

INFLUENCIA DE LA INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS SOBRE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

MARÍA FERNANDA TORTAROLO¹; MATÍAS PEREDA¹; MARTHA PALMA¹ & NILDA MARTA ARRIGO¹

¹ Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Avenida San Martín 4453, (1417) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina. mftortar@agro.uba.ar

Recibido: 01/09/07

Aceptado: 03/04/08

RESUMEN

El hombre por su actividad genera un enorme volumen de residuos que en la actualidad están ocasionando severos problemas de almacenamiento a nivel mundial. Frente a esta problemática, una alternativa posible es el compostaje. El objetivo del presente trabajo fue medir la evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje de materiales orgánicos con distinta relación C/N, con y sin inoculación de microorganismos con la finalidad de seleccionar la metodología más adecuada para conseguir el producto final en el menor período de tiempo. Este proceso se llevó a cabo en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, sobre tres materiales iniciales: residuos orgánicos de origen vegetal y residuos orgánicos de origen vegetal con estiércol de caballo en dos proporciones: 1:1 y 3:1, respectivamente. Los tratamientos realizados por triplicado consistieron en: i) la inoculación de microorganismos (bacterias, hongos y bacterias + hongos), ii) la incorporación de compost maduro y la adición de aminoácidos como fuente de nitrógeno y controles para cada uno. Los tratamientos que recibieron inóculo alcanzaron temperaturas más altas y la fluctuación de las mismas fue menor durante la fase termófila ($P < 0,05$); no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos con y sin adición de nitrógeno. Los picos más marcados de temperatura en los tratamientos inoculados se alcanzaron entre el segundo y cuarto día de inicio del proceso, mientras que en los controles se alcanzó en el octavo día. La relación C/N del material inicial condicionó el tiempo de compostado siendo menor en aquellos materiales con la menor relación y en los que fueron inoculados con microorganismos y con adición de nitrógeno.

Palabras clave. Residuos vegetales, estiércol de caballo, hongos, bacterias, C/N.

INFLUENCE OF INOCULATION OF MICROORGANISMS ON THE TEMPERATURE IN THE PROCESS OF COMPOSTING

ABSTRACT

Man's activity generates an enormous volume of waste which, at present, is causing severe storage problems worldwide. Composting is a possible alternative to storage. The objectives of this work were to measure the evolution of temperature during the process of organic material composting with different C/N ratios, with and without inoculation with microorganisms, so as to select the shortest composting time. This process was carried out in the Experimental Fields of the Faculty of Agronomy (University of Buenos Aires) on three initial materials: organic residuals of pruning waste and organic residuals of pruning waste and horse manure in two proportions: 1:1 and 3:1, respectively. The triplicate treatments consisted of the inoculation with microorganisms (bacteria, fungi and bacteria + fungi), mature compost and addition of amino acids as a source of nitrogen; and their respective controls. The treatments that received inoculums reached higher temperatures and showed a smaller fluctuation during the thermophilic phase ($P < 0.05$). No significant differences were found between treatments with and without nitrogen additions. The highest temperature peaks were reached between the second and fourth day after the beginning of the process in the inoculated treatments, and on the eighth day in the controls. The C/N ratio of the initial material conditioned composting time, which was shorter in the materials with the smallest ratio that were inoculated with microorganisms and nitrogen.

Key words. Pruning waste, horse manure, bacteria, fungi.

INTRODUCCIÓN

Algunas tareas realizadas por el hombre desde sus orígenes tanto en su actividad doméstica, agrícola, industrial y/o de servicios producen un enorme volumen de residuos. Fue y es preocupación permanente el que hacer con ellos sin contaminar el medio ambiente, por lo

tanto, toda iniciativa que busque una orientación propicia de los mismos deber ser prioritariamente considerada.

La iniciativa de utilizar los desechos orgánicos provenientes de restos de poda, limpieza de hojas, céspedes, residuos orgánicos domiciliarios urbanos de la

ciudad autónoma y del Gran Buenos Aires, constituye una propuesta adecuada para reciclar materia orgánica y elementos nutritivos. Por otra parte, supone una solución ecológica a la demanda de nutrientes evitando el uso de fertilizantes, potenciales fuente de contaminación, y un menor insumo para los espacios verdes, viveros y productores florihortícolas (Avnimelech *et al.*, 1996; López Real, 2001).

Una tecnología de bajo costo para la estabilización de los residuos orgánicos biodegradables es la producción de compost (García Izquierdo, 1999), palabra que proviene del latín *componere*, juntar. Para preparar compost de buena calidad con residuos provenientes del campo y la ciudad, en el menor tiempo posible, es necesario optimizar la técnica a aplicar (Manna *et al.*, 2000).

El compostaje es un proceso que consiste en la descomposición biológica de residuos que transforma la materia orgánica en CO₂, biomasa, energía térmica y materia orgánica estabilizada rica en sustancias húmicas como producto final (Tuomela *et al.*, 2000). La alta tasa de descomposición aeróbica tiene lugar con mínimas emanaciones volátiles y de lixiviación (Fernández & Sartaj, 1997).

Este proceso se ha convertido en las últimas décadas en la alternativa tecnológica más utilizada para la reducción de 40% en peso y 50% en volumen de los materiales residuales. El residuo deberá considerarse como un subproducto susceptible de un proceso de transformación mediante el cual se obtiene una enmienda o un abono aptos para ser aplicados en agricultura y/o en jardinería. El producto final (compost) puede ser manipulado, almacenado, transportado y aplicado al suelo sin afectar el medio ambiente (Van Heerden *et al.*, 2002). La mayoría de los estudios demuestran que la aplicación de compost a suelos agronómicos aumenta la producción de los cultivos debido a la alta concentración de nutrientes y a su capacidad de retención hídrica (Wong *et al.*, 1996, 2001). Sumado a lo anteriormente expresado, existen evidencias que los productos compostados son sustitutos potenciales de los funguicidas y podrían reducir la influencia de enfermedades en plantas (Craft & Nelson, 1999; De Ceuster & Hoitink, 1999).

