tenores de C en biomasa inferiores a los determinados en el mismo sistema, en las parcelas bajo cultivo o pastura (B II y III) pero estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ($P < 0,05$).

Al estudiar la evolución del C en biomasa a través de las fechas de muestreo consecutivas (cuadro 4) los valores mínimos determinados en el promedio de sistemas y parcelas se hallaron en el muestreo de agosto y valores máximos en el muestreo de noviembre, 157 y 282 μg de C/g de suelo

respectivamente. En tres de las nueve parcelas muestreadas los valores mínimos se hallaron en el 1er. muestreo y en las restantes seis en el 2do. muestreo. Del mismo modo los máximos se encontraron para seis fajas en el cuarto muestreo y para las tres restantes en el último muestreo. La magnitud de las fluctuaciones fue variable y en general estuvo asociada al nivel de biomasa promedio del sistema.

A partir de febrero el exceso de lluvias hizo imposible continuar con el trabajo por dificultad de procesamiento de las muestras, por lo que se hizo un último muestreo al año de iniciado este estudio, en los bloques I y II. Los niveles de C en biomasa determinados en junio del 90 fueron algo inferiores a los determinados en junio del 89, pero consistentes, manteniendo las tendencias observadas el año anterior.

Se determinó una correlación lineal positiva entre el carbono en Biomasa (μg de C/g suelo) y los datos de porcentaje de materia orgánica, de 0,75 (sign. $P < 0,05$).

Nitrógeno en biomasa

El N en biomasa tuvo una tendencia similar a la mostrada por el C en biomasa. Los datos se presentan en el cuadro 5. El

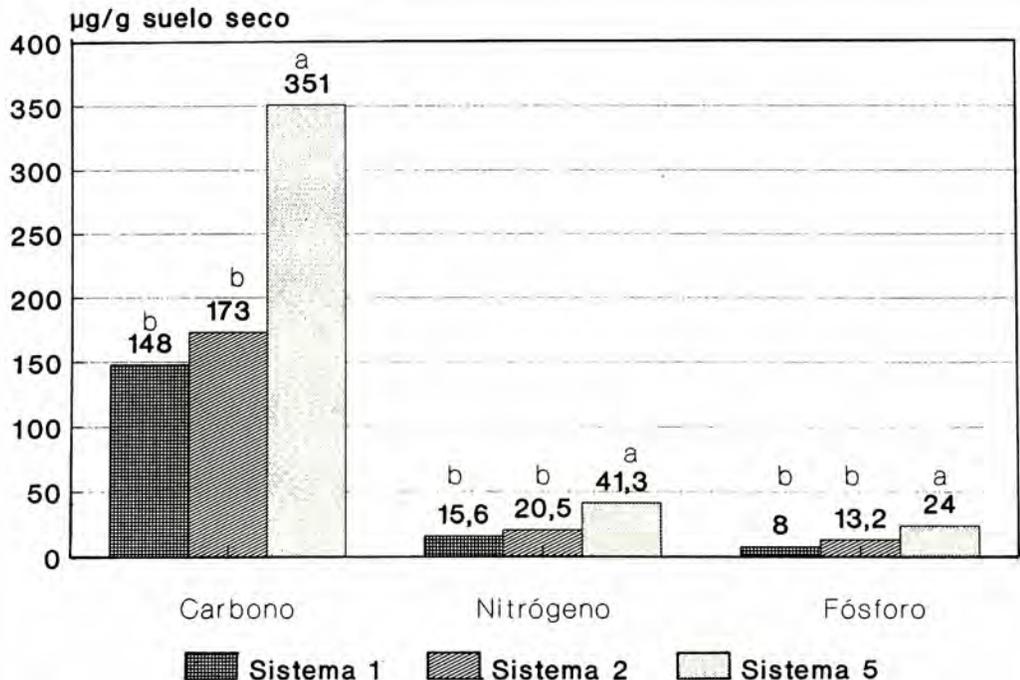


Figura 1. Contenido de C, N y P en biomasa. Promedios. Sistemas 1, 2 y 5 (0-20 cm). ($P < 0,05$).

Cuadro 5. N en biomasa microbiana. μg N/g suelo seco en los 0-20 cm, en distintas fechas de muestreo.

Sistema	Parcela	Fecha de muestreo (día/mes)					Media
		29/6/89	17/8/89	28/9/89	20/11/89	25/1/90	
1	4	10.3	9.0	15.5	8.3	13.1	11.2
1	12	12.2	9.5	18.9	21.2	25.2	17.4
1	21	11.0	9.6	22.5	24.6	22.7	18.1
2	5	21.8	11.9	11.3	27.3	17.3	17.9
2	9	19.0	14.8	24.6	22.3	31.3	22.4
2	18	18.3	10.6	22.3	26.5	28.1	21.2
5	6	39.2	22.2	23.0	41.3	28.0	30.7
5	8	66.1	38.3	49.7	49.4	66.7	54.0
5	20	41.9	29.5	38.8	43.1	41.5	39.0
Promedio sistemas							
	1	11.2 b	9.4 b	18.9 b	18.0 b	20.3 b	15.6 b
	2	19.7 b	12.4 b	19.4 b	25.4 b	25.5 b	20.5 b
	5	49.1 a	30.0 a	37.2 a	44.6 a	45.4 a	41.3 a

Dentro de cada fecha los valores precedidos por una misma letra no difieren estadísticamente entre sí ($P < 0,05$)

Cuadro 6. P en biomasa microbiana. μg de P/g suelo seco en los 0-20 cm, en distintas fechas de muestreo.

