

Dinámica de la biomasa microbiana (C y N) en un suelo de la península de Paraguaná tratado con residuos orgánicos*

Yudith Acosta ¹ y Jorge Paolini ²

¹Laboratorio de Investigaciones y Servicios Ambientales (LISA). LUZ. Núcleo Punto Fijo.

²Laboratorio de Ecología de Suelos. IVIC. yacosta@ivic.ve

Resumen

La biomasa microbiana (BM) define el componente funcional de la microbiota del suelo, responsable principalmente de la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes. Además, se ha considerado que puede ser usado como un indicador ecológico sensible a los cambios ambientales. La dinámica en el tiempo del carbono y nitrógeno de la BM (C-BM y N-BM) fue evaluada, empleando el método de fumigación extracción, en un suelo de la Península de Paraguaná (estado Falcón) tratado con tres residuos orgánicos: lodo residual, estiércol de chivo y residuo industrial de sábila (*aloe vera*) a dosis de 1 y 2%. Las mezclas se incubaron aeróbicamente durante 64 días, determinándose que la incorporación de los materiales orgánicos al suelo incrementó significativamente el C-BM en relación al suelo control, durante todo el tiempo del experimento. Al final de la incubación, este aumento fue proporcional a la dosis, siendo para 2%, mayor en el tratamiento con residuo de sábila ($485 \mu\text{g C g}^{-1}$) en relación al control ($243 \mu\text{g C g}^{-1}$) y menor en el del lodo residual ($454 \mu\text{g C g}^{-1}$) (LSD = 54). La tendencia del N-BM (N-reactivo a ninhidrina) fue contraria, aunque, al final del experimento, los valores para los mismos tratamientos, fueron significativamente mayores (12 y $6 \mu\text{g N g}^{-1}$ suelo, respectivamente) [Mínima Diferencia Significativa (MDS) = 1] al valor del control ($4 \mu\text{g N g}^{-1}$ suelo). Se evidenció que estas variaciones están controladas ampliamente por la cantidad y la calidad de la materia orgánica incorporada con el residuo.

Palabras clave: Aridisol, biomasa microbiana, residuos orgánicos.

* Este artículo fue presentado en la VI Jornadas de Investigación y Postgrado.

Microbial Biomass Dynamics (C and N) in Soils on the Paraguana Peninsula Treated with Organic Residues

Abstract

The microbial biomass (MB) defines the functional components of micro-organisms in soils, and is mainly responsible for the decomposition of organic matter and nutrient recycling. The dynamics of carbon and nitrogen in the MB (C-MB and N-MB) were evaluated, using the fumigation extraction method, in soils from the Paraguana Peninsula (Falcon State) treated with three organic residues: residual mud, goat manure, and industrial aloe residual at doses of 1% and 2%. The mixtures were incubated aerobically for 64 days, and it was determined that the incorporation of organic material from soils significantly increased C-MB in relation to the control treatment during the entire experiment. During the final incubation, this increase was proportional to the dose, and at 2% was greater in the treatment with aloe ($485 \mu\text{g C g}^{-1}$) in relation to the control ($243 \mu\text{g C g}^{-1}$) and less than residual mud ($454 \mu\text{g C g}^{-1}$) ($LS=54$). The tendency for N-MB (N-reactivate to ninhydrine) was the opposite, but at the end of the experiment values for the same treatments were significantly higher (12 and $6 \mu\text{g N g}^{-1}$ in soils respectively ($LSD= 1$)) than the control value ($4 \mu\text{g N g}^{-1}$). It was determined that these variations are controlled by the quantity and quality of organic matter incorporated into the residue.

Key words: Arid soils, microbial biomass, organic residues.

