

INFLUENCE OF INORGANIC AND ORGANIC FERTILIZATION ON MICROBIAL BIOMASS CARBON AND MAIZE YIELD IN TWO SOILS OF CONTRASTING pH

INFLUENCIA DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y ORGÁNICA SOBRE EL CARBONO DE LA BIOMASA MICROBIANA Y RENDIMIENTO DEL MAÍZ EN SUELOS DE pH CONTRASTANTE

I. Elena Arrieche-Luna¹, Magaly Ruiz-Dager²

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Estación Local Yaritagua. Km 3, El Rodeo, Yaritagua, Estado Yaracuy. Venezuela. (isarrieche99@hotmail.com). ² Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas (CIESA), Universidad Rómulo Gallegos, Carretera El Castreño. San Juan de los Morros, Estado Guárico. Venezuela. (magaruiz@movistar.net.ve).

ABSTRACT

Inappropriate soil management practices that have been applied in the Yaracuy River basin, Venezuela, have led to the loss of soil organic matter and crop productivity. The incorporation of composted organic residues has been suggested as an alternative management practice in order to increase organic matter (OM) content and crop yield in these soils. The objective of this study was to determine the effects of different application rates of an organic fertilizer obtained from sugarcane industry wastes, filter cake and bagasse with or without inorganic fertilizers, on microbial biomass carbon (MB-C), soil organic carbon (SOC), maize (*Zea mays* L.) yield and N, P, K content in the maize leaves, in Yaracuy River basin. The experiments were established in an acid soil and an alkaline soil, both of them with low OM contents. The experimental design was a randomized complete block with seven treatments and three repetitions. It was found that the highest MB-C, SOC and maize yield were obtained with the combination of organic and inorganic fertilizers: 160 kg N ha⁻¹ + 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ + 80 kg K₂O ha⁻¹ + 2000 kg ha⁻¹ organic fertilizer. In the alkaline soil this treatment increased the MB-C and SOC with respect to the control by approximately 97 %, and 43 %, and in the acid soil by 48 % and 43 %. A linear statistically significant correlation was found between MB-C and the SOC in the alkaline soil. Maize yield and MB-C, N, P, K content in the maize leaves were found to be significantly correlated in both soils.

Key words: maize yield, organic fertilization, soil microbial biomass carbon, soil organic carbon, sugar cane filter cake.

RESUMEN

Las prácticas inadecuadas de manejo del suelo usadas en la cuenca del Río Yaracuy en Venezuela han provocado el deterioro de la materia orgánica y de la productividad de los cultivos. Se ha sugerido la incorporación de residuos orgánicos compostados como práctica alternativa de manejo para aumentar el contenido de materia orgánica (MO) y el rendimiento de los cultivos en estos suelos. El objetivo de este estudio fue determinar los efectos de diversas tasas de aplicación de un fertilizante orgánico obtenido de desechos de la industria azucarera, de cachaza y bagazo, con o sin fertilizantes inorgánicos, sobre el carbono de la biomasa microbiana (CBM), carbono orgánico del suelo (COS), rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) y contenido de N, P, K en las hojas del maíz, en la cuenca del Río Yaracuy. Los experimentos se establecieron en un suelo ácido y en uno alcalino, ambos con contenidos bajos de MO. El diseño fue de bloques completos aleatorizados con siete tratamientos y tres repeticiones. Los mayores rendimientos de maíz, CBM y COS se obtuvieron al combinar fertilizantes orgánicos e inorgánicos: 160 kg N ha⁻¹ + 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ + 80 kg K₂O ha⁻¹ + 2000 kg ha⁻¹ de fertilizante orgánico. En el suelo alcalino este tratamiento aumentó el CBM y el COS un 97 % y 43 %, aproximadamente, con respecto al testigo, y 48 % y 43 % en el suelo ácido. En el suelo alcalino se encontró una correlación lineal estadísticamente significativa entre el CBM y el COS. El rendimiento de maíz y el contenido de CBM, N, P y K en las hojas de maíz estuvieron significativamente correlacionados en ambos suelos.

Palabras clave: rendimiento de maíz, fertilización orgánica, carbono de la biomasa microbiana del suelo, carbono orgánico del suelo, cachaza de caña de azúcar.

* Author for correspondence ♦ Autor responsable.

Received: February, 2009. Approved: March, 2010.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 44: 249-260. 2010.

INTRODUCTION

In the Yaracuy River basin, located in the Central Western Region of Venezuela, inappropriate soil management practices have led to the degradation and deterioration of the soils, so that the yields of maize (*Zea mays* L.) have decreased mainly due to the low levels of soil organic matter. The application of composted organic residues is an alternative management practice used to increase the organic matter content. The effect of the application of sugarcane filter cake alone or in combination with chemical fertilizers has been studied (Matheus 2004; Kaur *et al.*, 2005; Meunchang *et al.*, 2006), and filter cake was found to be a valuable organic amendment that could be used to increase soil fertility, the organic matter status and the soil microbial biomass C and N. In Venezuela, slightly more than 300 000 Mg of filter cake are produced each year, most of them in the Central Western Region of Venezuela.

Intensive management practices and pollution can influence the soil microbial biomass. Soil fertility is noticeably affected by microbial activity (Leita *et al.*, 1999). Changes in the size and activity of the biomass can affect C mineralization, turnover of organic matter and the cycling of N and P as well as their availability for plants because the biomass is a dynamic pool containing considerable reserves of these elements (Saffigna *et al.*, 1989). The microbial biomass itself can be an important indicator of soil quality, and the ratio of microbial C to soil organic carbon can provide an early warning of the improvement or deterioration of soil quality (Powlson, 1994).

The aim of this study was to evaluate the effect of applying different rates of an organic fertilizer prepared from sugarcane industry wastes filter cake and bagasse, and mixed with inorganic fertilizers, on the microbial biomass carbon (MB-C), the soil organic carbon (SOC), maize yield and N, P, K content in maize leaves in two Alfisols with contrasting pH, cultivated with maize located in the Central Western Region of Venezuela.

MATERIALS AND METHODS

The experimental sites, located in Yaracuy State in the Central Western Region of Venezuela (10° 12' 15"N; 69° 01' 18"W), were seeded in June 2004. Two soils classified as

INTRODUCCIÓN

En la cuenca del Río Yaracuy, localizado en la región Centro-Occidental de Venezuela, las prácticas inadecuadas de manejo del suelo han provocado la degradación y deterioro de los suelos, por lo que los rendimientos del maíz (*Zea mays* L.) han disminuido debido principalmente a los bajos niveles de materia orgánica del suelo. La aplicación de residuos orgánicos en compost es una práctica alternativa de manejo usada para aumentar el contenido de materia orgánica. Se ha evaluado el efecto de la aplicación de la cachaza de caña de azúcar sola o en combinación con fertilizantes químicos (Matheus 2004; Kaur *et al.*, 2005; Meunchang *et al.*, 2006), y se ha observado que la cachaza es una enmienda orgánica valiosa que podría usarse para incrementar la fertilidad del suelo, la condición de la materia orgánica, y la biomasa microbiana del suelo, C y N. En Venezuela cada año se producen poco más de 300 000 Mg de cachaza, principalmente en la región Centro Occidental del país.

