

DINÁMICA Y RELACIONES DE MICROORGANISMOS, C-ORGÁNICO Y N-TOTAL DURANTE EL COMPOSTEO Y VERMICOMPOSTEO

DYNAMICS AND RELATIONSHIPS AMONG MICROORGANISMS, C-ORGANIC AND N-TOTAL DURING COMPOSTING AND VERMICOMPOSTING

Salustio Santamaría-Romero¹, Ronald Ferrera-Cerrato¹, Juan J. Almaraz-Suárez¹, Arturo Galvis-Spinola¹, Isabelle Barois-Boullard²

¹Especialidad de Edafología, Colegio de Postgraduados; Montecillo, Estado de México. (ronaldfe@colpos.colpos.mx). ²Departamento de Biología de Suelos, Instituto de Ecología, A.C.; Apartado Postal 63, Xalapa 91000, Veracruz. (isabelle@ecologia.edu.mx)

RESUMEN

Las características químicas y microbiológicas de las compostas y las vermicompostas son muy semejantes. Sin embargo, la respuesta de los cultivos a la aplicación de vermicomposta suele ser superior a la de la composta convencional. Con el fin de evaluar la calidad y las diferencias de esos dos tipos de composta se analizó la dinámica del C-orgánico, del N-total y sus relaciones con los microorganismos, durante la producción de composta (composteo) y vermicomposta (vermicomposteo) de residuos de podas de jardín mezclados con estiércol de conejo (3:1 v/v). El sustrato se depositó en contenedores de madera y se evaluaron, cada cuatro semanas, los factores ya mencionados. El pH (8.5) y la conductividad eléctrica (8 dS m⁻¹) que alcanzó el sustrato durante su transformación causaron daños a lombrices y microorganismos. El aumento de pH redujo la concentración de N-total, con lo cual la relación C/N se mantuvo sin cambio. Las pérdidas de N más notorias ocurrieron en la vermicomposta, en cuya producción se tuvo mayor relación entre el N-total y los fijadores de N₂ (R²=0.96) que en el de la composta (R²=0.57). En la transformación de los residuos orgánicos se redujo el contenido de C-orgánico a 29% después de 16 semanas. La respiración microbiana presentó una estrecha relación con el C-orgánico durante el composteo (R²=0.97) y en menor grado con el vermicomposteo (R²=0.80). La población total de bacterias disminuyó con el tiempo, relacionándose con la respiración microbiana (R²=0.75 durante el composteo y R²=0.82 para vermicomposteo). Sin embargo, en el cambio experimentado por las poblaciones de hongos no se observó un patrón, debido a su preferencia por ambientes ligeramente ácidos. Estos resultados muestran el efecto negativo de la alcalinidad y salinidad de las compostas en las poblaciones de lombrices y microorganismos.

Palabras clave: Biotransformación de residuos, lombricultura, microorganismos en la producción de composta.

ABSTRACT

Chemical and microbiological characteristics of compost and vermicompost are very similar. However, crop response to vermicompost application is often higher than to conventional compost application. With the purpose to evaluate the quality and the differences between these two kinds of compost, the C-organic and N-total dynamics were analyzed, and their relationship with microorganisms during composting and vermicomposting of grass-yard clippings mixed with rabbit manure (3:1 v/v) were studied. The substrate was deposited in wooden containers and the factors above mentioned were evaluated every four weeks. The pH (8.5) and electrical conductivity (8 dS m⁻¹), reached by the substrate during its transformation, were harmful to earthworms and microorganisms. The increase in pH diminished N-total concentration; for this reason, the C/N ratio did not change during the process. The largest N loss was observed in vermicompost, in its production there was a stronger relationship between N-total and N-fixing microorganisms (R²=0.96) than in compost (R²=0.57). In the organic residue, transformation of C-organic content was diminished to 29% after 16 weeks. Microbial respiration was highly correlated with the C-organic during the composting process (R²=0.97) and less in the vermicomposting process (R²=0.80). The population of bacteria decreased during the process, and had a positive association with microbial respiration (R²=0.75 and 0.82 during composting and vermicomposting, respectively). However, the changes observed in fungal populations did not show a specific tendency, maybe because fungi prefer slightly acid conditions. These results show that alkalinity and salinity have a negative effect on earthworms and microorganism populations.

Key words: Waste bio-transformation, vermicomposting, microorganism in compost production.

INTRODUCTION

Many organic residues, considered waste, are utilized to obtain products with aggregate value through composting. This is a dioxide-producing process of microbial transformations under controlled conditions (Hoitink and Kuter, 1986), which,

Recibido: Diciembre, 1999. Aprobado: Julio, 2001.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 35: 377-384. 2001.

INTRODUCCIÓN

Muchos residuos orgánicos considerados como basura se utilizan para obtener productos con valor agregado, mediante el composteo. Éste es un proceso biooxidativo de transformaciones microbianas en condiciones controladas (Hoitink y Kuter, 1986). Cuando en el proceso participan lombrices se le llama vermicomposteo (Reinecke *et al.*, 1992). En ambos casos se desarrollan eventos físicos, químicos y biológicos que provocan cambios en el material orgánico en cierto periodo de tiempo.