Una sucesión de diferentes poblaciones microbianas son las responsables de llevar a cabo el dinámico proceso de compostaje, en el cual pueden definirse tres etapas:

1. Una fase inicial o mesófila, donde los residuos orgánicos están a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Tiene una duración de pocos días, en los cuales, se degradan los compuestos orgánicos de cadena corta o más fácilmente biodegradables.
2. Una fase termófila, que comienza cuando el material alcanza una temperatura de 40 °C, caracterizada por una mayor actividad microbiológica. A partir de los 60 °C los hongos termófilos desaparecen y aparecen bacterias esporígenas y actinomicetes. Estos microorganismos son los encargados de descomponer ceras, proteínas y hemicelulosas. En esta etapa se eliminan posibles gérmenes patógenos para plantas y animales, así como el poder germinativo de las semillas de malezas.
3. Una fase de madurez-estabilización, menos activa biológicamente, caracterizada por una disminución de la temperatura, del grado de descomposición y la recolonización del material por microorganismos mesófilos. Es un período que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de las sustancias húmicas.

Los microorganismos responsables del proceso de compostaje utilizan como nutrientes esenciales carbono, nitrógeno, fósforo, potasio y ciertos elementos traza (Tuomela *et al.*, 2000). Una cantidad excesiva o insuficiente de carbono o nitrógeno en el material inicial puede afectar negativamente a la calidad del producto final, de allí la importancia de la relación C/N. Inicialmente, esta relación debe tener valores entre 25 y 40 para que el compostaje se realice de forma adecuada (Tuomela *et al.*, 2000). Durante el proceso de compostaje, una relación C/N menor a 15 es considerada como una característica del compost maduro, sin embargo, un valor menor o igual a 12 mejora la calidad del compost (Jiménez & García, 1989).

Una alternativa para acelerar el proceso de compostaje es la adición de microorganismos. Algunos investigadores aislaron microorganismos del compost y emplearon a los mismos en su fase activa como inóculo (Maplestone *et al.*, 1991; Janzen *et al.*, 1995). La búsqueda de un inóculo ideal parece improbable, así como es improbable que algún organismo en particular pueda gobernar todo el proceso. Para lograr esta finalidad, se necesitaría contar con una mejor comprensión de la estructura y dinámica de la comunidad microbiana durante el compostaje (Bolta *et al.*, 2003).

Por los antecedentes presentados se plantea la siguiente hipótesis: la inoculación con microorganismos a materiales de distinta relación C/N, sometidos a compostaje, causa un aumento en la temperatura durante la fase termófila al compararla con los materiales no inoculados.

El objetivo de este trabajo fue medir la evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje de

materiales orgánicos biodegradables con distinta relación C/N con y sin inoculación de microorganismos, con el propósito de determinar cambios en el tiempo de com- portado

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del ensayo

En el campo experimental de la Facultad de Agronomía UBA se realizó el procesamiento de los restos de poda, limpieza de hojas, cortes de césped de parques y jardines cedidos por el CEAMSE y estiércol de caballo provisto por la Facultad de Ciencias Veteri- narias UBA.

El material inicial fue desmenuzado y cortado en trozos de aproximadamente 5 cm, homogeneizado y ubicado al aire libre en contenedores de 20 dm³.

El proceso se realizó en condiciones aeróbicas, siendo el material de cada contenedor removido manualmente cada 3 días para conseguir un alto grado de descomposición de los compues- tos carbonados, tal como fuera demostrado por Wong *et al.* (2002). El contenido de humedad se mantuvo al 60% en peso y las solu- ciones lixiviadas se reincorporaron al material (Blanco & Almen- dros, 1997).

Diseño experimental

El proceso de compostaje se llevó a cabo sobre tres materiales:

- A. Residuos orgánicos de origen vegetal.
- B. 75% de residuos orgánicos de origen vegetal y 25% de estiércol de caballo.
- C. 50% de residuos orgánicos de origen vegetal y 50% de estiércol de caballo.

A cada uno de estos materiales se los inoculó con:

- compost previamente obtenido del mismo material en su fase activa a razón de 14% en volumen,

- hongos del género *Pleurotus* sp.,
- bacterias de los géneros *Pseudomona* sp. y *Klebsiella* sp.,
- hongos del género *Pleurotus* sp. + Bacterias de los géneros *Pseudomona* sp. y *Klebsiella* sp.
- testigo sin inocular.

A la mitad de los tratamientos se les incorporó aminoácidos como fuente de nitrógeno con la finalidad de proveer este nutriente clave para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos (Tabla 1). La mezcla de aminoácidos (glisina, fenilalanina y triptofano) se incorporó a razón de 100 g Mg⁻¹ de material inicial. De acuerdo a lo establecido, el número total de tratamientos fueron treinta y los mismos se realizaron por triplicado.

Los contenedores se distribuyeron siguiendo un diseño com- pletamente aleatorizado, con tres repeticiones.

Determinaciones analíticas

Temperatura: diariamente se determinó la temperatura en cada contenedor.

Periódicamente, y según el ritmo marcado por el proceso de compostaje, se obtuvo una muestra compuesta (constituída por cinco submuestras) representativa de cada contenedor y tamizada por 10 mm, en las mismas se determinó:

Carbono total: mediante la oxidación de la materia orgánica con dicromato de potasio 1 N y ácido sulfúrico concentrado en un baño de glicerina a 160 °C y posteriormente se tituló el exceso de dicromato con sulfato-ferroso amónico (Ciavatta *et al.*, 1989) y,

Nitrógeno total: por la técnica de Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982).

Los datos fueron analizados mediante un ANVA y las dife- rencias entre medias de tratamientos se determinaron por la prueba de Tukey (P<0,05).