Las prácticas de manejo intensivo y la contaminación pueden influenciar la biomasa microbiana del suelo. La actividad microbiana afecta evidentemente la fertilidad del suelo (Leita *et al.*, 1999). Los cambios en el tamaño y la actividad de la biomasa pueden afectar la mineralización de C, el recambio de la materia orgánica y el ciclaje de N y P, así como su disponibilidad para las plantas dado que la biomasa es una fuente dinámica que contiene reservas considerables de estos elementos (Saffigna *et al.*, 1989). La biomasa microbiana por sí misma puede ser un indicador importante de la calidad del suelo, y la proporción de C microbiano por carbono orgánico del suelo puede alertar con anticipación sobre el mejoramiento o deterioro de la calidad del suelo (Powlson, 1994).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto producido por la aplicación de distintas tasas de un fertilizante orgánico preparado a base de desechos de la industria azucarera, cachaza y bagazo, y mezclado con fertilizantes inorgánicos, en el carbono de la biomasa microbiana (CBM), carbono orgánico del suelo (COS), rendimiento del maíz y contenido de N, P, K en hojas de maíz en dos Alfisols con pH contrastante, cultivados con maíz, ubicados en la región Centro-Occidental de Venezuela.

Oxic Haplustalfs, one of them as acid soil and the other an alkaline one, both of them with low contents of phosphorous, and potassium and low organic matter, were used. These soils have been continuously cultivated with maize with yields not exceeding 3000 kg ha⁻¹. Soil samples were taken at the beginning of the experiment to a depth of 0-20 cm, air dried, and passed through a 2 mm sieve. Soil texture was determined according to the Bouyoucos method (López and López, 1978). Soil pH was measured potentiometrically using a 1:2.5 ratio of soil:water. Measurement of SOC was done by wet digestion with sulfuric acid and potassium dichromate (Nelson and Sommers, 1996) (Table 1). The experimental organic fertilizer (OF) was obtained from the sugar cane industry waste, filter cake and bagasse, which were transformed into compost by an aerobic biodegradation process and a polienzimatic mixture composed of calcareous algae, macro and microelements from vegetal, humic acid, and enzymes (amylase, cellulose, lactase, lipase, pancrease, protease, invertase); organic nitrogen and nucleic acids.

The physical and chemical characteristics of the resulting composts were analyzed in triplicate (Table 2). Moisture content was determined by drying to constant weight at 105 °C. The pH and electrical conductivity (EC) were determined on a water extract from compost using a compost:water ratio of 1:5 by weight. Organic carbon (OC) from OF was measured by wet oxidation with K₂CrO₇ (Nelson and Sommers, 1996) and total nitrogen (N) was determined by the Kjeldahl technique (Cori *et al.*, 1999). Macronutrients and micronutrients were extracted with solution nitric acid-perchloric acid (HNO₃-HClO₄), 1:2 ratio (AOAC 1997). Phosphorus was measured by spectrophotometry at 420 nm. Ca, Mg and extractable micronutrients were determined by atomic absorption spectrophotometry, and K and Na by flame emission spectroscopy. Cation exchange capacity was determined according to Rhoades (1982) using a solution of ammonium acetate pH 7.0.

The experimental design was a randomized complete block with seven treatments (T): T1= control without fertilization;

Table 1. Physical and chemical characteristics of the acid and alkaline Alfisol.

Cuadro 1. Características físicas y químicas del Alfisol ácido y el alcalino.

Characteristics	Oxic Haplustalfs	
	Acid	Alkaline
Sand (%)	64.4	53.1
Silt (%)	27.2	32.5
Clay (%)	8.4	14.4
pH	4.9	7.6
Organic carbon (%)	0.51	0.74

MATERIALES Y MÉTODOS

Los sitios experimentales, ubicados en el estado de Yaracuy en la región Centro-Occidental de Venezuela (10° 12' 15"N; 69° 01' 18"O), fueron sembrados en junio de 2004. Se usaron dos suelos clasificados como Oxic Haplustalfs, uno ácido y el otro alcalino, ambos con bajo contenido de fósforo y potasio, y poca materia orgánica. Estos suelos se han cultivado continuamente con maíz con rendimientos que no exceden los 3000 kg ha⁻¹. Se tomaron muestras de suelo al inicio del experimento a una profundidad de 0-20 cm, se secaron al aire y se cribaron por una malla de 2 mm. La textura del suelo se determinó con el método de Bouyoucos (López y López, 1978). El pH del suelo se midió potenciométricamente usando una relación suelo: agua (1:2,5). La medición de COS se hizo por digestión húmeda con ácido sulfúrico y dicromato de potasio (Nelson and Sommers, 1996) (Cuadro 1). El fertilizante orgánico experimental (FO) se obtuvo de los residuos de la industria azucarera, cachaza y bagazo, los cuales son transformados en compost mediante un proceso de biodegradación anaeróbica y una mezcla polienzimática compuesta por algas calcáreas, macro y microelementos de origen vegetal, ácido húmico y enzimas (amilasa, celulosa, lactasa, lipasa, pancreasa, proteasa, invertasa); nitrógeno orgánico y ácidos nucleicos.

Las características físicas y químicas de los composts resultantes se analizaron por triplicado (Cuadro 2). El contenido de humedad se determinó mediante secado hasta alcanzar un peso constante a 105 °C. El pH y la conductividad eléctrica (CE) se determinaron en un extracto acuoso del compost (relación compost:agua de 1:5) por peso. El carbono orgánico (CO) del FO se midió por oxidación húmeda con K₂CrO₇ (Nelson and Sommers, 1996) y el nitrógeno total (N) se obtuvo con el método Kjeldahl (Cori *et al.*, 1999). Los macro y micronutrientes se extrajeron con una mezcla de ácidos nítrico y perclórico (HNO₃-HClO₄), relación 1:2 (AOAC 1997). El fósforo se midió por espectrometría a 420 nm. Ca, Mg y los micronutrientes extraíbles se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica, y K y Na por espectrofotometría de emisión. La capacidad de intercambio catiónico se determinó de acuerdo con Rhoades (1982) usando una solución de acetato de amonio pH 7.0.

El diseño experimental fue de bloque completamente aleatorizado con siete tratamientos (T): T1= testigo sin fertilización; T2=1000 kg ha⁻¹ FO; T3=2000 kg ha⁻¹ FO; T4=3000 KG HA⁻¹ FO; T5=4000 kg ha⁻¹ FO; T6=160 kg N ha⁻¹ + 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ + 80 kg K₂ O ha⁻¹; T7=160 kg N ha⁻¹ + 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ + 80 kg K₂ O ha⁻¹ + 2000 kg ha⁻¹ FO.

