



Agrociencia

ISSN: 1405-3195

agrocien@colpos.mx

Colegio de Postgraduados

México

Álvarez Solís, José D.; Ferrera Cerrato, Ronald; Etchevers Barra, Jorge D.
Actividad microbiana en tepetate con incorporación de residuos orgánicos
Agrociencia, vol. 34, núm. 5, septiembre-octubre, 2000, pp. 523-532
Colegio de Postgraduados
Texcoco, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30234501>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ACTIVIDAD MICROBIANA EN TEPETATE CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

MICROBIAL ACTIVITY IN TEPETATE SOIL WITH INCORPORATION OF ORGANIC RESIDUES

José D. Álvarez-Solís¹, Ronald Ferrera-Cerrato² y Jorge D. Etchevers-Barra²

¹El Colegio de la Frontera Sur. Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n. 29290, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas (dalvarez@scl.ecosur.mx). ²Especialidad de Postgrado en Edafología. IRENAT. Colegio de Postgraduados. 56230, Montecillo, Estado de México.

RESUMEN

Los tepetates presentan, en su estado natural, contenidos muy bajos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo y escasas poblaciones de microorganismos, lo cual dificulta su incorporación a la producción agrícola. En este trabajo se evaluó el efecto de la incorporación de abono verde (veza, *Vicia villosa*) y de rastrojos de un policultivo (maíz-frijol-haba, *Zea mays-Phaseolus vulgaris-Vicia faba*) sobre el número de microorganismos, la respiración microbiana y la mineralización del nitrógeno en tepetate con un ciclo de cultivo después de su roturación con o sin incorporación previa de estiércol de bovino. Se colectaron muestras de tepetate en las parcelas de un experimento en campo y se incubaron durante 13 días en condiciones de laboratorio. La respiración microbiana fue mayor en el tepetate donde se incorporó veza que en aquél donde se incorporaron rastrojos del policultivo. En relación con el tepetate que se mantuvo sin cultivo, los tepetates con veza, con y sin incorporación previa de estiércol, tuvieron incrementos netos en el número de bacterias (8.0 y 8.9), actinomicetos (7.02 y 7.08) y hongos (5.6 y 5.8) reportado en unidades formadoras de colonias logarítmicas por gramo de suelo, la respiración microbiana (56 y 62 mg de CO₂ 100 g⁻¹) y el nitrógeno inorgánico mineralizado (73 y 22 mg kg⁻¹), respectivamente. La mineralización de los rastrojos del policultivo fue promovida por el estiércol incorporado al inicio de la recuperación del tepetate. El uso de veza como abono verde o la incorporación de rastrojos de policultivo y estiércol, por su efecto positivo en la actividad microbiana, contribuyen al proceso de habilitación de tepetates para la producción agrícola.

Palabras clave: Abono verde, estiércol de bovino, rastrojo, respiración microbiana.

INTRODUCCIÓN

En las laderas de la cordillera de Anáhuac, en la parte correspondiente a la Cuenca de México, existen amplias zonas degradadas por procesos erosivos donde horizontes cementados subyacentes a la delgada capa de suelo, llamados "tepetates", han aflorado a la superficie (Peña y Zebrowski, 1992). Se

ABSTRACT

Under natural conditions, very low contents of organic matter, nitrogen and phosphorus and scarce microbial populations make it difficult to incorporate tepetate soils into agricultural production. In this study, the effect of incorporating green manure (vetch, *Vicia villosa*) and plant residues from multiple cropping of maize-common bean-faba bean (*Zea mays-Phaseolus vulgaris-Vicia faba*) on the number of microorganisms, microbial respiration and nitrogen mineralization was evaluated one cropping cycle after plowing with and without previous incorporation of cattle manure. Tepetate soil samples were collected in plots at an experimental station and incubated for 13 days under laboratory conditions. Microbial respiration was higher when adding vetch, than adding residues of multiple cropping. With respect to uncultivated tepetate soil, tepetate with vetch (with and without incorporation of cattle manure) had net increases in the number of bacteria (8.0 and 8.9), actinomycetes (7.02 and 7.08), and fungi (5.6 and 5.8) all they reported in log colony-forming units per gram of soil, microbial respiration (56 and 62 mg CO₂100 g⁻¹), and mineralized inorganic nitrogen (73 and 22 mg kg⁻¹). The mineralization of multiple crop residues was promoted by incorporating cattle manure at the beginning of the process of rehabilitation of tepetate soil for agricultural production. The use of vetch as green manure, or of residues of multiple cropping, and cattle manure contributes to this process because of its beneficial effects on microbial activity.

Key words: Green manure, cattle manure, crop residues, microbial respiration.

INTRODUCTION

On the slopes of the Anahuac mountain range, in the part corresponding to the Mexican Basin Watershed, there are large areas degraded by erosion. Cemented layers called "tepetate" underlying the thin layer of soil jut out to the surface (Peña and Zebrowski, 1992). It is estimated that on the eastern slope of the watershed close to 54 000 ha are eroded in varying degrees, and approximately 80 % of the surface of the hillsides are tepetates (Llerena and Sánchez, 1991).

Tepetates are characterized by particles cemented together by diverse materials, such as soluble silica

Recibido: Abril, 1998. Aprobado: Marzo, 2000.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 34: 523-532. 2000.

estima que en la vertiente oriental de dicha Cuenca, cerca de 54 000 ha presentan diversos grados de erosión y aproximadamente 80 % de la superficie de las laderas está ocupada por tepetates (Llerena y Sánchez, 1991).

Los tepetates se caracterizan por la cementación de sus partículas con materiales diversos, como sílice soluble derivado de cenizas volcánicas, óxidos e hidróxidos de hierro, arcillas y en algunos casos carbonatos (Oleschko *et al.*, 1991; Quantín *et al.*, 1993). Por su dureza, los tepetates expuestos tienen escasa cobertura vegetal y presentan niveles muy bajos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo (Cajuste y Cruz, 1987; Etchevers *et al.*, 1991), y escasas poblaciones de bacterias, actinomicetos y hongos (Sánchez *et al.*, 1987; Álvarez-Solís *et al.*, 1992).

La habilitación de los tepetates a la producción agrícola requiere, por lo anterior, de elevados ingresos de energía externa, mecánica o manual para su roturación (Camargo y Guido, 1987; Pimentel, 1987), y química para mejorar el escaso nivel nutrimental, especialmente de nitrógeno y de fósforo. Para incrementar los niveles de estos nutrimentos y de disminuir los costos económicos y ambientales que significa el empleo de fertilizantes sintéticos en el proceso de recuperación, es necesario analizar otras opciones, como es el caso de mecanismos biológicos que aceleren la recuperación de la capacidad productiva del tepetate.

