

MANEJO INTEGRADO DE FERTILIZANTES Y ABONOS ORGÁNICOS EN EL CULTIVO DE MAÍZ

INTEGRATED MANAGEMENT OF INORGANIC AND ORGANIC FERTILIZERS IN MAIZE CROPPING

J. David Álvarez-Solís^{1*}, D. Aurora Gómez-Velasco², N. Samuel León-Martínez¹, F. Antonio Gutiérrez-Miceli²

¹Departamento de Agroecología. División de Sistemas de Producción Alternativos. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Apartado Postal 63. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. (dalvarez@ecosur.mx). ²Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

RESUMEN

El mantenimiento de la capacidad productiva del suelo requiere integrar prácticas de nutrición vegetal y de mejoramiento del suelo. Para ello es necesario aplicar prácticas agroecológicas y generar información de sus efectos en las características del suelo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en la actividad de fosfatasa y ureasa, la colonización micorrízica nativa y el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.). El experimento se realizó en condiciones de temporal en Teopisca, estado de Chiapas. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con un arreglo factorial (2×4) de tratamientos: dosis de fertilización (60 - 30 y 120 - 60 de N - P), y abonos orgánicos (sin abono o testigo, composta, bokashi y humus de lombriz; dosis, 6 t ha⁻¹). En el crecimiento vegetativo la fosfatasa alcalina fue 74.5 % más alta con humus de lombriz, mientras que la fosfatasa ácida fue 41.9 % más alta con composta, ambas en relación al testigo. En la floración disminuyó 46.2 % la actividad ureasa con la dosis alta de fertilización. El porcentaje de colonización micorrízica fue 1.3 veces más alto con bokashi que sin abono. El rendimiento de grano varió de 2152 a 3616 kg ha⁻¹; el valor más bajo fue para la dosis baja de fertilización sin abono y el más alto para la dosis alta de fertilización con humus de lombriz. Con dosis baja de fertilización el rendimiento aumentó 3.8, 12.7 y 11.5 % con composta, bokashi y humus de lombriz, mientras que con dosis alta de fertilización, el incremento fue 17.7, 21.9 y 30.5 %. El análisis de los resultados sugiere la importancia del manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos por su efecto positivo en la actividad enzimática, colonización micorrízica y rendimiento de maíz en temporal en el estado de Chiapas.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Marzo, 2009. Aprobado: Agosto, 2009.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 44: 575-586. 2010.

ABSTRACT

Maintenance of the soil's productive capacity requires integration of plant nutrition and soil improvement practices. It is thus necessary to apply agroecological practices and generate information about their effects on soil properties. The objective of this study was to evaluate the effect of integrated management of inorganic and organic fertilizers on phosphatase and urease activity, colonization of native mycorrhizal fungi and corn (*Zea mays* L.) yield. The experiment was conducted under rainfed conditions in Teopisca, state of Chiapas. The experimental design was complete randomized blocks with a factorial arrangement (2×4) of treatments: inorganic fertilizer levels (60-30 and 120-60 N-P) and organic fertilizer (none or control, compost, bokashi and worm humus; rate 6 t ha⁻¹). In vegetative growth, alkaline phosphatase was 74.5 % higher with worm humus than the control without organic fertilizer, while acid phosphatase was 41.9 % higher with compost than the control. During flowering, urease activity decreased 46.2 % with the high dosage of fertilization. The percentage of mycorrhizal colonization was 1.3 times higher with bokashi than without organic fertilizer. Grain yield varied from 2152 to 3616 kg ha⁻¹; the lowest value corresponded to the low dosage of inorganic fertilizer without organic fertilizer, while the highest values were obtained with the higher dosage of inorganic fertilizer with worm humus. With the low level of inorganic fertilizer, yield increased 3.8, 12.7 and 11.5 % with compost, bokashi and worm humus, while with the high level, the increase was 17.7, 21.9 and 30.5 %. The analysis of the results showing positive effects on enzymatic activity, mycorrhizal fungus colonization and corn yield suggest the importance of integrated management of inorganic and organic fertilizers in rainfed maize in the state of Chiapas.

Key words: *Zea mays*, compost, phosphatase, mycorrhizae, local race maize, urease.

Palabras clave: *Zea mays*, composta, fosfatasa, maíz criollo, micorriza arbuscular, ureasa.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento de la capacidad productiva del suelo requiere integrar prácticas de nutrición vegetal y de mejoramiento del suelo que permitan un manejo adecuado de los nutrientes para evitar su carencia o pérdidas por lixiviación, y de la materia orgánica para potenciar la biodiversidad edáfica y optimar las variables edáficas ligadas a su conservación (Labrador, 1996). Para este fin se requiere aplicar prácticas agroecológicas, así como generar información de la evolución de las características del suelo en diferentes condiciones de manejo (Astier-Calderón *et al.*, 2002; Bautista-Cruz *et al.*, 2004).

Los abonos orgánicos aportan materia orgánica, nutrientes y microorganismos, lo cual favorece la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas (Eghball *et al.*, 2004); sin embargo, su capacidad como fuente de nutrientes es baja, respecto a los fertilizantes. El contenido de N de las compostas es 1-3 % y la tasa de mineralización del nitrógeno es cercana al 10 % (Sikora y Enkiri, 2001), por lo cual sólo una fracción del N y otros nutrientes está disponible el primer año después de su aplicación. Para satisfacer las necesidades nutricionales de cultivos como el maíz, se requieren altas cantidades de abonos (López-Martínez *et al.*, 2001), lo que implica una elevada disponibilidad de residuos orgánicos para su elaboración y condiciones adecuadas para su almacenaje y aplicación. Un enfoque alternativo es usar bajas cantidades de abonos orgánicos y complementar con fertilizantes inorgánicos.

La mineralización de la materia orgánica implica procesos metabólicos catalizados por enzimas. La actividad enzimática es un indicador de cambios tempranos en la calidad del suelo por sus relaciones con la microflora y la facilidad de su medición y su rápida respuesta a las prácticas de manejo agrícola (De la Paz-Jiménez *et al.*, 2002). La ureasa y las fosfatasa han recibido más atención por sus implicaciones en los ciclos biogeoquímicos y de nutrición (Makoi y Ndakidemi, 2008). La ureasa cataliza la reacción de hidrólisis de los enlaces C-N de algunas amidas y de la urea en amonio y dióxido de carbono. Las fosfatasa catalizan la reacción de hidrólisis de los enlaces

INTRODUCTION

Maintaining the productive capacity of the soil requires integration of plant nutrition and soil improvement practices that allow adequate management of nutrients to prevent deficits or losses from leaching and losses of organic matter, and in this way, enhance soil biodiversity and optimize soil variables linked to its conservation (Labrador, 1996). For this reason, it is necessary to apply agroecological practices and generate information on the evolution of soil characteristics under different conditions of management (Astier-Calderón *et al.*, 2002; Bautista-Cruz *et al.*, 2004).