Introducción

La biomasa microbiana (BM) define el componente funcional de la microbiota del suelo, responsable principalmente de la descomposición y reconversión de la materia orgánica y la transformación de nutrientes (Dalal y Meyer, 1987; Smith y Paul, 1990; Witter, 1996). La biomasa microbiana edáfica puede definirse como la parte viva de la materia orgánica del suelo, excluyendo las raíces de las plantas y los animales de tamaño superior al de las amebas mayores (aproximadamente $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$), y para la C-BM se expresa, generalmente, en mg C kg^{-1} o $\mu\text{g C g}^{-1}$ de suelo seco. Usualmente se han indicado valores para el C de la biomasa microbiana entre 1 y 4% del carbono orgánico y para el N de biomasa entre 2 y 6% del nitrógeno orgánico (Jenkinson y Ladd, 1981; Anderson y Domsch, 1989). A pesar de la pequeña parte que representa de la materia orgánica del suelo, la biomasa microbiana participa de forma muy activa en la descomposición de la materia orgánica muerta que ingresa al suelo en forma de hojarasca o restos de animales o plantas, y por otro lado, es una fuente de

nutrientes (N, P y S) para las plantas con una alta tasa de recambio (flujo de elementos). Por lo cual, ha sido relacionada con los procesos de mineralización de la materia orgánica (Shi et al. 2006). Además, juega un papel fundamental en la formación de la estructura del suelo, así como en su estabilización y se puede usar como un indicador ecológico sensible a los cambios ambientales.

Los cambios en la materia orgánica del suelo son muy lentos y se requiere de muchos años para medir los cambios resultantes de la perturbación; sin embargo, existen evidencias de que las propiedades biológicas pueden ser indicadores potencialmente sensibles al estrés ecológico o a la restauración de los ecosistemas (Dick y Tabatabai, 1993). Actualmente se ha reconocido el papel que juegan los microorganismos en la retención y liberación de nutrientes en el suelo, en la energía del sistema y en el mejoramiento de su fertilidad. Experimentos de campo han demostrado que las enmiendas orgánicas no solo actúan para mejorar la estructura del suelo y como fuente de nutrientes, sino que también tienen fuerte influencia sobre la microflora del suelo (Grecchio et al. 2001). En general, modifican la composi-

ción de la comunidad microbiana, y como resultado mejoran la competencia y/o el antagonismo entre los microorganismos, conllevando a un decrecimiento en la actividad de los patógenos (Steinberg et al. 2004).

La medida en la cual la adición de materia orgánica al suelo contribuye a mejorar su calidad, depende no solamente de la calidad de esta materia orgánica adicionada, sino principalmente de la actividad microbiana y las condiciones ambientales, muy particularmente de la temperatura y la humedad (Ouédraogo et al. 2001). En la misma forma, la textura del suelo puede afectar la capacidad del mismo para estabilizar la materia orgánica. Típicamente, las adiciones orgánicas se descomponen más rápidamente en suelos arenosos que en suelos arcillosos. En suelos de textura gruesa propios de ambientes áridos y semi-áridos, la pérdida de la fertilidad del suelo es particularmente alta, debido a los bajos niveles de materia orgánica, poca capacidad de retención de humedad y excesiva pérdida de nutrientes por efecto de la percolación (Caravaca y Roldán, 2003).

El principal objetivo de este estudio fue determinar la influencia de la aplicación de tres residuos orgánicos (lodo residual, estiércol de chivo y residuo de sábila) sobre el C y N de la biomasa microbiana en un suelo de la península de Paraguaná, en la región semi-árida del estado Falcón, mediante un experimento de incubación en condiciones controladas de laboratorio.

Materiales y Métodos

Se utilizó el Horizonte A de un Aridisol de textura Franco-arenoso (57, 18 y 25% en arena, limo y arcilla, respectiva-

mente) (FONAIAP, 1990) de la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela, a 11° 47' latitud norte - 70° 08' longitud oeste. Para el muestreo de suelo se seleccionó un área de 3200 m², aproximadamente, y ésta fue dividida en ocho unidades semejantes. Las muestras fueron tomadas a una profundidad de 15 cm, obteniéndose submuestras compuestas por unidad a partir de 5 muestras individuales de igual volumen. Finalmente se formó una muestra compuesta uniforme, derivada de las submuestras correspondientes a cada unidad. Este suelo fue secado al aire y pasado a través de un tamiz de 2 mm. Posteriormente, los restos de plantas y raíces visibles fueron eliminadas con pinzas.