Tabla 1. Esquema de los tratamientos para cada uno de los tres materiales iniciales.

Table 1. Treatment scheme for each one of the three initial materials.

Material	Con Aminoácidos					Sin Aminoácidos				
A	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T 10
B	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T 10
C	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T 10

A) Residuos orgánicos de origen vegetal, B) 75% de residuos orgánicos de origen vegetal y 25% de estiércol de caballo, C) 50% de residuos orgánicos de origen vegetal y 50% de estiércol de caballo, T1) testigo, T2) compost maduro, T3) bacterias, T4) hongos, T5) bacterias + hongos; T6, T7 T8, T9 y T10) iguales tra- tamientos a los anteriores pero con adición de aminoácidos.

A) Organic pruning waste B) 75% of organic waste from pruning and 25% of horse manure, C) 50% of organic waste from pruning and 50% of horse manure, T1) Control, T2) mature compost, T3) bacteria, T4) fungi, T5) bacteria + fungi; T6, T7, T8, T9 y T10) same treatments but with the addition of aminoacids.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

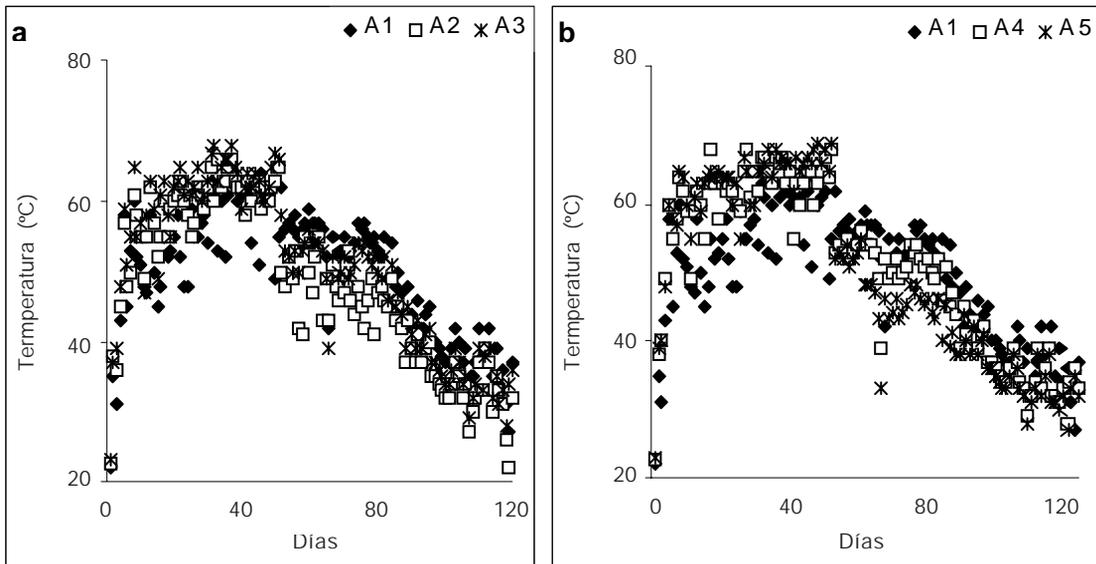
Temperatura durante el proceso de compostaje

La variación de temperatura en las pilas es uno de los factores más importantes que rige la tasa de las reacciones bioquímicas en el proceso de compostaje (Fontanive *et al.*, 2004). Por otra parte, esta variable afecta significativamente el metabolismo microbiano y la dinámica poblacional (composición y densidad). Entre los factores externos que tienen relevancia en la eficiencia del compostaje podemos mencionar la temperatura ambiente (Joshua *et al.*, 1998). Bolta *et al.* (2003) hallaron descensos importantes durante el proceso debido a la influencia de la temperatura del aire durante la estación invernal. En nuestro ensayo no se verificó este efecto debido a que la temperatura media ambiental osciló entre 22-32 °C.

Al medir la temperatura diariamente durante todo el proceso se observó que todos los tratamientos exhibieron una curva clásica de temperatura comenzando con

una fase corta de latencia seguida por un incremento rápido manteniéndose la temperatura, aproximadamente dos meses, y culminando en una fase gradual de descenso de alrededor de un mes (Figs. 1, 2 y 3). Patrones similares fueron informados para una variedad de residuos: corteza de madera (Hoitink *et al.*, 1977), aguas cloacales (Nakasaki *et al.*, 1985) y pulpa de uva (Faure & Deschamps, 1990). Como no se hallaron diferencias de temperatura significativas entre el agregado o no del aminoácido sólo se graficaron los tratamientos sin la adición de N.

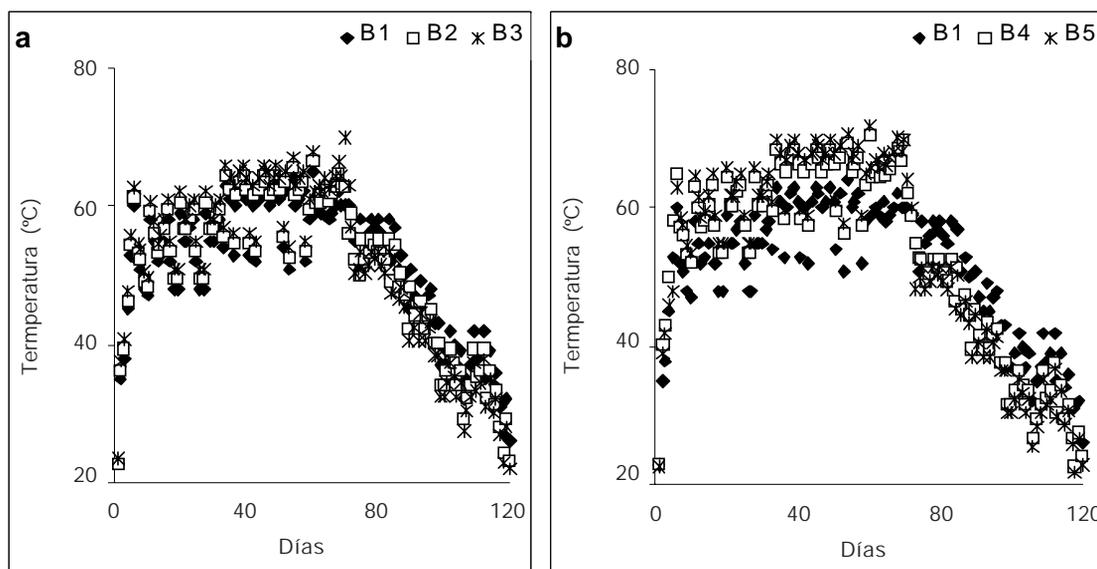
En las figuras mencionadas anteriormente, la tendencia general fue que los tratamientos que recibieron inóculo alcanzaron temperaturas más altas y los picos más marcados en dichos tratamientos se alcanzaron entre el segundo y cuarto día de inicio del proceso mientras que en el control se alcanzó en el octavo día. Este comportamiento, posiblemente se debió a la actividad microbiana del inóculo que se adapta a las condiciones de competencia con los microorganismos inicialmente presentes en el material.