Las fuentes de N, P, K fueron urea (46 % N), superfosfato triple (46 % P₂O₅) y cloruro de potasio (60 % K₂O). Todos los fertilizantes se esparcieron uniformemente a mano en parcelas de

Table 2. Physical and chemical characteristics of the organic fertilizer (OF).**Cuadro 2. Características físicas y químicas del fertilizante orgánico (FO).**

Characteristics	Value
Moisture (%)	11.2
pH	7.0
Electric conductivity (ds m ⁻¹ to 25 °C)	4.0
Total organic carbon (%)	13.2
Nitrogen (%)	1.18
Phosphorus (%)	2.3
Potassium (%)	2.6
Calcium (%)	2.5
Magnesium (%)	0.51
Sodium (%)	0.13
Copper (mg kg ⁻¹)	55
Zinc (mg kg ⁻¹)	173
Manganese (mg kg ⁻¹)	540
Cationic exchange capacity (meq 100g ⁻¹)	29
Relation C/N	11.0

T2=1000 kg ha⁻¹ OF; T3=2000 kg ha⁻¹ OF; T4=3000 kg ha⁻¹ OF; T5=4000 kg ha⁻¹ OF; T6=160 kg N ha⁻¹ + 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ + 80 kg K₂O ha⁻¹; T7=160 kg N ha⁻¹ + 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ + 80 kg K₂O ha⁻¹ + 2000 kg ha⁻¹ OF.

The sources for N, P, K were urea (46 % N), triple super phosphate (46 % P₂O₅) and potassium chloride (60 % K₂O). All fertilizers were spread uniformly by hand on 3 × 14 m plots at sowing, except N (1/3 at sowing and 2/3 30 d later). In each type of soil, maize (Hybrid PB-8) was sown as an indicator plant. Each treatment was repeated three times.

To determine MB-C and SOC, composite samples from 15 simple samples were taken from a depth of 0-20 cm from each plot at the time of harvest (120 d after sowing; das). The samples were placed in plastic bags and transferred under refrigeration to the laboratory, where they were homogenized and divided into two portions: one was air-dried and passed by a 2 mm sieve to determine the SOC according to Nelson and Sommers (1996); the other was maintained in a field-moist condition at 4 °C in aerated polyethylene bags for a maximum of two weeks. The latter samples were sieved (< 2 mm), moisture was adjusted to 40 % of water holding capacity (WHC), and they were preincubated at 25 °C for 7 d before analysis (Schinner *et al.*, 1995). Soil microbial biomass carbon was determined by the fumigation-incubation method (Jenkinson and Powlson, 1976).

Plant samples were collected 60 das and they were dried at 65 °C ground and sieved through a 40 mesh. Phosphorous and potassium in the leaves were determined according to AOAC (1997). Total N was determined by the micro-Kjeldahl method following digestion in sulfuric acid (Malavolta *et al.*, 1997).

3 × 14 m durante la siembra, a excepción del N (1/3 durante la siembra y 2/3 30 d después). El maíz (híbrido PB-8) se sembró como planta indicadora. Cada tratamiento se repitió tres veces.

Para determinar CBM y COS se tomaron muestras compuestas de 15 muestras simples de una profundidad de 0-20 cm de cada parcela al momento de la cosecha (120 d después de la siembra; dd). Las muestras se colocaron en bolsas de plástico y se transfirieron refrigeradas al laboratorio, donde se homogeneizaron y dividieron en dos porciones: una se secó al aire y se cribó por una malla de 2 mm para determinar el COS de acuerdo con Nelson y Sommers (1996); la otra se mantuvo a una condición de humedad del suelo a 4 °C en bolsas de polietileno aireado por un máximo de dos semanas. Estas últimas se cribaron (<2 mm), la humedad se ajustó a 40 % de capacidad de retención de agua (CRA), y se preincubaron a 25 °C durante 7 d previo a su análisis (Schinner *et al.*, 1995). El carbono de la biomasa microbiana del suelo se determinó con el método de fumigación-incubación (Jenkinson y Powlson, 1976).

Las muestras de plantas se recolectaron a los 60 dds y se secan a 65 °C, se molieron y cribaron a través de una malla 40. El P y el K en las hojas se determinaron de acuerdo con las normas de la AOAC (1997). El N total se determinó por el método micro-Kjeldahl con digestión en ácido sulfúrico (Malavolta *et al.*, 1997). Se recolectaron muestras de mazorcas de maíz de cada parcela y el rendimiento (kg ha⁻¹) se calculó de acuerdo con González (2001).

Los resultados son medias aritméticas de análisis triplicados expresados sobre base seca (105 °C, 24 h). Los datos se analizaron por medio de ANDEVA y prueba de Turkey (p≤0.05). Se usó análisis de regresión y correlación lineal simple para probar las relaciones entre variables. Se usó el programa estadístico STATISTIX para Windows, versión 8, 2003.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de CBM, COS, CBM/COS y el rendimiento en los Oxic Haplustalfs alcalinos y ácidos se muestran en los Cuadros 3 y 4. El CBM del suelo alcalino aumentó significativamente (p≤0.05) al compararlo al suelo testigo cuando la tasa de fertilizante orgánico era mayor a los 3000 kg ha⁻¹. Los valores más bajos de CBM se encontraron con 1000 y 2000 kg ha⁻¹ FO (T2 y T3), y ambos fueron similares (p>0.05) al testigo. El valor más elevado de CBM se observó en el tratamiento que incluyó sólo 4000 kg ha⁻¹ FO (T5).

Los suelos enmendados con fertilizante químico combinado con fertilizante orgánico (T7) mostraron el valor más alto del CBM, que fue significativamente

Samples of maize ears were collected from each plot and yield (kg ha⁻¹) was calculated according to Gonzalez (2001)³.

The results are arithmetic means of triplicate analyses expressed on an oven-dry basis (105 °C, 24 h). Data were analyzed by ANOVA and Turkey's test (p≤0.05) was applied. Simple linear regression and correlation analyses were used to test for relationships between variables. The statistical program used was STATISTIX for Windows version 8, 2003.

RESULTS AND DISCUSSION

The results of MB-C, SOC, MB-C/SOC, and yield in the alkaline and acid Oxic Haplustalfs are shown in Tables 3 and 4. The MB-C of the alkaline soil was significantly increased (p≤0.05) as compared to control soil when the rate of organic fertilizer was higher than 3000 kg ha⁻¹. The lowest values of the MB-C were found with 1000 and 2000 kg ha⁻¹ OF (T2 and T3), and both of them were similar (p>0.05) to control. The highest value of the MB-C was observed in the treatment that included only 4000 kg ha⁻¹ OF (T5).

The soils amended with chemical fertilizer combined with organic fertilizer (T7) showed the highest value of the MB-C, which was significantly different from the control (p≤0.05). Application of organic fertilizer in combination with chemical fertilizers increased the MB-C by about 97 %.

The inorganic fertilization (T6) applied to the soil produced a lower value of MB-C than the T5 and

diferente al testigo (p≤0.05). La aplicación de fertilizante orgánico en combinación con fertilizantes químicos aumentó el CBM aproximadamente 97 %.

