

EFECTO DE RESIDUOS DE CULTIVO Y FERTILIZANTES QUÍMICOS SOBRE EL CARBONO Y EL NITRÓGENO DE LA BIOMASA MICROBIANA EN DOS SUELOS VENEZOLANOS

Effect of crop residues and chemical fertilizers on the microbial biomass carbon and nitrogen in two venezuelan soils

Oscar Ruiz¹, Juan Aciego², Carmen Rivero², Jessica Ampueda²

¹ Postgrado en Ciencia del Suelo, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela.

² Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apartado 4579. Maracay, estado Aragua. Venezuela

Resumen

Se evaluó el efecto de la incorporación de residuos orgánicos en combinación con fertilizantes químicos sobre el Carbono y el Nitrógeno de la biomasa microbiana (Cmic y Nmic) de dos suelos venezolanos. Se incorporaron residuos de crotalaria (*Crotalaria juncea*) y sorgo (*Sorghum bicolor*) y fertilizantes químicos en diferentes proporciones, estableciéndose cinco tratamientos: T (Testigo), CF (Crotalaria + Fertilizantes), SF (Sorgo + Fertilizante), CSF (Crotalaria + Sorgo + Fertilizante), F (Fertilizante). Los tratamientos se incubaron durante 84 días y fueron muestreados a los 2, 5, 8, 15, 22, 29, 36, 43, 50, 57, 69 y 84 días después de iniciada la incubación (ddi). La determinación del Cmic y el Nmic se realizó mediante la liberación y extracción de ambos a través del método de irradiación con onda corta. El Cmic se obtuvo mediante la oxidación parcial del Carbono Orgánico (CO) y titulación con sulfato de amonio ferroso acidificado. Para el Nmic se aplicó el método de digestión por Kjeldahl, y posterior cuantificación del N-NH₄⁺. Los resultados obtenidos indicaron que el Cmic fue más alto en los tratamientos F y CSF; evidenciándose el efecto positivo de la mezcla de residuos de leguminosa más gramínea en combinación con fertilizantes químicos sobre el Cmic. Las épocas donde hubo incremento en el contenido de Cmic fueron a los 2, 15, 57, 69, 80 y 84 ddi. Los resultados para Nmic no indicaron diferencias significativas ($P < 0.05$) atribuibles al efecto promedio de los tratamientos con mezclas de residuos más fertilizante. Sin embargo, se registraron incrementos para el suelo Turén a los 5 y 8 ddi, y para el suelo El Sombrero a los 5 y 22 ddi. El comportamiento detectado es debido quizás a la disponibilidad inmediata de compuestos orgánicos de fácil asimilación al inicio de la incubación, y a la degradación de los más resistentes al final del periodo de incubación.

Palabras claves: biomasa microbiana, carbono microbiano, crotalaria, fertilizantes, residuos orgánicos, sorgo.

Abstract

This study evaluates the effect of incorporation of organic residues in combination with chemical fertilizers on microbial biomass Carbon (Cmic) and Nitrogen (Nmic) in two Venezuelan soils. Five treatments were established including different combinations of Crotalaria (*Crotalaria juncea*) and sorghum (*Sorghum bicolor*) residues plus fertilizers: T (control), CF (Crotalaria + Fertilizers), SF (Sorghum + Fertilizer), CSF (Crotalaria + Sorghum + Fertilizer), F (Fertilizer). The treatments were incubated and sampled at 2, 5, 8, 15, 22, 29, 36, 43, 50, 57, 69 and 84 days after starting the incubation (dai). The Cmic was measured through its liberation and extraction by means of the short-wave irradiation method, followed by its quantification by partial oxidation of the organic carbon and titration with acidified ferrous ammonium sulfate. The Nmic was appraised by Kjeldahl digestion and subsequent quantification of the N-NH₄⁺. Results indicate that Cmic was higher in the treatments F and CSF. This reveals that the mixture of leguminous (crotalaria) and grass (sorghum) residues with chemical fertilizers has a positive effect on the Cmic. There were increments in the content of Cmic at the 2nd, 15th, 57th, 69th, 80th and 84th dai. On the other hand, the results on Nmic showed no significant differences ($P < 0.05$) between treatments. However, Nmic registered increments at the 5th and 8th dai in the "Turén" soil and at the 5th and 22nd dai in the "El Sombrero" soil. This is likely to be caused by the immediate availability, at the beginning of the incubation, of organic compounds of easy assimilation and to the degradation of more resistant organic compounds at the end of the incubation.