La incorporación de materiales orgánicos a los tepetates ha mostrado efectos positivos en la estructura (Tovar, 1987), en las poblaciones de bacterias, actinomicetos y hongos (Sánchez *et al.*, 1987; Álvarez-Solís *et al.*, 1992) y en la actividad de *Rhizobium* y de *Azospirillum* introducidos en el tepetate (Álvarez-Solís *et al.*, 1996). Se desconoce, sin embargo, el efecto que tiene la incorporación de residuos orgánicos en la respiración microbiana y en la mineralización del nitrógeno en el tepetate.

El presente estudio evaluó el efecto de la incorporación de un abono verde (veza: *Vicia villosa*) y de los rastrojos de un policultivo (maíz-frijol-haba: *Zea mays-Phaseolus vulgaris-Vicia faba*) sobre la actividad microbiana del tepetate, un ciclo de cultivo después de su roturación, con o sin incorporación previa de estiércol de bovino.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se condujo con muestras de tepetate tipo fragipán (duro en estado seco y friable en estado húmedo) que se obtuvieron de un experimento de campo establecido en la comunidad Tlalpan, municipio de Hueyotlipan, Edo. de Tlaxcala, ubicado geográficamente a 19° 35' N y 98° 40' O, a una altitud aproximada de 2540 m. El clima predominante es el subtipo Cb(w₂)(w)(i)¹g (García, 1973). El sitio experimental era, antes de su roturación, un

derived from volcanic ash, iron oxides and hydroxides, clay and, in some cases carbonates (Oleschko *et al.*, 1991; Quantín *et al.*, 1993). Because of their hardness, exposed tepetates have little plant cover and low contents of organic matter, nitrogen and phosphorus (Cajuste and Cruz, 1987; Etchevers *et al.*, 1991), and populations of bacteria, actinomicetes, and fungi are scarce (Sánchez *et al.*, 1987; Álvarez-Solís *et al.*, 1992).

Rehabilitation of tepetates for agricultural production requires high inputs of energy, mechanical or manual, to break it up (Camargo and Guido, 1987; Pimentel, 1987), and chemical, to improve their nutrient content, especially their content of nitrogen and phosphorus. To increase levels of these nutrients and reduce the economic and environmental costs implicit in the use of synthetic fertilizers, it is necessary to analyze alternatives, such as biological mechanisms that accelerate the rehabilitation of the productive capacity of tepetate.

The incorporation of organic matter into tepetates has shown positive effects in the structure (Tovar, 1987), in the populations of bacteria, actinomicetes, and fungi (Sánchez *et al.*, 1987; Álvarez-Solís *et al.*, 1992), and in the activity of *Rhizobium* and *Azospirillum* introduced into tepetate (Álvarez-Solís *et al.*, 1996). It is not known, however, what effect the incorporation of organic residues has on microbial respiration and nitrogen mineralization in tepetate.

This study evaluated the effect of the incorporation of a green manure, vetch (*Vicia villosa*), and of the residues of a multiple cropping of maize-common beans-faba beans (*Zea mays-Phaseolus vulgaris-Vicia faba*) on the microbial activity of tepetate at one cropping cycle after plowing, with and without previous incorporation of cattle manure.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted with samples of tepetate of the fragipán type (hard when dry and friable when wet) which were obtained at an experimental station in the community of Tlalpan, municipality of Hueyotlipan, in the state of Tlaxcala, located geographically at 19° 35' N and 98° 40' W. The predominant climate is subtype Cb(w₂)(w)(i)¹g (García, 1973). Before being plowed, the site was an area with outcroppings of tepetate. The tepetate was broken up to a depth of 50 to 60 cm with a Caterpillar D-5 tractor, fitted with a three-toothed "ripper". The land was then prepared in sequential steps with a disk harrow to break up the large clods and build terraces. In the terraces, a plot with multiple cropping of maize, beans and faba beans, and one of vetch were planted, both with or without previous incorporation of cattle manure (40 t ha⁻¹). A split plot design with a random blocks with four replications was established. The main plots corresponded to the incorporation of manure, and the sub plots to the crop type (Álvarez-Solís *et al.*, 1992, 1996). At the end of the first cropping cycle, the vetch and the residues from the multiple cropping

área erosionada con tepetate expuesto, donde se hizo una labor de subsoleo para romper la capa endurecida hasta una profundidad de 50 a 60 cm con un tractor Caterpillar D-5 provisto de un “riper” de tres dientes. El terreno se preparó con pasos sucesivos de rastra para desmoronar los terrones y luego se construyeron terrazas. En las terrazas se establecieron siembras de un policultivo (maíz-frijol-haba) y un abono verde (veza), ambos con o sin incorporación previa de estiércol de bovino (40 t ha⁻¹). El diseño de tratamientos fue de parcelas divididas en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones; las parcelas mayores correspondieron a la incorporación de estiércol y las menores al tipo de cultivo (Álvarez-Solís *et al.*, 1992, 1996). Al término del primer ciclo de cultivo se incorporaron, con pala y azadón, la veza y los rastrojos del policultivo a una profundidad de 10 a 15 cm en cada una de las unidades experimentales. La cantidad de biomasa que se incorporó, su porcentaje de N y de humedad, se presenta en el Cuadro 1.

A los 75 días después de la incorporación de los rastrojos del policultivo y de la veza se colectaron 5 submuestras de tepetate a una profundidad de 20 cm en cada una de las repeticiones de los siguientes tratamientos: siembra del policultivo sin estiércol y con incorporación de sus rastrojos (PSE), siembra del policultivo con estiércol y con incorporación de sus rastrojos (PCE), siembra e incorporación de veza sin estiércol (VSE), siembra e incorporación de veza con estiércol (VCE) y de dos tratamientos testigos constituidos por tepetate de las terrazas del sitio experimental que durante ese ciclo de cultivo permanecieron sin cultivo, sin o con incorporación previa de estiércol (TSE y TCE). Se obtuvo una muestra compuesta para cada tratamiento y se conservaron en bolsas de polietileno en un lugar fresco y seco durante 24 horas; posteriormente fueron tamizadas a través de una malla de 5 mm de diámetro, y enseguida se efectuaron los análisis microbiológicos. Además, una porción de las muestras se secó al aire y se tamizó con una malla de 2 mm de diámetro para hacer los análisis físicos y químicos mediante procedimientos analíticos de rutina

Cuadro 1. Biomasa y porcentaje de nitrógeno y de humedad de los rastrojos del policultivo y de la veza incorporados al tepetate, sin o con incorporación previa de estiércol de bovino.

Table 1. Biomass and percentage of nitrogen and moisture of residues from multiple cropping residues and vetch incorporated into tepetate, with or without the previous incorporation of cattle manure.