A1: control sin N, A2: compost maduro, A3: bacterias, A4: hongos, A5: hongos + bacterias.
A1: control without N, A2: mature compost, A3: bacteria, A4: fungi, A5: fungi + bacteria.

Figura 1. Evolución de la temperatura durante el proceso en todos los tratamientos cuyo material inicial es 100% de residuos verdes (material A). a: tratamiento control (A1) comparado con la adición de compost maduro (A2) y bacterias (A3), b: tratamiento control comparado con la adición de hongos (A4) y bacterias + hongos (A5).

Figure 1. Evolution of temperature during the process in all treatments with 100% pruning waste material (A material). a: treatment control (A1) compared with the addition of mature compost (A2) and bacteria (A3), b: treatment control (A1) compared with the addition of fungi (A4) and bacteria + fungi (A5).



B1: control sin N, B2: compost maduro, B3: bacterias, B4: hongos, B5: hongos + bacterias.
 B1: control without N, B2: mature compost, B3: bacteria, B4: fungi, B5: fungi + bacteria.

Figura 2. Evolución de la temperatura durante el proceso en todos los tratamientos cuyo material inicial es 75% de residuos verdes y 25% de estiércol (material B). a: tratamiento control (B1) comparado con la adición de compost maduro (B2) y bacterias (B3), b: tratamiento control (B1) comparado con la adición de hongos (B4) y bacterias + hongos (B5).

Figure 2. Evolution of temperature during the process in all treatments with 75% pruning waste and 25 % of horse manure (B material). a: treatment control (B1) compared with the addition of mature compost (B2) and bacteria (B3), b: treatment control (B1) compared with the addition of fungi (B4) and bacteria + fungi (B5).

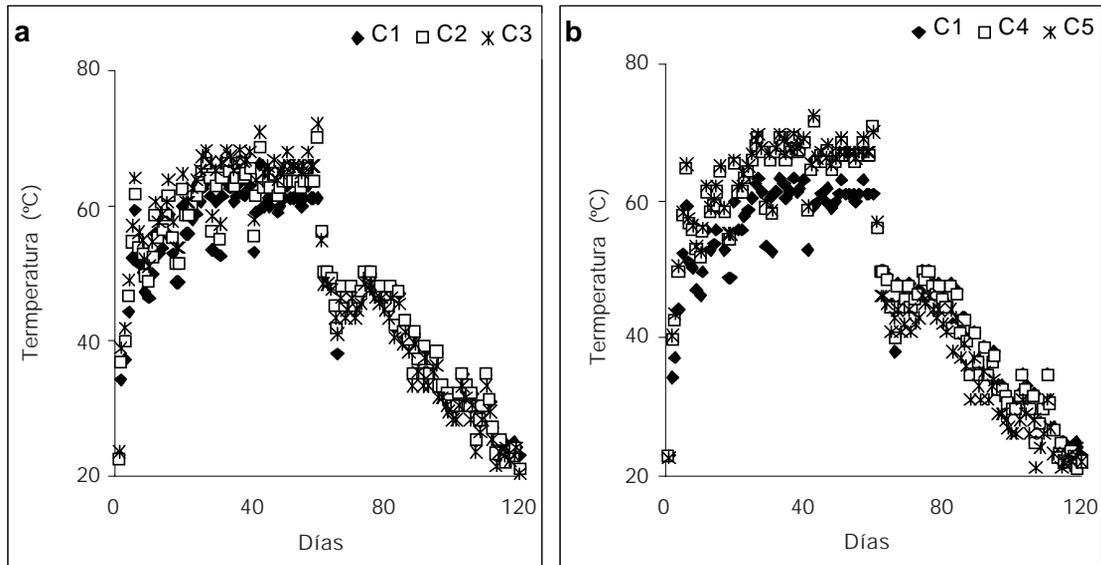
Tabla 2. Duración de la fase termófila en los tres materiales

Table 2. Duration of the thermophilic phase in the three materials.

Tratamiento	Material A (días)	Material B (días)	Material C (días)
T 1	83 ab	90 a	74 b
T 2	62 b	80 a	62 b
T 3	79 a	82 a	61 b
T 4	78 ab	88 a	61 b
T 5	67 b	79 a	59 c
T 6	68 b	83 a	77 ab
T 7	61 b	77 a	63 b
T 8	52 b	77 a	74 a
T 9	54 b	70 a	70 a
T 10	60 a	67 a	68 a

T1: control sin N, T2: compost maduro, T3: bacterias, T4: hongos, T5: hongos + bacterias, T6: control con N, T7: compost maduro con N, T8: bacterias con N, T9: hongos con N, T10: bacterias + hongos con N. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre materiales para cada uno de los diez tratamientos (P<0,05).