Key words: Microbial biomass, microbial carbon, crotalaria, fertilizers, organic residues, sorghum.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda del incremento de la productividad en la agricultura ha generado un impacto negativo en el medio ambiente, específicamente en el recurso suelo derivado básicamente del uso inadecuado de las prácticas de manejo, como altos niveles de mecanización, excesivas aplicaciones de agroquímicos y monocultivo, ha provocado el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de dicho recurso (Doran y Linn, 1994). Bajo estas premisas se han adoptado diversas prácticas de manejo para mejorar las condiciones de los suelos, donde se destaca la incorporación de residuos orgánicos por constituir una fuente fundamental de nutrimentos y materia orgánica (Carter et al., 1994; Anger et al., 1997; Jansen et al., 1998). Ahora bien, cuando se incorporan residuos orgánicos al suelo, la presencia de sustrato carbonado fresco produce una activación inmediata de la fracción viva del suelo, especialmente los microorganismos, con la consecuente modificación de la biomasa microbiana del mismo (Christensen, 1996). El interés en estimar la biomasa microbiana del suelo (BMS) se fundamenta principalmente en las relaciones que existen entre ésta y la liberación de nutrimentos (Schmidt y Paul, 1982). En tal sentido, se ha señalado que algunos parámetros ligados a este pool constituirían un índice sensible y de bajo costo para evaluar la respuesta del suelo a la aplicación de materiales orgánicos con o sin la aplicación de fertilizantes químicos. Mele y Carter (1993) indican que el carbono unido a la biomasa microbiana (Cmic) es indicativo de modificaciones en C orgánico del suelo. Planteamiento similar es propuesto para el nitrógeno unido a la biomasa microbiana (Nmic) por Breland y Elton (1999).

La incorporación del C y el N contenido en los residuos a la BMS depende de la activación de los procesos de inmovilización y mineralización de los mismos. Al respecto, White *et al.* (1988) sostienen que hay un predominio de la mineralización en el caso de sustratos cuya relación C:N es menor que la relación C:N crítica (la relación C:N crítica se calcula dividiendo la relación C:N de los descomponedores microbianos por la eficiencia de asimilación). La inmovilización, por el contrario, predominaría en aquellos casos donde la relación C:N sea mayor que la crítica. En cuanto al efecto de la aplicación conjunta de residuos orgánicos y fertilizantes químicos sobre la incorporación de C y N a la BMS, las investigaciones no han arrojado resultados consistentes acerca de la dirección y magnitud de los posibles efectos (Robertson y Schnürer, 1988; Breland y Eltun, 1999; Hatch *et al.*, 2000).

Este marco de ideas, así como la deficiente información que se tiene en Venezuela sobre esta área, llevaron al desarrollo de esta experiencia cuyo objetivo fundamental fue evaluar el efecto de la incorporación de residuos orgánicos vegetales (leguminosos y gramináceos) y fertilizantes químicos sobre el Cmic y el Nmic en dos suelos agrícolas venezolanos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Suelos y residuos utilizados

Los suelos bajo estudio, ubicados en las localidades de Turén (estado Portuguesa) y El Sombrero (estado Guárico), son representativos de los Llanos Centro Occidentales y Centrales del país, respectivamente, en los cuales se obtiene gran parte de la producción nacional de cereales. Las principales características físico-químicas de los mencionados suelos se presentan en el Cuadro 1. Los métodos utilizados fueron los siguientes: textura y pH: por los métodos descritos por Pla (1983); carbono orgánico: según Walkley y Black (1934); fósforo: por Bray I, método de Bray y Kurtz (1945); potasio: extraído con Bray (Bray y Kurtz, 1945) y determinado por absorción atómica.

A estos suelos se les incorporó residuos de crotalaria (*Crotalaria juncea*) y/o sorgo (*Sorgum bicolor* L. Moench). El Cuadro 2 muestra los tratamientos aplicados y la nomenclatura que se usará a lo largo de este trabajo. El diseño experimental correspondió a uno completamente aleatorizado con dos suelos, cinco tratamientos, cuatro repeticiones y doce fechas de muestreo.

Para obtener los residuos, se hicieron crecer las plantas en invernadero, y se fertilizaron según sus requerimientos de N, P, K. Transcurridos 45 días desde de la siembra, éstas se cosecharon y fueron incorporadas al suelo finamente picadas. Los tratamientos se establecieron en unidades experimentales con 50g de suelo cada una. La incorporación de las cantidades equivalentes de residuos de cultivos y la aplicación de fertilizantes (urea + cloruro de potasio), se realizó de acuerdo a los requerimientos del cultivo de maíz. Los tratamientos fueron incubados durante 84 días a temperatura de laboratorio (22 – 26°C), la humedad fue mantenida a 70% de la capacidad de campo del suelo y fue repuesta cada dos días en función de la pérdida de peso. Los muestreos se realizaron a los 2, 5, 8, 15, 22, 29, 36, 43, 50, 57, 69 y 84 días después de iniciada la incubación (DDI).