Incorporación de estiércol	Rastrojos del policultivo				Veza
	Maíz	Frijol	Haba	Total	
	Biomasa fresca incorporada (kg m ⁻²)				
Sin	0.121	0.012	0.621	0.754	2.785
Con	0.191	0.013	0.518	0.722	3.043
	Porcentaje de nitrógeno de la biomasa				
Sin	0.85	2.11	1.87		2.97
Con	0.74	2.83	1.44		2.73
	Porcentaje de humedad de la biomasa				
Sin/Con	62.2	67.8	73.7		73.8

plots were incorporated into the plowed tepetate with shovel and hoe to a depth of 10 to 15 cm in each of the experimental units. The quantity of biomass incorporated and its percentage of N and moisture are shown in Table 1.

Seventy-five days after the incorporation of multiple cropping residues and vetch, five sub-samples of tepetate were collected from a depth of 20 cm in each of the replications of the following treatments: multiple cropping without manure and with incorporation of residues (MC-M), multiple cropping with manure and incorporation of residues (MC+M), vetch planted and incorporated without manure (V-M), planted and incorporated vetch with manure (V+M), and two control treatments consisting of tepetate from the terraces of the experimental site, kept without cropping, with or without previous incorporation of manure (C-M and C+M). A compound sample was obtained for each treatment, and all samples were kept in polyethylene bags in a cool, dry place for 24 hours. Samples were sieved through a 5 mm sieve and the microbiological analyses were performed afterwards. A portion of the samples were air-dried and sieved with a 2 mm sieve for physical and chemical analyses (Etchevers, 1988)³. The texture of the plowed tepetate was sandy loam with a neutral to slightly alkaline pH (6.9 to 7.8, 1:2 in water), low electrical conductivity (0.08 to 0.17 dS m⁻¹), and very low contents of organic matter (0.12 to 1.44 %), nitrogen (0.01 to 0.07 %), phosphorus (1.0 to 13.5 mg kg⁻¹, Olsen), and potassium (1.18 to 2.37 cM kg⁻¹, ammonium acetate 1N, pH 7) (Table 2).

The number of colony-forming units (CFU) of bacteria, actinomycetes and fungi was obtained in duplicate for each treatment through the technique of serial tenfold dissolution and mounted on plates with a selective medium. Modified soil extract-glucose-agar medium (Echegaray, 1991)⁴, and agar medium Czapeck-Dox (Merck), both with 40 µg mL⁻¹ acti-dione (cycloheximide, Sigma Co.) were used to count bacteria and actinomycetes, respectively, potato-dextrose-agar (Difco) medium with 50 µg mL⁻¹ of streptomycin and 1:30 000 Bengala rose was used to count fungus.

Microbial respiration was measured in the tepetate samples of each treatment with two conditions of incubation: with and without the addition of cattle manure (1 g manure 100 g⁻¹ tepetate). In both cases, there were four replications per treatment. Incubation was made at 29 °C. Glass jars with screw-on covers were used with 100 g of tepetate, and moisture was adjusted to 35 % at the beginning of the test and after each reading. Production of CO₂ was measured 1, 4, 7, 10 and 13 days after the beginning of the incubation, with the procedure proposed by Stotzky (Echegaray, 1991)⁴. To adsorb CO₂, 5 mL of NaOH 1N and a small strip of filter paper were used. These were placed in a test tube inside the glass jars. The solution and the strip of filter paper were changed for each of the determinations. Carbonate was precipitated with barium chloride at 2 %, and the excess of NaOH was titrated with HCl; phenolphthalein was used as an indicator.

To measure the N mineralization rate, samples of tepetate (100 g) of each treatment were placed in glass jars and 1 g of cattle manure was added. The mixture was shaken vigorously in the jars until it became uniform. Moisture was adjusted to 35 % and the samples were incubated at 29 °C. Each treatment was replicated four times. Inorganic N concentration was measured at the beginning of the test

(Etchevers, 1988)³. La textura del tepetate roturado fue franco arenosa, con pH de neutro a ligeramente alcalino (6.9 a 7.8, 1:2 en agua), baja conductividad eléctrica (0.08 a 0.17 dS m⁻¹), muy bajos a bajos contenidos de materia orgánica (0.12 a 1.44 %), nitrógeno (0.01 a 0.07 %), fósforo (1.0 a 13.5 mg kg⁻¹, Olsen) y potasio (1.18 a 2.37 cM kg⁻¹, acetato de amonio 1N, pH 7) (Cuadro 2).

El número de unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias, actinomicetos y hongos se obtuvo por duplicado para cada tratamiento mediante la técnica de dilución seriada y vaciado en placa con medio selectivo. Para contar las bacterias se utilizó el medio extracto de suelo-glucosa-agar modificado para estudios de rizosfera (Echegaray, 1991)⁴ y para actinomicetos el medio agar Czapeck-Dox (Merck), ambos con 40 µg mL⁻¹ de actidiona (ciclohexamida, Sigma Co.); para hongos se utilizó el medio papa-dextrosa-agar (Difco) con 50 µg mL⁻¹ de estreptomina y rosa de bengala 1:30 000.

La respiración microbiana se midió en las muestras de tepetate de cada tratamiento, en dos condiciones de incubación: sin y con adición de estiércol de bovino (1 g de estiércol 100 g⁻¹ de tepetate). En ambos casos hubo cuatro repeticiones por tratamiento y se incubaron a 29 °C. Se utilizaron frascos de vidrio con tapa de rosca, con 100 g de tepetate y la humedad se ajustó a 35 % al inicio del ensayo y después de cada lectura. La producción de CO₂ se midió 1, 4, 7, 10 y 13 días después del inicio de la incubación con el procedimiento propuesto por Stotzky (Echegaray, 1991)⁴. Para adsorber el CO₂ se utilizó 5 mL de NaOH 1N y una pequeña cinta de papel filtro, ambos colocados en un tubo de ensayo que se introdujo en cada uno de los frascos de vidrio con tapa de rosca. La solución y la cinta de papel filtro se cambiaron en cada una de las determinaciones. El carbonato se precipitó con cloruro de bario a 2 % y el exceso de NaOH se tituló con HCl, empleando fenolftaleína como indicador.

Para medir la tasa de mineralización del N se utilizaron muestras de tepetate (100 g) de cada tratamiento, a las cuales, después de haberlas colocado en frascos de vidrio, se les adicionó 1 g de estiércol de bovino, se agitó vigorosamente cada uno de los frascos hasta lograr una

and at 5, 10 and 13 days of incubation, following the procedure described by Bremner (1965).

Microbial respiration and N mineralization data were processed by variance analysis (ANOVA) and multiple comparison means by Tukey ($p \leq 0.05$). The program Statgraphics (STSC, 1986) was used for statistical analyses.

