

EFFECTO DE DIFERENTES FERTILIZANTES SOBRE EL CARBONO DE BIOMASA MICROBIANA, RESPIRACIÓN Y RENDIMIENTO BAJO CULTIVO DE LECHUGA¹

ALEJANDRO COSTANTINI², ANDREA SEGAT², DEJAIR LOPES DE ALMEIDA³ y HELVÉCIO DE-POLLI³

RESUMEN - El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de dos fertilizantes sobre el carbono de la biomasa microbiana, la respiración y los componentes del rendimiento de la lechuga. Fue realizado un experimento a campo en un suelo Hapludult típico en el Estado de Río de Janeiro, Brasil. El esquema experimental fue en bloques al azar donde se analizó en factorial el efecto de los abonos (urea y lombricompuesto) en tres dosis. Los parámetros analizados fueron carbono de biomasa microbiana (CBM), respiración del suelo, qCO_2 y rendimiento de materia seca de la lechuga. Se realizaron siete muestreos, desde un mes antes del trasplante hasta postcosecha. Los valores de CBM y respiración fueron más altos durante el primer mes que siguió a la incorporación de los abonos, y también en las parcelas en que se aplicaron las dosis más altas de estos. Estas diferencias se manifestaron solamente en los primeros muestreos para tornarse luego insignificantes. Es probable que las pérdidas de fertilizante hayan sido muy altas. No se encontró diferencia significativa de la respiración del suelo en relación a la adición de lombricompuesto. Durante los primeros tres muestreos se determinó el contenido de carbono orgánico de las parcelas. En el momento de adición de los abonos se obtuvieron los valores más altos, disminuyendo en el muestreo siguiente. La producción de lechuga fue mayor con la aplicación de las dosis más altas de urea. El contenido de CBM correlacionó con la producción de materia seca.

Términos para indexación: lombricompuesto, urea, rendimiento de materia seca.

EFFECT OF DIFFERENT FERTILIZERS ON MICROBIAL BIOMASS CARBON, RESPIRATION AND YIELD UNDER A LETTUCE CROP

ABSTRACT - The objective of this work was to evaluate the effect of two fertilizers on microbial biomass carbon, soil respiration and yield components of lettuce (*Lactuca sativa* L.). A field trial was carried out on a typical Hapludult soil located at Rio de Janeiro State, Brazil. On a completely randomized block design the effect of two fertilizers, urea and vermicomposting were analyzed, each one at three levels with all the possible combinations. The variables studied were microbial biomass carbon (MBC), soil respiration, qCO_2 and dry matter yield. Seven samplings were performed during the crop cycle, from one month before transplanting to a few days after harvest. MBC and respiration values were higher during the first month following the manure incorporation and in plots where the highest levels of fertilizer were applied. These differences are observed during the first samplings, but later, they became practically insignificant. Probably, fertilizer losses were important. No differences were found in relation to the incorporation of vermicomposting. During the first three samplings organic carbon content was assessed. At the time of fertilizers incorporation, the highest values were obtained, but at the following sampling, their values decreased. The highest urea levels, the greatest yield. MBC contents are correlated with the aerial dry matter.

Index terms: vermicomposting, urea, dry matter yield.

¹ Aceptado para publicación en 18 de junio de 1997.

² Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Cátedra de Edafología, Av. San Martín 4453, Código Postal 1417, Buenos Aires, Argentina. E-mail: costanti@mail.retina.ar

³ Eng. Agr., Ph.D., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (CNPAB), Antiga Rodovia Rio - São Paulo km 47, CEP 23851-970 Seropédica, RJ, Brasil.

INTRODUCCIÓN

La utilización eficiente de fertilizantes es de importancia vital para mantener o elevar la productividad de los suelos, generalmente deficientes en nutrientes esenciales. El uso de fertilizantes minerales creció considerablemente en los últimos 30 años.

La mayor disponibilidad, y un costo más accesible después de la segunda guerra, tornó practicable el uso de abonos minerales, los cuales sustituyeron en buena parte a la fertilización orgánica que era recomendada y practicada hasta entonces, por la facilidad de aplicación, transporte más fácil, y un aumento de la producción que compensaba los costos. Este abandono de la fertilización orgánica y el uso abusivo de abonos nitrogenados solubles y agrotóxicos, desencadenó en algunos casos una reducción de la actividad biológica del suelo (Igue & Pavan, 1984).