La fertilización inorgánica (T6) aplicada al suelo produjo un valor más bajo de CBM que los tratamientos T5 y T7, correspondiente a la mayor tasa de fertilizante orgánico y la mezcla (fertilizante orgánico+inorgánico). Este resultado concuerda con lo reportado por Kaur *et al.* (2005), quienes indican que hubo un incremento en el CBM del suelo en suelos tropicales que recibieron cachaza de caña de azúcar sola o en combinación con fertilizantes químicos, al compararlos con suelos que sólo recibieron fertilizantes. Mabuhay *et al.* (2006), Baaru *et al.* (2007) y Parkash *et al.* (2007) observaron un aumento significativo en el CBM como resultado de la aplicación de cantidades crecientes de otras enmiendas orgánicas (desechos urbanos, estiércol de corral, compost de residuos municipales, estiércol de aves, recursos orgánicos). El incremento general del CBM podría deberse a la aplicación de materia orgánica fácilmente biodegradable, la cual estimula la actividad microbiana autóctona del suelo, o a la incorporación de microorganismos exógenos (Perrucci, 1992).

La tendencia del CBM en el suelo ácido fue semejante a la observada en el alcalino (Cuadro 4). El CBM en el suelo ácido aumentó significativamente (p≤0.05) con la aplicación de fertilizante orgánico. Este incremento fue significativo con la tasa de

Table 3. Microbial biomass carbon (MB-C), soil organic carbon (SOC), MB-C/SOC ratio and yield of maize in control, inorganic and organic fertilized alkaline soil.

Cuadro 3. Carbono de la biomasa microbiana (CBM), carbono orgánico del suelo (COS), relación CBM/COS y rendimiento del maíz por tratamientos en el suelo alcalino.

Treatment	MB-C† (µg g ⁻¹)	SOC (%)	MB-C/SOC (%)	Grain yield (kg ha ⁻¹)
T1 (Control)	82.0 e	0.81 d	1.01 b	3112 e
T2 (1000 kg ha ⁻¹ OF‡)	88.2 e	0.84 d	1.02 b	3736 d
T3 (2000 kg ha ⁻¹ OF)	85.6 e	0.90 bcd	0.95 b	4066 cd
T4 (3000 kg ha ⁻¹ OF)	97.5 d	0.97 b	1.01 b	4328 c
T5 (4000 kg ha ⁻¹ OF)	137.2 b	0.95 bc	1.48 a	3659 d
T6 (N, P, K§) (inorganic)	124.4 c	0.87 cd	1.47 a	5778 b
T7 (N, P, K + 2000 kg ha ⁻¹ OF)	161.3 a	1.16 a	1.40 a	7708 a

† Results in a column followed by a different letter are significantly different (p≤0.05) ♦ Los resultados en una columna seguidos de una letra distinta son significativamente diferentes (p≤0.05).

‡ OF = organic fertilizer ♦ FO = fertilizante orgánico.

§ N, P, K = 160, 120 and 80 kg ha⁻¹ of N, P₂O₅, and K₂O.

³ Gonzalez, C. 2001. Estimación de cosecha de maíz. *In*: Memoria del VII Curso sobre producción de maíz. Capítulo 9: Manejo Post-cosecha Araure, Portuguesa, Venezuela. pp: 354-359.

Table 4. Microbial biomass carbon (MB-C), soil organic carbon (SOC), MB-C/SOC ratio and yield of maize in control, inorganic and organic fertilized acid soil.**Cuadro 4. Carbono de la biomasa microbiana (CBM), carbono orgánico del suelo (COS), relación CBM/COS y rendimiento del maíz por tratamientos en el suelo ácido.**

Treatment	MB-C [†] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	SOC (%)	MB-C/SOC (%)	Grain yield (kg ha^{-1})
T1 (Control)	103.8 e	0.44 c	2.39 b	528 d
T2 (1000 kg ha^{-1} OF [‡])	108.1 e	0.58 ab	1.86 c	847 cd
T3 (2000 kg ha^{-1} OF)	128.4 d	0.65 a	1.97 c	1060 c
T4 (3000 kg ha^{-1} OF)	132.5 cd	0.54 b	2.45 b	1025 c
T5 (4000 kg ha^{-1} OF)	136.7 c	0.65 a	2.10 bc	1077 c
T6 (N, P, K [§]) (inorganic)	142.7 b	0.45 c	3.16 a	1650 b
T7 (N, P, K + 2000 kg ha^{-1} OF)	153.9 a	0.63 a	2.44 b	2054 a

[†] Results in a column followed by a different letter are significantly different ($p \leq 0.05$) ♦ Los resultados en una columna seguidos de una letra distinta son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

[‡] OF = organic fertilizer ♦ FO = fertilizante orgánico.

[§] N, P, K = 160, 120 and 80 kg ha^{-1} of N, P_2O_5 , and K_2O .

T7 treatments, corresponding to the highest rate of organic fertilizer and the mixture (inorganic + organic fertilizer). This result agrees with that reported by Kaur *et al.* (2005), who indicate that there was an increase in soil MB-C in tropical soils which received sugarcane filter cake alone or in combination with chemical fertilizers, as compared to soils which received chemical fertilizers only. Mabuhay *et al.* (2006), Baaru *et al.* (2007) and Prakash *et al.* (2007) observed a significant increase in soil MB-C in response to the application of increasing amounts of other organic amendments (urban wastes, farmyard manure, municipal refuse compost, poultry manure, organic resources). The general increase in MB-C could be attributed to the application of easily biodegradable organic materials, which stimulate the autochthonous microbial activity of the soil, or to the incorporation of exogenous microorganisms (Perucci, 1992).

The trend of the MB-C for acid soil was similar to the one in the alkaline soil (Table 4). The MB-C in the acid soil was significantly ($p \leq 0.05$) increased by the application of the organic fertilizer. This increase was significant with the rate of 2000 kg ha^{-1} of OF and it was greater when higher rates of OF were added.

The greatest increase in the MB-C occurred in the soil amended with the combination of organic and inorganic fertilizers (T7). Similar results were found by Goyal *et al.* (2006) in a field experiment in Japan. They observed that the microbial biomass C and N increased significantly with the addition of pig

2000 kg ha^{-1} de FO y continuó en aumento al agregarse mayores tasas de FO.

El mayor incremento en CBM se dio en el suelo enmendado con la combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos (T7). Goyal *et al.* (2006) encontraron resultados similares en un experimento en campo en Japón. Observaron que el carbono y el nitrógeno de la biomasa microbiana aumentaron significativamente al agregar purines de cerdo con fertilizantes inorgánicos, al compararse con suelo no fertilizado. Estos autores indican que hay evidencia de que la aplicación de fertilizantes, en particular de N y las aplicaciones crecientes de residuos orgánicos, aumenta la materia orgánica del suelo y la biomasa microbiana (Mahmood *et al.*, 1997; Graham *et al.*, 2002). En el presente experimento, la incorporación de FO junto con fertilizantes químicos incrementó el CBM aproximadamente 48 % en relación al testigo (T1).