Organic fertilizers contribute organic matter, nutrients and microorganism which favor soil fertility and plant nutrition (Eghball *et al.*, 2004). However, they have a low capacity as source of nutrients compared with chemical fertilizers. The content of N in composts is 1-3 %, and the nitrogen mineralization rate is around 10 % (Sikora and Enkiri, 2001), and therefore, only a fraction of the N and other nutrients is available the first year after application. To satisfy the nutritional requirements of crops such as corn, large amounts of organic fertilizers are required (López-Martínez *et al.*, 2001), implying that large amounts of organic residues need to be available for processing and adequate conditions are required for its storage and application. An alternative approach is to use small quantities of organic fertilizers supplemented with inorganic fertilizers.

Mineralization of organic matter implies metabolic processes catalyzed by enzymes. Enzymatic activity is easily measured and is an indicator of early changes in soil quality because of its relationship with microflora and its rapid response to agricultural management practices (De la Paz-Jiménez *et al.*, 2002). Urease and phosphatases have received more attention because of their implications in the bio-geochemical and nutrient cycles (Makoi and Ndakidemi, 2008). Urease catalyzes the reaction of hydrolysis of the C-N bonds of some amides and of the urea in ammonium and carbon dioxide. Phosphatases catalyze the reaction of hydrolysis of the ester and phosphate anhydride bonds. These enzymes have a fundamental function in the P cycle by releasing the orthophosphate ion of organic and inorganic compounds, making it available for plants.

ésteres y anhídridos de fosfato. Estas enzimas tienen una función fundamental en el ciclo del P al liberar el ión ortofosfato de compuestos orgánicos e inorgánicos, el cual queda disponible para las plantas.

La micorriza arbuscular es un tipo de simbiosis mutualista que mejora la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes, debido a su mayor accesibilidad a recursos distantes del sistema radical (González-Chávez y Ferrera-Cerrato, 1994). El maíz es una planta micotrófica facultativa que responde a la presencia de hongos micorrízicos nativos en suelos con bajo o moderado nivel de fertilidad (Gavito y Varela, 1995; Gavito y Miller, 1998). La fertilización fosfatada disminuye la colonización y los beneficios que podría proveer al cultivo; por el contrario, los abonos orgánicos tienden a aumentar el potencial de inóculo micorrízico del suelo, la colonización y la absorción de nutrientes (Gosling *et al.*, 2006).

La aplicación de materia orgánica también aumenta la actividad de las fosfatasas al estimular de la biomasa microbiana y la secreción de las raíces (Deng y Tabatabai, 1997; Purakayastha *et al.*, 2006). La fosfatasa ácida es influenciada por la fisiología de la planta y el suministro de P inorgánico: su actividad disminuye con la edad y aumenta cuando hay deficiencia de P (Cruz-Flores *et al.*, 2005). Por el contrario, la actividad de ureasa muestra una respuesta variable a la aplicación de abonos orgánicos y hay una mayor actividad ureasa en suelos con composta que sin ella (Banik *et al.* 2006, Antonious 2003). Sin embargo, Serra-Wittling *et al.* (1995) y Crecchio *et al.* (2001) indican que no hay efecto de la composta en la ureasa, y García-Gil *et al.* (2000) señalan su inhibición debido a la continua aplicación de compostas elaboradas con desechos municipales. Además se ha observado una inhibición de la actividad ureasa en respuesta a una fertilización nitrogenada (Ajwa *et al.* 1999; Crecchio *et al.*, 2001; Lalfakzuala *et al.*, 2008). Así, con un manejo integrado de abonos orgánicos y fertilizantes inorgánicos, la actividad de estas enzimas y la colonización micorrízica podría ser reprimida por la presencia de N y P inorgánicos.

Por tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de tres abonos orgánicos con dos niveles de fertilización inorgánica en la colonización micorrízica nativa y la actividad de ureasa, fosfatasa ácida y fosfatasa alcalina, así como en el rendimiento de grano del maíz.

Arbuscular mycorrhiza is a type of symbiosis that improves the plant's capacity to absorb water and nutrients, as a consequence of its greater accessibility to resources distant from the root system (González-Chávez and Ferrera-Cerrato, 1994). Maize is a facultative mycotrophic plant that responds to the presence of native mycorrhizal fungi in poor to moderately fertile soils (Gavito and Varela, 1995; Gavito and Miller, 1998). Phosphate fertilization decreases mycorrhizal colonization and the benefits that it might provide to the crop; in contrast organic fertilizers tend to increase the mycorrhizal inoculum potential of the soil, root colonization and nutrient absorption (Gosling *et al.*, 2006).

Application of organic matter also increases phosphatase activity by stimulating microbial biomass and root secretion (Deng and Tabatabai, 1997; Prukayastha *et al.*, 2006). Acid phosphatase is affected by plant physiology and by the supply of inorganic P: its activity decreases with age of the plant and increases when there is a P deficiency (Cruz-Flores *et al.*, 2005). In contrast, urease activity responds variably to the application of organic fertilizers, and there is greater urease activity in soils amended with compost than in those without (Banik *et al.*, 2006; Antonious 2003). However, Serra-Wittling *et al.* (1995) and Crecchio *et al.* (2001) indicate that compost has no effect on urease, while García-Gil *et al.* (2000) report that it is inhibited by a continuous application of composts made from municipal wastes. Besides, it has been observed that urease activity is inhibited in response to nitrogen fertilization (Ajwa *et al.*, 1999; Crecchio *et al.*, 2001; Lalfakzuala *et al.*, 2008). Thus, with integrated management of organic and inorganic fertilizers, the activity of these enzymes and mycorrhizal fungus colonization could be suppressed by the presence of inorganic N and P.

Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of the application of three organic fertilizers combined with two dosages of inorganic fertilizers on colonization of native mycorrhizal fungi and on the activity of urease, acid phosphatase, and alkaline phosphatase, as well as on corn yield.

MATERIALS AND METHODS

This study was conducted during the 2006 spring-summer growing cycle under rainfed conditions in the Centro

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante el ciclo primavera-verano de 2006 en condiciones de temporal en el Centro Universitario de Investigación y Transferencia de Tecnología de la Universidad Autónoma de Chiapas ubicado en Teopisca, estado de Chiapas, a una altitud de 1 800 m. El clima es templado subhúmedo (C(w2)w) con temperatura media anual de 12 a 18 °C y precipitación media anual de 1100 a 1300 mm, con lluvias en verano y época seca de noviembre a mayo (Mera, 1989). El suelo es de textura arcillosa con pH de 5.3 (relación 1/2 en agua) y drenaje deficiente en la temporada lluviosa, con densidad aparente de 1.15 Mg m⁻³; 3.3 % de materia orgánica (Walkley y Black); 0.18 % de N total (micro-Kjeldahl); 2.6 mg kg⁻¹ de P-Olsen; 0.30, 4.83 y 2.51 cmol⁺ kg⁻¹ de K, Ca y Mg intercambiables (espectrometría de absorción atómica); y 30.1 cmol⁺ kg⁻¹ de capacidad de intercambio catiónico (acetato de amonio 1N pH 7).