RESULTS

The uncultivated tepetates, with and without the previous incorporation of cattle manure, at the beginning of the process of rehabilitation (C-M and C+M) had fewer bacteria, actinomicetes and fungi than the cultivated tepetates with multiple cropping residues or incorporated vetch (MC-M, MC+M, V-M and V+M) (Figure 1). The highest number of these microorganisms was observed in the treatments with vetch, and among these treatments, the highest occurred in tepetate without the incorporation of manure in the previous cropping cycle. On the contrary, the incorporation of manure in the previous cropping cycle slightly stimulated the growth of the three groups of microbes in tepetate with multiple cropping residues.

The 1 % addition of cattle manure immediately before the incubation of the samples stimulated the production of CO₂ in all of the treatments, and modified the dynamics of its production. Without the addition of this amount of cattle manure, the tepetates with incorporated vetch had a top production of CO₂ four days after its initiation, while the tepetates with multiple cropping residues reached the highest peak on the seventh day of incubation (Figure 2a). With 1 % addition of manure, the highest production of CO₂ was registered on day 7, regardless of the treatment (Figure 2b). In both conditions of incubation, the total microbial respiration was greater in tepetates with vetch.

Cuadro 2. Propiedades químicas del tepetate en cada tratamiento.
Table 2. Chemical properties of tepetate in each treatment.

Tratamientos	pH	CE (dS m ⁻¹)	MO (%)	N total (%)	P Olsen (mg kg ⁻¹)	K intercambiable (cM kg ⁻¹)
Sin cultivo, sin estiércol (TSE) ❖ Without cropping, without manure	7.4	0.09	0.12	0.02	1.0	1.61
Policultivo, sin estiércol (PSE) ❖ Multiple cropping, without manure	7.0	0.11	0.27	0.01	3.0	1.61
Veza, sin estiércol (VSE) ❖ Vetch, without manure	6.9	0.08	0.20	0.01	1.0	1.23
Sin cultivo, con estiércol (TCE) ❖ Without cropping, with manure	7.8	0.17	0.42	0.02	13.5	2.37
Policultivo, con estiércol (PCE) ❖ Multiple cropping, with manure	7.3	0.17	0.60	0.03	11.0	1.18
Veza, con estiércol (VCE) ❖ Vetch, with manure	7.2	0.09	1.44	0.07	2.5	1.73

³ Etchevers B., J. D. 1988. Notas del Curso: Análisis Químico de Suelos y Plantas. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 803 p. (Mimeo.).

⁴ Echegaray A. 1991. Prácticas del Curso: Microbiología del Suelo. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 47 p. (Mimeo.).

mezcla uniforme del tepetate con el estiércol, se ajustó la humedad a 35 % y se incubaron a 29 °C. Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones. La concentración de N inorgánico se midió al inicio del ensayo y a los 5, 10 y 13 días de incubación de acuerdo con el procedimiento descrito por Bremner (1965).

Los datos de la respiración microbiana y la mineralización de N se procesaron mediante análisis de varianza y las medias de los tratamientos se compararon mediante Tukey ($p \leq 0.05$). En los análisis estadísticos se utilizó el programa Statgraphics (STSC, 1986).

RESULTADOS

Los tepetates sin cultivo, sin o con incorporación previa de estiércol de bovino, al inicio de la recuperación del tepetate (TSE y TCE) presentaron menor número de bacterias, actinomicetos y hongos que los tepetates donde se cultivó y se incorporaron los rastrojos del policultivo o la veza (PCE, PSE, VCE, VSE) (Figura 1). El mayor crecimiento de los tres grupos microbianos se observó en los tratamientos donde se incorporó la veza, y dentro de éstos, el más alto ocurrió en el tepetate sin incorporación de estiércol en el ciclo de cultivo previo. Por el contrario, la incorporación de estiércol en el ciclo de cultivo previo estimuló ligeramente el crecimiento de los tres grupos microbianos en el tepetate en que los rastrojos del policultivo fueron incorporados.

La adición de 1 % de estiércol de bovino inmediatamente antes de la incubación de las muestras estimuló la producción de CO₂ en todos los tratamientos y modificó la dinámica de tal producción. Sin la adición de esa cantidad de estiércol, los tepetates en que la veza había sido incorporada presentaron el pico de mayor producción de CO₂ cuatro días después del inicio de ésta, en tanto que en los tepetates con rastrojos de policultivo incorporados el máximo ocurrió a los 7 días de incubación (Figura 2a). Con adición de 1 % de estiércol, la mayor producción de CO₂ se registró a los 7 días indistintamente del tratamiento (Figura 2b). En ambas condiciones de incubación, la respiración microbiana total fue mayor en los tepetates en que la veza había sido incorporada; le siguieron en orden decreciente los tepetates con incorporación de rastrojos del policultivo y los tepetates sin cultivo, sin o con incorporación de estiércol en el ciclo de cultivo previo (Cuadro 3).

En ambas condiciones de incubación se observó una interacción significativa entre el tratamiento con incorporación de estiércol en el ciclo previo de cultivo y la incorporación de los rastrojos del policultivo, de forma tal que la respiración microbiana fue mayor donde se incorporó estiércol o rastrojos del policultivo (Figura 3a), mientras que la interacción no fue significativa en los tepetates con incorporación de veza (Figura 3b).

La concentración de N-NH₄ medido al inicio de la incubación, fue máxima en los tepetates donde la veza

In decreasing order, tepetates with multiple cropping residues and uncultivated tepetates, with and without previous incorporation of manure followed (Table 3).

In both conditions of incubation, there was a significant interaction between the incorporation of manure in the previous cycle and incorporation of multiple cropping residues. Microbial respiration was greater where manure was incorporated with multiple cropping residues (Figure 3a), while interaction in tepetates with vetch was not significant (Figure 3b).

The concentration of N-NH₄ measured at the beginning of incubation was maximum in tepetates with vetch and minimum in those with multiple cropping residues and uncultivated tepetates ($p \leq 0.05$). Besides, the dynamics of N-NH₄ varied according to the incorporated inputs. In tepetate with vetch and manure, a progressive reduction of the N-NH₄ was observed during the incubation time, while in tepetate with vetch but without manure or with multiple cropping residues, with or without manure, there was a slight increase at 5 days of incubation, which later diminished. In uncultivated tepetate, however, the concentration of N-NH₄ was low and remained relatively constant throughout the incubation time (Figure 4a).