El nivel de COS del suelo alcalino tratado sólo con fertilizantes (T6) no fue distinto ($p > 0.05$) del testigo (Cuadro 3), lo que coincide con lo reportado por Leita *et al.* (1999) en estudios realizados en suelos italianos tratados con fertilizantes orgánicos e inorgánicos. El COS aumentó significativamente en los suelos con tasas mayores a 3000 kg ha^{-1} en relación al testigo. Sin embargo, hubo un mayor incremento al aplicar fertilizante orgánico junto con fertilizantes inorgánicos (T7). Kaur *et al.* (2005) obtuvieron resultados similares en un estudio sobre las propiedades químicas y biológicas del suelo después de siete años en secuencia de cultivo de sorgo-mijo en perla

slurry along with inorganic fertilizers, as compared to unfertilized soil. These authors indicated that there is evidence that fertilizer application, particularly N and increasing inputs of organic C residues, increase soil organic matter and microbial biomass (Mahmood *et al.*, 1997; Graham *et al.*, 2002). In our experiment, the incorporation of OF along with chemical fertilizers increased the MB-C by about 48 % related to control (T1).

The SOC level of the alkaline soil treated with inorganic fertilizers alone (T6) was not different ($p>0.05$) from the control (Table 3), which agrees with the result reported by Leita *et al.* (1999) in studies carried out on Italian soils treated with organic and inorganic fertilizer. The SOC was significantly increased in the soils treated with rates above 3000 kg ha⁻¹ related to control. However, there was a greater increase of the SOC when organic fertilizer was applied along with inorganic fertilizers (T7). Similar results were found by Kaur *et al.* (2005) in a study on soil chemical and biological properties after seven years with pearl millet-wheat cropping sequence in soils which received organic manures (farmyard manure, poultry manure, and sugarcane filter cake) with and without chemical fertilizers. Compost of sugar cane wastes in combination with chemical fertilizers increased the SOC by about 43 %; thus, the proportional increase in the MB-C resulting from incorporation of organic and inorganic fertilizers (96 %) was greater than those in the SOC. This result is in accordance with findings reported by Powlson *et al.* (1987), who found that straw incorporation increased the SOC by only 5 %, and the increases in MB-C were 45 and 37 %, in two field experiments in Denmark.

No significant differences were found ($p>0.05$) in the acid soil between the SOC content of control and inorganic-fertilizer treated soil (T6). But when the organic fertilizer was applied, either with or without inorganic fertilizer, significantly higher values of the SOC were obtained than in the control soil (Table 4). This result agrees with the findings of Dee *et al.* (2002), who reported that additions of sugar cane filter cake increased the organic C content of an acid soil in a pot experiment, the effect being greater at the higher rate. Arreola-Enriquez *et al.* (2004) found that 10 and 15 t ha⁻¹ of filter cake enriched with inorganic fertilizer increased the SOC between 15 and 24 %. Significant increase in the SOC in response

en suelos que recibieron estiércol orgánico (estiércol de corral, estiércol de aves, y cachaza de caña de azúcar) con y sin fertilizantes químicos. El compost de desechos de la caña de azúcar en combinación con fertilizantes químicos incrementó el COS aproximadamente 43 %; por tanto, el aumento proporcional en el CBM resultante de la incorporación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos (96 %) fue mayor que en el del COS. Este resultado coincide con lo observado por Powlson *et al.* (1987), quienes encontraron que la incorporación de paja elevó el COS sólo un 5 %, y los incrementos en CBM fueron 45 % y 37 % en dos experimentos de campos en Dinamarca.

No hubo diferencias significativas ($p>0.05$) en el suelo ácido entre el contenido de COS del testigo y el suelo tratado con fertilizante orgánico (T6). Pero al aplicar el fertilizante orgánico, ya sea con o sin fertilizante inorgánico, los valores de COS obtenidos fueron significativamente mayores que en el suelo testigo (Cuadro 4). Este resultado coincide con lo observado por Dee *et al.* (2002), quienes reportaron que las aplicaciones de cachaza de azúcar de caña incrementaron el contenido de C orgánico de un suelo ácido en un experimento en maceta, con un mayor efecto en la tasa más elevada. Arreola-Enriquez *et al.* (2004) encontraron que 10 y 15 t ha⁻¹ de cachaza enriquecidas con fertilizante inorgánico incrementaron el COS entre 15 y 24 %. También se ha reportado aumento significativo en COS como resultado de enmiendas orgánicas con o sin fertilizante inorgánico (Leita *et al.*, 1999; Madejón *et al.*, 2003; Prakash *et al.*, 2007). La incorporación de FO en combinación con fertilizantes químicos incrementó el COS aproximadamente en 43 %, comparado con el testigo (T1).

La relación CBM/COS en el Alfisol alcalino fue de 0.95 a 1.48 % (Cuadro 3). No hubo diferencias significativas entre la relación CBM/SOC del testigo y los suelos que recibieron menos de 4000 kg ha⁻¹ de fertilizante orgánico. Sin embargo, esta variable aumentó significativamente en los suelos tratados con 4000 kg ha⁻¹ de FO (T5), FO combinado con fertilizantes inorgánicos (T7) o en suelos tratados con fertilizantes inorgánicos (T6). La relación CBM/COS de los tratamientos T5, T6 y T7 fue 47, 46 y 39 % mayor que en el testigo (T1). Estos resultados concuerdan con los reportados por Powlson *et al.* (1987), y respaldan la afirmación de que la aplicación de materia orgánica al suelo incrementa la relación

to the application of organic amendments with or without inorganic fertilizer also has been reported (Leita *et al.*, 1999; Madejón *et al.*, 2003; Prakash *et al.*, 2007). The incorporation of OF in combination with chemical fertilizers increased the SOC by about 43 % compared to control (T1).

The MB-C/SOC ratio in the alkaline Alfisol ranged from 0.95 to 1.48 % (Table 3). There were no significant differences between MB-C/SOC ratio of control and soils receiving below 4000 kg ha⁻¹ of organic fertilizer. However, this variable was increased significantly in the soils treated with 4000 kg ha⁻¹ of OF (T5), OF combined with inorganic fertilizers (T7) or with inorganic-fertilizer treated soil (T6). The MB-C/SOC ratio for T5, T6 and T7 treatments was 47, 46 and 39 % higher than in the control (T1). These results agree with those reported by Powlson *et al.* (1987), and support the statement that application of organic materials to the soils increases the MB-C/SOC ratio. Similar results were found by Pascual *et al.* (1997), who reported that the addition of urban wastes to the soil increased the values of MB-C to SOC ratio as compared with soils receiving no organic amendment. According to Anderson and Domsch (1989), the ratio of MB-C to SOC is an indicator of the relative availability of substrate for soil microorganisms. Pascual *et al.* (1997) suggest that MB-C/SOC ratio (at least in the laboratory under forced humidity and temperature conditions) is a reflection of the potential of organic matter mineralization and not of the stability of the organic matter; the lower the ratio, the lower the tendency of the organic matter to mineralize.