El diseño experimental fue bloques completos al azar con un arreglo factorial (2×4) de tratamientos (cuatro réplicas por tratamiento): dos dosis de fertilización inorgánica (60-30 y 120-60 de N - P), y 6 t ha⁻¹ de cuatro abonos orgánicos (sin abono, composta, bocashi y humus de lombriz). La dosis de fertilizantes minerales se definió con base a la cantidad usada en la zona de estudio. La composta se elaboró con rastrojo y olote de maíz, estiércol de borrego, tierra de monte y ceniza de roble (proporciones aproximadas de 48, 32, 19 y 1 % peso seco) y agua. El bocashi se elaboró con 400 kg de la mezcla de la composta más melaza (8 Lt) y levadura (500 g). El humus de lombriz con estiércol de borrego y la adición de lombrices rojas (*Eisenia foetida*). Para cada abono se determinó: materia orgánica, N, P y K totales y N inorgánico según la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000). Los resultados del análisis se muestran en el Cuadro 1.

El tamaño de la unidad experimental fue 6 m por 12 m. En los tratamientos con abono la dosis fue 6 t ha⁻¹ (600 g mata⁻¹) al fondo de la cepa en el surco de siembra. Como fuente de fósforo se usó superfosfato de calcio triple (SPT), y de nitrógeno la urea. El SPT se aplicó al momento de la siembra debajo de la semilla y la urea se incorporó al pie de la mata: la mitad 35 d después de la siembra (dds) y el resto a 90 dds. Para la siembra se depositaron tres semillas de maíz criollo (*Zea mays* L.) por mata, con distancia de 1 m entre matas y surcos (10 000 matas ha⁻¹, la población normal del maíz criollo en la región).

En la fase temprana de crecimiento vegetativo (30 dds), floración (100 dds) y llenado del grano (150 dds), se recolectaron muestras compuestas de suelo rizosférico a una distancia de 5-10 cm del tallo de la planta y profundidad de 15 cm en cada unidad experimental. Las muestras fueron tamizadas (5 mm). La actividad de las fosfatasa se determinó según Tabatabai y Bremner (1969).

Universitario de Investigación y Transferencia de Tecnología of the Universidad Autónoma de Chiapas, located in Teopisca, state of Chiapas, at an altitude of 1800 m. The climate is subhumid temperate (C(w2)w) with a mean annual temperature of 12 to 18 °C and mean annual precipitation of 1100 to 1300 mm, with summer rains and a dry season from November to May (Mera, 1989). The soil has a clayey texture with pH 5.3 (1/2 ratio in water) and drainage is deficient in the rainy season, with bulk density of 1.15 Mg m⁻³; 3.3 % organic matter (Walkley and Black); 0.18% total N (micro-Kjeldahl); 2.6 mg kg⁻¹ P-Olsen; 0.30, 4.83 and 2.51 cmol⁺ kg⁻¹ exchangeable K, Ca and Mg (atomic absorption spectrometry); and 30.1 cmol⁺ kg⁻¹ cationic exchange capacity (ammonium acetate 1N pH 7).

The experimental design was complete randomized blocks with a factorial arrangement (2×4) of treatments (four replications per treatment): two dosages of inorganic fertilizer (60-30 and 120-60 N-P), and 6 t ha⁻¹ of four organic fertilizer treatments (none, compost, bokashi and worm humus). The dose of mineral fertilizers was defined on the basis of the amount used in the study zone. The compost consisted of harvest residues and corncobs, sheep manure, decomposed forest litter and oak ash (approximate proportions of 48, 32, 19, and 1 % dry weight) and water. Bokashi was prepared with 400 kg of the compost plus molasses (8 L) and yeast (500 g). The worm humus was obtained with sheep manure to which were added red worms (*Eisenia foetida*). Contents of organic matter, total N, P and K and inorganic N were determined for each of the organic fertilizers following the Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000). The results of the analysis are shown in Table 1.

The size of the experimental unit was 6 m by 12 m. In the treatments with organic fertilizers, the dose was 6 t ha⁻¹ (600 g plant⁻¹) applied at the bottom of the furrow between the rows. Calcium triple superphosphate (STP) was used as the source of phosphorus and urea as a source of nitrogen. STP was applied at sowing under the seed and urea at the base of the plant: half 35 d after sowing (das) and the rest 90 das. Three seeds of a local race of maize (*Zea mays* L.) were deposited in each hole and covered to make a mound (*mata*), with a distance of 1 m between mounds

Cuadro 1. Características químicas de los abonos orgánicos.
Table 1. Chemical characteristics of organic fertilizers.

	Composta	Bocashi	Humus de lombriz
Materia orgánica (%)	41.4	45.0	49.3
N total (%)	2.37	2.19	2.19
P total (%)	0.65	0.48	0.57
K total (%)	0.83	0.90	0.86
Relación C/N	10.1	11.9	13.1
N inorgánico (%)	0.095	0.075	0.098

Se incubó 1 g de suelo en una solución: 1 mL *p*-nitrofenil fosfato (*p*-NPP), 0.2 mL tolueno y 4 mL de amortiguador universal (pH 6.5 para fosfatasa ácida; pH 11 para fosfatasa alcalina), a 37 °C por 1 h. Luego se adicionó 1 mL de CaCl₂ 0.5 M y 4 mL de NaOH 0.5 M y se filtró con papel Whatman No. 2. La formación de *p*-nitrofenol (*p*-NP) se midió en un espectrofotómetro (Beckman Mod. 25-1331) a 420 nm, y su concentración se calculó con una curva patrón con 10, 20, 30, 40 y 50 µg de *p*-NP.

La actividad de ureasa se determinó como el NH₄⁺ liberado en la reacción de hidrólisis (Tabatabai y Bremner, 1972). Se incubaron 5 g de suelo en una solución: 9 mL Tris (hidroximetil) aminometano (THAM) 0.05M a pH 9, 0.2 mL tolueno y 1 mL de solución de urea 0.2 M como sustrato, por 2 h a 37 °C. El amonio liberado se determinó mediante la destilación de una alícuota de 20 mL por arrastre de vapor con 0.2 g de MgO calcinado a 700 °C como catalizador (Bremner, 1965).

Para determinar el porcentaje de colonización micorrízica nativa, se recolectó a los 100 dds las raíces de una mata de maíz en cada unidad experimental, las cuales fueron conservadas en FAA (formol-alcohol-ácido acético) hasta su utilización. Las raíces fueron aclaradas con KOH y H₂O₂, y teñidas con azul tripano en lactoglicerol (Phillips y Hayman, 1970). El registro de la frecuencia de segmentos de raíz con estructuras micorrízicas se realizó con un microscopio óptico compuesto (100x), de acuerdo con Giovannetti y Mosse (1980).

En la madurez fisiológica se cosecharon las mazorcas de maíz en la parte central de las unidades experimentales y se obtuvo el rendimiento de grano.

Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza y prueba de separación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), usando el programa SPSS 8.0 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actividad de las fosfatasas

La actividad de las fosfatasas varió significativamente en los muestreos realizados durante el desarrollo del cultivo (Figura 1). La fosfatasa ácida y la alcalina fueron más activas en la fase inicial de crecimiento vegetativo (30 dds) que en la floración (100 dds) y llenado del grano (150 dds). Los valores medios de los tratamientos con fertilizantes y abonos fueron 285.0, 54.5 y 31.7 µg *p*-NP g⁻¹ para fosfatasa ácida, y de 169, 35.7 y 12.2 µg *p*-NP g⁻¹ para fosfatasa alcalina. Bolton *et al.* (1985) y Acosta-Martínez y Tabatabai (2000) señalan una disminución de la actividad de estas enzimas entre las fechas de muestreo, con valores más altos en la fase temprana del ciclo de crecimiento. La disminución de actividad de la

and between rows (10 000 mounds ha⁻¹, a normal population of local race maize in the region).

In the early vegetative growth phase (30 das), flowering (100 das) and grainfill (150 das), compound soil samples of the rhizosphere were collected at a distance of 5-10 cm from the plant stem and a depth of 15 cm in each experimental unit. The samples were sifted (5 mm). Phosphatase activity was determined following Tabatabai and Bremner (1969). One gram of soil was incubated at 37 °C for 1 h in a solution of 1 mL *p*-nitrophenyl phosphate (*p*-NPP), 0.2 mL toluene and 4 mL of universal buffer (pH 6.5 for acid phosphatase; pH 11 for alkaline phosphatase). Then, 1 mL of CaCl₂ 0.5 M and 4 mL of NaOH 0.5 M were added and the mixture was filtered through Whatman No. 2 filter paper. Formation of *p*-nitrophenol (*p*-NP) was measured in a spectrophotometer (Beckman Mod. 25-1331) at 420 nm, and its concentration was calculated using a pattern curve with 10, 20, 30, 40 and 50 µg of *p*-NP.

Urease activity was determined as NH₄⁺ released in hydrolysis (Tabatabai and Bremner, 1972). Five grams of soil were incubated for 2 h at 37 °C in a solution of 9 mL Tris (hydroxymethyl) aminomethane (THAM) 0.05M at pH 9, 0.2 mL toluene and 1 mL 0.2 M solution of urea as substrate. The released ammonium was determined by distilling an aliquot of 20 mL by vapor drag with 0.2 g MgO calcined at 700 °C as the catalyzer (Bremner, 1965).

To determine the percentage of native mycorrhizal fungus colonization, the roots of one mound of maize were collected from each experimental unit 100 das; these were preserved in FAA (formol-alcohol-acetic acid) until use. The roots were clarified with KOH and H₂O₂ then dyed with trypan blue in lactoglycerol (Phillips and Hayman, 1970). The frequency with which root segments were observed with mycorrhizal structures using an optical compound microscope (100x), was recorded according to Giovannetti and Mosse (1980).

Maize ears were harvested at physiological maturity from the central part of the experimental units in order to obtain grain yield.

The data were subjected to an analysis of variance and the Tukey range test for comparison of means ($p \leq 0.05$), using the software SPSS 8.0 for Windows.

RESULTS AND DISCUSSION

Phosphatase activity

Phosphatase activity varied significantly among the samples taken during crop development (Figure 1). Both acid and alkaline phosphatase were more active in the initial phase of vegetative growth (30 das) than at flowering (100 das) and grainfill (150 das).

fosfatasa a los 100 y 150 dds puede relacionarse con el desarrollo fisiológico de la planta y el aumento del suministro de P de las fuentes orgánicas e inorgánicas (Cruz-Flores *et al.*, 2005), pero también con el exceso de humedad del suelo en la temporada lluviosa debido al drenaje deficiente. La comparación entre ambas enzimas mostró que la actividad fosfatasa ácida fue 1.7 veces más alta que la de fosfatasa alcalina, lo que coincide con Deng y Tabatabai (1997), quienes señalan que los suelos ácidos tienen valores más altos de fosfatasa ácida que de fosfatasa alcalina. En el presente estudio el pH del suelo fue 5.3.

Ambas enzimas mostraron una diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$; Figura 1) entre abonos y para la interacción muestreo por abono; la fertilización no tuvo una influencia significativa. El efecto medio de abonos mostró que la fosfatasa alcalina presentó mayor actividad con humus de lombriz ($92.1 \mu\text{g } p\text{-NP g}^{-1}$) que con composta y sin abono (66.1 y $66.4 \mu\text{g } p\text{-NP g}^{-1}$), mientras que bocashi tuvo un lugar intermedio ($71.2 \mu\text{g } p\text{-NP g}^{-1}$). En contraste, la actividad de fosfatasa ácida fue más alta con composta ($133.4 \mu\text{g } p\text{-NP g}^{-1}$) que sin abono ($101.4 \mu\text{g } p\text{-NP g}^{-1}$), mientras que bocashi y humus de lombriz tuvieron un lugar intermedio (126.3 y $105.8 \mu\text{g } p\text{-NP g}^{-1}$). Sin embargo, sólo en el primer muestreo hubo diferencias significativas en la actividad enzimática: la fosfatasa alcalina fue 74.5 % más alta con humus de lombriz que sin abono, mientras que composta y bocashi no difirieron del testigo sin abono. Además, la fosfatasa ácida fue 41.9 % más alta con composta que sin abono, mientras que bocashi y humus de lombriz no difirieron del testigo (Figura 1).

El efecto del humus de lombriz en la fosfatasa alcalina y el de composta en la fosfatasa ácida, sugiere que la raíz y la microflora rizosférica responden diferencialmente en la síntesis y secreción de estas enzimas. Las raíces producen fosfatasa ácida pero carecen de actividad fosfatasa alcalina, ya que esta enzima se origina principalmente de bacterias, hongos y fauna del suelo (Tabatabai, 1982). Se ha mostrado que la aplicación de materia orgánica incrementa la actividad de fosfatasa alcalina debido a una estimulación de la actividad microbiana (Purakayastha *et al.*, 2006), y por una mayor diversidad de bacterias (Sakurai *et al.*, 2008). Además las lombrices proporcionan sustancias nutritivas (productos de secreción y excreción) que estimulan la actividad microbiana,

Mean values of the treatments with inorganic and organic fertilizers were 285.0, 54.5 and $31.7 \mu\text{g } p\text{-NP g}^{-1}$ for acid phosphatase and 169.7, 35.7 and $12.2 \mu\text{g } p\text{-NP g}^{-1}$ for alkaline phosphatase. Bolton *et al.* (1985) and Acosta-Martínez and Tabatabai (2000) report a reduction in the activity of these enzymes over sampling dates, with higher values in the early phase of the growth cycle. The decrease in phosphatase activity 100 and 150 das may be related to the physiological development of the plant and an increase in the P supply from organic and inorganic sources (Cruz-Flores *et al.*, 2005) but also to the excess of soil moisture during the rainy season due to deficient drainage. Comparison of the two enzymes showed that acid phosphatase activity was 1.7 times higher than that of alkaline phosphatase, coinciding with Deng and Tabatabai (1997), who state that acid soils have higher values of acid phosphatase than of alkaline phosphatase. In our study, soil pH was 5.3.