Cuadro 1. Características físico-químicas de los suelos estudiados

Características	Turén	EL Sombrero
Profundidad (cm)	0-20	0-20
Textura	F	FL
pH (1:1, agua)	7,94	4,36
MOS (g.kg ⁻¹)	29,7	23,4
CO (g.kg ⁻¹)	17,23	13,57
Nt (g.kg ⁻¹)	2,11	1,08
P (mg.kg ⁻¹)	7,112	1,876

Materia orgánica del suelo (MOS); carbono orgánico (CO); nitrógeno total (Nt); fósforo disponible (P), potasio disponible (K)

Cuadro 2. Tratamientos utilizados en la experiencia

Nomenclatura	Tratamiento
T	Testigo
CF	10 Mg.ha-1 Crotalaria + Fertilizante
SF	10 Mg.ha-1 Sorgo + Fertilizantes
CSF	5 Mg. ha-1 Crotalaria + 5 Mg. ha-1 Sorgo + Fertilizante
F	Fertilizante

Liberación y extracción del Cmic y el Nmic

En cada unidad experimental se procedió a la liberación y extracción del Cmic y el Nmic, tanto en muestras irradiadas (MI) como en muestras no irradiadas (MNI). En ambos casos se tomaron 10 g de suelo, los cuales fueron colocados en tubos de centrifuga de 50 mL y se corrigió su humedad a 80% de su capacidad de campo; se dejaron en reposo durante 20 minutos luego se homogeneizaron mediante agitación en un Vortex. Para obtener las muestras irradiadas se aplicó el método descrito por Islam y Weil (1998), que consiste en irradiar el suelo en un horno microondas, a potencia de trabajo del 100% (1200W), durante 30 segundos. El tiempo fue fraccionado en dos periodos de 15 segundos cada uno, entre ambos periodos de irradiación se aplicó una agitación manual. Este procedimiento permite que la temperatura de los suelos alcance valores cercanos a 80 °C. Posteriormente, se adicionaron a MI y MNI, 40 mL de la solución extractante de K₂SO₄ 0,5 M a pH: 7.0 en una relación suelo:extractante 1:4. Las muestras fueron agitadas por un periodo de 1 hora, concluido el tiempo de las muestras fueron centrifugadas por 10 minutos a 2500 rpm, y filtradas las suspensiones de suelo en papel de filtro Watman N° 1. Los extractos obtenidos fueron colocados en envases plásticos de 50 mL y almacenados a ± 4 °C.

La cuantificación del Cmic, se realizó sobre una alícuota de 5 mL de extracto y se concretó en dos fases: la primera oxidación parcial del C, siguiendo el método de Walkley y Black (1934), mediante un periodo de oxidación de 24 horas. Finalizado el tiempo de oxidación la segunda fase, la constituyó la medición del carbono oxidado de acuerdo al método de titulación descrito por Nelson y Sommers (1982). EL proceso fue aplicado de manera similar a los blancos de comparación. El cálculo del C-oxidado se realizó a través de la siguiente ecuación:

$$\%C_{oxidado} = \frac{AxMx0,003}{g} \times \frac{E}{S} \times 100$$

Donde:

A = mL blanco – mL muestra

M = Molaridad del sulfato de amonio ferroso hexahidratado acidificado

g = Masa del suelo seco (g)

E = Volumen del extractante (mL) = 40 mL

S = Volumen de extracto usado (mL) = 5mL

Obtenidos los valores de carbono en MI y MNI (CMI y CMNI, respectivamente) se procedió al cálculo del carbono unido a la BMS, de acuerdo a la expresión propuesta por (Islam y Weil, 1998).

$$Cmic (\mu g C. suelo \text{ seco}^{-1}) = Ec - Kc$$

Donde:

Ec = C extraído = CMI ($\mu g C. g \text{ suelo seco}^{-1}$) - CMNI ($\mu g C. g \text{ suelo seco}^{-1}$)

Kc = 4,69 (factor de conversión propuesto por Islam y Weil, 1998)

En el caso del nitrógeno contenido en cada muestra se determinó según la siguiente expresión:

$$NMI \text{ ó } NMNI = \frac{(\mu g - NH_4)(mL^{-1} \times 10 \times 40)}{g \text{ de suelo seco}}$$

En cuanto al nitrógeno unido a la BMS (Nmic), éste se obtuvo por aplicación del método de Brookes *et al.*, (1989), digestión por Kjeldahl, y posterior cuantificación del N-NH₄⁺, método descrito por Kandeler y Gerber (1988) a muestras irradiadas y no irradiadas (NMI y NMNI respectivamente). Para la obtención de los valores se aplicó la siguiente ecuación:

$$Nmic (\mu m - NH_4 g \text{ de suelo seco}^{-1}) = \frac{En}{Kn}$$

Donde:

En = N extraído = NMI ($\mu g N-NH_4^+. g \text{ suelo seco}^{-1}$) - NMNI ($\mu g N-NH_4^+. g \text{ suelo seco}^{-1}$)

Kn = 0.341 (factor de conversión propuesto por Islam y Weil, 1998)

La normalidad de la población de los datos obtenidos fue ensayada según la prueba de Wilk-Shapiro, para comprobar el cumplimiento de los supuestos de la varianza o evidenciar la necesidad de efectuar transformaciones. Para el caso del Cmic, los datos siguieron una distribución normal, lo cual no fue así para el Nmic. Hechas las transformaciones pertinentes se procedió a realizar los análisis estadísticos: prueba de varianza, prueba de medias de Duncan y prueba de correlación de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carbono unido a la biomasa microbiana (Cmic)

Suelo Turén

Para el suelo Turén las pruebas de medias mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos (Cuadro 3), no obstante, los niveles de Cmic observados al segundo DDI no parecen corresponder a una respuesta a los tratamientos sino al efecto de re-humedecimiento del suelo dado los elevados valores para el T. El tratamiento donde sólo se incorporó

fertilizante (F) tuvo los mayores niveles de Cmic a los 59, 69 y 84 DDI, es decir, al final del periodo de incubación; mientras que los tratamientos sorgo más fertilizante (SF) y crotalaria + sorgo + fertilizante (CSF) tuvieron mayor efecto a los 69 y 36 DDI, respectivamente. En el tratamiento donde se utilizó crotalaria (CF) el mayor efecto se obtuvo al segundo DDI.

Cuando se analiza el comportamiento promedio para todo el periodo de incubación, se observa que el tratamiento con mayor efecto sobre el Cmic fue el F (405.59a $\mu\text{g C. g suelo seco}^{-1}$), y los tratamientos que produjeron menor efecto sobre el Cmic, con un comportamiento similar entre ellos, fueron:

SF (277.80b $\mu\text{g C. g suelo seco}^{-1}$), T (275.55b $\mu\text{g C. g suelo seco}^{-1}$) y CF (256.21b $\mu\text{g C. g suelo seco}^{-1}$). Es importante destacar que en esta comparación el tratamiento CSF (340.67ab $\mu\text{g C. g suelo seco}^{-1}$) se situó en el segundo lugar. El mayor efecto del tratamiento donde sólo se aplicó fertilizante podría atribuirse a la asimilación microbiana de C nativo estimulada por la adición de nutrimentos, N, P y K, de fácil disponibilidad con la fertilización.

Sin embargo, independientemente del tratamiento aplicado, en promedio se obtuvo un aumento del Cmic en los primeros y últimos momentos de la incubación en todos los tratamientos. Este comportamiento ha sido señalado como típico en otras investigaciones en las que se evaluó el efecto de la incorporación de residuos orgánicos sobre el Cmic. Dicho comportamiento es atribuido básicamente a dos factores: la disponibilidad inmediata de compuestos carbonados, de fácil asimilación, en los primeros días de incubación, y el ataque de compuestos carbonados más resistentes hacia el final de la incorporación de residuos orgánicos sobre el Cmic (Anderson y Domsch, 1989; Constantini *et al.*, 1998).

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos sobre los niveles de Cmic en el Suelo Turén

DDI	T	Cmic ($\mu\text{g C. g suelo seco}^{-1}$)			
		CF	SF	CSF	F
					464,7 a
2	703,9 a ¹	416,5 a	397,9 a	575,2 a	90,1 a
5	221,0 a	292,1 a	260,5 a	314,8 a	236abc
8	98,0 bc	69,9c	428,3a	337,4ab	309,1a
15	141,0a	227,9a	221,8a	153,2a	267,0a
22	114,6a	42,9a	179,8a	56,3a	282,4ab
29	584,1a	262,5ab	181,5b	76,9b	438,4ab
36	360,6a	299,3ab	163,1b	654,5a	254,7a
43	280,5a	329,9a	465,3a	451,0a	738,4a
50	239,8bc	343,0bc	48,1c	430,8b	184,3a
57	123,8a	42,3 a	102,6a	258,4a	667,3a
69	150,9b	357,7ab	572,4ab	328,6ab	934,8a
84	288,5b	391,1b	312,3b	450,8b	405,59a
Promedio ²	275,55b	256,21b	277,80b	340,67ab	

¹ Medias seguidas por letras iguales en las filas no difieren estadísticamente al 5%

² Efecto promedio de cada tratamiento durante todo el experimento

Suelo El Sombrero

En el suelo El Sombrero la prueba de medias mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 4). El tratamiento SCSF presentó su mayor efecto sobre el Cmic entre los 50 y 57 DDI. Así mismo, los tratamientos SF y CF tuvieron un importante efecto sobre en Cmic a los 69 y 84 DDI.