El retorno a las ideas de fertilización orgánica creció en los últimos años, en el mundo entero. Es bien conocido que la aplicación de materiales orgánicos al suelo incrementan la biomasa microbiana (Jenkinson & Powelson, 1976; Nishio, 1983; Powelson et al., 1987). El balance energético de la agricultura, el aprovechamiento de residuos de varios orígenes, sistemas alternativos de producción, tecnologías apropiadas, etc., se tornaron en temas centrales de las preocupaciones (Igue & Pavan, 1984). Almeida (1991) cita que los abonos orgánicos proporcionaron mayores aumentos en la producción por unidad de nitrógeno absorbido que la urea.

Según Grisi (1992), los efectos de prácticas agrícolas, así como los producidos por biofertilizantes y sistemas de cultivo, pueden ser evaluados a partir de las determinaciones de biomasa. Así, el estudio exhaustivo del efecto de distintos abonos orgánicos sobre la biomasa del suelo, sería de suma importancia para avanzar en el diagnóstico de la fertilización, utilizando la biomasa microbiana como índice para su evaluación.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto que poseen dos fertilizantes, uno sintético y uno orgánico, sobre el carbono de la biomasa microbiana (CBM), la respiración, y los componentes del rendimiento de la lechuga. Simultáneamente se busca asociar los contenidos de carbono de biomasa microbiana y el rendimiento con el fin de encontrar relaciones que permitan utilizar el CBM como valor de predicción.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el campo experimental de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (Embrapa-CNPAB),

situado en Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil, en un suelo Hapludult típico. Se llevó a cabo un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L., cultivar Aurelia) adaptada a las condiciones del medio y a la época de implantación, entre los meses de mayo y julio de 1993. El cultivo se desarrolló sin limitaciones de agua ya que se aplicaron riegos oportunamente. La temperatura media del período en que duró el ensayo fue de 21,5°C, no obstante se alcanzaron con frecuencia marcas térmicas superiores a 30°C.

El experimento consistió en un diseño en bloques completos al azar con 3 repeticiones donde se analizaron en factorial 3 dosis de dos fertilizantes diferentes. Las parcelas presentaban una superficie de 1 m², y las plantas se colocaron a 25 cm unas de otras. Este tamaño de parcelas permitió una distribución absolutamente uniforme de los fertilizantes, lo que resulta beneficioso para la mayor precisión de las determinaciones de suelo; por otra parte, las estimaciones de rendimiento resultan válidas debido a que las plantas presentan una gran uniformidad genética. Se efectuaron siete muestreos denominados en el trabajo tiempo 0 a 6. El tiempo 0 correspondió a la delimitación de las parcelas del ensayo, siendo las otras muestras obtenidas 8, 16, 27, 41, 57 y 69 días después de la primera. La segunda muestra (tiempo 1) fue tomada cuando se incorporaron los abonos, la cuarta (tiempo 3) al momento de transplante y la última pocos días después de realizarse la cosecha.

Los fertilizantes utilizados fueron urea: en dosis de 0, 150 y 300 kg N/ha y lombricompostado de bagazo de caña de azúcar y estiércol bovino (LBC), en las mismas dosis (considerando su contenido de N). El análisis del mismo presentó los siguientes valores: materia orgánica, 47,91%; nitrógeno total, 1,854%; CBM, 4027,4 µg C g⁻¹ suelo; humedad gravimétrica, 159,74%; pH (en agua 1:2,5), 5,24.

Los fertilizantes fueron incorporados en los cinco primeros cm de suelo, igual profundidad a la que fueron tomadas las muestras.

El almácigo fue sembrado el 17/5/93, los plantines transplantados el 14/6/93, y la cosecha se llevó a cabo el 23/7/93. Se determinó sobre la parte aérea de la planta materia seca (MSA).