Both enzymes showed highly significant differences ($p \leq 0.01$; Figure 1) among organic fertilizers and for the interaction sampling \times organic fertilizer; inorganic fertilization did not have a significant effect. The mean effect of organic fertilizers showed that alkaline phosphatase activity was greater with worm humus ($92.1 \mu\text{g } p\text{-NP g}^{-1}$) than with compost and without organic fertilizer (66.1 and $66.4 \mu\text{g } p\text{-NP g}^{-1}$), while bokashi occupied the intermediate place ($71.2 \mu\text{g } p\text{-NP g}^{-1}$). In contrast, acid phosphatase activity was higher with compost ($133.4 \mu\text{g } p\text{-NP g}^{-1}$) than in soil without organic fertilizer ($101.4 \mu\text{g } p\text{-NP g}^{-1}$), while bokashi and worm humus had intermediate values (126.3 and $105.8 \mu\text{g } p\text{-NP g}^{-1}$). However, only on the first sampling date there were significant differences in enzymatic activity: alkaline phosphatase was 74.5 % higher with worm humus than without organic fertilizer, while with compost and bokashi it was not different from the control without fertilizer. Also, acid phosphatase was 41.9 % higher with compost than without organic fertilizer, while with bokashi and worm humus it was not different from the control (Figure 1).

The effect of worm humus on alkaline phosphatase and that of compost on acid phosphatase suggest that the root and rhizospheric microflora respond differentially during synthesis and secretion of these enzymes. The roots produce acid phosphatase but lack alkaline phosphatase activity since the latter enzyme derives principally from bacteria, fungi and

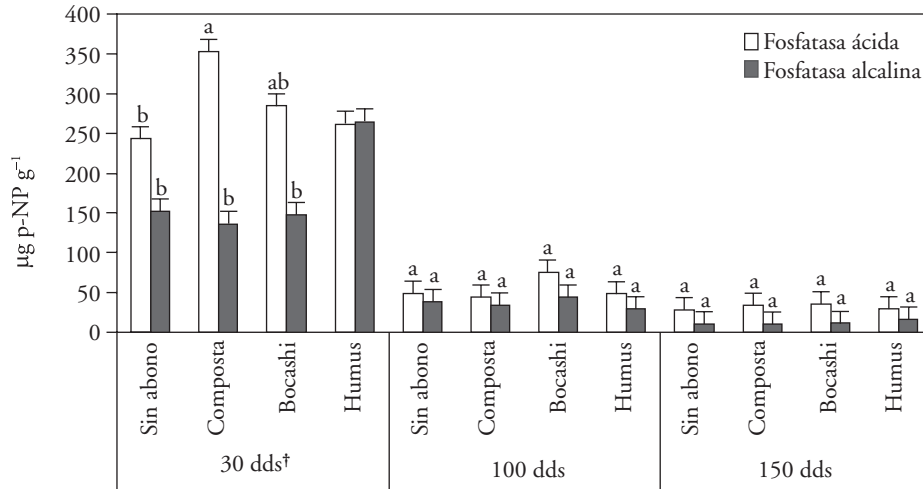


Figura 1. Actividad fosfatasa ácida y alcalina en función de los abonos orgánicos para los tres muestreos realizados. Barras con diferente letra para cada enzima y muestreo, difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

† dds: días después de la siembra.

Figure 1. Acid and alkaline phosphatase activity in function of organic fertilizers for the three sampling dates. Bars with different letters for each enzyme and sampling date differ significantly ($p \leq 0.05$).

† dds: days after sowing.

junto con mediadores químicos liberados por las lombrices y que actúan a bajas concentraciones en el metabolismo microbiano (Bidet *et al.* 1998). Por tanto, es posible inferir que el humus de lombriz promovió la actividad de los microorganismos del suelo y que la composta estimuló la habilidad de las raíces, en ambos casos, para la síntesis y secreción de las enzimas.

Actividad de la ureasa

La actividad de ureasa no varió significativamente entre niveles de fertilización ($p=0.06$), ni entre abonos ($p=0.13$). Sin embargo, se encontró una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre muestreos, así como para las interacciones muestreo por fertilización, y muestreo por fertilización por abonos. La actividad de ureasa fue más baja en la fase de crecimiento vegetativo ($24.8 \mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1}$) que en la floración ($41.5 \mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1}$) y llenado del grano ($42.6 \mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1}$). El efecto medio de niveles de fertilización entre muestreos mostró que en el segundo muestreo la actividad ureasa fue 46.2 % más baja con dosis alta que con dosis baja de fertilización, mientras que en los otros muestreos no hubo diferencias significativas entre niveles de fertilización (Figura 2). La triple interacción se debió a que sólo en el segundo muestreo hubo di-

soil fauna (Tabatabai, 1982). It has been shown that the application of organic matter increases alkaline phosphatase activity by stimulating microbial activity (Purakayastha *et al.*, 2006) and because of the greater diversity of bacteria (Sakurai *et al.*, 2008). Also, the worms provide nutritive substances (products of secretion and excretion) which stimulate activity of microbes, together with chemical mediators released by worms which act at low concentrations in microbial metabolism (Bidet *et al.* 1998). Thus, it is possible to infer that worm humus promoted soil microbial activity and that compost stimulated the ability of the roots, in both cases, to synthesize and secrete the enzymes.

Urease activity

Urease activity did not vary significantly between levels of inorganic fertilizer ($p=0.06$) or among organic fertilizers ($p=0.13$). Significant differences ($p \leq 0.05$) were found, however, between sampling dates as well as for the interactions sampling inorganic fertilization and sampling \times inorganic fertilization \times organic fertilizer. Urease activity was lower in the vegetative growth ($24.8 \mu\text{g } p\text{-NH}_4^+ \text{g}^{-1}$) phase than in the flowering ($41.5 \mu\text{g } p\text{-NH}_4^+ \text{g}^{-1}$) and grainfill ($42.6 \mu\text{g } p\text{-NH}_4^+ \text{g}^{-1}$) phases. The mean effect of

ferencias significativas entre tratamientos, principalmente en aquellos sin abono, y con el valor más bajo para la dosis alta de fertilización (Figura 3).

La disminución de la actividad ureasa con la dosis alta de fertilización en el segundo muestreo pudo deberse a un efecto de la época y forma de aplicación del fertilizante nitrogenado. El segundo muestreo se realizó 10 d después de aplicar la segunda fertilización con urea al pie de la mata. La producción de ureasa es reprimida al adicionar NH_4^+ o NO_3^- debido a los productos formados por la asimilación microbiana (McCarty *et al.*, 1992). Por tanto, es razonable considerar que la concentración de NH_4^+ en el tratamiento con dosis alta de fertilización sin abono causó una inhibición de la actividad ureasa, como fue observado por Ajwa *et al.* (1999), Crecchio *et al.* (2001) y Lalfakzuala *et al.* (2008).