El composteo permite obtener abono orgánico para los cultivos. Diversos investigadores han analizado el contenido nutrimental (Haimi y Huhta, 1987) y microbiológico (Corlay *et al.*, 1999) de materiales que han sido sometidos a composteo o vermicomposteo con el fin de evaluar su calidad. En la calidad final de la composta intervienen factores como tipo de sustrato (residuos orgánicos) y los que manipula el hombre (aireación, humedad, pH, temperatura y la especie de lombriz en el vermicomposteo). Por lo tanto, para conocer lo que ocurre durante el composteo es necesario evaluar características específicas tales como la composición y abundancia de la microbiota y el contenido de C-orgánico y N-total. El objetivo del presente trabajo fue evaluar las poblaciones de lombrices y de microorganismo, así como algunos parámetros físicos y químicos en los residuos orgánicos sometidos a dos procesos de producción de composta, con el fin de estudiar las relaciones entre los factores químicos y biológicos, así como el efecto de éstos en la transformación de la materia orgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la investigación se utilizó una mezcla de estiércol de conejo y residuos de podas de jardín (1:3, v/v), los cuales se analizaron química y biológicamente (Cuadro 1). El sustrato se colocó en ocho contenedores de madera de 0.50 m x 0.50 m x 0.20 m de altura (0.05 m³) cubiertos por dentro con plástico negro. Cuatro de ellos se utilizaron para el vermicomposteo, donde se adicionaron lombrices *Eisenia andrei* Bouché. Se emplearon 83 capullos y 28.2 g de biomasa de lombriz por contenedor. A las 7 y 11 semanas se observó que la población de lombrices era baja, por lo que se adicionaron mas lombrices (13.8 y 31.0 g, respectivamente). Se aplicaron riegos cada semana para mantener la humedad entre 70 y 75%. El diseño fue completamente al azar con cuatro repeticiones, y los tratamientos fueron composteo y vermicomposteo.

Para evaluar las poblaciones de lombrices se utilizó un cilindro metálico de 15 cm de diámetro y 22 cm de altura con el cual se obtuvieron las muestras del sustrato. Se contabilizaron capullos, lombrices adultas y juveniles y se pesaron; la respiración microbiana se estimó mediante evolución de CO₂ (Anderson, 1982). Para evaluar las

involving earthworms, is called vermicomposting (Reinecke *et al.*, 1992). In both cases, physical, chemical, and biological events are developed, provoking changes in the organic matter in a certain period of time.

Composting allows to obtain organic fertilizer for the crops. Several investigators have analyzed the nutritional (Haimi and Huhta, 1987) and microbiological (Corlay *et al.*, 1999) contents of materials, subjected to composting or vermicomposting with the purpose to evaluate their quality. In the final quality of compost, factors of the substrate type (organic residues) and those manipulated by man (aeration, humidity, pH, temperature, and the earthworm species in vermicomposting) are involved. Therefore, it is necessary to evaluate specific characteristics, such as composition and abundance of microorganisms and the C-organic and N-total contents, in order to know what happens during the composting process. The objective of the present paper was to evaluate populations of earthworms and microorganisms, as well as some physical and chemical parameters in the organic residues, subjected to two processes of compost production, with the purpose to study the relationship between chemical and biological factors and the effect they have on the transformation of organic matter.

MATERIALS AND METHODS

For this research, a mixture of chemically and biologically analyzed rabbit manure and residues of grass-yard clippings (3:1 v/v) was used (Table 1). The substrate was put in eight wooden containers of 0.50 m x 0.50 m x 0.20 m height (0.05 m³), covered with black plastic on the inside, four of which were used for vermicomposting adding earthworms *Eisenia andrei* Bouché. Eighty-three cocoons and 28.2 g of earthworm biomass per container were employed. After

Cuadro 1. Características de los materiales orgánicos empleados en la elaboración de compostas y vermicompostas, en base seca.

Table 1. Characteristics of organic matter employed in composting and vermicomposting on a dry base.

Variables	Estiércol	Residuos de podas
N-total (g kg ⁻¹)	15.7	17.2
Materia orgánica (%)	55.8	82.7
Relación C:N	20.6	27.8
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	8.2	13.2
pH	8.2	7.8
Bacterias (10 ⁷ ufc g ⁻¹) [†]	479	149
Hongos (10 ⁵ ufc g ⁻¹)	—	159
Fijadores de N (10 ⁷ ufc g ⁻¹)	763	71
Microorganismos celulolíticos (10 ⁶ ufc g ⁻¹)	—	34
Respiración (mg CO ₂ g ⁻¹ día ⁻¹)	3.53	0.70
Humedad a 105 °C (%)	68.3	30.2

[†] ufc = Unidades formadoras de colonias ♦ ufc = Colonies' generator units.

poblaciones microbianas se utilizó la técnica de conteo en placa de agar. Para ese fin, de las mismas muestras que se emplearon para respiración microbiana se tomaron 10 g de material y se elaboraron diluciones decimales seriadas, de las cuales se tomó una alícuota de 100 mL y se dispersó en cajas de Petri que contenían los siguientes medios selectivos: agar nutritivo para bacterias, papa-glucosa-agar para hongos, carbono combinado para fijadores de N_2 de vida libre y carboximetilcelulosa para degradadores de celulosa (Corlay, 1997)³. Los cultivos se incubaron a 28 °C por 48 h en los tres primeros casos y por siete días para los celulolíticos. El C-orgánico se obtuvo de la materia orgánica mediante el factor de van Bemmelen (1.724) y ésta por calcinación a 475 °C. Para N-total se utilizó la técnica semimicro-Kjeldahl (digestión húmeda $H_2SO_4 - C_3H_7O_6$) (Jones *et al.*, 1991). Se midió pH (1:2 p/v) y conductividad eléctrica (CE)(1:4 p/v) de los materiales. El experimento duró 16 semanas, registrándose la temperatura de los sustratos cada tercer día. Todas las demás variables se midieron cada cuatro semanas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura en el sustrato (tomada entre 15:00 y 16:00 h) fluctuó entre 19 y 24 °C, y siguió una tendencia semejante a la temperatura ambiental media (promedio de máxima y mínima), aunque fue de 3 a 6 °C superior a ésta. La temperatura es importante para el desarrollo de lombrices, pues proliferan entre 13 y 37 °C (Reinecke *et al.*, 1992), aunque prosperan mejor entre 22 y 24 °C (Aranda, 1995). La humedad del material varió de 76% al inicio a 68% al final del composteo (Cuadro 2). Para el vermicomposteo se requiere una humedad entre 70 y 85% (Martínez, 1995) y de 40 a 65% en composteo sin lombrices. El pH se elevó en la cuarta semana hasta 8.9 en compostas y 8.7 en vermicompostas, manteniéndose en