Al suelo se le aplicaron tres residuos orgánicos: estiércol de chivo, residuo del procesamiento de la sábila (*Aloe vera*) y lodo residual del tratamiento de aguas servidas. Suelo (control) y tratamientos con residuos a dosis de 1% y 2%, se incubaron por 64 días en un sistema de aireación continua (Stotzky, 1965), y fueron evaluados a los 0, 7, 14, 28, 35, 43, 57 y 64 días. La caracterización de los materiales empleados se muestra en la Tabla 1.

Para la determinación del C-BM y N-BM se empleó el método de fumigación-extracción (fumigación con cloroformo y extracción con una solución de K₂SO₄ 0,5 M) (Vance et al, 1987). Luego de la extracción, el N-BM se determinó mediante el método de los compuestos de N reactivos a la ninhidrina (aminoácidos y N-NH₄) (Amato y Ladd, 1988; Carter, 1991).

El análisis estadístico de los resultados obtenidos se efectuó empleando el método de Análisis de Varianza

TABLA 1. Caracterización físico química de los materiales empleados en el estudio (valor ± desviación estándar; n = 3).

Parámetro	Suelo (S) (Control)	Lodo residual (L)	Estiércol de chivo (CH)	Residuo de sábila (Z)	Referencia del método
pH (H ₂ O)	8,06 ± 0,058	6,5±0,000	8,8±0,000	5,3±0,058	FONAIAP (1990)
CE (dS m ⁻¹)	0,09 ± 0,04	1,93±0,029	7,66±0,571	2,36±0,026	FONAIAP (1990)
CIC [cmol(+)kg ⁻¹]	6,91 ± 0,155	21,84±1,793	-	-	Instituto de Edafología UCV (1993)
COT (%)	0,64 ± 0,100	25,33±1,630	32,66±0,920	39,75±0,730	Anderson e Ingram (1993)
MO (%)	1,10 ± 0,167	43,67±2,810	56,31±1,594	68,53±1,259	Anderson e Ingram (1993)
C/N	10,16 ± 1,539	12,5±1,546	15,1±1,427	60,4±1,110	FONAIAP (1990)
N Total (%)	0,06 ± 0,000	2,04±0,298	2,16±0,213	0,66±0,000	Keeney y Nelson (1982)
P Total (%)	0,07 ± 0,001	0,13±0,017	0,06±0,004	0,04±0,003	Kuo (1996)

CE: Conductividad Eléctrica; COT: Carbono orgánico Total; CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico; MO: Materia Orgánica.

(ANOVA) de una sola vía. La mínima diferencia significativa se determinó efectuando la comparación de medias mediante la prueba LSD. Se empleó el paquete estadístico STATISTICS.

Resultados y Discusión

El Carbono de la Biomasa Microbiana (C-BM)

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos en la determinación del C-BM para los distintos tratamientos: S (suelo solo o control); L (suelo y lodo residual); CH (suelo y estiércol de chivo) y Z (suelo y residuo de sábila) a 1 y 2% en cada caso, respectivamente.

Para el día 0 el valor del C-BM se incrementó significativamente en todos los tratamientos con los residuos orgánicos con respecto al control, excepto para el suelo enmendado con lodo al 1%. El incremento fue mayor para la dosis mayor en todos los casos, acentuándose de la siguiente forma Z-2%CH-2%L-2%. Al final del periodo de incubación, también se registraron incrementos significativos en el C-BM para todos los tratamientos con respecto al control.

Aunque el aumento se mantuvo, con relativa variabilidad, hasta el final del experimento con respecto al control; a través del tiempo de incubación, cada tratamiento varió en forma diferente.

Al final de la incubación L-1% y L-2% aumentaron significativamente, en relación a los valores obtenidos inicialmente para estos tratamientos, mientras que Z-1% y Z-2% alcanzaron valores promedios de 465 y 485 $\mu\text{g C g}^{-1}$ suelo, respectivamente, los cuales fueron significativamente menores a los valores obtenidos en el día 0.