In acid Alfisol, the MB-C/SOC ratio ranged from 1.86 to 2.45 % (Table 4). Significant differences were not detected ($p > 0.05$) among the values of MB-C/SOC ratio of the T1 (control), T4, T5 and T7 treatments. The highest value in this case corresponded to the treatment in which only inorganic fertilizer was applied (T6). These results are opposed to those found by Anderson and Domsch (1989), who reported that green or farmyard manure increased MB-C/SOC ratio when compared to mineral fertilization under permanent monoculture plots and crop rotation plots, due to soil management practices. The values of MB-C/SOC ratio were significantly greater ($p \leq 0.05$) for the acid than for the alkaline Alfisol.

Jenkinson and Powlson (1976), Powlson *et al.* (1987) and Smith and Paul (1990) reported a

CBM/COS. Pascual *et al.* (1997) obtuvieron resultados similares y reportaron que la incorporación de desechos urbanos al suelo incrementó los valores de la relación de CBM a COS al compararlos con suelos que no recibieron enmienda orgánica. De acuerdo con Anderson y Domsch (1989), la relación de CBM a COS es un indicador de la disponibilidad relativa del sustrato para los microorganismos del suelo. Pascual *et al.* (1997) sugieren que la relación CBM/COS (al menos en el laboratorio en condiciones de humedad y temperatura) es un reflejo del potencial de la mineralización de la materia orgánica y no de la estabilidad de la materia orgánica; entre más baja sea la relación, menor será la tendencia de la materia orgánica a mineralizarse.

En Alfisol ácido, la relación CBM/COS varió de 1.86 a 2.45 % (Cuadro 4). No se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los valores de la relación CBM/COS de los tratamientos T1 (testigo), T4, T5 y T7. El valor más alto en este caso correspondió al tratamiento en el que sólo se aplicó fertilizante orgánico (T6). Estos resultados son contrarios a los obtenidos por Anderson y Domsch (1989), quienes reportaron que el estiércol verde o de corral incrementó la relación CBM/COS al compararla con la fertilización mineral bajo parcelas permanentes en monocultivo y parcelas de rotación de cultivos, esto debido a las prácticas de manejo de suelo. Los valores de la relación CBM/COS fueron significativamente mayores ($p \leq 0.05$) en el Alfisol ácido que en el alcalino.

Jenkinson y Powlson (1976), Powlson *et al.* (1987) y Smith y Paul (1990) reportaron una correlación positiva significativa entre CBM y COS. En el presente estudio se encontró una correlación lineal estadísticamente significativa ($r = 0.76$) entre CBM y COS en el suelo alcalino ($p \leq 0.001$) (Figura 1). Ruiz y Paolini (2004) y Leita *et al.* (1999) muestran correlaciones similares en los suelos agrícolas alcalinos en Venezuela e Italia, y Dominy *et al.* (2002) en suelos en Sudáfrica. Sin embargo, no se observó correlación significativa entre CBM y el COS en el suelo ácido, resultado que coincide con los de Insam *et al.* (1991), Smith *et al.* (2002) y Hargreaves *et al.* (2003) quienes reportaron que no hubo correlación significativa entre estas dos propiedades en suelos agrícolas y no agrícolas.

Rendimiento del maíz

El mayor rendimiento de maíz en ambos suelos se obtuvo con la combinación de fertilizante inorgánico

significant positive correlation between MB-C and SOC. In our study, a linear statistically significant correlation ($r=0.76$) was found between MB-C and the SOC in the alkaline soil ($p\leq 0.001$) (Figure 1). Ruiz and Paolini (2004) and Leita *et al.* (1999) show similar correlations for agricultural alkaline soils in Venezuela and Italy, and Dominy *et al.* (2002) for soils in South Africa. However, no significant correlation was observed between MB-C and the SOC in the acid soil, a result that concurs with those of Insam *et al.* (1991), Smith *et al.* (2002) and Hargreaves *et al.* (2003) who reported no significant correlation between these two properties for agricultural and non-agricultural soils.

Yield of maize

The highest maize yield in both soils was found with the combination of inorganic fertilizer and OF (T7), followed by the application of only inorganic fertilizer (T6). The crop yields on the plots that only received OF were similar among themselves and higher than the control (T1) (Tables 3 and 4). However, in the acid soil, no significant differences were found between 1000 kg ha^{-1} (T2) and the control (T1). The crop yields were higher in the alkaline Alfisol with all the treatments, than in the acid Alfisol.

Maize yield and MB-C were significantly correlated in both soils. The regression equations and simple correlation coefficients for these relationships are shown in Figure 2 for alkaline soil and in Figure 3 for acid soil. Similar results were reported by Insam *et*

y FO (T7), seguido de la aplicación de fertilizante inorgánico solo (T6). Los rendimientos del cultivo en las parcelas que recibieron únicamente FO fueron similares entre sí y mayores al testigo (T1) (Cuadros 3 y 4). Sin embargo, en el suelo ácido no hubo diferencias significativas entre 1000 kg ha^{-1} (T2) y el testigo (T1). Los rendimientos del cultivo fueron más elevados en el Alfisol alcalino con todos los tratamientos, que en el Alfisol ácido.

El rendimiento de maíz y el CBM estuvieron significativamente correlacionados en ambos suelos. Las ecuaciones de regresión y los coeficientes de correlación simple de estas relaciones se muestran en la Figura 2 para el suelo alcalino y en la Figura 3 para el suelo ácido. Insam *et al.* (1991) reportaron resultados

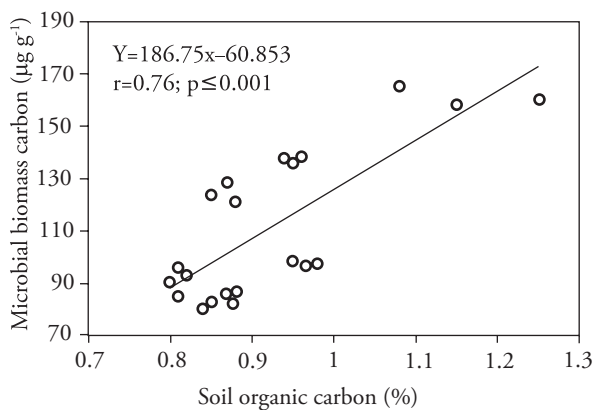


Figure 1. Correlation between microbial biomass carbon and soil organic carbon in alkaline Alfisol.

Figura 1. Correlación entre carbono de la biomasa microbiana y carbono orgánico del suelo en Alfisol alcalino.

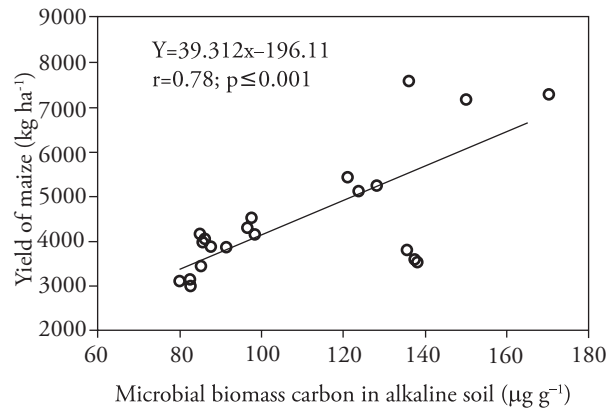


Figure 2. Correlation between microbial biomass carbon (MB-C) and yield in the alkaline soil.