7 and 11 weeks, we observed that the earthworm population was low, so, more earthworms were added (13.8 and 31.0 g, respectively). Every week, irrigation was applied in order to maintain the humidity between 70 and 75%. The design was Completely Randomized with four replications, and the treatments were composting and vermicomposting.

To evaluate the earthworm populations, a metallic cylinder of 15 cm diameter and 22 cm height was utilized, from which the substrate samples were obtained. Cocoons, adult and juvenile earthworms were counted and weighed; microbial respiration was estimated through CO_2 evolution (Anderson, 1982). For evaluating microbial populations the counting on agar plate technique was used. For this purpose 10 g of material from the same samples employed for microbial respiration were taken, and serialized decimal dilutions were elaborated; a proportion of 100ml of these was dispersed in petri dishes with the following selective means: nutritive agar for bacteria, potato glucose agar for fungi, carbon compound for free-living N_2 -fixing microorganisms, and carboxy-methyl cellulose for cellulose-degrading microorganisms Corlay, 1997)³. The cultures were incubated at 28 °C for 48 hours in the first three cases, and during seven days for cellulolytic cultures. The C-organic was obtained from organic matter, which had undergone calcination at 475 °C by means of the van Bemmelen factor (1.724). For N-total the Kjeldahl semi-micro technique was used (humid digestion $H_2SO_4 - C_3H_7O_6$) (Jones *et al.*, 1991); pH (1:2 p/v) and electric conductivity (CE) (1:4 p/v) of the material were measured. The experiment lasted 16 weeks, during which the temperature of the substrates was recorded every three days. All the other variables were measured every four weeks.

RESULTS AND DISCUSSION

The substrate temperature (taken between 3:00 and 4:00 p.m.) fluctuated between 19 and 24 °C and followed a tendency similar to the mean environmental temperature (average of maximum and minimum) though it was 3 to 6 °C higher than that. Temperature is important for the development of earthworms since they proliferate between 13 and 37 °C (Reinecke *et al.*, 1992) although their prosperity improves between 22 and 24 °C (Aranda, 1995). The humidity of the material varied from 76% at the beginning to 68% at the end of the composting process (Table 2). For vermicomposting, humidity between 70 and 85% is required, and for composting without earthworms only 40 to 65% are necessary. In the fourth week, the pH increased up to 8.9 in compost and 8.7 in vermicompost, keeping a level between 8.3 and 8.6 in the following periods (Table 2). Electrical conductivity (CE) fluctuated between 8 and 9.5 $dS\ m^{-1}$ and diminished at the end of the composting and vermicomposting processes (Table 2). The highest concentration of salts, originated from the residues of grass-yard clippings,

Cuadro 2. Humedad, conductividad eléctrica (CE) y pH durante el composteo y vermicomposteo de residuos de podas de jardín mezclados con estiércol de conejo (n=4).

Table 2. Humidity, electrical conductivity (CE) and pH, during composting and vermicomposting of grass-yard clippings mixed with rabbit manure (n=4).

Semana	Humedad %	CE $dS\ m^{-1}$	pH
Composteo			
4	76 ± 0.7	9.5 ± 0.79	8.9 ± 0.06
8	74 ± 1.1	9.3 ± 0.48	8.3 ± 0.14
12	73 ± 1.4	8.3 ± 0.08	8.6 ± 0.05
16	69 ± 0.9	7.8 ± 0.96	8.6 ± 0.11
Vermicomposteo			
4	76 ± 0.8	8.5 ± 0.19	8.7 ± 0.10
8	73 ± 0.3	9.1 ± 0.34	8.5 ± 0.12
12	72 ± 1.5	8.7 ± 0.20	8.6 ± 0.05
16	68 ± 1.9	8.0 ± 0.21	8.5 ± 0.13

³ Corlay Ch., L. 1997. Cinética microbiana del proceso de producción de vermicomposta. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 75 p.

las siguientes etapas entre 8.3 y 8.6 (Cuadro 2). La CE, fluctuó entre 8 y 9.5 dS m⁻¹ y disminuyó al final de los procesos de composteo y vermicomposteo (Cuadro 2). La mayor concentración de sales provino de los residuos de podas de jardín, cuya CE inicial fue 13.2 dS m⁻¹ (Cuadro 1), pues este sustrato se obtuvo del suelo salino de la región (Montecillo, Edo. de México). En la misma área Corlay *et al.* (1999) midieron CE de 8 a 18 dS m⁻¹ en diferentes sustratos.