Para los tratamientos con estiércol se obtuvieron valores aproximadamente dos veces menor a los indicados inicialmente, para ambas dosis de aplicación. Obviamente, los incrementos en la biomasa microbiana ocurrieron inmediatamente después de la adición de materia orgánica. Los incrementos a corto plazo suelen ocurrir entre días y meses después de que las enmiendas orgánicas son aplicadas (Wyland et al., 1996; Gunapala y Scow, 1998).

Al comienzo de la incubación, el valor de C-BM para el suelo control, fue de 264 $\mu\text{g C g}^{-1}$ suelo y al final de la experiencia fue de 243 $\mu\text{g C g}^{-1}$. Estos valores no resultaron diferentes significativamente. Estos valores pueden considerarse bajos, si se toma en cuenta la media obtenida para suelos naturales en regiones semi-áridas templadas (450 $\mu\text{g C g}^{-1}$ suelo); y la obtenida para suelos similares intervenidos (con ausencia de vegetación); para los cuales se ha indicado una media de 284 $\mu\text{g C g}^{-1}$ suelo (Pascual, 1995), el cual es un valor cercano a los valores obtenidos para el suelo control en algunos tiempos de la incubación (0, 7 y 35 días).

La escasa vegetación en este tipo de suelo, con la consiguiente baja producción de hojarasca, conlleva a una disminución en el C-BM y por lo tanto en la actividad microbiana. Considerando que el C-BM proporciona una idea de la actividad microbiana del suelo (Nannipieri, 1984), el suelo en estudio se ubica dentro de aquellos con escasa actividad biológica, lo que afecta negativamente su calidad. Ciertamente, uno de los métodos más comúnmente usado para rehabilitar la calidad y productividad de suelos degradados está basado en la adición de enmiendas orgánicas (Caravaca et al. 2002)

En general, la incorporación de los materiales orgánicos al suelo produjo un incremento en el valor del C-BM

TABLA 2. Carbono de la Biomasa Microbiana (C-BM) ($\mu\text{g C g}^{-1}$ suelo) para el suelo y los tratamientos con residuos orgánicos durante el periodo de incubación.

Días ► Tratamiento ▼	0	7	14	21	28	35	43	57	64	MDS
S (Control)	264	276	231	246	197	304	207	126	243	42
L-1%	273	313	164	168	293	381	265	195	764	37
L-2%	392	373	296	363	173	199	360	371	454	57
CH-1%	424	343	458	385	271	447	271	466	199	57
CH-2%	667	566	646	710	356	611	273	1005	387	51
Z-1%	725	996	765	501	367	491	338	443	465	80
Z-2%	910	2578	1484	1190	1009	1135	716	550	485	252
MDS	42	133	58	123	100	121	50	60	54	–

MDS: mínima diferencia significativa ($p=0,05$); $n=3$.

en relación al control, detectado al comienzo, durante y al final de la incubación. Estos cambios, también han sido indicados por otros investigadores (Tu et al. 2006; Caravaca y Roldan, 2003; Albiach et al. 2000; Fauci y Dick, 1999; García et al. 1998). El incremento en la biomasa microbiana del suelo, puede ser atribuido básicamente a la incorporación con el residuo de materia orgánica fácilmente biodegradable, lo que estimula el crecimiento microbiano autóctono; o bien, debido a la incorporación de microorganismos exógenos al suelo, los cuales son adicionados con el material orgánico (Perucci, 1992).

Al final de la incubación, el valor del C-BM para L-2% resultó cerca de dos veces menor ($454 \mu\text{g C g}^{-1}$) que el correspondiente para L-1% ($764 \mu\text{g C g}^{-1}$); estimando una probable incorporación de algún tipo de sustancias orgánicas tóxicas capaces de retardar la actividad microbiana en el suelo en una mayor concentración. El lodo residual es un material procedente de una planta de tratamiento de aguas servidas, cuyo proceso de estabilización implica una gran actividad microbiana, lo que hace posible que parte de los microorganismos involucrados en dicho proceso, incorporen su biomasa al material.

Tessier et al. (1998), encontraron valores mayores de C-BM (medido por fumigación-extracción), en suelos tratados con estiércol, en comparación con suelos sin enmiendas orgánicas. El valor encontrado del C-BM extraíble en suelos tratados con estiércol, a una profundidad de 0 a 20 cm, fue de $504 \mu\text{g C g}^{-1}$ suelo seco, y para el suelo no enmendado fue de $201 \mu\text{g C g}^{-1}$.