T1: control without N, T2: mature compost, T3: bacteria, T4: mushrooms, T5: mushrooms + bacteria, T6: control with N, T7: mature compost with N, T8: bacteria with N, T9: mushrooms with N, T10: bacteria + mushrooms with N. Lowercase letters indicate significant differences between different materials for each of the ten treatments (P <0.05).



C1: control sin N, C2: compost maduro, C3: bacterias, C4: hongos, C5: hongos + bacterias.
 C1: control without N, C2: mature compost, C3: bacteria, C4: fungi, C5: fungi + bacteria.

Figura 3. Evolución de la temperatura durante el proceso en todos los tratamientos cuyo material inicial es 50% de residuos verdes y 50% de estiércol (material C). a: tratamiento control (C1) comparado con la adición de compost maduro (C2) y bacterias (C3), b: tratamiento control (C1) comparado con la adición de hongos (C4) y bacterias + hongos (C5).

Figure 3. Evolution of temperature during the process in all treatments with 50% pruning waste and 50% horse manure (C material). a: treatment control (C1) compared with the addition of mature compost (C2) and bacteria (C3), b: treatment control compared with the addition of fungi (C4) and bacteria + fungi (C5).

Alcanzar un nivel óptimo de temperatura en las pilas es esencial para que el proceso resulte efectivo (Finstain *et al.*, 1986) y contribuye de manera sustancial a la descomposición de los residuos (Miller, 1992). Se demostró que las temperaturas del material a compostar por debajo de 20 °C son significativamente bajas o inclusive detienen el proceso (Mosher & Anderson, 1977). Por otra parte, las temperaturas por encima de 60 °C disminuyen la actividad de la comunidad microbiana mesófila optimizándose la actividad de los microorganismos termófilos (Miller, 1992). Cuando la temperatura alcanza o supera 82 °C, se dificulta severamente el crecimiento de la comunidad microbiana (Fermor *et al.*, 1989). MacGregor *et al.* (1981) encontraron que las temperaturas óptimas, basadas en el máximo de descomposición, estuvieron dentro de un rango de 52°-65 °C, coincidiendo con Bach *et al.* (1984) y McKinley & Vestal (1984). El logro de una temperatura de 55 °C o superior, por lo menos durante quince días es imprescindible para la inactivación de agentes patógenos (Van Heerden *et al.*, 2002). Steinford (1996) sugirió que durante el proceso de compostado las temperaturas ma-

yores a 55 °C optimizan la sanidad, entre 45 y 55 °C maximizan la biodegradación y entre 35 y 40 °C favorecen la diversidad microbiana. En este trabajo todos los tratamientos (Figs. 1, 2 y 3) se mantuvieron en un rango entre 55-68 °C, pero comparativamente las pilas de residuos verdes necesitaron un período de tiempo mayor para alcanzar dicha temperatura ($P < 0,05$).

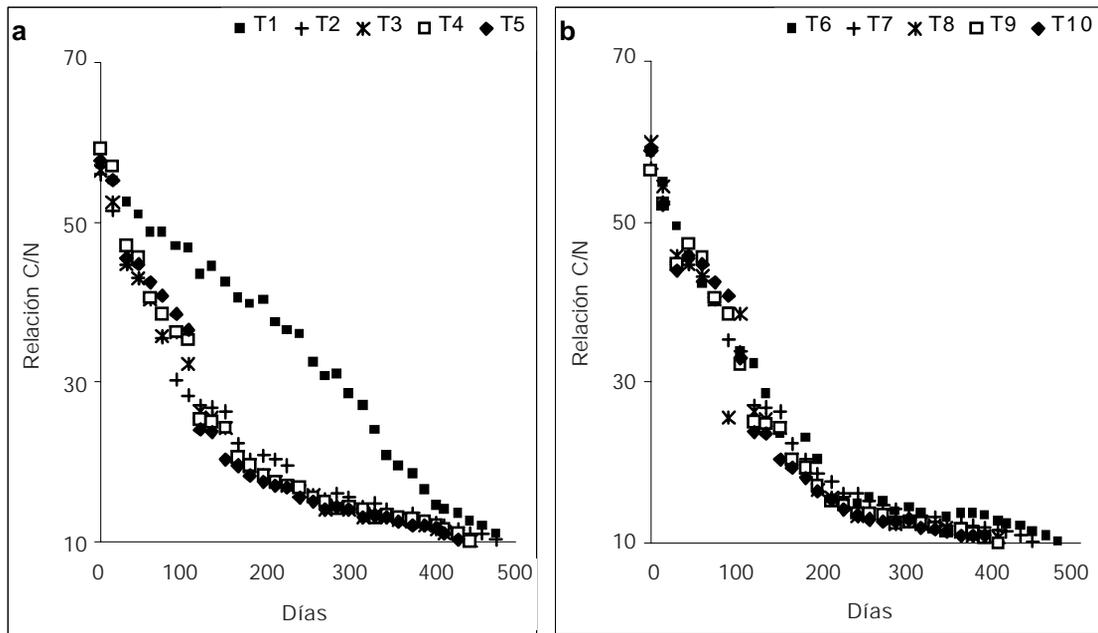
Al evaluar sólo la temperatura en la porción de la curva correspondiente a la fase termófila, se observaron diferencias entre tratamientos producidas por las modificaciones realizadas al material inicial y a la calidad de este último (Tabla 2). Este fenómeno no se detectó cuando se estudió la evolución de la temperatura en toda la curva (Figs. 1, 2 y 3), debido a la elevada variabilidad de los datos que enmascararon lo determinado durante la fase termófila. El material B en cuya mezcla se incluye el 25% de estiércol tuvo una mayor duración de la etapa termófila al compararlo con los residuos verdes ($P < 0,05$). Para el material C, que incluye 50% de estiércol sólo se marcaron esas diferencias en los tratamientos que recibieron N excepto en el T7. Es evidente que el material B que tiene una

relación C/N (25) más adecuada presentó una fase termofílica de mayor duración. La diferencia del material B con respecto a los residuos verdes, material A, (C/N 60) posiblemente se debió a que este material contenía menor proporción de sustancias de relativamente baja degradación, y por ende, la disponibilidad del sustrato fue limitante para el crecimiento y desarrollo microorganismos actuantes. Esta suposición se sustenta en trabajos que afirman que la degradación de residuos frescos vegetales durante la fase termofílica se caracteriza por un incremento del grupo de organismos dominantes en esta etapa (Van Heerden *et al.*, 2002). El material C respondió de manera diferente debido al agotamiento de sustancias fácilmente degradables por su baja relación C/N (20) (Figs. 4, 5 y 6).