The concentration of N-NO₃ increased constantly in all of the treatments during the period of incubation

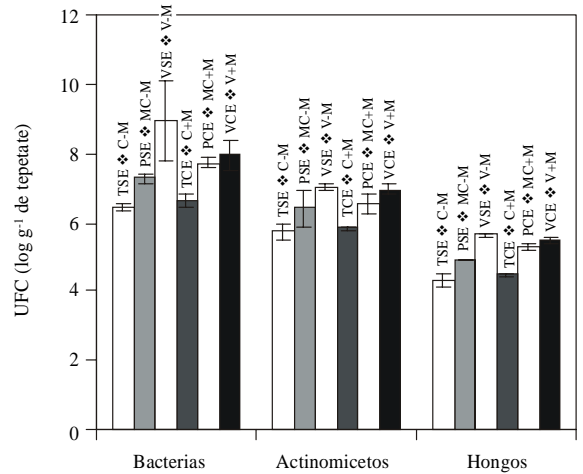


Figura 1. Número de unidades formadoras de colonias (UFC) en tepetates de cada tratamiento (promedio y error estándar, n = 2). TSE = Sin cultivo, sin estiércol; PSE = Policultivo, sin estiércol; VSE = Veza, sin estiércol; TCE = Sin cultivo, con estiércol; PCE = Policultivo, con estiércol; VCE = Veza, con estiércol.

Figure 1. Number of colony-forming units (CFU) in tepetates from each treatment (average and standard error, n=2). C-M = Uncultivated, without manure; MC-M = Multiple cropping without manure; V-M = Vetch, without manure; C+M = Uncultivated, with manure; MC+M = Multiple cropping, with manure; V+M = Vetch, with manure.

había sido incorporada, y mínima, en los tepetates con rastrojos de policultivo incorporados y en los que permanecieron sin cultivo ($p \leq 0.05$). Asimismo, la dinámica del $N-NH_4$ varió entre los tepetates en función de los insumos incorporados, ya que en el tepetate con veza y estiércol se observó su disminución progresiva durante el tiempo de incubación, mientras que en el tepetate con veza pero sin estiércol o con rastrojos del policultivo, sin o con estiércol, hubo un ligero incremento de éste a los 5 días de incubación, para luego disminuir. Por el contrario, en el tepetate sin cultivo la concentración de $N-NH_4$ fue baja y se mantuvo relativamente constante en ese nivel durante todo el periodo de incubación (Figura 4a).

La concentración de $N-NO_3$ se incrementó en forma constante en todos los tratamientos durante el periodo de incubación (Figura 4b), con un comportamiento opuesto al del $N-NH_4$. La velocidad de oxidación del amonio a nitratos fue máxima en los tepetates con incorporación de veza y estiércol y mínima en los tepetates sin cultivo y estiércol (Cuadro 3). La disminución de la concentración de $N-NH_4$ y el incremento constante en la concentración de $N-NO_3$ durante la incubación de las muestras explica por qué al término del periodo de incubación el nitrógeno inorgánico se encontró principalmente como $N-NO_3$.

La velocidad de oxidación del amonio a nitratos en los tepetates en que se incorporó los rastrojos de policultivo o la veza, fue modificada significativamente por la adición de estiércol de bovino en el ciclo correspondiente de cultivo previo. Durante la incubación de las muestras, la concentración de $N-NH_4$ se mantuvo alta en el tepetate sin estiércol y rastrojos de policultivo incorporados, y en el tepetate con veza incorporada pero sin adición de estiércol en el ciclo del cultivo previo (Figura 5a). Lo anterior se reflejó en mayor concentración de $N-NO_3$ tanto en el tepetate tratado con estiércol en el ciclo de cultivo previo, sin o con incorporación de rastrojos de policultivo, como en el tepetate con incorporación de veza y estiércol en ese mismo ciclo (Figura 5b).

Cuadro 3. Producción total de CO_2 y nitrógeno inorgánico mineralizado después de 13 días de incubación de tepetates sin y con incorporación de residuos orgánicos.

Table 3. Total production of CO_2 and mineralized inorganic nitrogen after 13 days of incubation of tepetate with and without incorporation of organic residues.

Tratamiento	Respiración microbiana CO_2 (mg 100 g ⁻¹ de tepetate)		Nitrógeno inorgánico (mg kg ⁻¹ de tepetate)		
	Sin estiércol	Con estiércol	N-total	N-NH ₄	N-NO ₃
Sin cultivo, sin estiércol (TSE)	6.0 c	39.4 c	42.1 c	13.5 a	28.6 cd
Policultivo, sin estiércol (PSE)	29.9 b	65.8 b	35.2 c	9.0 ab	26.2 cd
Veza, sin estiércol (VSE)	55.7 a	100.9 a	63.8 b	6.3 b	57.5 b
Sin cultivo, con estiércol (TCE)	13.2 bc	62.5 b	25.6 c	9.6 ab	16.0 d
Policultivo, con estiércol (PCE)	54.0 a	103.7 a	43.1 c	4.7 b	38.4 c
Veza, con estiércol (VCE)	61.3 a	118.6 a	99.0 a	7.4 ab	91.6 a

Los valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente entre sí (Tukey, 0.05) ♦ Means followed by same letter are not statistical different (Tukey, 0.05).

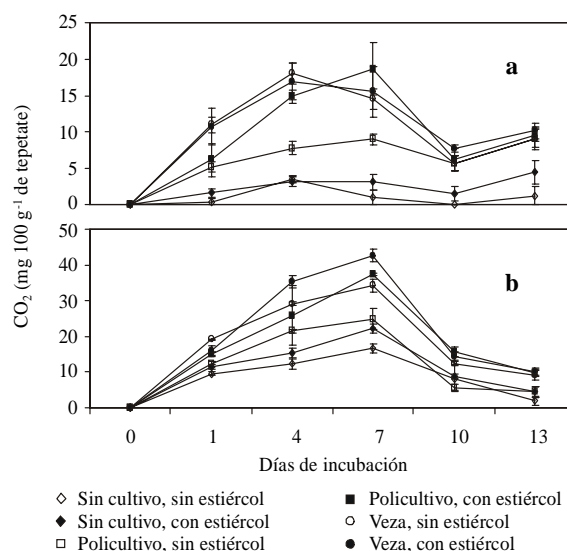


Figura 2. Efecto de la incorporación de veza y rastrojos de policultivo (maíz-frijol-haba) en la respiración microbiana del tepetate sin (a) y con (b) adición de 1 % de estiércol de bovino previo a su incubación (promedio y desviación estándar; n=4).

Figure 2. Effect of the incorporation of vetch and residues from multiple cropping (maize-beans-faba beans) on microbial respiration in tepetate with (b) and without (a) 1% addition of cattle manure before incubation (average and standard deviation, n=4).

(Figure 4b). An opposite behavior was observed with the $N-NH_4$. The speed of oxidation of the ammonium to nitrates was maximum in tepetates with vetch and manure, and minimum in uncultivated tepetates without manure (Table 3). The reduction in the $N-NH_4$ concentration and the constant increase in the concentration of $N-NO_3$ during the incubation of the samples explain why inorganic nitrogen was found principally as $N-NO_3$ at the end of the incubation period.