El tratamiento con el residuo de sábila a la dosis de 2% entre los días 7 y 57 presentó valores entre 2 y 9 veces mayores, aproximadamente, que los obtenidos para el control; aunque en el transcurrir del tiempo la tendencia fue

hacia la disminución. Al parecer este material incorpora una mayor cantidad de sustrato biodegradable por los microorganismos.

Aunque los procesos de la descomposición de los residuos orgánicos a través del sistema suelo son similares, las dinámicas son diferentes dependiendo de la calidad del material (Pérez-Píqueres et al. 2006). En los sistemas que son generalmente deficientes en C fácilmente utilizable, la tasa de descomposición del residuo está gobernada por la degradabilidad del compuesto, y decrece en el orden: C soluble (azúcares y aminoácidos) proteínas celulosa compuestos de lignina. La composición de la materia orgánica derivada del material de plantas es diverso y la dinámica de ésta cambia dependiendo de la calidad inicial del material, el tipo de suelo, el clima y el tiempo (Smith et al. 1997).

En el suelo control el C-BM no varió significativamente entre el valor inicial y el final, lo que puede indicar el equilibrio establecido con su biomasa microbiana; la cual puede ser el resultado de la protección que ofrecen las estructuras húmicas del suelo a parte del carbono microbiano (Pascual, 1995). Los compuestos carbonados pueden ser química y físicamente protegidos de la descomposición por las finas arcillas minerales y por los complejos de arcilla- sustancias húmicas (Paul, 1984).

Se ha demostrado que el incremento del C-BM, con la incorporación de residuos orgánicos, es más evidente en suelos de áreas semi-áridas donde la actividad microbiana es muy baja (García et al. 1994).

El nitrógeno de la Biomasa Microbiana (N-BM)

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos para el N-reactivo a ninhidrina (n-BM) en el suelo solo y en el suelo enmendado con los diferentes residuos orgánicos.

TABLA 3. Nitrógeno de la Biomasa Microbiana (N-BM) ($\mu\text{g N-reactivo ninhidrina g}^{-1}$ suelo) para el suelo y los tratamientos con residuos orgánicos durante el periodo de incubación.

Días ► Tratamiento ▼	0	7	14	21	28	35	43	57	64	MDS
S (Control)	12	9	10	5	7	6	5	5	4	2
L-1%	18	12	12	6	8	4	6	4	4	2
L-2%	18	10	14	6	10	3	4	4	6	1
CH-1%	26	15	30	11	18	8	3	7	5	2
CH-2%	29	22	8	17	4	14	8	15	15	1
Z-1%	12	23	28	15	9	7	10	6	10	1
Z-2%	13	22	21	24	19	14	14	7	12	2
MDS	2	2	1	2	1	2	2	1	1	-

MDS: mínima diferencia significativa ($p = 0,05$); $n = 3$.

En el día 0, el contenido de N-BM se incrementó significativamente en los tratamientos L y CH a 1% y 2% en relación al suelo control, siendo mayor el aumento en el suelo enmendado con estiércol de chivo; registrándose para este tratamiento diferencias significativas entre las dosis de 1 y 2%. Para el tratamiento con residuo de sábila, no se registraron cambios significativos con respecto al control.

A través del tiempo de incubación, la tendencia tanto en el suelo como en los tratamientos fue hacia la disminución. Sin embargo, al final del experimento, los valores del N-BM para los tratamientos con estiércol de chivo y residuo de sábila estuvieron, significativamente, por encima del valor del control; obteniéndose los valores más altos en el N-BM para la dosis de 2% en ambos tratamientos (15 y 12 $\mu\text{g N g}^{-1}$ suelo, respectivamente).

Kandeler et al. (1999), evaluaron la influencia del manejo a largo plazo sobre el N-BM (compuestos reactivos a la ninhidrina) en suelos enmendados con estiércol animal y fertilización con NPK sobre diferentes cultivos (remolacha azucarera, papa, cebada y alfalfa). Indicaron que una mayor fertilización indujo a un aumento de este parámetro en todos los cultivos.