A las muestras de suelo obtenidas se les determinó CBM por el método de fumigación, extracción (Vance et al., 1987; Tate et al., 1988) y respiración (Jenkinson & Powelson, 1976). Además a las muestras recolectadas en los tiempos 0, 1 y 2, se les analizó el contenido de carbono orgánico (CO) (Embrapa, 1979). Con estos datos obtenidos se calcularon la relación carbono microbiano/carbono orgánico (Cmic/Corg) y el cociente metabólico qCO₂ (Anderson & Domsch, 1990). Todas las determinaciones fueron realizadas por triplicado.

Para determinar los efectos de las fuentes de variación (tiempo de muestreo, urea y lombricomposto) sobre las variables a medir, se utilizaron análisis de varianza, y cuando estas fueron significativas se utilizó el test de Tukey. También se analizaron interacciones. Además se confeccionaron análisis de regresión para relacionar el rendimiento (MSA) con CBM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La biomasa microbiana es un componente esencial del ciclo de los nutrientes en agroecosistemas. Las prácticas de manejo afectan el tamaño de la biomasa microbiana, particularmente la entrada de sustratos carbonados tales como los residuos de plantas o los abonos orgánicos (Brookes et al., 1990). En el presente trabajo, las determinaciones de CBM mostraron diferencias entre los distintos tiempos de muestreo (Cuadro 1).

Las mediciones realizadas durante el primer mes, a contar desde el momento en que fueron incorporados los fertilizantes dieron los valores más altos, y a su vez no se diferenciaron estadísticamente entre sí. Las tres medidas siguientes fueron menores y tampoco mostraron diferencias entre sí, mientras que la medición inicial fue la que presentó el valor más bajo. Las diferencias en CBM fueron también mayores en las parcelas en que se incorporaron las dosis más altas de fertilizante, resultando esta significación $P < 0,001$ para LBC y $P < 0,05$ para la urea, coincidiendo con lo hallado por Sakamoto & Oba (1991) (Cuadro 2).

CUADRO 1. Valores de carbono de biomasa microbiana (CBM), carbono orgánico (Corg), relación carbono microbiano/ carbono orgánico (Cmic/Corg) y respiración obtenidos en los diferentes momentos de muestreo¹.

Tiempo de muestreo	CBM ($\mu\text{g C g}^{-1}$ suelo)	Corg (%)	Cmic/Corg (%)	Respiración ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ suelo h^{-1})
0	86,12a	1,004a	0,832a	0,3493a
1	303,08d	1,488b	2,109b	1,2070b
2	309,27d	1,084a	2,790c	0,9720bc
3	261,01cd	sm ²	sm	0,9415c
4	170,96b	sm	sm	0,6499d
5	194,78bc	sm	sm	0,7740cd
6	128,71ab	sm	sm	0,7206cd

¹ Valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente entre sí (Test de Tukey, $P < 0,05$).

² Sin muestreo.

El LBC tiene una cantidad de biomasa microbiana muy elevada, lo que es la causa de esta diferenciación. La descomposición rápida de esta fracción orgánica aplicada mediante el mismo es el posible motivo de la interacción entre tiempo de muestreo y LBC mostrada en el análisis de varianza. De la observación de los datos se demuestra que las diferencias en el carbono microbiano debidas al agregado de LBC son muy marcadas en los tiempos de muestreo 1 y 2, pero luego tienden a desaparecer (Fig. 1a).

Cuando se mide la respiración por unidad de tiempo (como C-CO_2), se observa una actividad biológica mayor en las mediciones del tiempo 1 y que resulta totalmente comprensible dado la gran incorporación de fertilizantes realizada, por un lado, y a

CUADRO 2. Valores medios de carbono de biomasa microbiana (CBM) y materia seca aerea (MSA) de las diferentes dosis de urea y lombricomposto de bagazo de caña¹.

Tipo de abono	Dosis de abono (kg N ha^{-1})	CBM ($\mu\text{g C g}^{-1}$ suelo)	MSA (g/parcela)
Urea	0	192,8a	36,76a
	150	198,3ab	44,54b
	300	228,4b	50,98b
LBC	0	172,2a	42,29a
	150	211,1b	46,14a
	300	236,1b	43,85a

¹ Valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente entre sí (Test de Tukey, $P < 0,05$).

la masa microbiana presente en el LBC. La menor respiración se observó, como era de esperar, en el tiempo cero (inicial), donde ninguna de las condiciones anteriormente citadas estaban dadas (Cuadro 1).