Colonización micorrízica nativa

La colonización micorrízica presentó una variación de 29 a 43 % entre tratamientos (Cuadro 2). Hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre abonos, pero no ($p > 0.30$) entre niveles de fertilización, y un efecto marginalmente significativo ($p = 0.07$) para la interacción entre ambos factores. Al promediar ambos niveles de fertilización, el porcentaje de colonización fue 20 y 30 % más alto con bocashi que con humus de lombriz y sin abono, mientras que la composta tuvo un lugar intermedio.

No hubo un efecto significativo de la fertilización, pero la comparación de la colonización entre

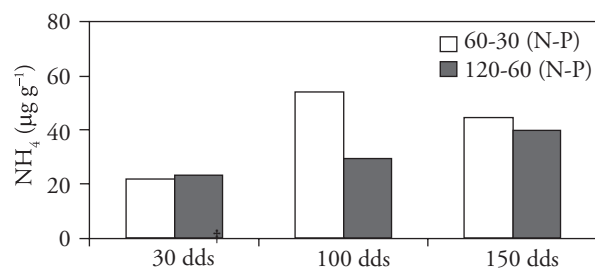


Figura 2. Actividad ureasa en función de la dosis de fertilización inorgánica para los tres muestreos realizados. Barras con diferente letra dentro de muestreo difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

† dds=días después de la siembra.

Figure 2. Urease activity in function of inorganic fertilizer dose for the three sampling dates. Bars with different letters within each sampling date are significantly different ($p \leq 0.05$).

† dds= days after sowing.

inorganic fertilization levels among sampling dates showed that in the second sampling date urease activity was 46.2 % lower with the higher dosage, but on the other two sampling dates there were no significant differences between the levels of inorganic fertilization (Figure 2). The triple interaction was due to the fact that only on the second sampling date there were significant differences between treatments, mainly in the treatments without organic fertilizer, with the lowest value for the higher dosage of inorganic fertilization (Figure 3).

The decrease in urease activity with the higher dose of inorganic fertilizer on the second sampling date may have been due to an effect of the timing and the method of application of nitrogen fertilizer. The second sampling was done 10 d after the second application of fertilizer in the form of urea at the base of the plants. Production of urease is suppressed when NH_4^+ or NO_3^- are added by products formed by microbial assimilation (McCarty *et al.*, 1992). Therefore, it is reasonable to assume that the concentration of NH_4^+ in the treatment with a higher dosage of inorganic fertilizer without organic fertilizer caused inhibition of urease activity, as was observed by Ajwa *et al.* (1999), Crecchio *et al.* (2001) and Lalfakzuala *et al.* (2008).

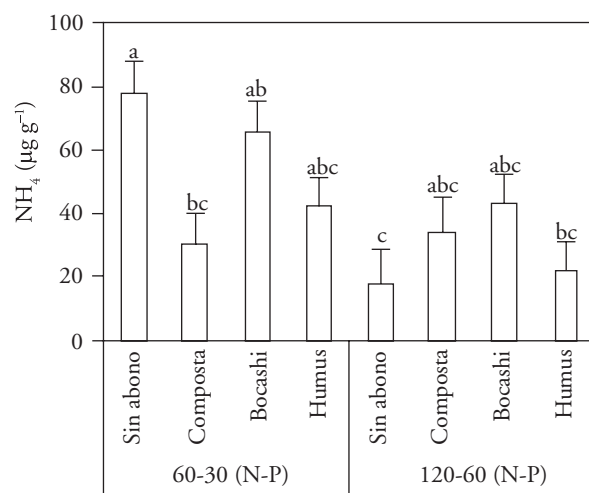


Figura 3. Actividad ureasa en los tratamientos de fertilización (60-30 y 120-60 de N-P) e incorporación de abonos orgánicos (6 t ha⁻¹) a los 100 d. Barras con diferente letra difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

Figure 3. Urease activity in fertilization treatments (60-30 and 120-60 N-P) and incorporation of organic fertilizers (6 t ha⁻¹) 100 d after sowing. Bars with different letters differ significantly ($p \leq 0.05$).

plantas sin y con abono mostró escasa variación (33 a 39 %) con dosis baja de fertilización, mientras que con dosis alta de fertilización las plantas sin abono presentaron 29 % de colonización y las tratadas con bokashi 43 %. La fertilización fosfatada afecta la colonización de plantas micotróficas facultativas como el maíz porque pueden suprimir la formación de la micorriza con una alta disponibilidad de P en el suelo (Gavito y Varela, 1995; Gavito y Miller, 1998). Además, los abonos orgánicos estimulan el desarrollo de la micorriza arbuscular (Gosling *et al.*, 2006).

Rendimiento de grano

El rendimiento de maíz varió de 2152 a 3616 kg de grano ha⁻¹ entre tratamientos; el valor más bajo fue para la dosis baja de fertilización sin abono, y el más alto para la dosis alta de fertilización con humus de lombriz. Hubo diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para los factores fertilización y abonos, pero la interacción entre los dos no fue significativa. El rendimiento fue 40.7 % más alto con la dosis alta de fertilización que con la dosis baja. Al promediar ambos niveles de fertilización, el rendimiento fue 23.1 y 17.9 % más alto con humus de lombriz y bokashi que sin abono, y la composta ocupó un lugar intermedio (Cuadro 3).

El efecto positivo de los abonos en el rendimiento de grano puede relacionarse con el suministro de N y P de los abonos (Cuadro 1), lo cual estimula la actividad fosfatasa ácida y alcalina del suelo (Figura 1) y la colonización micorrízica nativa (Cuadro 2). El aporte más importante de N y P de los abonos se da a través del tiempo por mineralización de las formas orgánicas, aspecto no evaluado, mientras que el K es rápidamente disponible. La respuesta a rendimiento por efecto de los abonos pudo deberse, en parte, al aporte de N y P por mineralización ya que al momento de la incorporación su disponibilidad es muy baja.

Cabe señalar que el incremento en rendimiento por efecto de los abonos fue mayor con dosis alta que con dosis baja de fertilización. Con dosis baja de fertilización el rendimiento fue 3.8, 12.7 y 13.6 % más alto con composta, bokashi y humus de lombriz que sin abono, mientras que con dosis alta de fertilización el incremento fue 17.7, 21.9 y 30.5 %. Ello representa un aumento máximo de 292 y 846 kg de grano ha⁻¹ con dosis baja y alta de fertilización. Es decir, indistintamente del tipo de abono la fertilización

Colonization of native mycorrhizal fungi

Mycorrhizal colonization varied from 29 to 43 % between treatments (Table 2). There were significant differences ($p \leq 0.05$) among organic fertilizers, no differences ($p > 0.30$) between levels of inorganic fertilization, and a marginally significant effect ($p = 0.07$) of the interaction between the two factors. Averaging the two levels of inorganic fertilization, the percentage of colonization was 20 and 30 % higher with bokashi than with worm humus or without organic fertilizer, while with compost it had an intermediate percentage.