Después de la inoculación inicial de lombrices se observó un incremento de 157% en la biomasa total (Figura 1 a). Debido a las reinoculaciones (ver metodología), en la semana 12 la biomasa total alcanzó más de 1300 g m⁻²; sin embargo en la semana 16 dicha cantidad había disminuido 50%. Lo anterior quizá se debió a efectos negativos relacionados con pH y CE, ya que en este trabajo el pH alcanzó valores de 8.7 en las primeras etapas del vermicomposteo y la CE fue mayor a 8.0 dS m⁻¹ (Cuadro 2). Al respecto, Edwards *et al.* (1985) mencionaron que las lombrices mueren en sustratos con pH inferior a 5 y superior a 9. La CE fue superior 8 dS m⁻¹ (Cuadro 2) mientras que las lombrices requieren concentraciones de sales menores a 7 dS m⁻¹ (Edwards *et al.*, 1985).

Para conocer la población de lombrices afectada por estas condiciones, se pesaron por separado los individuos juveniles (no clitelados) y adultos (con clitelo). El clitelo es un abultamiento en el primer tercio del cuerpo de la lombriz, y en esa estructura se origina un capullo (Aranda, 1995). La biomasa de adultos fue mayor a la de juveniles (Figura 1 a); aquellos se reprodujeron profusamente y a pesar de disminuir su número en la semana 16, la cantidad de capullos fue similar a la de la 12.

Al final del proceso se obtuvieron 4411 capullos m⁻² (Figura 1 b). El peso individual de los adultos se redujo en las semanas 4 y 16, lo que no ocurrió en los juveniles (Figura 1 c). El efecto combinado de pH y CE elevados quizá provocaron las reducciones en número y biomasa de individuos. Al respecto, Mitchell (1997) encontró que las lombrices *E. foetida* en estiércol de bovino no viven en condiciones combinadas de pH 9.5 y CE de 5.0 dS m⁻¹.

En cuanto a la respiración microbiana, no hubo diferencia en la liberación de CO₂ entre composteo y vermicomposteo aunque ésta disminuyó durante ambos procesos (Figura 2 a), resultado similar al reportado por Haimi y Huhta (1987). La evolución de CO₂ se relacionó directamente con el contenido de C-orgánico en el sustrato (Figura 2). Esta relación fue más estrecha en composteo (R²= 0.97%) que en el vermicomposteo (R²= 0.80%) (Figura 2 c).

La población bacteriana disminuyó en ambos tipos de composteo. Corlay *et al.* (1999) tampoco encontraron diferencias significativas de poblaciones bacterianas entre composteo y vermicomposteo. En el presente estudio la composta y la vermicomposta presentaron poblaciones

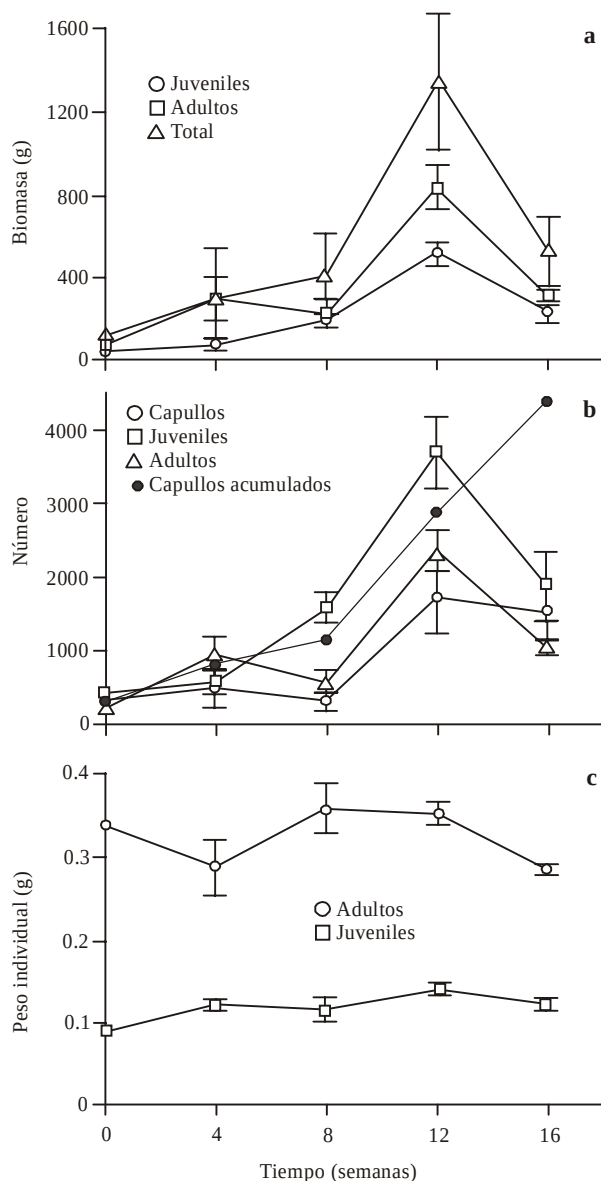


Figura 1. Variación de la biomasa (a), número (b) y peso individual (c) de lombrices durante el vermicomposteo de residuos de podas de jardín mezclados con estiércol de conejo. Las líneas verticales indican el error estándar ($n=4$).

Figure 1. Variation of biomass(a), number (b), and individual weight (c) of earthworms during vermicomposting of a mixture of grass-yard clippings and rabbit manure. The vertical lines indicate the standard error ($n=4$).

whose initial CE was 13.2 dS m⁻¹ (Table1), as this substrate was obtained from the saline soil of the region (Montecillo, State of Mexico). In the same area Corlay *et al.* (1999) measured CE of 8 to 18 dS m⁻¹ in different substrates.