Sistema	Parcela	Fecha de muestreo (día/mes)				Media
		29/6/89	17/8/89	28/9/89	20/11/89	
1	4	6.2	4.2	8.3	6.1	6.2
1	12	9.3	7.8	10.0	10.0	9.3
1	21	6.9	9.8	7.2	10.3	8.5
2	5	8.6	7.4	13.4	10.1	9.9
2	9	13.2	14.5	15.5	10.1	13.3
2	18	14.8	11.8	17.2	21.7	16.4
5	6	19.6	19.3	21.0	18.0	19.5
5	8	20.7	26.0	24.5	20.2	22.9
5	20	28.0	27.3	28.4	34.4	29.5
Promedio sistemas						
	1	7.5 b	7.2 b	8.5 c	8.8 b	8.0 b
	2	12.2 b	11.2 b	15.4 b	14.0 b	13.2 b
	5	22.8 a	24.2 a	24.7 a	24.2 a	24.0 a

Dentro de cada fecha los valores precedidos por una misma letra no difieren estadísticamente entre sí ($P < 0,05$)

coeficiente de correlación lineal entre las dos determinaciones fue de + 0,82 y la relación C:N aproximadamente 9:1, en promedio. El N microbiano determinado en el período de muestreo de junio/89 a enero del 90 fue de 25,8 μg de N/g de suelo seco (promedio de fechas y de sistemas).

Se determinaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) entre sistemas. El sistema 5 de rotación con pasturas presentó siempre los niveles mayores de N en biomasa. En tanto, los sistemas 1 y 2 no difirieron significativamente en ninguna de las fechas de muestreo, aunque, la tendencia general fue que el N en biomasa fuese mayor para el sistema con fertilización como ocurriera con las determinaciones de carbono.

El N en biomasa promedio en los sistemas 1, 2 y 5 fue de 15,6, 20,5 y 41,3 μg de N/g de suelo seco (figura 1), lo que constituye un 1,2%, 1,5% y un 2,1% del N total del suelo, respectivamente.

El rango de variación de estos valores fue de 8,3 a 25,2 μg de N/g de suelo seco en el sistema 1, de 10,6 a 31,3 en el sistema 2 y de 22,2 a 66,7 en el sistema 5.

Se determinó una correlación lineal positiva de 0,75 entre el contenido de nitrógeno en biomasa (μg de N/g suelo) y el % de N total del suelo.

Fósforo en biomasa

En el cuadro 6 se presentan los contenidos de P en biomasa determinados en los muestreos del período junio-noviembre de 1989. El valor promedio fue 15,1 μg de P/g de suelo seco.

En forma similar a lo que se observó con el N en biomasa, el P también siguió la tendencia general del carbono. El coeficiente de correlación lineal entre estos parámetros fue de 0,70.

El P en biomasa determinado en el sistema 5 fue mayor al determinado en los sistemas 1 y 2 ($P < 0,05$) (figura 1). No existieron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas de agricultura continua, excepto en el tercer muestreo donde $S5 > S2 > S1$ ($P < 0,05$).

Los promedios de las cuatro fechas fueron: 8, 13,2 y 24 μg de P/g de suelo seco en los sistemas 1, 2 y 5 respectivamente. En tanto que los rangos de variación fueron de 4,2 a 10,3 en el sistema 1; de 7,4 a 21,7 en

el sistema 2 y de 18 a 34,4 μg de P/g de suelo en el sistema 5.

Los coeficientes de correlación lineal entre P en biomasa (μg de P/g) y los análisis de P disponibles en el suelo (μg de P/g) determinado por los métodos de Bray 1 y resinas fueron de 0,23 y 0,25 respectivamente (N.S. a $P < 0,05$).

DISCUSION

Carbono en biomasa

El C en biomasa constituyó del 1 al 1,7% del C orgánico del suelo. Estos valores coinciden con las estimaciones de trabajos anteriores realizados en otras latitudes.

El C contenido en la biomasa microbiana de los sistemas de agricultura continua fue el 1% del C orgánico del suelo y el valor es similar al hallado por Biederbeck et al. (1984) de 1,1% en una rotación trigo-barbecho, en tanto Jenkinson y Powlson (1976) mencionan que la biomasa constituía un 2% del C orgánico en sus suelos agrícolas.

En el sistema de rotación con pasturas la biomasa constituyó el 1,7% del C orgánico del suelo. Ross et al. (1980) en suelos bajo pasturas, hallaron que entre 1,3 y 3,9% del C orgánico del suelo se encontraba en forma microbiana, en tanto que Jenkinson y Powlson (1976) estimaron un 3%.

Las biomazas de los sistemas 1 y 2 no difirieron significativamente como consecuencia de la fertilización. Estos resultados coinciden con los mencionados por Mc Gill et al. (1986) quienes tampoco hallaron diferencias cuantitativas en la población microbiana entre parcelas control y parcelas con fertilizante inorgánico, sí en cambio con fertilización orgánica.

La cantidad de C en biomasa promedio para los sistemas de agricultura continua fue de 161 μg /g de suelo, en tanto que bajo el sistema de rotación con pasturas este valor alcanzó a los 351 μg /g de suelo. De modo que la población microbiana del sistema 5 fue promedialmente más del doble de la determinada en los sistemas 1 y 2.

La cantidad de carbono en biomasa estimada en base a los datos de densidad aparente, en los 20 cm de profundidad, osciló entre 221 y 560 kg/ha bajo agricultura continua y entre 367 y 1.319 kg/ha bajo rotación con pastura. Jenkinson y Powlson (1976) en suelos británicos mencionan un

rango para el C en biomasa entre 440 y 2.020 kg/ha en los 23 cm de profundidad.