Existieron diferencias en la respiración del suelo en relación con la cantidad de urea utilizada en las parcelas, siendo esta mayor cuando se agregaron las dosis más altas, las que al elevar el contenido de nitrógeno disponible produjeron un incremento en la actividad biológica del suelo. Entretanto, existe una interacción significativa entre urea y momento de muestreo. Las diferencias en la respiración a causa de la urea se muestran sólo en los tiempos 1 y 2, para luego pasar a ser casi insignificantes. Probablemente las pérdidas de fertilizante hayan sido muy elevadas, dadas las altas dosis de aplicación, y su efecto entonces fue diluyéndose en el tiempo (Fig. 1b).

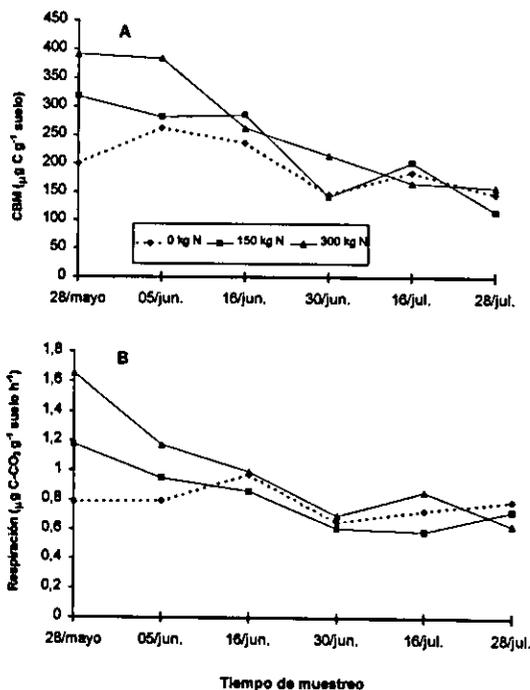


FIG. 1. A) Valores promedio de carbono de biomasa microbiana (CBM) para las distintas dosis de aplicación de lombricomposto de bagazo de caña en los diferentes momentos de muestreo. B) valores promedio de respiración por unidad de tiempo para las distintas dosis de aplicación de urea en los diferentes momentos de muestreo.

No se presentaron diferencias en la respiración con el agregado de LBC. Esto puede justificarse considerando que la gran masa microbiana presente se ve impedida de realizar la descomposición de esa importante cantidad de material con alto contenido de carbono por carecer de cantidad suficiente de N disponible.

Relacionado las dos variables analizadas hasta ahora, podemos obtener el qCO_2 . Este cociente no mostró diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variación analizadas, lo que demuestra que la población microbiana actuó siempre con la misma tasa de respiración por unidad de masa celular, indicando pues que las condiciones ambientales no presentaron diferencias. Contrariamente a estos resultados, Insam et al. (1991) hallaron que los suelos no fertilizados o que recibían pequeñas cantidades de fertilizante tenían una actividad respiratoria por unidad de biomasa menor que los que recibían cantidades adecuadas de los mismos, trabajando también con suelos del orden Ultisoles; de igual modo, Badía & Alcañiz (1994) encuentran resultados en este sentido trabajando con suelos de España. La diferencia con el presente caso puede deberse a lo efímero del efecto de la enmienda orgánica que ya en el tiempo 3 no muestra prácticamente influencia sobre el contenido de carbono microbiano, lo que en parte puede ser causado por las condiciones de suelo y fundamentalmente por las temperaturas elevadas, no obstante estar en otoño.