Figura 2. Correlación del carbono de la biomasa microbiana (CBM) y rendimiento en el suelo alcalino.

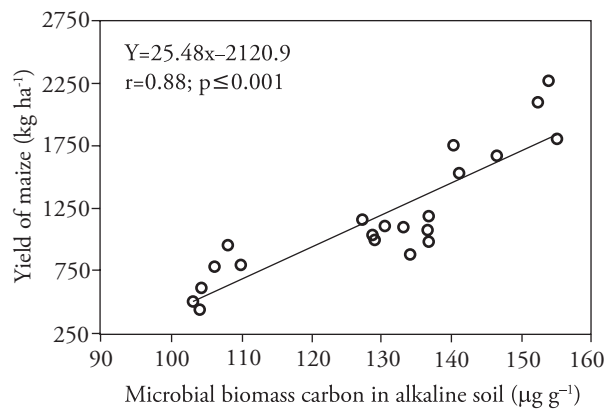


Figure 3. Correlation between soil microbial biomass carbon and yield in the acid soil.

Figura 3. Correlación entre carbono de la biomasa microbiana y rendimiento en el suelo ácido

al. (1991) in acid soils from the USA, with different crops ($R = 0.77$; $p \leq 0.01$).

Content of N, P and K in the maize leaves are reported in Tables 5 and 6. In both soils, T6 and T7 showed the highest content of nutrients (N, P, K) with respect to the control.

With the exception of the correlation between maize yield and SOC in the acid soil, the correlations between yield and MB-C, SOC, N, P and K in maize plants were significant at $p \leq 0.001$ in both soils (Table 7).

CONCLUSIONS

The highest values of microbial biomass carbon, soil organic carbon and maize yield were obtained with the combination of organic and inorganic fertilizers, in the following rate: $160 \text{ kg N ha}^{-1} + 120 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} + 80 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1} + 2000 \text{ kg ha}^{-1}$ organic fertilizer, as compared with an unfertilized control in the two soils.

The effect of fertilization on microbial biomass carbon, soil organic carbon and maize yield was more noticeable in the alkaline soil than in the acid soil, due to the highest availability of nutrients and better conditions for the microbial activity in the alkaline soil.

A linear significant correlation was found between microbial biomass carbon and soil organic carbon in the alkaline soil. Maize yield and microbial biomass carbon were significantly correlated in both

Table 5. Nutrients in plants of maize sown in inorganic and organic fertilized alkaline soil.

Cuadro 5. Nutrientes en plantas de maíz sembradas por tratamientos en el suelo alcalino.

Treatment	N [†] (mg g ⁻¹)	P (mg g ⁻¹)	K (mg g ⁻¹)
T1 (Control)	19.5 e	1.8 d	13.6 f
T2 (1000 kg ha ⁻¹ OF [‡])	23.2 bc	1.7 d	19.4 e
T3 (2000 kg ha ⁻¹ OF)	21.9 cd	2.5 c	20.7 de
T4 (3000 kg ha ⁻¹ OF)	21.1 de	2.9 c	23.3 bc
T5 (4000 kg ha ⁻¹ OF)	22.0 cd	2.6 c	22.7 cd
T6 (N, P, K [§]) (inorganic)	24.8 ab	4.4 b	25.1 b
T7 (N, P, K + 2000 kg ha ⁻¹ OF)	25.4 a	5.5 a	28.7 a

[†]Results in a column followed by a different letter are significantly different ($p \leq 0.05$) ♦ Los resultados en una columna seguidos por una letra distinta son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

[‡]OF: organic fertilizer ♦ FO: fertilizante orgánico.

[§]N, P, K = 160, 120 and 80 kg ha⁻¹ of N, P₂O₅, and K₂O.

similares en suelos ácidos de EE.UU., con distintos cultivos ($R=0.77$; $p \leq 0.01$).

El contenido de N, P y K en las hojas de maíz se observan en los Cuadros 5 y 6. En ambos suelos, T6 y T7 mostraron el mayor contenido de nutrientes (N, P, K) con respecto al testigo.

A excepción de la correlación entre rendimiento de maíz y COS en el suelo ácido, las correlaciones entre rendimiento y CBM, COS, N, P y K en plantas de maíz fueron significativas en $p \leq 0.001$ en ambos suelos (Cuadro 7).

CONCLUSIONES

Los valores más altos de carbono de la biomasa microbiana, carbono orgánico del suelo y rendimiento de maíz se obtuvieron con la combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, en la siguiente dosis: $160 \text{ kg N ha}^{-1} + 120 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} + 80 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1} + 2000 \text{ kg ha}^{-1}$ de fertilizante orgánico, al compararlos con un testigo no fertilizado en los dos suelos.

El efecto de la fertilización en carbono de la biomasa microbiana, carbono orgánico del suelo y rendimiento del maíz fue más evidente en el suelo alcalino que en el ácido, debido a la mayor disponibilidad de nutrientes y a las mejores condiciones para la actividad microbiana existentes en el suelo alcalino.

Se encontró una correlación lineal significativa entre carbono de la biomasa microbiana y carbono orgánico en el suelo alcalino. El rendimiento de maíz y el carbono de la biomasa microbiana mostraron

Table 6. Nutrients N, P, K in plants of maize sown in inorganic and organic fertilized acid soils.

Cuadro 6. Nutrientes N, P, K en plantas de maíz sembradas por tratamientos en el suelo ácido.

Treatment	N [†] (mg g ⁻¹)	P (mg g ⁻¹)	K (mg g ⁻¹)
T1 (Control)	4.4 e	1.3 d	1.04 f
T2 (1000 kg ha ⁻¹ OF [‡])	5.6 e	2.4 bc	1.34 e
T3 (2000 kg ha ⁻¹ OF)	10.5 d	2.6 abc	1.52 d
T4 (3000 kg ha ⁻¹ OF)	14.1 c	2.1 c	1.93 c
T5 (4000 kg ha ⁻¹ OF)	10.2 d	2.9 a	2.08 c
T6 (N, P, K [§]) (inorganic)	18.0 b	2.7 ab	2.27 b
T7 (N, P, K + 2000 kg ha ⁻¹ OF)	22.1 a	3.0 a	2.51 a

[†]Results in a column followed by a different letter are significantly different ($p \leq 0.05$) ♦ Los resultados en una columna seguidos por una letra distinta son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

[‡]OF: organic fertilizer ♦ FO: fertilizante orgánico.

[§]N, P, K = 160, 120 and 80 kg ha⁻¹ of N, P₂O₅, and K₂O.

soils. Furthermore, maize yield correlated with the nitrogen, phosphorus, and potassium content in the maize leaves.

LITERATURE CITED

Anderson, T. H., and K. H. Domsch. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21: 471-479.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1997. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Chapter 2. 16th Ed., 3rd rev. Gaithersburg, M.D. USA. pp: 5-6.