Los niveles diferenciales de carbono entre sistemas reflejan el efecto acumulado de 27 años de manejos diferentes en la biomasa microbiana del suelo. Este efecto ha sido determinado en trabajos anteriores (Biederbeck et al., 1984; Mc Gill et al., 1986; Follett & Schimel, 1989).

Fyles et al. (1988) estudiaron en un ensayo de rotaciones la biomasa microbiana en un suelo cultivado con avena y en una pastura de segundo año, y encontraron diferencias entre parcelas en respuesta a diferencias en el manejo, aún dentro de la rotación, que se crearon en menos de 3 años.

En la figura 2 se observan las fluctuaciones de la biomasa microbiana en el tiempo transcurrido entre el primer muestreo a fines de junio y el último muestreo hacia mediados de enero.

Los valores mínimos se hallaron al comienzo y hacia mediados del invierno y en general la tendencia fue hacia un crecimiento en población microbiana hacia fines de invierno y comienzo de primavera. Los máximos fueron determinados en primavera. Esta dinámica es común de regiones templadas donde la máxima actividad ocurre cuando el suelo se calienta y los materiales orgánicos acumulados durante el otoño e invierno se hacen accesibles para la degradación (Alexander, 1977).

Mc Gill et al. (1986) mencionan fluctuaciones similares a las observadas en este trabajo, en dos años consecutivos, en una rotación trigo-barbecho y en otra de 3 años de cultivo y 2 de pastura. Correlacionaron las fluctuaciones con variables climáticas, determinando que el mayor control de la variabilidad de la biomasa fue la humedad del suelo y sus cambios, en tanto que temperatura y un índice de crecimiento de cultivos fueron menos consistentes aunque tuvieron incidencia según el año. La muerte de microorganismos estuvo asociada a la ocurrencia de períodos secos. Aunque se conoce poco acerca de los mecanismos de muerte microbiana, en los modelos de simulación de reciclaje de nutrientes de la biomasa se incluyen los efectos de las condiciones ambientales (Van Veen et al., 1984).

En este trabajo, si bien no se realizaron mediciones de factores ambientales, los registros del Proyecto Clima de la Estación Experimental sugieren que es posible que la

caída de la población microbiana observada en el último muestreo, se debiera al menos en parte, a condiciones de déficit hídrico, particularmente intensos en el período estudiado.

Según Alexander (1977) los cambios estacionales en número de microorganismos están estrechamente relacionados a fluctuaciones en humedad y temperatura. También los factores climáticos pueden operar indirectamente a través del crecimiento de la cobertura vegetal, la que es fuente de nutrientes carbonosos que llegan a los microorganismos a través de excreciones radicales, descamaciones, o residuos de cultivos.

En tal sentido se vio que en las parcelas sembradas con cebada y trigo la biomasa se incrementó a medida que progresaba el desarrollo del cultivo desde el estado 1 de Feekes a la maduración. Incluso, la caída en biomasa del último muestreo de enero, fue menos consistente en las parcelas sembradas con sorgo en octubre, que en aquellos que se había cosechado el cultivo de invierno hacia fines de diciembre. En suelos sembrados con trigo, Carter y Rennie (1984) determinaron aumentos en la biomasa entre el estado 1 y 10 de Feekes y una caída en el estado 11.4. La magnitud de este cambio varió entre 30 y 250%.

En nuestro trabajo, en el sistema 2, el máximo incremento en biomasa coincidió con el alargamiento de los tallos o encañado, período de máxima tasa de producción de materia seca del cultivo. Entre los

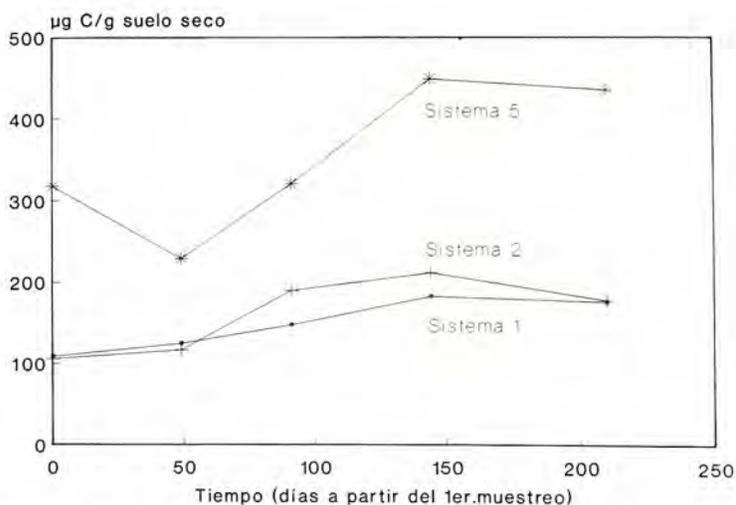


Figura 2. Evolución del contenido de C en la biomasa microbiana del suelo en distintas rotaciones (0-20 cm).

muestreos de agosto y setiembre el trigo pasó del estado 5 al estado 9 de Feekes. El incremento promedio en este sistema fue de $77 \mu\text{g}$ de C/g de suelo en 42 días. Utilizando el dato de densidad aparente del sistema 2 para el cálculo, este valor equivale a 188 kg de C/ha en los 20 cm de profundidad.