After the initial inoculation of earthworms, an increase of 157% in total biomass was observed (Figure 1a). Due to the re-inoculations (See methodology) in the 12th week,

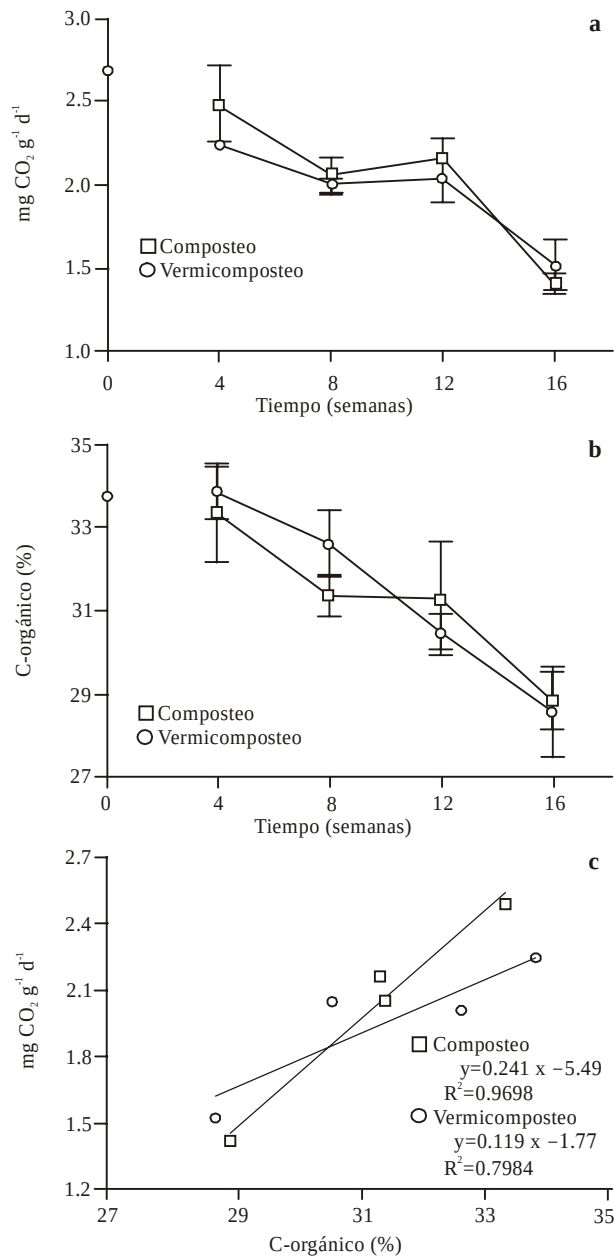


Figura 2. Respiración microbiana (a), contenido de C-orgánico (b) y su relación (c), durante composteo y vermicomposteo de la mezcla de podas de jardín y estiércol de conejo. Las líneas verticales indican los errores estándar ($n=4$).

Figure 2. Microbial respiration (a), content of C-organic (b), and their relationship (c) during composting and vermicomposting of the mixture of grass-yard clippings and rabbit manure. The vertical lines indicate the standard error ($n=4$).

de 24×10^7 ufc g^{-1} seco a 16 semanas del proceso. Cabe mencionar que se han reportado poblaciones bacterianas de más de 10^9 ufc g^{-1} de vermicomposta (Aranda, 1995). La evolución de CO_2 estuvo asociada positivamente con la población de bacterias, ya que al disminuir la población también disminuyó la respiración microbiana

the total biomass reached more than $1,300 \text{ g m}^{-2}$; nevertheless, in the 16th week the same quantity had diminished 50%. The previous might have been due to negative effects related with pH and CE, since in this work the pH reached values of 8.7 in the first phases of vermicomposting, and CE was greater than 8.0 dS m^{-1} (Table 2). With respect to this, Edwards *et al.* (1985) mention that earthworms die in substrates with pH inferior to 5 and superior to 9. CE was higher than 8 dS m^{-1} , whereas earthworms require salt concentrations lower than 7 dS m^{-1} (Edwards *et al.*, 1985).

In order to know the earthworm population, affected by these conditions, the juvenile individuals (without clitellum) and the adults (with clitellum) were separately weighed. The clitellum, a bulge in the first third of the earthworm body, is a structure in which a cocoon is formed (Aranda, 1995). The biomass of adults was greater than that of juveniles (Figure 1a); the adults reproduced profusely and though their number diminished in the 16th week the quantity of cocoons was similar to that in the 12th week.

At the end of the process, 4411 cocoons m^{-2} were obtained (Figure 1b). The individual weight of the adults decreased in the 4th and 16th week, which did not happen with the juveniles (Figure 1c). The combined effect of pH and elevated CE might have provoked the reduction in number and biomass of individuals. Regarding this, Mitchell (1997) found that *E. foetida* earthworms in cattle manure do not live in conditions combined of pH 9.5 and CE of 5.0 dS m^{-1} .

As for microbial respiration, there was no difference in CO_2 release between composting and vermicomposting, though it decreased during both processes (Figure 2a), a result similar to the one reported by Haimi and Huhta (1987). The evolution of CO_2 is directly related to the C-organic content in the substrate (Figure 2). This relationship was closer in the composting ($R^2=0.97\%$) than in vermicomposting ($R^2=0.80\%$) (Figure 2c).

The bacterial population diminished in both types of composting. Corlay *et al.* (1999) did not find any significant differences of bacterial populations between composting and vermicomposting. In the present study compost and vermicompost presented populations of 24×10^7 ufc g^{-1} dry matter in the 16th week of the process. It is worth mentioning that bacterial populations of more than 10^9 ufc g^{-1} of vermicompost have been reported (Aranda, 1995). CO_2 evolution has been positively associated to the bacterial population, since at decreasing this, microbial respiration decreased as well (Figure 3a and b). This did not happen however, with the rest of the evaluated microorganism populations. On the other hand, the association between C-organic and the population of bacteria was closer in composting ($R^2=78\%$) than in vermicomposting ($R^2=47\%$) (Figure 3c).