La adición de microorganismos a los materiales afectó el período de duración de la fase termofílica y el tiempo para alcanzar la madurez (Levanon & Pluda, 2002), siendo la relación C/N inicial, la que condicionó a ambos factores (Tabla 2 y Figuras 4, 5 y 6). Se observó que la relación C/N decreció con el tiempo de compostaje siendo

una de las variables más usada como índice de madurez (Jiménez & García, 1989). En todos los casos, los tratamientos que fueron inoculados con microorganismos alcanzaron la madurez en períodos de tiempo menores al testigo, independientemente del material inicial (Tabla 3). Si se tiene en cuenta la calidad del material inicial establecida por la relación C/N, el material que en menor tiempo alcanzó la madurez fue el material C, le sigue el B y por último el A ($P < 0,05$). La incorporación de aminoácidos como fuente de nitrógeno causó disminuciones en el tiempo de compostado (Tabla 3).

Resumiendo, los resultados de este trabajo permiten conocer el efecto que los microorganismos causan sobre la temperatura durante la fase termofílica asegurando la obtención de un compost libre de patógenos y semillas de malezas (datos no mostrados). Además, la relación C/N del material inicial condicionó el tiempo de compostado siendo menor en aquellos materiales con la menor relación y en los que fueron inoculados con microorganismos.

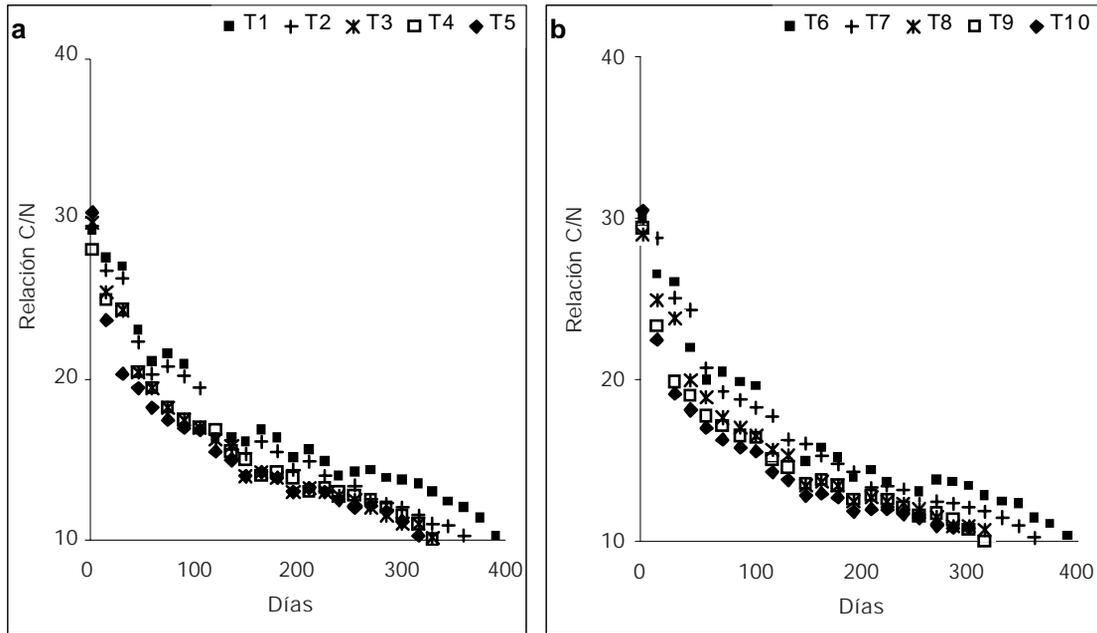


T1: control sin N, T2: compost maduro, T3: bacterias, T4: hongos, T5: hongos + bacterias, T6: control con N, T7: compost maduro con N, T8: bacterias con N, T9: hongos con N, T10: bacterias + hongos con N.

T1: control without N, T2: mature compost, T3: bacteria, T4: mushrooms, T5: fungi + bacteria, T6: control with N, T7: mature compost with N, T8: bacteria with N, T9: fungi with N, T10: bacteria + fungi with N.

Figura 4. Evolución de la relación C/N en todos los tratamientos cuyo material inicial fue residuos verdes (material A).

Figure 4. Evolution of the C/N ratio in all treatments with pruning waste (material A).



T1: control sin N, T2: compost maduro, T3: bacterias, T4: hongos, T5: hongos + bacterias, T6: control con N, T7: compost maduro con N, T8: bacterias con N, T9: hongos con N, T10: bacterias + hongos con N.

T1: control without N, T2: mature compost, T3: bacteria, T4: fungi, T5: fungi+ bacteria, T6: control with N, T7: mature compost with N, T8: bacteria with N, T9: fungi with N, T10: bacteria + fungi with N.

Figura 5. Evolución de la relación C/N en todos los tratamientos cuyo material inicial fue 75% de residuos verdes y 25% de estiércol (material B).

Figure 5. Evolution of the C/N ratio in treatments with 75% pruning waste and 25% horse manure (B material).