Si bien no se sabe con exactitud la cantidad total de exudados radicales producidos en condiciones naturales (Hale et al., 1971) algunos investigadores han estimado que estos pueden alcanzar un 10% del peso de los tallos en cebada y trigo (Vancura, 1964; Barber y Martin, 1976) por lo que los microorganismos deberían estar usando además de estos materiales frescos, residuos orgánicos acumulados anteriormente, para cubrir los requerimientos de carbono estimados en base a los incrementos en biomasa observados.

En el bloque I, el suelo estuvo desnudo hasta noviembre y la tendencia de la biomasa a incrementar hacia la primavera fue menos consistente que la que se observó en las parcelas donde crecían cultivos o pasturas. No obstante, incluso bajo estas condiciones, donde el aporte de raíces vivas podría considerarse nulo o limitado al de una reducida población de malezas, en los Sistemas 1, 2 y 5 se observaron incrementos del orden de 44, 65 y $126 \mu\text{g}$ de C por gramo de suelo respectivamente, entre dos fechas consecutivas de muestreo. En tal sentido, Jenkinson y Powlson (1976) observaron que en los barbechos, la ausencia de material fresco agregado al suelo no resultaba en

pérdidas catastróficas de biomasa y concluyeron que probablemente los microorganismos usaran materiales más viejos y estables como fuente de C.

Por tanto, de acuerdo con la magnitud de los cambios observados, parece ser fundamentalmente la acumulación de residuos vegetales de cultivos anteriores la fuente principal de sustrato carbonoso para estas fluctuaciones.

Esta significativa dinámica estacional, controlada por factores ambientales que actúan sobre el crecimiento o la disminución de la biomasa en forma directa o indirecta, a través del desarrollo de las plantas, no modifica los efectos de las prácticas de manejo a largo plazo. Las diferencias entre sistemas se mantienen, exhibiendo el sistema de rotación con pasturas, promedialmente, más del doble de población microbiana que los sistemas de agricultura continua.

Nitrógeno en biomasa

El N en biomasa constituyó el 1,35% y 2,1% del N total del suelo en los sistemas de agricultura continua y rotación con pasturas respectivamente. Estos valores están dentro del rango que menciona Alexander (1977), según este autor el metabolismo microbiano constituye de un 1% a un 4% del N total del suelo.

No existieron diferencias significativas en N microbiano debidas a la fertilización, entre los sistemas de agricultura continua (1 y 2) aunque, en promedio, el sistema con fertilización presentó niveles superiores, un 30% por encima de los del sistema sin aplicación de fertilizantes.

El N microbiano en el sistema 5 fue siempre mayor al determinado bajo agricultura continua (cuadro 5, figura 3).

El nivel promedio de N en la biomasa microbiana del suelo fue de $18 \mu\text{g/g}$ de suelo en los sistemas de agricultura continua y $41,3 \mu\text{g/g}$ en los de rotación con pastura, de modo que aproximadamente 45 y 88 kg de N/ha en los 20 cm de profundidad, estaban inmovilizados en la biomasa microbiana del suelo.

Mientras que el N total (%) del sistema 5 fue un 48% mayor que el determinado en los sistemas 1 y 2, el N microbiano determinado por gramo de suelo fue promedialmente 127% mayor en el sistema 5 que en los sistemas de agricultura continua. En tal

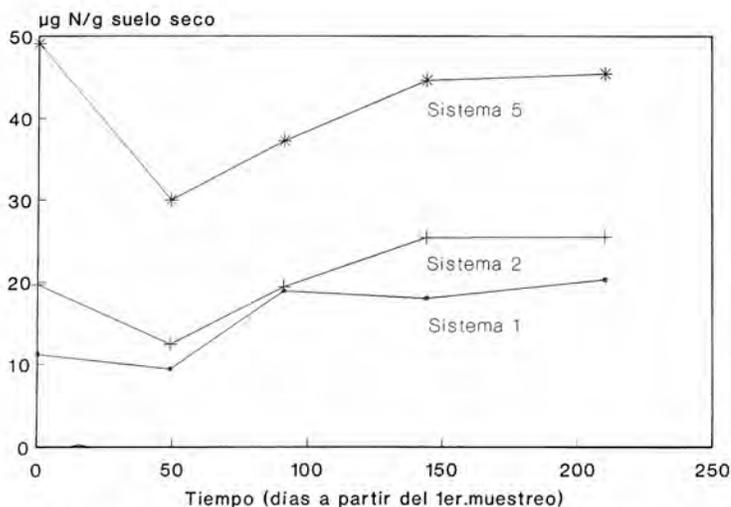


Figura 3. Evolución del contenido de N en la biomasa microbiana del suelo en distintas rotaciones (0-20 cm).

sentido Follett & Schimel (1989), mencionan que 16 años de rotación trigo-barbecho, con barbecho desnudo, disminuyeron la concentración de N a 50% del nativo, en tanto que el N-microbiano se redujo a un 32%. Por tanto, el N presente en la biomasa microbiana parece ser un índice más sensible que el N total en reflejar los distintos manejos.

Los niveles de N en biomasa (μg de N/g suelo) y C en biomasa (μg de C/g suelo) estuvieron relacionados linealmente. El coeficiente de correlación hallado fue de 0,81.

La relación C:N de la biomasa osciló entre 5,9 y 17,9 y en promedio fue 8,7. La bibliografía consultada menciona en general un rango para la relación C:N en las células microbianas entre 5 y 15 (Van Veen et al., 1984). Anderson y Domsch (1980) a los efectos de cuantificar el contenido de N en la biomasa utilizan una relación C:N promedio de 7.