(Figura 3 a y b). Sin embargo, esto no ocurrió con las demás poblaciones de microorganismos evaluadas. Por otra parte, la asociación entre el C-orgánico y la población de bacterias fue mayor en el composteo ($R^2=78\%$) que en el vermicomposteo ($R^2=47\%$) (Figura 3 c).

Los hongos se desarrollan en sustratos donde las bacterias poco intervienen (Alexander, 1981). Sin embargo, el pH elevado quizá también limitó su desarrollo, pues el mayor número fluctuó entre 15×10^5 y 48×10^5 ufc g^{-1} de material seco (Cuadro 3). Al respecto, Corlay *et al.* (1999) encontraron que en sustratos alcalinos (pH 9), las poblaciones de hongos y bacterias fueron inferiores a las presentes en sustratos con pH 8.4. La reducción de la población bacteriana permitió que los hongos tuvieran un ligero incremento en la semana 16, un proceso llamado sucesión microbiana; este resultado es similar al observado por Allievi *et al.* (1987) en una vermicomposta de 12 semanas de estiércol de conejo, donde al descender las poblaciones bacterianas las fúngicas se incrementaron (alrededor de 10^6 ufc g^{-1}). Sin embargo, Corlay *et al.* (1999) encontraron una reducción de 41% de la población de hongos después de 17 semanas de vermicomposteo. Aranda (1995) reportó que en vermicompostas las poblaciones de hongos fluctúan entre 50×10^7 y 80×10^7 ufc g^{-1} lo cual es superior a los resultados obtenidos en este trabajo y en los de Allievi *et al.* (1987) y Corlay *et al.* (1999). La razón puede ser que Aranda utilizó sustratos ácidos, en tanto que los otros trabajos se realizaron en condiciones alcalinas.

La población de microorganismos degradadores de celulosa no sufrió cambios significativos durante el composteo. Esto probablemente se debió a que las celulosas y hemicelulosas se degradan lentamente, lo que asegura que el sustrato de los microorganismos celulolíticos no se agota y permite su permanencia por largos periodos. En el vermicomposteo las lombrices influyeron en el desarrollo de celulolíticos, pues el incremento de lombrices a 12 semanas correspondió también a un incremento de esos microorganismos (Cuadro 3) observándose un alto grado de correlación ($R^2=0.94\%$).

Un grupo microbiano de importancia ecológica y económica son los microorganismos fijadores de N_2 de vida libre, cuyo mayor número se observó al inicio de los procesos (Cuadro 3). En vermicomposteo los fijadores de N_2 se encontraron en poblaciones de 39.3×10^8 ufc g^{-1} de material a cuatro semanas de la inoculación de lombrices, mientras que en composteo las poblaciones fueron inferiores a 17.5×10^8 ufc g^{-1} , en la misma etapa (Cuadro 3); en ambos procesos, las poblaciones disminuyeron en 71% (composteo) y 87% (vermicomposteo) en la semana 16 con respecto a la evaluación realizada a las cuatro semanas (Cuadro 3). La concentración de N-total en el presente trabajo disminuyó en ambos tipos de composteo. De tal forma que se tuvo relación más fuerte entre el

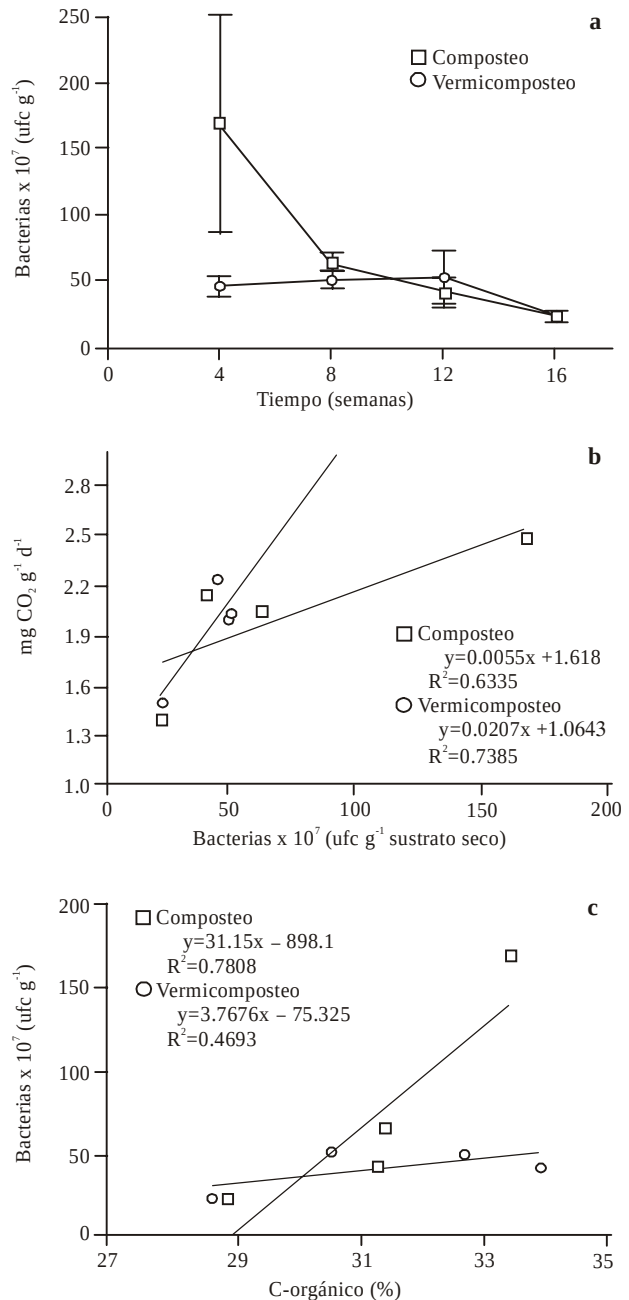


Figura 3. Bacterias (a) y sus relaciones con respiración microbiana (b) y C-orgánico (c), durante dos procesos de composteo. Las líneas verticales indican los errores estándar ($n=4$).