En forma complementaria, durante los 3 primeros muestreos (tiempos 0, 1 y 2) se determinó el contenido de CO de cada una de las parcelas. El tiempo de muestreo 1 (con abonos recién incorporados) dio valores significativamente mayores que los tiempos 2 y 0. También se presentaron diferencias en relación a la incorporación de LBC, mostrándose que las mayores incorporaciones de este abono orgánico con alto contenido de carbono, por supuesto incrementaban el contenido de CO. Resulta llamativo que ese contenido de CO se presente disminuido en el muestreo siguiente. Probablemente, si bien la respiración se encontraría restringida para hacer una descomposición más eficiente del material, fue lo suficientemente alta para favorecer la pérdida de CO_2 hacia la atmósfera. La relación C_{mic}/C_{org} fue más elevada en el tiempo 2 que en el 1, siendo el menor

valor el correspondiente al tiempo cero (sin abonos incorporados). Debe relacionarse este hecho con altos contenidos de biomasa y la disminución en el CO de la parcela 2, expresado esto último en el párrafo anterior; también, al incremento en el CBM luego de la adición de enmiendas orgánicas tal como lo expresan Anderson & Domsch (1989) (Cuadro 1).

La relación Cmic/Corg como es lógico, también se elevó en presencia de las mayores dosis de urea o LBC, que elevaban los contenidos de CBM. Como se observa en numerosos trabajos anteriores (Adams & Laughlin, 1981; Carter & Rennie, 1982; Carter, 1986; Carter, 1991; Costantini & Segat, 1994), existe una correlación muy significativa entre CBM y CO ($r = 0,47$, $P < 0,01$), lo que implica que el CO es un factor importante en el desarrollo del CBM del suelo (Goyal et al., 1993) (Fig. 2).

Si bien probablemente hayan existido pérdidas de urea, como ya se mencionó, las cantidades aplicadas fueron lo suficientemente altas para influir en el crecimiento y desarrollo de las plantas de lechuga. Puede observarse (Cuadro 2) que los rendimientos de materia seca de la parte aérea de la planta son mayores en presencia de las mayores dosis de urea.

Contrariamente a lo que aconteció con la urea, el análisis de varianza nunca mostró diferencias significativas en el rendimiento de MSA con el agregado de LBC (Cuadro 2). Dado el corto ciclo de este cultivo en las parcelas y las características del abono de no ser inmediatamente disponible, la incorporación de este abono no permite ver ningún efecto en este sentido. Por otra parte, uno de los principales

nutrientes que este es capaz de liberar, como es el N, ha sido suministrado en cantidades muy altas.

Mediante análisis de correlación, se ha buscado inferir en que forma influye el CBM en el rendimiento de MSA. Debe tenerse presente que este ensayo ha sido muestreado desde el momento en que se establecieron sus límites (tiempo 0) hasta postcosecha (tiempo 6). Los plantines fueron transplantados en lo que se denomina tiempo 3. En el Cuadro 3 puede observarse que existe correlación entre las mediciones de carbono de biomasa microbiana y MSA para todos los tiempos de muestreo desde inmediatamente antes del trasplante hasta previo a cosecha. Esta correlación está demostrando que el contenido de biomasa microbiana del suelo influye en el rendimiento de este cultivo, observación que concuerda con la obtenida por Almeida (1991). No obstante se ha observado que algunos modelos no lineales proponen mejores ajustes que los hasta aquí mencionados y que merecerán una mayor atención en el futuro en vista de la utilización de las mediciones de biomasa microbiana del suelo como factor de predicción del rendimiento.

CUADRO 3. Coeficientes de correlación entre carbono de biomasa microbiana y rendimiento de materia seca aérea en diferentes momentos de muestreo.

Tiempo de muestreo	r
2	0,630 *
3	0,443 **
4	0,483 **
5	0,496 *

* Significativo al 1%; ** significativo al 2%.

CONCLUSIONES

1. Las dosis de fertilizante más elevadas promueven valores mayores de carbono de biomasa y respiración, sobre todo en los momentos cercanos a su incorporación.

2. Existe una asociación entre el contenido de carbono de biomasa microbiana y el rendimiento en materia seca aérea de las plantas de lechuga.

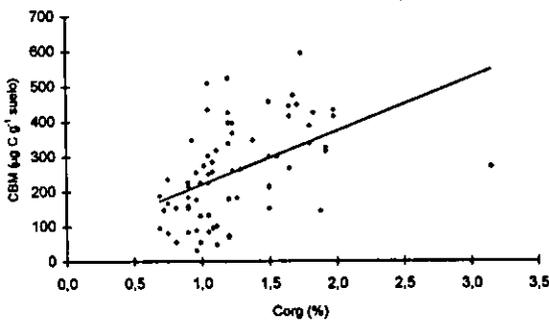


FIG. 2. Correlación entre carbono orgánico (Corg) y carbono de biomasa microbiana (CBM).