La concentración de N en la célula microbiana, asumiendo que el carbono constituye aproximadamente un 50% de la materia seca (Jenkinson, 1976; Anderson & Domsch, 1978a y Jenkinson & Ladd, 1981) fue en promedio 5,8%, con un rango de variación entre 2,79 y 8,51 (cuadro 7). Siqueira y Franco (1988) en su revisión, mencionan un 5% como valor promedio.

Existió una baja correlación lineal ($r=0,19$), aunque significativa ($P<0,05$), entre el porcentaje de N en los microorganismos y el % de N total del suelo. En cambio, este último mostró una alta correlación lineal con el N en la biomasa (μg de N/g) ($r=0,75$). Se sabe que la concentración de N en los microorganismos es un valor relativamente constante (Siqueira & Franco, 1988), y es probable que las diferencias en la concentración de N estén asociadas a diferentes tipos de microorganismos dominantes en una u otra situación y no tanto a un enriquecimiento relativo de las células asociado a una mayor disponibilidad de N.

Para cuantificar la contribución de nutrientes de la biomasa al pool de nutrientes del suelo disponibles para las plantas, se calculó el flujo anual de N de la biomasa. Se considera flujo anual de N a la cantidad de nutriente que en el transcurso del año es liberado por la población microbiana del suelo a través del reciclaje (turnover). Este flujo resulta del cociente entre la cantidad de N en la biomasa expresado en kg de N/ha y la tasa de reciclaje (T.R.), un indicador de estabilidad química, expresada en años.

Por carecer de datos para la T.R. en nuestras condiciones, se utilizó el valor de

Cuadro 7. Concentración de nitrógeno de la biomasa (% de la MS).

Sistema	Parcela	Fecha de muestreo (día/mes)					Media
		29/6/89	17/8/89	28/9/89	20/11/89	25/1/90	
1	4	3.77	4.08	5.03	3.95	3.65	4.10
1	12	5.92	3.53	6.23	4.75	6.89	5.47
1	21	6.24	3.67	8.08	5.55	6.89	6.07
2	5	5.57	4.70	2.93	7.21	6.80	5.39
2	9	5.72	6.57	6.45	4.87	7.14	6.10
2	18	6.71	4.70	5.94	6.04	7.51	6.27
5	6	6.80	6.70	3.93	6.94	2.79	4.97
5	8	8.49	8.51	7.35	3.98	6.72	6.53
5	20	7.57	4.98	5.85	5.01	6.69	5.92
Promedio sistemas							
	1	5.11	3.74	6.39	4.92	5.79	5.25
	2	5.93	5.30	5.10	5.97	7.19	5.93
	5	7.71	6.55	5.79	4.96	5.21	5.88

2,5 años, usado por Brookes et al. (1984) el cual fue estimado mediante un modelo de simulación en base a datos de C en biomasa.

Parton et al. (1988) hacen una extensa revisión en la que mencionan valores de T.R. bajo pasturas de 2 a 4 años. No obstante, se sabe que en condiciones de agricultura, por efecto del laboreo y los barbecho, el proceso de reciclaje es más rápido que bajo pasturas (Mc Gill et al., 1986). Siqueira y Franco (1988) mencionan un valor de promedio de T.R. de la biomasa de 2,4 años, por lo que el valor utilizado de 2,5 parece razonable, aunque puede estar sobreestimado el flujo anual en el sistema de rotación con pasturas.

El flujo de N promedio calculado en los sistemas 1, 2 y 5 fue de 15,6, 20 y 35,2 kg de N/ha/año respectivamente. La bibliografía consultada cita valores de hasta 40 kg de N/ha/año en los 12,5 cm del suelo (Marumoto et al., 1982).

Se compararon estos flujos con los requerimientos nutricionales del cultivo de trigo, los que se calcularon asumiendo que los rendimientos en grano de trigo son groseramente iguales a los del resto de la planta. Se utilizaron los rendimientos promedio de los últimos 6 años en cada sistema (información no publicada del Proyecto Suelos) y una concentración de N (promedio de grano y paja) de 1,35%. En base a estas estimaciones el flujo de N cubriría en promedio de los tres sistemas, más de la mitad de los requere-

mientos del cultivo (54%) si su eficiencia de utilización fuera del 100%. Anderson y Domsch (1980) mencionan que el N en una generación microbiana puede suministrar al cultivo la mayoría del N que requiere para completar el desarrollo.

La contribución de N de la biomasa parece ser relativamente mayor en el sistema 1 sin fertilización, donde el flujo de N estimado equivale a un 64% de los requerimientos totales de N del cultivo, incluso este valor estaría subestimado, pues se utilizó para el cálculo, una concentración promedio de N en el trigo igual para los 3 sistemas.

Entre los muestreos del 17/8 y del 28/9, se desarrollaron en los cultivos de invierno las mayores tasas de producción de materia seca, y por tanto los máximos requerimientos de N. En ese período, el N en biomasa se vio incrementado casi 30 kg/ha en los sistemas 1 y 2 (profundidad 20 cm). Parece evidente que si bien el N microbiano es una fracción lábil, en el corto plazo, puede competir con el cultivo pues, el desarrollo de la población microbiana del suelo y la consiguiente inmovilización de nutrientes, pueden reducir la disponibilidad de nutrientes para el cultivo.

Fósforo en biomasa

Los niveles de P en biomasa fueron consistentemente mayores en el sistema de rotación con pasturas (cuadro 6, figura 4), evidenciando así el efecto de los manejos contrastantes sobre el P microbiano. Esta tendencia es similar a lo que se observó en C y N.