El incremento en el N-BM fue atribuido a la adición del estiércol, mientras que la fertilización inorgánica no causó importantes mejoras. Estos autores, determinaron para los suelos no enmendados con diferentes cultivos, valores en el N-BM que variaron entre 2,8 a 4,8 $\mu\text{g N g}^{-1}$ suelo y para estos mismos suelos enmendados con el material orgánico valores entre 5,7 a 9,1 $\mu\text{g N g}^{-1}$ suelo. En forma similar, Chander et al. (1997), al evaluar un suelo agrícola (franco arenoso) de una región semi-árida en la India con diferente rotación de cultivos, determinó un intervalo de valores entre 5,4 y 9,9 $\mu\text{g N g}^{-1}$ suelo.

Sparling et al. (1993), en suelos de Australia indicaron valores de N-reactivo a ninhidrina entre 4,2 a 15,1 $\mu\text{g N g}^{-1}$ suelo, para suelos del estado de Australia Occidental y entre 16,4 a 24,7 $\mu\text{g N g}^{-1}$ suelo para otros suelos de Nueva Gales del Sur. Mele y Carter (1996), indicaron valores de N-reactivo a ninhidrina que variaron entre 8,7 a 11,7 $\mu\text{g N g}^{-1}$ suelo, en un experimento a largo plazo, para suelos de labranza, con rotación de cultivos en Australia (Victoria).

Conviene mencionar que debido a los escasos trabajos existentes referentes a la determinación del N-BM mediante el método del N reactivo a ninhidrina, no ha sido posible emitir conclusiones comparativas con respecto a este parámetro. Sin embargo, se puede mencionar que al

igual que el C-BM ha sido usado como un indicador sensible a los cambios en la calidad del suelo por incorporación de residuos bajo condiciones de laboratorio (Ocio y Brookes, 1990); para indicar contaminación por metales pesados (Chander y Brookes, 1991) y para comparar los efectos de la labranza (Carter, 1991).

Conclusiones

La incorporación al suelo de los materiales orgánicos a dosis de 1 y 2% incrementaron el C de la biomasa microbiana en el mismo. Esto puede atribuirse a la incorporación de materia orgánica fácilmente degradable; la cual contribuye a estimular la actividad de los microorganismos autóctonos del suelo y también la de la biomasa microbiana contenida en los residuos mencionados (microorganismos exógenos). Este efecto favorable sobre la actividad biológica del suelo resultó más notable en los tratamientos con lodo residual y residuo de sábila, incluso a la dosis más baja. Lo que puede sugerir que el C de la biomasa microbiana responde rápidamente y con cierto grado de sensibilidad a la incorporación de estos materiales orgánicos a bajas dosis. Es evidente que las variaciones en este parámetro están controladas ampliamente, no sólo por la cantidad, sino también por la calidad del C disponible en las entradas orgánicas; factores que también pueden variar con el tiempo. Lo anterior confirma que el C de la biomasa microbiana puede ser usado como un indicador de la calidad del suelo y puede ser útil para evaluar objetivamente cuánto C de la biomasa microbiana puede encontrarse en un suelo dado bajo condiciones "saludables".

De igual forma que el C de la biomasa microbiana, el N de la biomasa (N reactivo a ninhidrina), en general también se incrementó con respecto al suelo control. Este incremento fue mayor desde el inicio hasta el final de la incubación para el tratamiento con estiércol de chivo y residuo de sábila, indicando un estímulo en la mineralización de N a efecto de la adición de N con la incorporación de los residuos orgánicos. Pero éste parámetro tendió a disminuir significativamente con el tiempo de incubación para cada uno de los tratamientos. Es, entonces, la evaluación integrada de estos parámetros biológicos antes mencionados lo que permite finalmente dilucidar los cambios en la dinámica de la materia orgánica del suelo; además de que se ha comprobado que son excelentes indicadores de la salud del mismo.