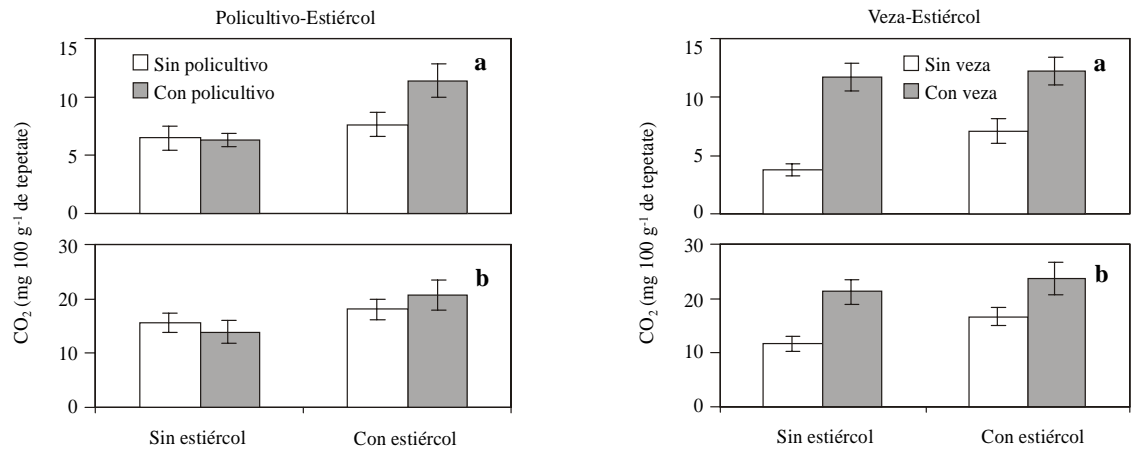


Figura 3. Efecto residual del estiércol de bovino incorporado en el ciclo de cultivo previo en la respiración microbiana del tepetate con incorporación de rastrojos de policultivo (maíz-frijol-haba) y veza, sin (a) y con (b) adición de 1 % de estiércol previo a su incubación (promedio y error estándar; n=20).

Figure 3. Residual effect of cattle manure incorporated in the previous growing cycle on microbial respiration of tepetate with incorporation of residues from multiple cropping (maize-beans-faba beans) and vetch with (b) and without (a) 1 % addition of manure before incubation (average and standard error, n=20).

DISCUSIÓN

Entre los factores edáficos que restringen la capacidad productiva de los tepetates destacan los bajos niveles de materia orgánica, de nitrógeno y de fósforo, y la presencia de una escasa comunidad microbiana (Cajuste y Cruz, 1987; Sánchez *et al.*, 1987; Etchevers *et al.*, 1991; Álvarez-Solís *et al.*, 1992). En el presente estudio la incorporación de estiércol de bovino después de la roturación del tepetate, así como el cultivo e incorporación de la veza y del rastrojo del policultivo maíz-frijol-haba, incrementaron el número de bacterias, actinomicetos y hongos, la respiración microbiana y la velocidad de mineralización del N en el tepetate.

Las diferencias entre los tratamientos, tanto en cantidad como en actividad de la microflora, muestran el efecto positivo que tuvieron las prácticas de manejo en la inducción de actividad biológica del tepetate. Esto es evidente si se considera que en los tratamientos donde se adicionó 1 % de estiércol inmediatamente antes de la incubación de las muestras, la velocidad con la que este insumo orgánico fue transformado a biomasa microbiana, CO₂ y nitrógeno inorgánico fue mayor en los tepetates que tuvieron manejo agrícola, que en aquellos sin cultivo y sin incorporación previa de estiércol. Sin embargo, no es posible atribuir al 1 % de estiércol adicionado al momento de incubación de las muestras todo el CO₂ y el nitrógeno inorgánico producido, puesto que la presencia de residuos de veza, de rastrojos del policultivo o del estiércol que fueron incorporados en el ciclo de cultivo previo también se oxidaron y contribuyen a explicar las diferencias encontradas en la respiración microbiana entre los

The speed of the ammonium oxidation to nitrates in the tepetate with multiple cropping residues or vetch was significantly modified by the cattle manure, applied

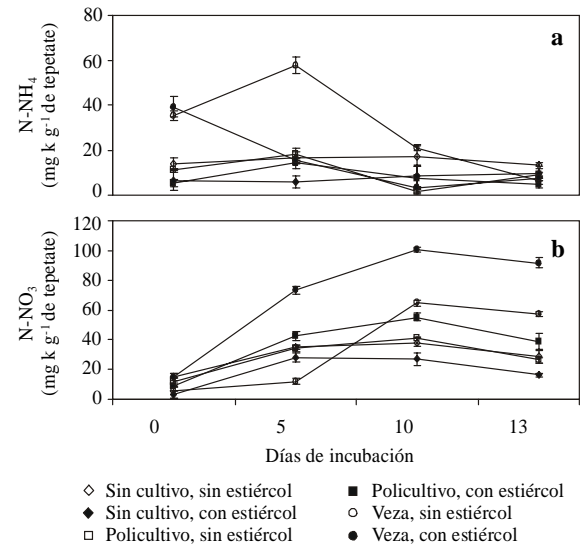


Figura 4. Efecto de la incorporación de veza y rastrojos de policultivo (maíz-frijol-haba) en la concentración de N-NH₄ (a) y de N-NO₃ (b) en tepetate con adición de 1 % de estiércol de bovino previo a su incubación (promedio y error estándar; n=4).

Figure 4. Effect of incorporation of vetch and residues from multiple cropping (maize-beans-faba beans) on the concentration of N-NH₄ (a) and N-NO₃ (b) in tepetate with 1 % addition of cattle manure before incubation (average and standard error, n=4).

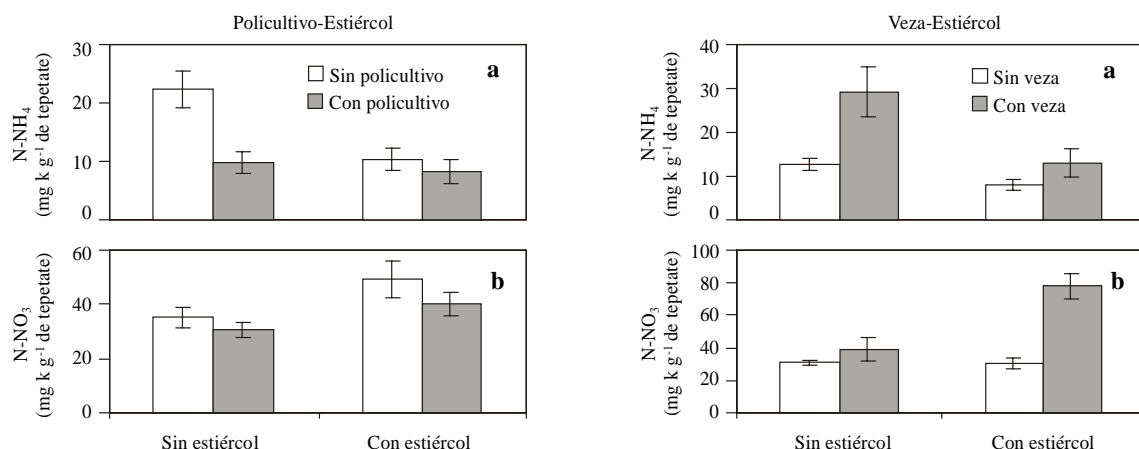


Figura 5. Efecto residual del estiércol de bovino incorporado en el ciclo de cultivo previo en la concentración de N-NH₄ (a) y N-NO₃ (b) del tepetate con incorporación de rastrojos de policultivo y veza (promedio y error estándar; n=16).