Las cantidades promedio determinadas en los sistemas 1, 2 y 5 fueron: 8, 13,2 y 24 μg de P/g de suelo, equivalentes aproximadamente a: 20, 32,2 y 51,1 kg de P microbiano/ha en los 20 cm de profundidad. Hedley & Stewart (1982) mencionan valores entre 1,5 y 50 mg de P microbiano/kg de suelo y Anderson & Domsch (1980) en 26 suelos estudiados encontraron de 1,7 a 244 kg de P microbiano/ha en los 12,5 cm de profundidad, y en promedio 83 kg. La concentración de la población microbiana disminuye en profundidad (Mc Gill et al., 1986; Woods, 1989) por lo que explicaría que los valores promedio determinados por estos autores sean notoriamente mayores.

Si bien sólo en 1 de los 4 muestreos en los que se determinó P microbiano se detectaron diferencias significativas debidas a la fertilización entre los sistemas de agricultu-

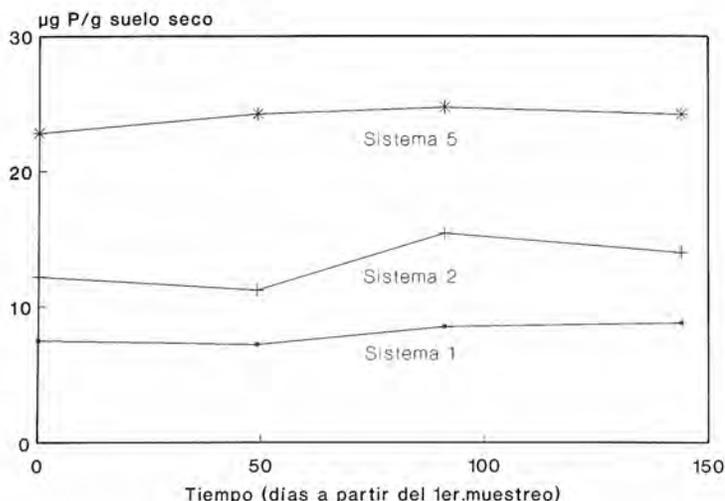


Figura 4. Evolución del contenido de P en la biomasa microbiana del suelo en distintas rotaciones (0-20 cm).

ra continua (1 y 2), el sistema fertilizado (2) siempre presentó los niveles mayores de P en biomasa. En promedio el P microbiano con esta práctica de manejo, estuvo un 65% por encima del sistema sin fertilización.

El P en biomasa constituyó un 8,2, 12,1 y 17,4% del P orgánico total del suelo. Los datos de P orgánico utilizados fueron estimados a partir de las ecuaciones de regresión ajustadas por Morón (1990), para la evolución de la concentración de P orgánico en estos sistemas, del experimento de rotaciones de La Estanzuela. Brookes et al. (1984) en suelos agrícolas hallaron que en los 10 cm superficiales la biomasa constituía un 3% del P orgánico total (promedio de 5 suelos) y bajo pastura 14% (promedio de 6 suelos) y estimaron que la caída en biomasa microbiana 34 años después de entrada una pastura a rotación de cultivos, explicó el 50% de la disminución de P orgánico del suelo.

El P microbiano expresado en $\mu\text{g/g}$ de suelo no estuvo relacionado significativamente con el P disponible del suelo expresado en $\mu\text{g/g}$, determinado por los métodos de Bray I y resinas.

Se halló una relación lineal entre las determinaciones de P en biomasa (μg de P/g) y C en biomasa (μg de C/g). El coeficiente

de correlación determinado fue de 0,70. La relación C/P de la biomasa estuvo entre 10 y 21 con un promedio de 14,7. Anderson y Domsch (1980) determinaron un rango de variación para esta relación entre 7 y 17.

La concentración de P (% de la MS) en las células microbianas (asumiendo que el C constituye aproximadamente el 50% de la materia seca de la biomasa) fue en promedio 3,4%, con un rango de variación entre 1,63 y 6,43%. Estos resultados son similares a los obtenidos por Brookes et al. (1984), los cuales estimaron un valor de 3,3% para la concentración de P y un rango de variación entre 1,4 y 4,7%.

En los sistemas 2 y 5, ambos con aplicación de fertilizantes, el porcentaje de P de las células microbianas fue marcadamente mayor que en el sistema 1, que no recibió fertilizaciones. Las concentraciones promedio fueron: 2,7%, 3,82% y 3,42% en los sistemas 1, 2 y 5 respectivamente.

Si bien el sistema de rotación con pasturas tuvo una cantidad de P total en la biomasa marcadamente mayor (82%) al determinado en el sistema de agricultura continua con fertilización, la población microbiana de ambos sistemas mostró concentraciones similares de P e incluso mayores en el sistema 2. Esto pone en evidencia

Cuadro 8. Concentración de fósforo de la biomasa (% de la MS).