AGRADECIMENTOS

Al personal de Campo y del Laboratorio de Suelos de la Embrapa-CNPAB, por su valiosa colaboración en las determinaciones analíticas.

REFERENCIAS

- ADAMS, T.M.M.; LAUGHLIN, R.J. The effects of agronomy on the carbon and nitrogen contained in the soil biomass. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, v.97, p.319-327, 1981.
- ALMEIDA, D.L. de. *Contribuições de adubação orgânica para a fertilidade do solo*. Rio de Janeiro: UFRRJ, 1991. 192p. Tese de Doutorado.
- ANDERSON, T.-H.; DOMSCH, K.H. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soil of different cropping histories. *Soil Biology and Biochemistry*, v.22, p.251-255, 1990.
- ANDERSON, T.-H.; DOMSCH, K.H. Ratio of microbial biomass carbon to total carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v.21, p.471-479, 1989.
- BADÍA, D.; ALCANIZ, J.M. Basal and specific microbial respiration in semiarid agricultural soils: organic amendment and irrigation management effects. *Geomicrobiology Journal*, v.11, p.261-274, 1994.
- BROOKES, P.C.; OCIO, J.A.; WU, J. The soil microbial biomass, its measurement, properties and role in soil nitrogen and carbon dynamics following substrate incorporation. *Soil Microorganisms*, v.35, p.39-51, 1990.
- CARTER, M.R. Microbial biomass as an index for tillage induced changes in soil biological properties. *Soil & Tillage Research*, v.7, p.29-40, 1986.
- CARTER, M.R. The influence of tillage on the proportion of organic carbon and nitrogen in the microbial biomass of medium-textured soils in a humid climate. *Biology and Fertility of Soils*, v.11, p.135-139, 1991.
- CARTER, M.R.; RENNIE, D.A. Changes in soil quality under zero tillage farming systems: Distribution of microbial biomass and mineralizable carbon and N potentials. *Canadian Journal of Soil Science*, v.62, p.587-597, 1982.
- COSTANTINI, A.O.; SEGAT, A.M. de L. Seasonal changes in the microbial biomass of Brazilian soils with different organic matter contents. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.25, n.17/18, p.3057-3068, 1994.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Manual de métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro, 1979. Não paginado.
- GOYAL, S.; MISHRA, M.M.; DHANKAR, S.S.; KAPOOR, K.K.; BATRA, R. Microbial biomass turnover and enzyme activities following the application of farmyard manure to field soils with and without previous long - term applications. *Biology and Fertility of Soils*, v.15, p.60-64, 1993.
- GRISI, B.M. Biomassa microbiana do solo: métodos de determinação e resultados recentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 2., 1992. *Anais...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Microbiologia, 1992. p.11-12.
- IGUE, K.; PAVAN, M.A. Uso eficiente de adubos orgânicos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. *Anais...* Brasília: Embrapa-DEP, 1984. p.383-418 (Embrapa-DEP. Documentos, 14).
- INSAM, H.; MITCHELL, C.C.; DORMAR, J.F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practices and crop yield of three ultisols. *Soil Biology and Biochemistry*, v.23, p.459-464, 1991.
- JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, v.8, p.209-213, 1976.
- NISHIO, M. Direct - count estimation of microbial biomass in soil applied with compost. *Biological Agriculture and Horticulture*, v.1, p.109-125, 1983.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to the straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, v.19, p.159-164, 1987.
- SAKAMOTO, K.; OBA, Y. Relationship between the amount of organic material applied and soil biomass content. *Soil Science and Plant Nutrition*, v.37, p.387-397, 1991.
- TATE, K.R.; ROSS, D.J.; FELTHAM, C.W. A direct extraction method to estimate soil microbial carbon. Effects of experimental variables and some different calibration procedures. *Soil Biology and Biochemistry*, v.20, p.329-335, 1988.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, v.19, p.703-707, 1987.