Figure 5. Residual effect of cattle manure incorporated in previous growing cycle on the concentration of N-NH₄ (a) and N-NO₃ (b) in tepetate with incorporation of residues from multiple cropping and vetch (average and standard error, n=16).

tratamientos sin adición de 1 % de estiércol previo a la incubación.

Las muestras de tepetates tomadas en los tratamientos en donde después de su roturación se incorporó estiércol de bovino presentaron mayores concentraciones de materia orgánica y de fósforo que en aquellos donde no hubo incorporación del estiércol (Cuadro 2). La comparación de las cantidades totales de CO₂ producido a los 13 días de incubación entre los tratamientos con y sin incorporación de estiércol en el ciclo de cultivo previo, muestra que existió un efecto residual de ese estiércol en la respiración microbiana, tanto en aquel sin cultivo como en los que los rastrojos de policultivo o veza fueron incorporados. El efecto residual del estiércol en las incubaciones sin adición de 1 % de estiércol previo a ésta, promovió incrementos en la producción de CO₂ de 127, 73 y 5% en el tepetate sin cultivo y donde hubo incorporación de rastrojos del policultivo o veza, respectivamente. En los tepetates con adición de 1 % de estiércol antes de su incubación dichos incrementos fueron 33, 51 y 14%, respectivamente.

Las diferencias en la producción de CO₂ y en la mineralización del nitrógeno observada entre los tratamientos puede estar relacionada con los contenidos de lignina, fenoles y la relación C:N de los residuos orgánicos incorporados (Neely *et al.*, 1991), así como con la mayor cantidad de biomasa de la veza incorporada (Cuadro 1). Ello podría explicar porqué en los tepetates en que se incorporó el rastrojo del policultivo hubo un efecto residual del estiércol añadido en el ciclo previo, tanto en la respiración microbiana como en la velocidad de mineralización del nitrógeno, mientras que en los tepetates con incorporación de veza la respiración microbiana fue mayor, independientemente de la aplicación de estiércol como enmienda.

in the previous cycle of the corresponding cropping. During the incubation of the samples, the concentration of N-NH₄ remained high in tepetate without manure and without multiple cropping residues, and in tepetate with vetch without the addition of manure (Figure 5a). This was reflected in a higher concentration of N-NO₃ in both tepetates treated with manure in the previous cropping cycle, with and without the incorporation of residues from multiple cropping, and tepetate with the incorporation of vetch and manure in the same cycle (Figure 5b).

DISCUSSION

Low levels of organic matter, nitrogen and phosphorus, and scarce microbial population are among the edaphic factors which most limit the productive capacity of tepetates (Cajuste and Cruz, 1987; Sánchez *et al.*, 1987; Etchevers *et al.*, 1991; Álvarez-Solís *et al.*, 1992). In this study, the incorporation of cattle manure after plowing the tepetate, as well as cropping and incorporation of vetch and residues of multiple cropping of maize-beans-faba bean, increased the number of bacteria, actinomycetes and fungi, microbial respiration, and speed of N mineralization in tepetate.

The differences among treatments in both, number and activity of the microflora, show the positive effect of the management practices on the induction of biological activity into tepetate. This is evident considering that, in the treatments with 1 % addition of manure immediately before incubation of the samples, the speed of this organic input being transformed into microbial biomass, CO₂, and inorganic nitrogen was greater in the tepetates with agricultural management than in those without cropping

El efecto de las prácticas de manejo en la inducción de una mayor actividad biológica del tepetate puede atribuirse a: 1) La rizodeposición de sustancias orgánicas por las plantas cultivadas en el ciclo de cultivo previo a la colecta del tepetate; 2) La mayor disponibilidad de compuestos con carbono orgánico debido a la incorporación de los insumos orgánicos; y 3) La introducción de microflora zimógena en el estiércol incorporado. Al respecto, Álvarez-Solís *et al.* (1992) observaron una estimulación rizosférica de las plantas cultivadas en la microflora del tepetate; asimismo, Alef *et al.* (1988) encontraron una estrecha correlación entre los contenidos de materia orgánica del suelo y la respiración microbiana ($r=0.86$, $n=13$).

CONCLUSIONES

La actividad biológica del tepetate presentó una respuesta favorable a la incorporación de estiércol y al cultivo e incorporación de veza y de los rastrojos del policultivo maíz-frijol-haba. El efecto en la actividad biológica del tepetate fue mayor al incorporar veza que al incorporar los rastrojos del policultivo. En relación con el tepetate que se mantuvo sin cultivo, los tepetates con veza, con y sin incorporación previa de estiércol, tuvieron incrementos netos en el número de bacterias (8.0 y 8.9), actinomicetos (7.02 y 7.08) y hongos (5.6 y 5.8) reportado en unidades formadoras de colonias logarítmicas por gramo de suelo, la respiración microbiana (56 y 62 mg de CO_2 100 g^{-1}) y el nitrógeno inorgánico mineralizado (73 y 22 mg kg^{-1}), respectivamente. La mineralización de los rastrojos del policultivo fue promovida por la incorporación de estiércol al inicio de la recuperación del tepetate. El uso de veza como abono verde o la incorporación de rastrojos de policultivo y estiércol, por su efecto positivo en la actividad microbiana, constituyen alternativas en el proceso de habilitación de tepetates para la producción agrícola.

AGRADECIMIENTO

A Pedro F. Quintana-Ascencio por la revisión y comentarios a este manuscrito, y al editor y árbitros de Agrociencia por sus valiosas sugerencias.

LITERATURA CITADA

- Alef K., Th. Beck, L. Zelles, and D. Kleiner. 1988. A comparison of methods to estimate microbial biomass and N-mineralization in agricultural and grassland soils. *Soil Biol. Biochem.* 20: 561-565.
- Álvarez-Solís, J. D., R. Ferrera-Cerrato y C. Zebrowski. 1992. Análisis de la microflora asociada al manejo agroecológico en la recuperación de tepetates. *Terra* 10 (Número Especial): 419-424.
- Álvarez-Solís, J. D., R. Ferrera-Cerrato, J. A. Santizo R. y C. Zebrowski. 1996. Establecimiento y actividad de *Rhizobium* y de *Azospirillum* introducidos en tepetate durante el primer año de roturación. *Agrociencia* 30: 177-185.

and without previous incorporation of cattle manure. However, it is not possible to attribute all of the CO_2 and inorganic nitrogen produced to the 1 % manure, added at the time of incubation of the samples, since the residues of vetch and multiple cropping and the manure incorporated in the previous cropping cycle also oxidized and contributed to explaining the differences in microbial respiration, found among the treatments without the 1 % addition of manure before incubation.