Referencias Bibliográficas

- ALBIACH, R.; CANET, R. POMARES, F. and INGELMO, F. (2000). Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. **Biores. Technol.** 75: 43–48.
- AMATO, M. AND LADD, J. (1988). Assay for microbial biomass based on ninhydrin-reactive nitrogen in extracts of fumigated soil. **Soil Biol. Biochem.** 20:107 – 114.
- ANDERSON, J. and DOMSCH, K. (1989). Ratios of microbial biomass carbon to total organic-C in arable soils. **Soil Biol. Biochem.** 21: 471 – 479.
- CARAVACA, F. and ROLDAN, A. (2003). Effect of *Eisenia foetida* earthworms on mineralization kinetics, microbial biomass, enzyme activities, respiration and labile C fractions of three soils treated with a composted organic residue. **Biol. Fertil. Soils.** 38: 45-51.
- CARAVACA, F.; HERNÁNDEZ, M.T.; GARCÍA, C. and ROLDAN, A. 2002. Improvement of rhizosphere aggregates stability of afforested semi-arid plant species subjected to mycorrhizal inoculation and compost addition. **Geoderma.** 108: 133-144.
- CARTER, M. (1991). Ninhydrin-reactive released by the fumigation-extraction method as a measure of microbial biomass under field conditions. **Soil Biol. Biochem.** 23: 139-143.
- CHANDER, K.; GOYAL, S.; MUNDRA, M. and KAPOOR, K. (1997). Organic matter, microbial biomass and enzyme activity of soils under different crop rotations in the tropics. **Biol. Fertil. Soils** 24: 306 – 310.
- CHANDER, K. and BROKES, C. (1991). Is the dehydrogenase assay invalid to estimate microbial activity in copper-contaminated soils?. **Soil Biol. Biochem.** 23: 909 – 915.
- DALAL, R. and MEYER, R. (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. **Aust. J. Soil Res.** 25: 461- 473.
- DICK, W. and TABATABAI, M. (1993). Significance and potential uses of soil enzymes. pp. 95 – 127. In: **Soil Microbial Ecology. Applications in Agricultural and Environmental Management.** F. Blaine Metting (Ed.). Marcel Dekker, New York.
- FAUCI, M. and DICK, R. 1999. Soil microbial dynamics: short and long-term effects of organic nitrogen. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 58: 801-806.
- FONDO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (FONAIAP). (1990). **Manual de Métodos y Procedimientos de Referencia. (Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad).** Serie D. Nº. 26. Escuela de Agronomía. Ministerio de Agricultura y Cría. FONAIAP. UCLA, Maracay. 206 p.
- GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; ALBALADEJO, J.; CASTILLO, V. and ROLDAN, A. (1998). Revegetation in semiarid zones: influence of terracing and organic refuse on microbial activity. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 62: 670 – 676.
- GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T. and COSTA, F. (1994). Microbial activity in soils under Mediterranean environmental conditions. **Soil Biol. Biochem.** 26: 1185 – 1191.
- GRECCHIO, C.; CURCI, M.; MININNI, R.; RICCIUTI, P. and RUGGIERO, P. (2001). Short-term effects of municipal solid waste compost amendments on soil carbon and nitrogen content, some enzyme activities and genetic diversity, **Biol. Fertil. Soils.** 34: 311–318.
- GUNAPALA, N. and SCOW, K. (1998). Dynamics of soil microbial biomass and activity in conventional and organic farming systems. **Soil Biol. Biochem.** 30 (6): 805 – 816.
- JENKINSON, D. and LADD, J. (1981). Microbial biomass in soil: measurement and turnover. pp. 415 – 471. In: **Soil Biochemistry.** E. Paul and J. Ladd (Eds.). Vol. 5. Marcel Dekker, New York.
- KANDELER, E.; TSCHERKO, D. and SPIEGEL, H. (1999). Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralisation and enzyme activities of Chernozem under different tillage management. **Biol. Fertil. Soils.** 28: 343 – 351.
- MELE, P. and CARTER, R. (1996). Estimation of microbial biomass by ninhydrin-reactive N using liquid chloroform. **Can. J. Soil Sci.** 76: 37-40.
- NANNIPIERI, P. (1984). **Microbial Biomass and Activity Measurement in Soils: Ecological Significance.** M.T. Klug and C.A. Reddy (Eds.). American Society for Microbiology. Washington.
- OCHO, J. and BROOKES, P. (1990). An evaluation of methods for measuring the microbial biomass in soils following recent additions of wheat straw and the characterization of the biomass that develops. **Soil Biol. Biochem.** 22: 685 – 694.
- OUÉDRAOGO, I.; MANDO, A. and ZOMBRÉ, NP. (2001). Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. **Agric. Ecosyst. Environ.** 84: 259-256.
- PASCUAL, J. (1995). Efectividad de los Residuos Orgánicos en la Mejora de la Calidad de los Suelos Áridos: Aspectos Biológicos y Bioquímicos. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. España. 428 p.
- PAUL, E. (1984). Dynamics of organic matter in soils. **Plant Soil.** 76: 275- 285.
- PÉREZ-PIQUERES, A.; EDEL-HERMANN, V.; ALABOUVETTE, C. and STEINBERG, C. (2006). Response of soil microbial communities to compost amendments. **Soil Biol. Biochem.** 38 (3): 460 – 470.
- PERUCCI, P. (1992). Enzyme activity and microbial biomass in a field soil amended with municipal refuse. **Biol. Fertil. Soils.** 14: 54-60.
- SHI, W.; YAO, H. and BOWM, D. (2006). Soil microbial biomass, activity and nitrogen transformations in a turfgrass chronosequence. **Soil Biol. Biochem.** 38 (2): 311 – 319.
- SMITH, J. and PAUL, E. (1990). The significance of soil microbial biomass estimations. pp. 357 – 396. In: **Soil Biochemistry.**