Arreola-Enríquez, J., D. Palma-López, S. Salgado-García, W. Camacho-Chiu, J. Obrador-Olán, J. Juárez-López, y L. Pastrana-Aponte. 2004. Evaluación de abono organo-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. *Terra Latinoamericana* 22: 351-357

Baaru, M. W., D. N. Mungendi, A. Bationo, L. Verchot, and W. Waceke. 2007. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as influenced by organic and inorganic inputs at Kabete, Kenya. *In: Bationo A., B. Waswa, J. Kihara, and J. Kimetu (eds). Advances in Integrated Soil Fertility Management in sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities*. Springer. Netherlands. pp: 827-832.

Cori C., C. Arvelo, M. Ruiz, M. Zaragoza, L. Castillo, J. Escalona, E. Arteaga, M. Torres, C. Cañizales, I. Arrieché, y L. Saume. 1999. Definición de los métodos para analizar nitrógeno total en fertilizantes. *Venezuelas* 6: 33-38

Dee, B. M., R. J. Haynes, and J. H. Meyer. 2002. Sugar mill wastes can be important soil amendments. *In: South African Sugar Technologists Association, Abstracts of the 76th SASTA congress*. Mount Edgecombe, South Africa. pp:15.

Dominy, C. S., R. J. Haynes, and R. Van Antwerpen. 2002. Loss of soil organic matter and related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soils. *Biol. Fertility Soils* 36:350-356.

Goyal S., K. Sakamoto, K. Inubushi, and K. Kamewada. 2006. Long-term effects of inorganic fertilization and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties in Andisols. *Arch. Agron. Soil Sci.* 52(6): 617-625.

Graham, M. H., R. J. Haynes, and J. H. Meyers. 2002. Soil organic matter content and quality: Effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *Soil Biol. Biochem.* 34: 93-102.

Hargreaves, P.R., P.C. Brookes, G.J.S. Roos, and P.R. Poulton. 2003. Evaluating soil microbial biomass carbon as an indicator of long-term environmental change. *Soil Biol. Biochem.* 35: 401-407.

Insam, H., C. Mitchell, and J. Dormaar. 1991. Relationships of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three Ultisols. *Soil Biol. Biochem.* 23: 459-464.

Jenkinson, D. S., and D. Powlson. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8: 209-213.

Kaur, K., K. K Kapoor, and A. P. Gupta. 2005. Impact of organic manures with and without mineral fertilizers on soil chemical

Table 7. Correlation coefficient (r) between maize yield and SOC, N, P, K concentration in the maize leaves.
Cuadro 7. Coeficiente de correlación (r) entre rendimiento de maíz y concentración de COS, N, P, K en hojas de maíz.

Soil		SOC	N	P	K
Alkaline	Yield	0.818	0.794	0.939	0.835
	p-value	0.002	0.001	0.001	0.001
Acid	Yield	0.202	0.918	0.745	0.877
	p-value	0.380	0.001	0.001	0.001

una correlación significativa en ambos suelos. Además, el rendimiento del maíz se correlacionó con el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en las hojas de maíz.

—Fin de la versión en español—



and biological properties under tropical conditions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168:117-122

Leita, L., M. De Nobili, C. Mondini, G. Muhlbachova, L. Marchiol, G. Bragato, and M. Contin. 1999. Influence of inorganic and organic fertilization on soil microbial biomass, metabolic quotient and heavy metal bioavailability. *Biol. Fertility Soils* 28:371-376.

López R., J., y J. López M. 1978. *El Diagnóstico de Suelos y Plantas*. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España 108 p.

Mabuhay, J. A., N. Nakagoshi, and Y. Isagi. 2006. Microbial responses to organic and inorganic amendments in eroded soil. *Land Degradation and Develop.* 17: 321-332.

Madejón, E., P. Burgos, R. López, and F. Cabrera. 2003. Agricultural use of three organic residues: effect on orange production and on properties of a soil of the Comarca Costa de Huelva (SE Spain). *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 64: 281-288.

Mahmood, T., F. Azam., F. Hussain, and K. Malik. 1997. Carbon availability and microbial biomass in soil under an irrigated wheat-maize cropping system receiving different fertilizer treatments. *Biol. Fertility Soils* 25: 63-68.

Malavolta, E., G. Vitti, e S. De Oliveira, 1997. *Avaliacao do Estado Nutricional das Plants. Principios e Aplicacoes*. 2^a ed. Associação Brasileira para pesquisa potassa e do fosfato. Piracicaba, Brasil. 201 p.

Matheus, J. 2004. Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (biofertilizante) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Bioagro* 16: 219-224.

Meunchang, S., S. Panichsapatana, and R. W. Weaver. 2006. Tomato growth in soil amended with sugar mill by-products compost. *Plant and Soil* 280: 171-176.

Nelson, D. W., and L.E. Sommers. 1996. Total carbon and organic matter. *In: Woodwell, G. M. (ed). Methods of Soil Analysis Part 3 – Chemical Methods*. Soil Science Society of America Book series No. 5. pp: 961-1010.

- Pascual, J., C. García, T. Hernández, and M. Ayuso. 1997. Changes in the microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes. *Biol. Fertility Soils* 24: 429-434.
- Perucci, P. 1992. Enzyme activity and microbial biomass in a field soil amended with municipal refuse. *Biol. Fertility Soils* 14: 54-60.
- Powlson, D. S., P.C. Brookes, and B.T. Christensen. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in the total soil matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 19:159-164.
- Powlson, D. S. 1994. The soil microbial biomass: before, beyond and back. *In: Ritz K., J. Dighton, and K. E. Giller (eds). Beyond the Biomass.* Wiley. Chichester. pp: 3-20.
- Prakash, V., R. Bhattacharyya, G. Selvakumar, S. Kundu, and H. S Gupta. 2007. Long-term effects of fertilization on some soil properties under rainfed soybean-wheat cropping in the Indian Himalayas. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170: 224- 233.
- Rhoades, J. 1982. Cation exchange capacity. *In: Page, A.L. (ed). Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy Monograph N° 9.* Madison, WI. pp: 178-190.
- Ruiz, M., y J. Paolini. 2004. El cultivo y el agua de riego sobre el carbono de la biomasa microbiana. *Agron. Trop.* 54: 161-178.
- Saffigna, P. G., D. S. Powlson, P. C. Brookes, and G. A. Thomas. 1989. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian Vertisol. *Soil Biol. Biochem.* 21: 759-765.
- Schinner, F., E. Kandeler, R. Öhlinger, and R. Margesin. 1995. Soil sampling and sample preparation. *In: Schinner F., R., E. Öhlinger, Kandeler, and R. Margesin (eds). Methods in Soil Biology.* Springer. New York. pp: 7-11.
- Smith, J. L., and E. A. Paul. 1990. The significance of soil microbial biomass estimations. *In: Soil Biochemistry, vol 6.* Marcel Dekker, New York. pp: 357-396.
- Smith, J., J. Halvorson, and H. Bolton. 2002. Soil properties and microbial activity across a 500 m elevation gradient in a semi-arid environment. *Soil Biol. Biochem.* 34: 1749 -1757.