También se observa que en el suelo El Sombrero todos los tratamientos tuvieron un efecto promedio similar. Este comportamiento apunta a que ninguno de los tratamientos logró mantener un efecto sostenido sobre los valores de Cmic, aun cuando los valores obtenidos para las distintas fechas en las cuales se realizó la evaluación parecieran indicar dinámicas poblacionales distintas. Aunque en esta experiencia no se tiene una explicación para este comportamiento, el mismo es similar al obtenido por Hatch *et al.* (2000), quienes evaluaron la actividad microbiana en suelos enmendados con fertilizantes nitrogenados y residuos, sin encontrar efecto sobre el Cmic.

Sin embargo, parece importante resaltar que, aunque no existieron diferencias significativas en el efecto promedio de los tratamientos, el Cmic fue relativamente mayor en los tratamientos donde estuvo incluida la Crotalaria, siguiendo una tendencia parecida a la obtenida en el suelo Turén, donde se destaca la incorporación de residuos de cultivos en combinación con fertilizantes químicos.

Otro rasgo apreciable es que, para el suelo El Sombrero no se consiguieron valores de Cmic superiores a 600 $\mu\text{g C. g suelo seco}^{-1}$. Esto pudiera explicarse por la baja fertilidad química de este suelo, particularmente por su pH fuertemente ácido que estaría afectando la actividad biológica.

La variabilidad observada en los valores del Cmic, para los distintos tratamientos, en ambos suelos, no evidenció el efecto que ha sido atribuido a la relación C:N. No obstante, el incremento del Cmic siguió un comportamiento general similar al obtenido en otras investigaciones en las que se realizaron determinaciones de esta variable, para evaluar el efecto de la

incubación de sustratos orgánicos con suelos en las cuales se reseñan valores que, en general, no sobrepasan los 1000 $\mu\text{g C. g suelo seco}^{-1}$. Las explicaciones en su mayoría apuntan hacia el efecto del aporte de sustrato carbonado fresco y a la presencia en los materiales orgánicos de estructuras con diferentes grados de recalcitrancia (Anderson y Domsch, 1989; Constantini et al., 1998; Santanatoglia et al., 1984; Minhoni et al., 1996; Breland y Eltun, 1999; Robertson y Schnürer, 1988).

Cuadro 4. Efecto de los tratamientos sobre los niveles de Cmic en el Suelo El Sombrero

DDI	T	CF	SF	CSF	F
	Cmic ($\mu\text{gC.g suelo seco}^{-1}$)				
2	108,7b ²	379,5a	411,6a	382,5a	306,1a
5	305,0a	294,3a	201,6a	169,9a	191,7a
8	251,4a	267,4a	335,9a	122,9a	145,9a
15	192,1a	348,9ab	184,8b	484,4a	449,9a
22	567,1a	99,9b	56,7b	426,0a	345,3ab
29	129,8a	21,9a	251,9a	143,3a	46,7a
36	497,3a	15,6c	161,3bc	83,5c	413,5ab
43	114,7ab	322,0a	25,9b	328,4a	186,5ab
50	181,9ab	469,1ab	101,7b	520,9a	324,6ab
57	388,9ab	367,4ab	255,5ab	522,8a	197,0b
69	217,8ab	300,2a	317,8a	27,8b	0,00b
84	373,6ab	525,3a	0,00c	145,7bc	90,6c

¹ Medias seguidas por letras iguales en las filas no difieren estadísticamente al 5 % ² Efecto promedio de cada tratamiento durante todo el experimento

Nitrógeno unido a la biomasa microbiana (Nmic)

Suelo Turén

La prueba de medias de Duncan mostró, entre los tratamientos en el suelo Turén (Cuadro 5), diferencias significativas para el Nmic ($P < 0.05$), en las épocas de muestreo 22, 43, 50, 57 y 84 DDI. El tratamiento CF tuvo su mayor incremento de Nmic a los 15 DDI, y el tratamiento CSF tuvo los mayores incrementos principalmente a los 5 y 8 DDI, es decir, en las épocas iniciales del periodo de incubación, mientras que el tratamiento SF produjo un mayor efecto a lo largo del periodo de incubación. Este comportamiento es de gran importancia práctica desde el punto de vista agronómico, ya que la asimilación de sustancias inorgánicas por parte de los microorganismos es una forma importante de inmovilización, es decir, constituye un mecanismo por el cual los microorganismos reducen la cantidad de nutrimento aprovechables por las plantas en el suelo en cada época, ésto pudiera constituir un índice que permitiera un fraccionamiento más eficiente de la aplicación de fertilizantes. Es importante indicar que la magnitud de la inmovilización es proporcional a la cantidad neta de células microbianas y filamentos formados y se ha propuesto que la misma está relacionada con la asimilación del carbono por un factor regido por la proporción C/N, C/P, C/K, o C/S del nuevo protoplasma celular formado (Alexander, 1980).