- Vol. 6. J. Bollag and G. Stotzky (Eds.). Marcel Dekker, New York.
- SMITH, J.; PAPENDICK, R.; BEZDICEK, D. and LYNCH, J. (1997). Soil organic matter dynamics and crop residue management. pp. 65 – 94. In: **Soil Microbial Ecology**. F. Blaine Metting, Jr. (Ed.). Marcel Dekker, New York.
- SPARLING, G.; GUPTA, V. and ZHU, C. (1993). Release of ninhydrin-reactive compounds during fumigation of soil to estimate microbial C and N. **Soil Biol. Biochem.** 25 (12): 1803 – 1805.
- STEINBERG, C.; EDEL-HERMANN, V.; GUILLEMAUT, C.; PÉREZ-PIQUERES, A.; SINGH, P. and ALABOU-VETTE, C. (2004). Impact of organic amendments on soil suppressiveness to diseases. pp. 259–266. In: **Multitrophic Interactions in Soil and Integrated Control**, R.A. Sikora, S. Gowen, R. Hauschild and S. Kiewnick (Eds). IOBC wprs Bulletin. vol. 27.
- STOTZKY, G. (1965). Microbial respiration. pp. 1550-1572. In: **Methods of Soil Analysis**. Part 2. Black, C. ; Evans, D. ; Ensminger, L. ; J. While and F.Clark (Eds.). Agronomy, Inc., Madison. W.
- TESSIER, L.; GREGORICH, E. and TOPP, E. (1998). Spatial variability of soil microbial biomass measured by the fumigation extraction method, and Kec as effected by depth and manure application. **Soil Biol. Biochem.** 30 (10, 11): 1369 – 1377.
- TU, C.; RISTAINO, J. and HU, S. (2006). Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching. **Soil Biol. Biochem.** 38 (2): 247 – 255.
- VANCE, E.; BROOKES, P. and JENKINSON, D. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biol. Biochem.** 19: 703 – 707.
- WITTER, E. 1996. Soil C balance in a long-term field experiment in relation to the size of the microbial biomass. **Biol. Fertil. Soils.** 23: 33 – 37.
- WYLAND, L.; JACKSON, L.; CHANEY, W.; KLONSKY, K. and KOIKE, S. (1996). Winter cover crops in a vegetable cropping system: impacts on yield, nitrate leaching, pests and management costs. **Agric. Ecosys. Environ.** 59: 1-17.
-