Figure 3. Bacteria (a) and their relationship with microbial respiration (b) and C-organic (c) during two composting processes. The vertical lines indicate standard errors ($n=4$).

Fungi develop in substrates where bacteria do not intervene, (Alexander, 1981). However, the elevated pH might also have limited their development, for the largest number fluctuated between 15×10^5 and 48×10^5 ufc g^{-1} of dry matter (Table 3). In this respect, Corlay *et al.* (1999)

Cuadro 3. Cinética microbiana y variación del N-total y de la relación C/N durante el composteo y vermicomposteo de residuos de podas de jardín mezclados con estiércol de conejo ($n=4$).**Table 3. Microbial kinetics and variation of N-total and C/N relation during composting and vermicomposting of grass-yard clippings mixed with rabbit manure ($n=4$).**

Semana	Hongos x 10 ⁵	Microorganismos celulolíticos x 10 ⁶	Fijadores de N ₂ x 10 ⁷	N-total %	Relación C/N
	†ufc g ⁻¹ material seco				
Composteo					
4	15 ± 8	18 ± 6	175 ± 130	1.83 ± 0.15	19 ± 1.4
8	40 ± 20	18 ± 5	74 ± 17	1.74 ± 0.06	18 ± 0.4
12	23 ± 8	23 ± 2	53 ± 23	1.67 ± 0.03	19 ± 0.9
16	38 ± 14	35 ± 13	51 ± 30	1.78 ± 0.05	16 ± 0.3
Vermicomposteo					
4	48 ± 34	21 ± 8	393 ± 324	2.09 ± 0.03	16 ± 0.3
8	22 ± 1	17 ± 2	63 ± 11	1.72 ± 0.06	19 ± 0.7
12	29 ± 4	41 ± 9	63 ± 12	1.74 ± 0.02	18 ± 0.3
16	31 ± 8	21 ± 4	52 ± 7	1.63 ± 0.10	18 ± 1.5

$\dagger$ Unidades formadoras de colonias $\diamond$ ufc= Colonies' generator units.

N-total y los fijadores de N_2 para el vermicomposteo ($R^2=0.96$) que para el composteo ($R^2=0.57$).

Se esperaba que el N-total se incrementara en las etapas finales de composteo por efecto de la pérdida de material orgánico. Sin embargo, la reducción en la concentración de este elemento de 1.83 a 1.78% en composteo y de 2.09 a 1.63 en vermicomposteo se pudo deber a la pérdida de $N-NH_3$, por el pH elevado del sustrato mantenido durante los procesos. En pulpa de café el N-total se incrementó de 2% a 4% después de 16 semanas en vermicomposteo y a 3.3% en el composteo con volteos periódicos durante seis meses, Irissón-Name *et al.* (1999), pero el pH disminuyó de 7.1 a 6.5. Por otra parte se estimó la relación C/N, la cual no experimentó cambios (ver Cuadro 3), pues como se mencionó, disminuyó el C-orgánico y también el N-total. Por lo tanto, la relación C/N no funcionó como indicador de madurez de compostas, pues la relación lignina/celulosa hace variar la tasa de descomposición de los residuos (Hoitink y Kuter, 1986).

CONCLUSIONES

La respiración microbiana, bacterias, fijadores de N_2 , C-orgánico y N-total se redujeron durante los procesos. La concentración de sales (>8 dS m^{-1}) y la alcalinidad afectaron negativamente las poblaciones de lombrices y de microorganismos, así como la biotransformación de la materia orgánica. No hubo diferencias entre composteo y vermicomposteo en las variables evaluadas. Sin embargo, la alta relación ($R^2 > 0.75$) entre bacterias, C-orgánico y respiración microbiana, permitieron diferenciar ambos procesos. El pH superior a 8.5 que se mantuvo durante el proceso fue quizá el factor que provocó la pérdida de nitrógeno en forma $N-NH_3$, por lo que la relación C/N no disminuyó; probablemente esta variable no debe

detectado que in alkaline substrates (pH 9), populations of fungi and bacteria were inferior to those present in substrates with pH 8.4. The decrease of the bacterial population allowed the fungi to have a slight increment in the 16th week, a process called microbial succession. This result is similar to the one observed by Allievi *et al.* (1987) in 12-week-old vermicompost of rabbit manure, where fungal populations augmented (about 10^6 ufc g^{-1}) when bacterial populations decreased. Corlay *et al.* (1999) however, found a decrease of 41% of the fungi population after 17 weeks of vermicomposting. Aranda (1995) reported that in vermicomposts, fungi populations fluctuate between 50×10^7 and 80×10^7 ufc g^{-1} , which is superior to the results obtained in this work and those of Allievi *et al.* (1987) and Corlay *et al.* (1999). This might be due to Aranda's utilizing acid substrates, while the other works were carried out in alkaline conditions.

The population of cellulose-degrading microorganisms did not have any significant changes during composting. This is probably due to the fact that celluloses and hemicelluloses are degraded slowly, which guarantees that the substrate of cellulolytic microorganisms does not become exhausted and permits their permanence for long periods. In vermicomposting the earthworms influenced the development of cellulolytic microorganisms, since the increase of earthworms in the 12th week also corresponded to an increment of these microorganisms (Table 3), a high degree of correlation ($R^2= 0.94$) being observed.