Ahora bien, durante todo el experimento, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas para el efecto promedio de los tratamientos sobre el Nmic, no obstante los resultados obtenidos pudieran tener un significado desde el punto de vista biológico en la interpretación del efecto de dichos tratamientos sobre el Nmic, puesto que se muestra una clara tendencia a presentar mayores niveles de Nmic en donde se incorporó CSF y CF.

El testigo (T) mostró sus más altos valores a los 8, 29, 69 y 84 DDI. El tratamiento CF presentó su máximo valor a los 15 DDI con un comportamiento errático hasta el final de la incubación. El tratamiento SF evidenció incrementos a los 5, 29, 50 y 84 DDI. Los tratamientos CSF y F presentaron sus máximos valores a los 5 y 8 DDI respectivamente, con un descenso hasta el final de la incubación. Los tratamientos que presentaron más alto contenido de Nmic en la mayoría de los momentos de la incubación (al inicio y al final), fueron aquellos donde se incorporó residuos orgánicos más fertilizantes (CSF, CF, SF), estos resultados pudieran explicarse debido a la rápida asimilación microbiana del N aportado vía fertilizante al inicio de la incubación y a la degradación de compuestos carbonados más resistentes al final del periodo de incubación. Resultados similares fueron obtenidos por Brookes *et al.* (1989), Robertson y Schnürer (1998) y Bending y Turner (1999), los cuales encontraron que la aplicación de sustratos orgánicos en combinación con fertilizantes químicos incrementó el Nmic pocos días después de su incorporación.

Suelo El Sombrero

Los tratamientos en el suelo El Sombrero (Cuadro 6) mostraron, según la prueba de medias de Duncan, efectos significativos sobre el Nmic ($P < 0.05$) en las épocas de muestreo 15, 22, 50, 57, 69 y 84 DDI. El tratamiento CSF presentó mayor incremento del Nmic a los 15, 22 y 57 DDI; de la misma manera, el tratamiento SF a los 15 y 84 DDI y el tratamiento SF presentó su mayor efecto a los 15, 22 y 57 DDI. Aunque no se encontraron diferencias de efecto promedio sobre el Nmic entre los tratamientos, es importante resaltar que los tratamientos: SF, CF y CSF, presentaron relativamente mayor Nmic.

Cuadro 5. Niveles de Nmic para cada tratamiento en las diferentes épocas de muestreo (Suelo Turén)

DDI	T	CF	F	CSF	F
Nmic ($\mu\text{g N-NH}_4\text{.g suelo seco}^{-1}$)					
2	13,7a ¹	34,52a	11,55a	30,09a	1,42a
5	27,45a	18,70a	41,00a	53,88a	98,64a
8	30,52a	48,87a	8,86a	91,66a	18,05a
15	0,00a	62,15a	9,69a	32,36a	6,45a
22	5,72a	1,76b	2,83b	1,56b	40,53a
29	20,01a	10,50a	15,39a	14,95a	8,96a
36	2,69a	22,76a	8,28a	8,21a	0,00a
43	0,00b	6,33ab	0,51b	15,91a	17,32a
50	2,17b	21,06ab	11,94ab	25,47a	18,43a
57	6,40a	6,13a	0,00b	0,00b	4,78a
69	37,96a	10,74a	16,94ab	12,10a	16,13a
84	37,96a	11,62ab	37,16a	6,50ab	1,57b
Promedio ²	15,63a	21,26a	13,68a	24,39a	19,35a

¹ Medias seguidas por letras iguales en las filas no difieren estadísticamente al 5%

² Efecto promedio de cada tratamiento durante todo el experimento

Cabe destacar que el Testigo mostró incrementos de Nmic a los 15, 29 y 50 DDI. El tratamiento SF presentó un comportamiento cíclico con sus máximos valores de Nmic a los 5 y 84 DDI. En el tratamiento F se observa un considerable incremento de Nmic a los 22 DDI, con un comportamiento muy errático en los demás momentos de la incubación, mientras que el tratamiento CF mostró incrementos a los 5, 29, 50 y 69 DDI, y el CSF a los 15, 22, 29 y 69 DDI. De manera general se observa que a los 22 DDI, los tratamientos que presentaron más alto contenido de Nmic fueron F y CSF. A partir de los 50 DDI hasta el final de la incubación, estos dos tratamientos junto con el CF, es decir, donde se incorporaron residuos de cultivo más fertilizantes, presentaron más alto contenido de Nmic.