There was no significant effect of inorganic fertilization, but a comparison of colonization in plants without organic fertilizer and in those with organic fertilizer showed little variation (33 to 39 %) with the lower dosage of inorganic fertilizer, while with the higher dosage of fertilizer, plants without organic fertilizer had 29 % colonization and those treated with bokashi had 43 %. Phosphate fertilization affects colonization of facultative mycotrophic plants, such as maize, because they can suppress mycorrhizal formation when large amounts of P are available in the soil (Gavito and Varela, 1995; Gavito and Miller, 1998). In addition, organic fertilizers stimulate the development of arbuscular mycorrhizae (Gosling *et al.*, 2006).

Cuadro 2. Valor medio (\pm error estándar) de la colonización micorrízica nativa del maíz (%) en los tratamientos, y factores de fertilización e incorporación de abonos orgánicos.

Table 2. Mean value (\pm standard error) of colonization of native mycorrhizal fungi in maize (%) for treatments, inorganic fertilization factors and incorporation of organic fertilizers.

Abono orgánico	Dosis de fertilización (N-P)		Promedio
	Baja (60-30)	Alta (120-60)	
Sin abono	33.0 \pm 2.52	29.3 \pm 2.52	31.2b [†]
Composta	35.0 \pm 2.52	36.3 \pm 2.52	5.7ab
Bokashi	38.3 \pm 2.52	42.7 \pm 2.52	40.5a
Humus de lombriz	38.6 \pm 2.96	29.0 \pm 2.52	3.8b
Promedio	36.2 a	34.3 a	

[†] Los valores con diferente letra, para efectos principales de cada factor, difieren significativamente ($p \leq 0.05$) * Values with different letters, for principal effects of each factor, are significantly different ($p \leq 0.05$).

Cuadro 3. Valor medio (\pm error estándar) del rendimiento de grano del maíz (kg ha^{-1}) en los tratamientos.
Table 3. Mean value (\pm standard error) of maize grain yield (kg ha^{-1}) by treatment.

Abono orgánico	Dosis de fertilización (N-P)		Promedio
	Baja (60-30)	Alta (120-60)	
Sin abono	2152.2 \pm 147.5	2770.2 \pm 150.5	2461.2b [†]
Composta	2234.6 \pm 147.5	3261.2 \pm 150.4	2747.9ab
Bocashi	2425.1 \pm 149.4	3376.6 \pm 147.5	2900.8a
Humus de lombriz	2443.9 \pm 151.4	3615.9 \pm 148.4	3029.9a
Promedio	2313.9b	3255.9a	

[†]Los valores con diferente letra para efectos principales de cada factor difieren significativamente ($p \leq 0.05$) ♦ Values with different letters, for principal effects of each factor, are significantly different ($p \leq 0.05$).

mejoró el rendimiento de grano del maíz, posiblemente debido a una estimulación de la mineralización de los abonos por la mayor disponibilidad de N y P para la biomasa microbiana, según lo observado con una mezcla de urea y composta en un suelo con bajo contenido de N inorgánico (Kyung-Hwa *et al.*, 2004).

CONCLUSIONES

En la fase temprana de crecimiento vegetativo hubo una mayor actividad de la fosfatasa alcalina con humus de lombriz y de la fosfatasa ácida con composta, que sin abono; sin embargo, dicha actividad disminuyó en la floración y el llenado de grano. Por el contrario, la actividad de la ureasa fue mayor en la floración y el llenado de grano que en el crecimiento vegetativo, la cual disminuyó en la floración por efecto de la dosis alta de fertilización.

El rendimiento de grano varió de 2152 a 3616 kg ha^{-1} , con el valor más bajo para 60-30 de N-P sin abono y el más alto para 120-60 de N-P y humus de lombriz. Con dosis baja de fertilización el rendimiento incrementó 3.8, 12.7 y 11.5 % con composta, bocashi y humus de lombriz, mientras que con dosis alta el aumento fue 17.7, 21.9 y 30.5 %. El análisis de estos resultados sugiere la importancia del manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos para mejorar la producción de maíz, así como la necesidad de estudiar la dinámica de mineralización y aporte de nutrientes durante el ciclo de crecimiento del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Chiapas las facilidades otorgadas para la realización del trabajo, al

Grain yield

Grain yield varied from 2152 to 3616 kg grain ha^{-1} between treatments; the lowest value was that of the lower dosage of inorganic fertilization without organic fertilizer, while the highest was that of the higher dosage of inorganic fertilizer with worm humus. There were significant differences ($p \leq 0.01$) for the factors inorganic fertilization and organic fertilizers, but there was no significant interaction between the two. Yield was 40.7 % higher with the higher dose of inorganic fertilizer than with the lower dose. Averaging the two levels of fertilization, yield was 23.1 and 17.9 % higher with worm humus and bokashi than without organic fertilizer, while with compost the yield was intermediate (Table 3).

The positive effect of the organic fertilizers on grain yield can be associated with the N and P supply from these amendments (Table 1), which stimulate soil acid and alkaline phosphatase activity (Figure 1) and colonization of native mycorrhizal fungi (Table 2). The most important contribution of N and P by organic fertilizers is mineralization of the organic forms that occurs over time, an aspect that was not evaluated, while K is rapidly available. The yield response to organic fertilizers may be partly due to the contribution of N and P through mineralization since their availability at the moment the organic fertilizers are incorporated is very low.

It is important to stress that yield as an effect of organic fertilizers was higher with the higher dosage of inorganic fertilization. With the lower dose, yields were 3.8, 12.7 and 13.6 % higher with compost, bokashi and worm humus than without organic fertilizer, while with the higher dose yields were 17.7,

Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Chiapas por el apoyo financiero recibido (proyecto con clave: CHIS-2005-CO3-059); y al editor y revisores de Agrociencia las observaciones para el mejoramiento de este artículo.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Martínez, V., and M. A. Tabatabai. 2000. Enzyme activities in a limed agricultural soil. *Biol. Fert. Soils* 31:85-91.
- Ajwa, H. A., C. J. Dell, and C. W. Rice. 1999. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. *Soil Biol. Biochem.* 31: 769-777.
- Antonious, G. F. 2003. Impact of soil management and two botanical insecticides on urease and invertase activity. *J. Environ. Sci. Health* 38: 479-488.
- Astier-Calderón, M., M. Maass-Moreno, y J. Etchevers-Barra. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620.
- Banik, P., P. K. Ghosal, T. K. Sasmal, S. Bhattacharya, B. K. Sarkar, and D. K. Bagchi. 2006. Effect of organic and inorganic nutrients for soil quality conservation and yield of rainfed low land rice in sub-tropical plateau region. *J. Agron. Crop Sci.* 192: 331-343.
- Bautista-Cruz, A., J. Etchevers-Barra, F. del Castillo R., y C. Gutiérrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 2004/2 (URL: <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149>). (consulta 10/03/2009).
- Bidet, F., L. Fayolle, and M. Pussard. 1998. Significance of earthworms in stimulating soil microbial activity. *Biol. Fertility Soils* 27: 79-84.
- Bolton, H. Jr., L. T. Elliot, R. I. Papendick, and D. F. Bezdicsek. 1985. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: Effect of fertilization and cropping practices. *Soil Biol. Biochem.* 17: 297-302.
- Bremner, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. *In*: Black, C. A. (ed). *Methods of Soil Analysis*. Am. Soc. Agron. Madison, Wis. pp: 1179-1237.
- Crecchio, C., M. Curci, R. Mininni, P. Ricciuti, and P. Ruggiero. 2001. Short-term effects of municipal solid waste compost amendments on soil carbon and nitrogen content, some enzyme activities and genetic diversity. *Biol. Fertility Soils* 34:311-318.
- Cruz-Flores, G., D. Flores-Román, G. Alcantar-González, y A. Trinidad-Santos. 2005. Fosfatasa ácida, nitrato reductasa, glutamina sintetasa y eficiencia de uso de fósforo y nitrógeno en cereales. *Terra Latinoamericana* 23: 457-468.
- De la Paz-Jiménez, M., A. M. de la Horra, L. Pruzzo, and R. M. Palma. 2002. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters. *Biol. Fertility Soils* 35:302-306.
- Deng, S. P., and M. A. Tabatabai. 1997. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase. *Biol. Fertility Soils* 24:141-146.
- Eghball, B., D. Ginting, and J. E. Gilley. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agron. J.* 96:442-447.
- 21.9 and 30.5 % higher. This means that yields show a maximum increment of 292 and 846 kg grain ha⁻¹ (low and high dose). That is, regardless of the type of organic fertilizer, maize grain yield was improved by fertilization, possibly because it stimulated mineralization of organic fertilizers due to greater availability of the N and P for the microbial biomass, observed with a mixture of urea and compost in a soil with a low inorganic N content (Kyung-Hwa *et al.*, 2004).

CONCLUSIONS

In the early phase of vegetative growth there was greater alkaline phosphatase activity with worm humus and greater acid phosphatase activity with compost than without organic fertilizer. However, activity of these enzymes decreased during flowering and grainfill. In contrast, urease activity was greater during flowering and grainfill than during vegetative growth, but there was a decrease during flowering as an effect of the higher dose of fertilization.

Grain yield varied from 2152 to 3616 kg ha⁻¹; the lowest value was obtained with 60-30 N-P without organic fertilizer, whereas the highest value was obtained with 120-60 N-P and worm humus. With the lower dosage of inorganic fertilizer with compost, bokashi and worm humus, yield increased by 3.8, 12.7 and 11.5 %, while with the higher dosage it increased 17.7, 21.9 and 30.5 %. Analysis of these results suggests that integrated management of inorganic and organic fertilizers is important for improving maize production and point to the need to study the dynamics of mineralization and nutrient supply during the crop growth cycle.

—End of the English version—

-----*-----

- García-Gil, J. C., C. Plaza, P. Soler-Rovira, and A. Polo. 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 32: 1907-1913.
- Gavito, E. M., and L. Varela. 1995. Response of “criollo” maize to single and mixed species inocula of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 176: 101-105.
- Gavito, M. E., and M. H. Miller. 1998. Early phosphorus nutrition, mycorrhizae development, dry matter partitioning and yield of maize. *Plant and Soil* 199: 177-186.

- Giovannetti, M., and B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist* 84: 489-500.
- González-Chávez, M. C., y R. Ferrera-Cerrato. 1994. Interacción de la micorriza VA y la fertilización fosfatada en diferentes portainjertos de cítricos. *Terra Latinoamericana* 12: 338-344.
- Gosling, P., A. Hodge, G. Goodlass, and G. D. Bending. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agric. Ecosystems Environ.* 113: 17-35.
- Kyung-Hwa, H., C. Woo-Jung, H. Gwang-Hyun, Y. Seok-In, Y. Sun-Ho, and R. Hee-Myong. 2004. Urea-nitrogen transformation and compost-nitrogen mineralization in three different soils as affected by the interaction between both nitrogen inputs. *Biol. Fertility Soils* 39:193-199.
- Labrador M., J. 1996. *La Materia Orgánica en los Agrosistemas*. Primera Edición. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación & Mundi-Prensa. Madrid. 193 p.
- Lalfakzuala, R., H. Kayang, and M. S. Dkhar. 2008. The effects of fertilizers on soil microbial components and chemical properties under leguminous cultivation. *American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 3: 314-324.
- López-Martínez, J. D., A. Díaz-Estrada, E. Martínez-Rubin, y R. D. Valdez-Cepeda. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana*. 19: 293-299.
- Makoi, J., and P. A. Ndakidemi. 2008. Selected soil enzymes: examples of their potential roles in the ecosystem. *Afr. J. Biotechnol.* 7: 181-191.
- McCarty, G. W., D. R. Shogren, and J. M. Bremner. 1992. Regulation of urease production in soil by microbial assimilation of nitrogen. *Biol. Fertility Soils* 12:261-264.
- Mera O., L. M. 1989. Condiciones naturales para la producción. *In: Parra-Vázquez, M. R. (ed). El Subdesarrollo Agrícola en los Altos de Chiapas*. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste; Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. pp: 21-49.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, Martes 31 de diciembre de 2002.
- Phillips, J. M., and S. D. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Purakayastha, T. J., S. Bhadraray, P. K. Chhonkar, and V. Verma. 2006. Microbial biomass phosphorus and alkaline phosphomonoesterase activity in the rhizosphere of different wheat cultivars as influenced by inorganic phosphorus and farmyard manure. *Biol. Fertility Soils* 43: 153-161.
- Sakurai, M., J. Wasaki, Y. Tomizawa, T. Shinano, and M. Osaki. 2008. Analysis of bacterial communities on alkaline phosphatase genes in soil supplied with organic matter. *Soil Sci. Plant Nutr.* 54: 62-71.
- Serra-Wittling, C., S. Houot, and E. Barriuso. 1995. Soil enzymatic response to addition of municipal solid-waste compost. *Biol. Fertility Soils* 20: 226-236.
- Sikora, L. J., and N. K. Enkiri. 2001. Uptake of ¹⁵N fertilizer in compost-amended soils. *Plant and Soil* 235: 65-73.
- Tabatabai, M. A. 1982. Soil enzymes. *In: Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds). Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy monograph No.9, 2da. Ed. ASA-SSSA, Madison, Wisconsin. pp: 903-947.*
- Tabatabai, M. A., and J. M. Bremner. 1969. Use of *p*-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1: 301-307.
- Tabatabai, M. A., and J. M. Bremner. 1972. Assay of urease activity in soils. *Soil Biol. Biochem.* 4: 479-487.