Sistema	Parcela	Fecha de muestreo (día/mes)				Media
		29/6/89	17/8/89	28/9/89	20/11/89	
1	4	2.27	1.89	2.70	2.91	2.26
1	12	4.50	2.90	3.32	2.24	2.92
1	21	3.90	3.73	2.58	2.31	2.86
2	5	2.20	2.92	3.49	2.67	2.97
2	9	3.98	6.43	4.06	2.20	3.63
2	18	5.43	5.21	4.58	4.96	4.85
5	6	3.39	5.82	3.60	3.03	3.15
5	8	2.66	5.78	3.62	1.63	2.76
5	20	5.07	4.61	4.28	3.99	4.49
Promedio sistemas						
	1	3.41	2.89	2.87	2.40	2.70
	2	3.68	4.78	4.04	3.29	3.82
	5	3.58	5.29	3.84	2.69	3.42

un enriquecimiento en P de la célula microbiana cuando aumenta la disponibilidad del nutriente, en este caso a través de las fertilizaciones anuales. En tal sentido, se encontró una relación lineal entre el porcentaje de P en los microorganismos y el P disponible. Los coeficientes de correlación si bien no fueron altos, fueron significativos ($P < 0,05$) y del orden de 0,41 y 0,38 para P-Bray y P-Resinas respectivamente.

Se sabe que las células microbianas pueden almacenar P en exceso y es probable que sea este hecho el que explique el rango de variación observado en concentración de P. Brookes et al. (1984) no encontraron relación entre la concentración de P de las células microbianas y el P inorgánico extraído con bicarbonato de sodio en los suelos estudiados. Este resultado no concuerda con del presente estudio pero puede deberse a que el rango de variación para la concentración de P que nosotros hallamos fue mayor al determinado en su trabajo.

Cuando se aplican fertilizantes, esta capacidad de almacenaje de P de las células microbianas puede reducir la retención del P por parte del suelo. Desde el punto de vista de la disponibilidad para las plantas este puede ser un beneficio pues esta es una fracción de fácil liberación.

Estas fluctuaciones en la concentración de P en los microorganismos podrían explicar el hecho de que el P en biomasa no sea un buen estimador de la población microbiana, ya que solo explica un 49% de la variación observada en C en biomasa.

El flujo anual de P, se calculó de la misma forma que para N, siendo en promedio 8, 12,9 y 20,4 kg de P/ha/año en los sistemas 1, 2 y 5 respectivamente (cuadro 9). En los sistemas de agricultura continua fue equivalente al 100% de lo extraído anualmente por las cosechas de los cultivos en tanto que en el sistema de rotación con pasturas el flujo de P duplicó la extracción anual de las cosechas estimada por Morón (1990). Estos resultados concuerdan con los de Brookes et al. (1984) quienes mencionan que las extracciones de P por los cultivos y el flujo de P de la biomasa en suelos arables ingleses eran de aproximadamente igual magnitud y en el caso de pasturas, era mayor el flujo de P que lo extraído por los cultivos.

La cantidad de P involucrada en estos flujos anuales parece importante en comparación con los requerimientos de los cultivos, pero el P inorgánico proveniente de la biomasa está sujeto a los mismos procesos de retención por el suelo que el proveniente de los fertilizantes, así como a la inmovilización dentro de nuevas células microbianas. Por tanto, su disponibilidad para las plantas dependerá del balance de estos procesos. No obstante, en nuestras condiciones donde el P inorgánico es naturalmente bajo, su contribución para la nutrición vegetal puede ser importante, sobre todo cuando se trabaja con rotación de cultivos y pasturas.

CONCLUSIONES

El sistema de manejo del suelo produjo modificaciones en la biomasa microbiana. El sistema de rotación que incluye 3 años de pasturas tuvo en promedio el doble de población microbiana que los sistemas de rotación de cultivos sin pasturas.

La aplicación de fertilizantes inorgánicos tuvo escaso efecto sobre el tamaño de la población microbiana.

Las fluctuaciones estacionales de la biomasa fueron significativas, pero no modificaron los efectos de las prácticas de manejo a largo plazo.

Cuadro 9. Contenido de N y P en biomasa microbiana y flujos anuales estimados.

Sistema	Parcela	N y P en Biomasa kg/ha		Flujos anuales kg/ha/año	
		Nitrógeno	Fósforo	Nitrógeno	Fósforo
1	4	28	16	11.3	6.2
1	12	44	23	17.5	9.3
1	21	45	21	18.1	8.5
2	5	44	24	17.5	9.7
2	9	55	33	21.9	13.0
2	18	52	40	20.7	16.0
5	6	65	41	26.2	16.6
5	8	115	49	46.0	19.5
5	20	83	63	33.2	25.1
Promedio sistemas					
	1	39	20	15.6	8.0
	2	50	32	20.0	12.9
	5	88	51	35.1	20.4

La cantidad de N y P almacenado en las células microbianas en el sistema con pasturas alcanzó valores promediales de 88 y 51 kg/ha y los flujos anuales estimados fueron de 35,5 y 20,4 kg/ha/año respectivamente, por lo que la contribución de nutrientes de la biomasa al pool de nutrientes disponibles para la nutrición vegetal, parece importante.