Free living N_2 -fixing microorganisms, whose largest number was observed at the beginning of the process, form a microbial group of ecological and economic importance. In vermicomposting, N_2 -fixing microorganisms were found in populations of 39.3×10^8 ufc g^{-1} material 4 weeks after earthworm inoculation,

utilizarse para predecir madurez de compostas, aunque es necesario investigar más al respecto.

LITERATURA CITADA

- Alexander, M. 1981. Introducción a la Microbiología del Suelo. AGT Editor. México, D. F. 491 p.
- Allievi, L., B. Citterio and A. Ferrari. 1987. Vermicomposting of rabbit manure: modifications of microflora. In: Compost: Production, Quality and Use. De Bertoldi, M., M.P. Ferranti, P.L'Hermite and F. Zucconi (eds.). Elsevier Applied Science. Udine, Italy. pp: 115-125.
- Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. In: Methods of Soil Analysis. Page, A.L. (ed.). Agronomy 9, Part 2. Soil Science Society American. Madison, Wisconsin. pp: 831-871.
- Aranda D., E. 1995. Lombricompostaje de residuos orgánicos. In: Memorias del Primer Curso-Taller sobre Agricultura Orgánica. Zulueta R., R., V. Vázquez T. y A. Hernández Q. (comps.). Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. pp: 69-79.
- Corlay Ch., L., R. Ferrera-Cerrato, J.D.Etchevers B., A. Echegaray A. y A. Santizo R. 1999. Cinética de grupos microbianos en el proceso de producción de composta y vermicomposta. Agrociencia 33: 375-380.
- Edwards, C.A., I. Burrows, K.E. Fletcher and B.A. Jones. 1985. The use of earthworms for composting farm wastes. In: Composting of Agricultural and other Wastes. Gasser, J.K.R. (ed.). Elsevier Applied Science. Oxford, England. pp: 229-241.
- Haimi, J. and V. Huhta. 1987. Comparison of compost produced from identical wastes by "vermistabilization" and conventional composting. Pedobiologia 30: 137 - 144.
- Hoitink, H.A.J. and G.A. Kuter. 1986. Effects of composts in growth media on soil borne pathogens. In: The Role of Organic Matter in Modern Agriculture. Chen, Y. and Y. Avnimelech (eds.). Martinus Nijhoff Publishers. Dordrecht, Netherlands. pp: 289 - 306.
- Irissón-Name, S., I. Barois y E. Aranda. 1999. Calidad química, bioquímica y bacteriológica de la vermicomposta de pulpa de café. In: Primer Simposium Internacional y Primera Reunión Nacional sobre Lombricultura y Abonos Orgánicos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. pp: 145-147.
- Jones, J. B. Jr., B. Wolf and H. A. Mills. 1991. Plant Analysis Handbook. Micro-Macro Publishing. Athens, Georgia. 219 p.
- Martinez, A. A. 1995. Manual Prático do Minhocultor. 3a. ed. Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de Sao Paulo. Brasil. 137 p.
- Mitchell, A. 1997. Production of *Eisenia fetida* and vermicompost from free-lot cattle manure. Soil Biology and Biochemistry 29: 763-766.
- Reinecke, A. J., S. A. Viljoen and R. J. Saayman. 1992. The suitability of *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* and *Eisenia fetida* (Oligochaeta) for vermicomposting in Southern Africa in terms of their temperature requirements. Soil Biology and Biochemistry 24: 1295-1307.

whereas in composting the populations were inferior to 17.5×10^8 ufc g^{-1} in the same phase (Table 3). In both processes, populations diminished 71% (composting) and 87% (vermicomposting) in the 16th week with respect to the evaluation carried out after four weeks (Table 3). The N-total concentration in the present study diminished in both types of composting, so that there was a stronger relation between N-total and N_2 -fixing microorganisms for vermicomposting ($R^2=0.96$) than for composting ($R^2=0.57$).

It was expected that N-total would increase in the last composting phases because of the loss of organic matter. However, the reduction in the concentration of this element from 1.83 to 1.78% in composting and from 2.09 to 1.63% in vermicomposting might have been due to the $N-NH_3$ loss because of the high pH of the substrate, sustained during the processes. In coffee pulp, the N-total increased from 2% to 4% after 16 weeks in vermicomposting, and to 3.3% in composting with periodic turning during six months (Irissón-Name *et al.*, 1999), but pH diminished from 7.1 to 6.5. On the other hand, the C/N relation, which had no changes, was estimated (See Table 3), because—as mentioned above—C-organic and N-total also diminished. Therefore, the C/N relation did not work as an indicator of compost maturity, since the lignin-cellulose relation causes the alteration of the decomposition rate of residues (Hoitink and Kuter, 1986).

CONCLUSIONS

Microbial respiration, bacteria, N_2 -fixing microorganisms, C-organic, and N-total were reduced during the processes. Salt concentration ($> 8 \text{ dSm}^{-1}$) and alkalinity, negatively affected earthworm and microorganism populations as well as biotransformation of organic matter. There were no differences between composting and vermicomposting according to the evaluated variables. Nevertheless, the strong relation ($R^2 > 0.75$) among bacteria, C-organic, and microbial respiration allowed both processes. The pH superior to 8.5, sustained during the process, may have caused the loss of nitrogen in $N-NH_3$ form, therefore the C/N relation did not decrease; this variable should probably not be used to predict compost maturity, though it is necessary to do more research about this subject.

—End of the English version—