Tabla 3. Período de tiempo (días) en el cual todos los tratamientos alcanzaron la madurez (C/N~10).

Table 3. Period of time (days) in which all treatments reached maturity (C/N~10).

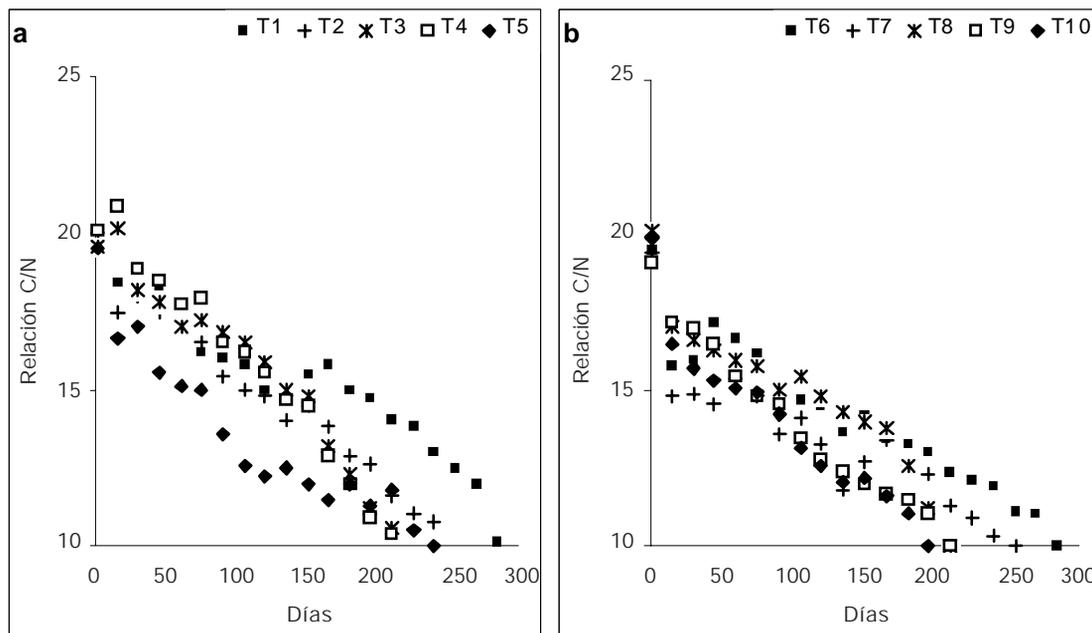
Material A		Material B		Material C							
Sin N	Con N	Sin N	Con N	Sin N	Con N						
T1	475aA	T6	460aB	T1	390aA	T6	375aB	T1	285aA	T6	270aB
T2	475aA	T7	445bB	T2	360bA	T7	360bA	T2	255bA	T7	240bB
T3	445bA	T8	415cB	T3	330cA	T8	315cB	T3	225cA	T8	210cB
T4	445bA	T9	405dB	T4	330cA	T9	315dB	T4	225cA	T9	210cB
T5	430cA	T10	405dB	T5	315dA	T10	315cB	T5	225cA	T10	210cB

T1: control sin N, T2: compost maduro, T3: bacterias, T4: hongos, T5: hongos + bacterias, T6: control con N, T7: compost maduro con N, T8: bacterias con N, T9: hongos con N, T10: bacterias + hongos con N.

Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos inoculados y sin inocular (dentro de cada columna). Letras mayúsculas distintas indican diferencias de la adición de N para cada tratamiento en cada uno de los materiales ($P < 0.05$).

T1: control without N, T2: mature compost, T3: bacteria, T4: mushrooms, T5: mushrooms + bacteria, T6: control with N, T7: mature compost with N, T8: bacteria with N, T9: mushrooms with N, T10: bacteria + mushrooms with N.

Lowercase letters indicate significant differences among different treatments inoculated and without inoculate (within each column). Capital letters indicate significant differences of the addition of N for each treatment in each of the materials ($P < 0.05$).



T1: control sin N, T2: compost maduro, T3: bacterias, T4: hongos, T5: hongos + bacterias, T6: control con N, T7: compost maduro con N, T8: bacterias con N, T9: hongos con N, T10: bacterias + hongos con N.

T1: control without N, T2: mature compost, T3: bacteria, T4: mushrooms, T5: mushrooms + bacteria, T6: control with N, T7: mature compost with N, T8: bacteria with N, T9: mushrooms with N, T10: bacteria + mushrooms with N.

Figura 6. Evolución de la relación C/N en todos los tratamientos cuyo material inicial fue 50% de residuos verdes y 50% de estiércol (material C).

Figure 6. Evolution of C/N ratio in treatments with 50% pruning waste and 50% horse manure (C material).

La contribución de esta investigación radica en mejorar la calidad ambiental mediante un adecuado aprovechamiento de diversos residuos o subproductos orgánicos cuya magnitud es muy elevada en nuestro país. De esta manera, se trata de evitar descargas incontroladas que contaminan el medio y son una clara agresión al entorno paisajístico, a las aguas superficiales, subsuperficiales y a la atmósfera, con el consiguiente riesgo de entrada de sustancias tóxicas a la cadena trófica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con el subsidio correspondiente al Proyecto UBACyT G 075.

A la Profesora Andrea Paula Rigali por su colaboración en la traducción.

BIBLIOGRAFÍA

Avnimelech, Y; M Bruner; I Rzrony; R Sela & M Kochba. 1996. Stability Indexes for municipal solid waste compost. *Compost Science & Utilization* 4: 13-20.

Bach, PD; M Shoda & H Kubota. 1984. Rate of composting of dewatered sewage sludge in continuously mixed isothermal reactor. *Journal of Fermentation Technology* 62: 285-292.

Blanco, MJ & G Almendros. 1997. Chemical transformation, phytotoxicity and nutrient availability in progressive composting stages of wheat straw. *Plant and Soil* 196: 15-25.