Cuadro 6. Niveles de Nmic para cada tratamiento en las diferentes épocas de muestreo (Suelo El Sombrero)

DDI	T	CF	F	CSF	F
Nmic ($\mu\text{g N-NH}_4\text{.g suelo seco}^{-1}$)					
2	0,67 a ¹	51,94 a	27,27a	0,00 a	18,68 a
5	20,89 a	71,79 a	73,56 a	8,92 a	41,72 a
8	26,20 a	16,63 a	0,00 a	20,94 a	0,00 a
15	53,02 a	0,00 b	23,89 a	78,66 a	44,21 a
22	0,00 b	2,66 b	0,97 b	72,65 a	142,23 a
29	37,07 a	44,34 a	21,39 a	60,59 a	15,60 a
36	9,38 a	1,01 a	6,14 a	10,53 a	26,21 a
43	13,09 a	0,00 a	11,37 a	11,75 a	12,38 a
50	23,73 ab	66,33 a	5,66 bc	1,14 c	3,64 c
57	12,67 ab	3,43 bc	0,00 c	19,94 a	31,66 a
69	16,12 bc	95,31 a	20,40 bc	43,11 ab	15,75 c
84	16,12 a	7,60 bc	39,89 a	19,52 ab	0,00 c
Promedio ²	19,20 a	29,34 a	19,08 a	30,09 a	

¹ Medias seguidas por letras iguales en las filas no difieren estadísticamente al 5%

² Efecto promedio de cada tratamiento durante todo el experimento

En ambos suelos, el tratamiento que presentó relativamente mayores contenidos de Nmic fue el CSF seguido por CF, esto pudiera explicarse por la combinación de residuos de leguminosa y gramínea más fertilizantes, que permitieron un aporte de N hasta exceder los requerimientos de los microorganismos, producto del buen balance en la relación C: N de la mezcla de residuos. Aunque estos suelos presentan como diferencia más marcada sus valores de pH, aparentemente no hubo diferencias significativas en el Nmic que pudieran atribuirse a sus características edáficas. Estos resultados parecen indicar el efecto positivo de la incorporación de fertilizantes sobre el Nmic en los primeros días de incubación (22, 36 y 43 DDI), debido posiblemente a la rápida asimilación microbiana del N inorgánico. El efecto de la incorporación de residuos orgánicos más fertilizantes se evidenció en las últimas épocas de incubación (50, 57, 69 y 84 DDI), este tipo de efecto ha sido indicado por autores como Brookes *et al.* (1989), Robertson y Schnürer (1998), Bending y Turner (1999) y se ha atribuido en un alto porcentaje a una inmovilización más lenta del N orgánico.