Como consideración final: la incidencia de la población microbiana en la eficiencia de las fertilizaciones merece ser estudiada. En suelos con alta capacidad de retrogradación de P hacia formas estables, una buena población microbiana activa, podría reducirla. La capacidad de retener N mineral también puede ser importante como forma de reducir las pérdidas por lixiviación pero en ambos casos los microorganismos pueden llegar a competir por estos nutrientes con los cultivos en momentos cruciales para obtener máximos rendimientos y reducir la eficiencia de los fertilizantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ADAMS, T. Mc. M.; LAUGHLIN, R. J. 1981. The effects of agronomy on the carbon and nitrogen contained in the soil biomass. *J. Agric. Sci. (Camb.)*, 97:319-327.
- ALEXANDER, M. 1977. *Introduction to soil microbiology*. 2nd. Ed. Wiley & Sons, New York.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. 1978. Mineralization of bacteria and fungi in chloroform fumigated soils. *Soil Biol. Biochem.*, 10:207-213.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. 1980. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Sci.*, 130(4): 211-216.
- BARBER, D. A.; MARTIN, J. K. 1976. The release of organic substances by cereal roots into soil. *New Phytol.*, 76:69-80.
- BIEDERBECK, V. O.; CAMPBELL, C. A.; ZENTER, R. P. 1984. Effect of crop rotation and fertilization on some biological properties of a loam in southwestern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.*, 64:355-367.
- BIRCH, H. F. 1964. Mineralization of plant nitrogen following alternate wet and dry conditions. *Plant and Soil*, 20:43-49. 1964.
- BRAY, R. H.; KURTZ, L. T. 1945. Determination of total, organic available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, Baltimore, 59: 39-45.
- BREMNER, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: Black, C. A., ed. *Methods of soil analysis*. Agronomy 9. p. 1179-1237.
- BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. 1982. Measurements of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 14:319-329.
- BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. 1984. Phosphorus in the soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 16: 169-175.
- BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 17:837-842.
- CARTER, M. R.; RENNIE, D. A. 1982. Changes in soil quality under zero tillage farming systems. Distribution of microbial biomass and mineralizable C and N potentials. *Can. J. of Soil Sci.*, 62:587-597.
- CARTER, M. R.; RENNIE, D. A. 1984. Dynamics of soil microbial biomass N under zero and shallow tillage of spring wheat, using 15 N urea. *Plant Soil*, 76:157-164.
- CERRI, C. C.; DE PAULA EDUARDO, B.; CHONE, T.; ANDREUX, F. 1988. *Materia orgánica do solo. Manual de prácticas. Curso de pos-graduação*. CENA. Univ. de São Paulo. 64p.
- FOLLETT, R. F.; SCHIMMEL, D. S. 1989. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. *Soil Sci. Soc. of Am. Journal*, 53:1091-1096.
- FYLES, I. H.; JUMA, N. G.; ROBERTSON, J. A. 1988. Dynamics of microbial biomass and faunal populations in long-term plots on a gray luvisol. *Canadian J. of Soil Sci.*, 68:91-100.
- GARCIA, F.; BELOQUI, C.; LABELLA, S. 1979. Propiedades físicas del suelo en rotaciones de 16 años. In: 2da. Reunión Técnica de la Facultad de Agronomía. Montevideo, p. 54.
- HALE, M. G.; FOY, C. L.; SHAY, F. J. 1971. Factors affecting soil exudation. *Adv. Agron.*, 23: 89-109.

- HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B. 1982. Method to measure microbial phosphate in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 14:377-385.
- HUBER, D. M.; WARREN, H. L.; NELSON, D. N.; TSAI, C. Y. 1977. Nitrification inhibitors. New tools for food production. *Bioscience*, 27:523-529.
- JENKINSON, D. S. 1966. Studies on the decomposition of plant material in soil. II. Partial sterilization and the soil biomass. *J. of Soil Sci.*, 17:280-302.
- JENKINSON, D. S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. IV. The decomposition of fumigated organism in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 8:203-208.
- JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. 1981. Microbial biomass in soil: measurements and turnover. In: *Soil Biochemistry*, vol. 5 Eds. E. A. Paul & J. N. Ladd, p. 415-471.
- JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 8:209-213.
- MARUMOTO, T.; ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. 1982. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 14:469-475.
- McGILL, W. B.; CANNON, K. R.; ROBERTSON, J. A.; COOK, F. D. 1986. Dynamics of soil microbial biomass and water soluble organic C in Breton L after 50 years of cropping to two rotations. *Can. J. Soil Sci.*, 66:1-19.
- MORON, D. A. 1990. Dinâmica do fósforo em um molissol de Uruguai sob três sistemas agrícolas e a longo prazo (1964-1989). Tese Doutor em Agronomia, Piracicaba, São Paulo, Brasil.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta*, Washington, 27:31-36.
- PARTON, W. J.; STEWART, J. W. B.; COLE, C. V. 1988. Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: a model. *Biogeochemistry*, 5:109-131.
- ROSS, D. J.; TATE, K. R.; CAIRNS, A.; PANSIER, E. A. 1980. Microbial biomass estimations in soils from tussock grasslands by three biochemical procedures. *Soil Biol. Biochem.*, 12:375-383.
- SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. 1988. *Biotechnology do solo; fundamentos e perspectivas*. Brasília, Ministerio de Educação. 235 p.
- TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B. 1983. The biogeochemistry of soil phosphorus. In: CALDWELL, D. E., ed. *Planetary ecology*. Saskatchewan, University of Saskatchewan. p. 463-72.
- TINSLEY, J. 1967. *Soil Science manual of experiments*. Aberdeen, University of Aberdeen, Department of Soil Science. 124 p.
- VANCURA, V. 1964. Root exudates of plants I. Analysis of root exudates of barley and wheat in their initial faces of growth. *Plant and Soil*, 21: 231-248.
- VAN VEEN, J. A.; LADD, J. N.; FRISSEL, M. J. 1984. Modelling C and N turnover through the microbial biomass in soil. *Plant and Soil*, 76:257-274.
- WOODS, L. E. 1989. Active organic matter distribution in the surface 15 cm of undisturbed and cultivated soil. *Biology and Fertility of Soils*, 8:271-278.
- ZAMUZ, E. M. de; CASTRO, J. L. 1974. Evaluación de métodos de análisis de suelo para determinar fósforo asimilable. *La Estanzuela, CIAAB, Bol. Téc.* 15. 15 p.