Bolta, SV; R Mihelic; F Lobnik & D Lestan. 2003. Microbial community structure during composting with and without mass inocula. *Compost Science & Utilization* 11: 6-15.

Bremner, JM & CS Mulvaney. 1982. Total Nitrogen. In: AL Page; RH Miller; RD Keeney (eds). *Method of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2da Ed. Agronomy, serie N° 9. ASA, SSSA, Madison, Wisconsin pp: 595-604.

- Ciavatta, C; L Vittori Antisari & T Sequi. 1989. Determination of organic carbon in soils and fertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 20: 759-773.
- Craft, CM & EB Nelson. 1999. Microbial properties of composts that suppress damping-off and root rot of creeping bentgrass caused by *Pythium graminicola*. *Applied and Environmental Microbiology* 62: 1550-1557.
- De Ceuster, TJJ & HAJ Hoitink. 1999. Using compost to control plant diseases. *BioCycle* 40: 61-64.
- Faure, D & AM Deschamps. 1990. Physico-chemical and microbiological aspects in composting of grape pulps. *Biological Wastes* 34: 251-258.
- Fermor, TR; DA Wood & JM Lynch. 1989. Microbiological processes in compost. In: Int. Symp. Compost Prod. And Use. San Michele All'Adige, Italy pp: 282-300.
- Fernandez, L & M Sartaj. 1997. Comparative study of static pile composting using natural, forced and passive aeration methods. *Compost Science & Utilization* 5: 65-72.
- Finstein, MS ; FC Miller & PF Strom. 1986. Waste treatment composting as a controlled system. *Biotechnology* 8: 396-443.
- Fontanive, V; D Effron; F Tortarolo & NM Arrigo. 2004. Evaluation of parameters during composting process of two contrasting raw materials. *Compost Science & Utilization* 12: 268-272.
- García Izquierdo, C. 1999. Bioestabilización de materiales orgánicos ganaderos y urbanos mediante compostaje: índices de madurez de compost. I Simposio Nacional de Compost y Compostaje, Valencia, España, pp: 1-13.
- Hoitink, HAJ; DM Vandoren & AF Schmitthenner. 1977. Suppression of *Phytophthora cinnamomi* in a composted hardwood bark medium. *Phytopathology* 67: 561-565.
- Int. Symp. Compost Prod. And Use. San Michele All'Adige, Italy pp: 282-300.
- Janzen, RA; JF Dormaar & WB McGill. 1995. A community level concept of controls on decomposition processes: decomposition of barley straw by *Phanerochaete chrysosporium* or *Phlebia radiata* in pure or mixed culture. *Soil Biology & Biochemistry* 27: 173-179.
- Jiménez, EI & VP García. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity: a review. *Biological Wastes* 27: 115-142.
- Joshua, RS; BJ Macauley & HJ Mitchell. 1998. Characterization of temperature and oxygen profiles in windrow processing systems. *Compost Science & Utilization* 6: 15-28.
- Levanon, D & D Pluda. 2002. Chemical, physical and biological criteria for maturity in composts for organic farming. *Compost Science & Utilization* 10: 339-346.
- Lopez Real, J. 2001. Evaluation of different compost from horticultural crop residues and their uses in greenhouse soilless cropping. *Acta Horticulturae* 549: 147-152.
- MacGregor, ST; FC Millar; KM Psarianos & MS Finstein. 1981. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature. *Applied and Environmental Microbiology* 41: 1321-1330.
- Manna, MC; TK Ganguly & BN Ghosh. 2000. Evaluation of compost maturity and mineral enrichment quality through simple chemical parameters. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 48: 781-786.
- Maplestone, PA; JM Whipples & JM Lynch. 1991. Effect of peat bran inoculum on *Trichoderma* species on biological control of *Rhizoctonia solani* in lettuce. *Plant and Soil* 136: 257-263.
- McKinley, VL & JR Vestal. 1984. Biokinetic analysis of adaptation and succession: microbial activity in composting municipal sewage sludge. *Applied and Environmental Microbiology* 47: 933-941.
- Miller, FC. 1992. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In: F. Blaine-Metting (eds.). *Soil Microbial Ecology: Applications in Agriculture Environment Management*. Marcel Dekker Inc, New York, 646 pp.
- Mosher, D & RK Anderson. 1977. Composting sewage sludge by high-rate suction aeration techniques—the process as conducted at Bangor, M.E, and some guidelines of general applicability. Interim Report Number SW-614d. US Government Printing Office, Washington, DC.
- Nakasaki, K; M Sasaki; M Shoda & H Kubota. 1985. Change in microbial numbers during thermophilic composting of sewage sludge with reference to CO₂ evolution rate. *Applied and Environmental Microbiology* 49: 37-41.
- Stentiford, EJ. 1996. Composting control: principles and practice. In: M de Bertoldi; P Sequi; B Lemmes & T Papi (eds.). *The Science of composting: Part I*. Chapman and Hall Inc, London, pp 49-59.
- Tuomela, M; M Vikman; A Hatakka & M Itävaara. 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technology* 72: 169-183.
- Van Heerden, I; C Cronjé; SH Swart & JM Kotzé. 2002. Microbial, chemical and physical aspects of citrus waste composting. *Bioresource Technology* 81: 71-76.
- Wong, JWC; CK Wan & M Fang. 2002. Pig manure as a composting material for biodegradation of PAH-contaminated soil. *Environmental Technology* 23: 15-26.
- Wong, JWC; GX Li & MH Wong. 1996. The growth of *Brassica chinensis* in heavy metal-contaminated sewage sludge compost from Hong Kong. *Bioresource Technology* 58: 309-313.
- Wong, JWC; KF Mark; NW Chan; A Lan; M Fang; LX Zhou & QT Wu. 2001. Co-composting of soybean residues and leaves in Hong Kong. *Bioresource Technology* 76: 99-106.