CONCLUSIONES

La incorporación de residuos de cultivo junto con fertilizantes produjo un efecto favorable sobre la biomasa microbiana del suelo, lo cual se evidenció debido al incremento del carbono y el nitrógeno microbiano. Este efecto es aparentemente dependiente del tiempo, de la calidad de los residuos y de las características edáficas, factores que como es conocido definen la intensidad de los procesos de mineralización e inmovilización del carbono y el nitrógeno orgánico del suelo. No obstante, los resultados obtenidos presentaron un limitado poder conclusivo dado que su alta dispersión, posiblemente derivada de deficiencias, no señaladas por los autores, del método de irradiación con microondas. Por ello se considera necesaria una comparación, en suelos de condiciones tropicales, de la aplicación de este método con los métodos más usados de fumigación-incubación y fumigación extracción, para tener una idea más precisa del alcance de los resultados de esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV, y a FUNDACITE ARAGUA, por el financiamiento de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Alexander, M.** 1980. Introducción a la microbiología del suelo. Traducción al español de la segunda edición por J.J. Peña - Cabriales. AGT Editor, México. 491 p.
- Anderson, T. y K. Domsch.** 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soil. *Soil Biol. Biochem.* 21:471-479.
- Anger, D. A.; M. A. Bolinder; M. R. Carter; E. G. Gregorich; C. F. Drury; B. C. Liang; R. P. Voroney; R. R. Simard; R. G. Donal; R. P. Beyaert y J. Martel.** 1997. Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil Till. Res.* 41:191-201.
- Bending, D y K. Turner.** 1999. Interaction of biochemical quality and particle size of residues and its effect on the microbial biomass and nitrogen dynamics following incorporation into soil. *Biol Fert Soils* 29:319-327.
- Bray, R. H. y L. T. Kurtz.** 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorous in soils. *Soil Sci.* 59:39-49.
- Breland, T.A. y R. Eltun.** 1999. Soil microbial biomass and mineralization of carbon and nitrogen in ecological, integrated in conventional forage and arable cropping systems. *Biol Fert Soils* 30:193-201.
- Brookes, P.; J. Ocio y J. Wu.** 1989. The soil microbial biomass: its measurement, properties and role in soil nitrogen and carbon dynamics following substrate incorporation. In: *Fertilidad del terreno e biomasa microbica. Atti del VII Convegno nazionale S.I.C.A. Work shop IV Commissione S.I.S.S. Potenza, 12-14 Ottobre 1989. Congreso (Ed.).* p.30-44.
- Carter, M. R.; D. A. Anger y H. T. Kunelius.** 1994. Soil structure and organic matter fraction under perennial grasses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1194-1199.
- Christensen, B. T.** 1996. Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulations models of carbon turnover: revision of model structure. In: *Powlson, D. S.; P. Smith; J.U. Smith (Ed.). Evaluation of soil organic matter models using existing long-term datasets. Nato ASI Series: Global environment Changes. Springer, Berlin.* p. 143-160.
- Constantini, A.; A. Segat; D. Lopez de Almeida y H. De-Poli.** 1998. Efecto de diferentes fertilizantes sobre el carbono de biomasa microbiana, respiración y rendimiento bajo el cultivo de lechuga. *Pesq. Agropec. Brasilia* 33(1):71-76.
- Doran, J. W. y D. M. Linn.** 1994. Microbial ecology of conservation management systems. In: *Harfield, J.L.; B.A. Stewart (Ed.). Soil Biology: Effects on soil quality. Lewis Publishers, USA.* p.1-27.
- Hatch, D.; R. Hovell.; R. Antil.; S. Jarvis y P. Oven.** 2000. Nitrogen mineralization and microbial activity in permanent pastures amended with nitrogen fertilizer or dung. *Biol Fert Soil.* 30: 288-293.
- Jansen, H. H.; C. A. Campbell; R. C. Izaurralde; B. H. Ellert; N. Juma; W. B. McGill y R. P. Zentner.** 1998. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. *Soil Till. Res.* 47:181-195.
- Islam, K. y R. Weil** 1998. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biol. Fert. Soil.* 27:408-416.
- Kandeler, E. y H. Gerber.** 1988. Short-term assay of urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biol. Fert. Soils.* 6:68-72.
- Mele, P.M. y M. R. Carter.** 1993. Effect of climate factor on the use of microbial biomass as an indicator of changes in soil organic matter. In: *Mulongoy, K. ; R. Merckx (Ed.). Soil organic matter dynamic and sustainability of tropical agriculture. Wiley & Son UK.* p.57-63.
- Minhoni, M.T.A.; A.F. Eira y L.T. Bull.** 1996. Biomasa microbiana, libera cao que recebeu glicosa e fosfato de rocha. *R. Bras ci. Sdo, campinas* 20:387-392.
- Nelson, D. y E. Sommers.** 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: *Page, A.L.; R.H. Miller; D.R. Keeney (Ed). Methods of Soil Analysis, Part 2. American Society of Agronomy, Madison.* p. 539-579.
- Pla, I.** 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas e manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista Facultad de Agronomía, UCV. Alcance* 32. Maracay, Venezuela. 91 p.
- Robertson, K. y J. Schnürer.** 1988. Microbial biomass in relation to C and N mineralization during laboratory incubations. *Soil Biol. Biochem.* 20(3):281-286.

- Santanatoglia, O.; R. Alvarez; P. Daniel, G. Brazzola y R. García.** 1984. Descomposición de rastrojo de trigo, respiración y biomasa microbiana bajo labranza convencional y siembra directa. *Anales de Edafología y Agrobiología*. p. 787-798.
- Schmidt, E y E. Paul.** 1982. Microscopic methods for soil microorganism. In: Page, A.L.; R.H. Miller; D.R. Keeney (Ed.). *Methods of soil Analysis. Part 2. (2 ed). Chemical and Microbiological Properties. Agron. Ser. N° 9, Am. Soc. Agron. Madison, W.I.* p. 803-814.
- Walkley, A. e I. Black.** 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soils organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.
- White, C.; D. Moore; J. Horner y J. Gosz.** 1988. Nitrogen mineralization - inmovilization response to fiel N or perturbations: An evaluation of theoretical model. *Soil Biol. Biochem.* 20(1):101-105.