The samples of tepetate taken from the treatments, in which cattle manure was incorporated after plowing, had higher concentrations of organic matter and phosphorus than those without manure (Table 2). The comparison of treatments with and without the incorporation of manure in the previous cropping cycle, in terms of the total amounts of CO_2 produced in 13 days of incubation, shows that there was a residual effect of the manure on microbial respiration, both, in uncultivated tepetates and in those with incorporated plant residues and vetch. The residual effect of the manure on the incubation, without the 1 % previous addition of manure, promoted increases of 127, 73 and 5 %, respectively, in the production of CO_2 in uncultivated tepetate and in that in which plant residues of multiple cropping and vetch had been incorporated. In tepetates with 1 % addition of manure before incubation, the increases were 33, 51 and 14 %, respectively.

The differences in CO_2 production and nitrogen mineralization observed among the treatments can be related to the contents of lignin and phenol and to the C:N ratio in the incorporated organic residues (Neely *et al.*, 1991), as well as to the greater quantity of vetch biomass incorporated into the tepetate (Table 1). This could explain why there was a residual effect of the manure added in the previous cycle on the tepetates, in which plant residues from multiple cropping were incorporated, in terms of microbial respiration as well as the speed of nitrogen mineralization. In the tepetates with incorporated vetch, microbial respiration was greater, regardless of whether or not manure was added.

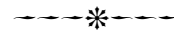
The effect of management practices on the induction of a greater biological activity in tepetate can be attributed to 1) the rizodeposición of organic substances by the plants grown in the cropping cycle previous to the collection of the tepetate, 2) the greater availability of organic carbon compounds from the incorporation of organic inputs, and 3) the introduction of zymogenous microflora through the incorporation of manure. Álvarez-Solís *et al.* (1992) observed rhizospheric stimulation of the plants cultivated in the microflora of tepetate. Also, Alef *et al.* (1988) found a close correlation between the contents of organic matter in the soil and microbial respiration ($r=0.86$, $n=13$).

- Bremner, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. *In: Methods of Soil Analysis*. Black, C. A. (ed.). Am. Soc. Agron. Madison, Wis. pp: 1179-1237.
- Cajuste L., J. y J. Cruz D. 1987. Presencia de materiales amorfos en tepetates de la zona de influencia de Chapingo. *In: Uso y Manejo de los Tepetates para el Desarrollo Rural*. Ruiz F., F. (ed.). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. pp: 69-77.
- Camargo R., E. O. y A. I. Guido. 1987. Roturación y trituración de tepetates en el Valle de Mezquital, su efecto en la agricultura bajo condiciones de riego. *In: Uso y Manejo de los Tepetates para el Desarrollo Rural*. Ruiz F., F. (ed.). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. pp: 143-155.
- Etchevers B., J. D., C. Zebrowski, R. M. López R. y D. Peña. 1991. Incorporación de los tepetates a la producción agrícola. V. Caracterización química. *In: Primer Simposium Internacional: Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y Manejo de Tepetates)*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. pp: 50-53.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 246 p.
- Llerena V., F. A. y B. Sánchez B. 1991. Recuperación de tepetates en la Vertiente Oriental del Valle de México. *In: Primer Simposium Internacional: Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y Manejo de Tepetates)*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. pp: 59-61.
- Neely C., M. Beare, W. Hargrove, and D. Coleman. 1991. Relationships between fungal and bacterial substrate-induced respiration, biomass and plant residue decomposition. *Soil Biol. Biochem.* 23: 947-954.
- Oleschko K., C. Zebrowski, P. Quantín y N. Fedoroff. 1991. Los patrones morfológicos de la arcilla en los tepetates. *In: Primer Simposium Internacional: Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y Manejo de Tepetates)*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. pp: 16-18.
- Peña, D. y C. Zebrowski. 1992. Informe del Mapa Morfopedológico de la Vertiente Occidental de la Sierra Nevada. Colegio de Postgraduados-ORSTOM. Montecillo, Edo. de México. 4 Volúmenes.
- Pimentel B., L. 1987. Importancia de la roturación del tepetate en plantaciones forestales. *In: Uso y Manejo de Tepetates para el Desarrollo Rural*. Ruiz F., F. (ed.). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. pp: 199-211.
- Quantín P., A. Arias, J. Etchevers, R. Ferrera, K. Oleschko, A. Navarro, G. Werner y C. Zebrowski. 1993. Tepetates de México: caracterización y habilitación para la agricultura. *Terra* 11 (Número especial): 72 p.

CONCLUSIONS

The biological activity in tepetate responded favorably to the incorporation of manure and to the cultivation and incorporation of vetch and plant residues of multiple cropping of maize-beans-faba beans. The effect on tepetate biological activity was greater with the incorporation of vetch than with that of plant residues from multiple cropping. In uncultivated tepetate, those with vetch, with and without previous incorporation of manure, there were net increases in number of bacteria (8.0 and 8.9), actinomycetes (7.02 and 7.08) and fungi (5.6 and 5.8) all they reported in log colony-forming units per gram of soil, and in microbial respiration (56 and 62 mg CO₂ 100 g⁻¹) and mineralized inorganic nitrogen (73 and 22 mg kg⁻¹). Mineralization of the plant residues from multiple cropping was promoted by the incorporation of manure at the beginning of the rehabilitation process. The use of vetch as green manure and the incorporation of plant residues from multiple cropping and manure, because of their positive effect on microbial activity, constitute alternatives in the process of rehabilitation of tepetate for agricultural production.

—End of English version—



- Sánchez J. M., J. F. Ruiz F. y E. Cuautle F. 1987. Comportamiento de dos tipos de tepetates bajo la adición de abonos orgánicos y abonos verdes en condiciones de invernadero. *In: Uso y Manejo de los Tepetates para el Desarrollo Rural*. Ruiz F., F. (ed.). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. pp: 50-68.
- STSC. 1986. Statgraphics Statistical Graphics System. Statistical Graphics Corp. Rockville, Maryland, USA.
- Tovar T., A. 1987. Determinación del efecto de aplicación de estiércol de bovino semiseco y fresco sobre el rendimiento de cebada en suelos erosionados. *In: Uso y Manejo de los Tepetates para el Desarrollo Rural*. Ruiz F., F. (ed.). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. pp: 156-171.