



INFORME BREVE

Generación de un inoculante acelerador del compostaje



M. Socorro Medina Lara^a, Roberto Quintero Lizaola^{b,*},
David Espinosa Victoria^b, Alejandro Alarcón^b, Jorge D. Etchevers Barra^b,
Antonio Trinidad Santos^b y F. Víctor Conde Martínez^b

^a Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. de México, México

^b Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México

Recibido el 15 de julio de 2015; aceptado el 4 de marzo de 2017

Disponible en Internet el 6 de noviembre de 2017

PALABRAS CLAVE

Mineralización;
CO₂;
Biotransformación;
Residuos orgánicos

Resumen Se realizó el compostaje de una mezcla de estiércol de ovino más paja. Se extrajo inóculo de 5 diferentes fases del proceso de compostaje (a los 18, 23, 28, 33 y 38 días de iniciado) y se evaluó su efecto en la reducción del tiempo de biotransformación de un compost de estiércol de ovino. Las muestras se conservaron en un ultracongelador, después se liofilizaron para obtener el inóculo y se agregaron 50 g a cada tratamiento en la segunda fase experimental. En dicha fase se establecieron seis tratamientos: C = paja (P) + estiércol de ovino (E), T1= P + E + inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje (I18), T2= P + E + I23, T3= P + E + I28, T4= P + E + I33, T5= P + E + I38, con 3 repeticiones. Estos tratamientos se colocaron en una cámara de ambiente controlado con 45% de humedad relativa y a 30 °C. Al mismo tiempo, se colocaron frascos con 50 g de material para medir la producción diaria y la acumulación de CO₂, la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica, el nitrógeno (N), el carbono total, la relación C:N, el tamaño de partícula y la densidad aparente. La producción de CO₂ en los tratamientos T2 y T5 mostró diferencia significativa ($p \leq 0,05$) de respecto de los demás tratamientos, lo que demuestra que el inóculo de estos tratamientos aceleró la dinámica de los microorganismos y el proceso de compostaje. La calidad y la madurez del compost se garantizan a medida que disminuye la cantidad de CO₂.

© 2017 Asociación Argentina de Microbiología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: quintero@colpos.mx (R. Quintero Lizaola).

KEYWORDS

Mineralization;
CO₂;
Biotransformation;
Organic waste

Production of a compost accelerator inoculant

Abstract Composting was performed using a mixture of ovine manure and straw. Inoculum was extracted at five different phases of the composting process (18, 23, 28, 33 and 38 days after the start of the composting process) and its effect on reducing biotransformation time was evaluated in the composted ovine manure. The samples were preserved in a deep freezer, then lyophilized to obtain the inoculum, 50 g of which was added to each treatment in the second experimental phase. Six treatments were established; C = straw (P) + ovine manure (E), T1 = P + E + inoculum 18 days after the start of the composting process (I18), T2 = P + E + I23, T3 = P + E + I28, T4 = P + E + I33, T5 = P + E + I38, with three replications. Treatments were placed in a controlled-environment chamber at 45% relative humidity and 30 °C along with flasks containing 50 g of material to measure daily production, CO₂ accumulation, temperature, pH, electric conductivity (dS/m), organic matter (%), total nitrogen (%), total carbon (%), C: N ratio, particle size (Tp) and bulk density (g/l). CO₂ production (mg) showed a significant difference ($p \leq .05$) of treatments T2 and T5 with respect to the others, which demonstrated that the inoculum of these treatments accelerated the dynamics of microorganisms and the composting process. The quality and maturity of the compost are guaranteed as the amount of CO₂ decreases.

© 2017 Asociación Argentina de Microbiología. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

En la actualidad, se genera una gran cantidad de residuos sólidos orgánicos por las granjas de producción animal, lo que hace necesario su tratamiento. El estiércol es un problema, ya que su mal manejo es fuente de contaminación; además, genera gases tóxicos como el metano (CH₄), y los efluentes que se lixivian causan contaminación de los mantos freáticos con nitratos (NO₃⁻)¹³.

El compostaje es un método eficiente en la eliminación de estos residuos¹³; la duración del proceso es variable y está relacionada con el origen de los residuos, el tamaño de partícula, la disposición de la pila, la aireación, la humedad y la población biológica activa. El período de transformación es cercano a los 170 días, lo que implica la acumulación de gran cantidad de material en las plantas de compostaje¹³. La generación de un inoculante que sea capaz de reducir el tiempo del proceso de compostaje sería útil en este sentido y contribuiría a evitar la acumulación de materiales que son contaminantes.

El compost contiene una serie de compuestos microbianos que lo hacen un producto de elevada calidad para su utilización en agricultura¹. Estos constituyentes pueden ser extraídos y utilizados para distintas finalidades, como sucede con los extractos acuosos, denominados tés de compost, o cuando se realiza el aislamiento de microorganismos que pueden actuar como antagonistas microbianos; también se pueden aislar microorganismos lignocelulolíticos, que tienen un amplio abanico de aplicaciones.

La utilización de preparados microbianos (inóculos) como aceleradores de la degradación de la materia orgánica en el compostaje es una práctica que ha sido implementada en diversos sistemas agropecuarios alrededor del mundo y en el manejo de desechos orgánicos, en general. El inóculo microbiano debe garantizar la constitución de agregados significativos en número, para producir una bioaugmentación y la reducción del tiempo de formación y maduración del compost⁷.

Raut⁸ llevó a cabo una investigación para determinar la dinámica microbiana y las actividades enzimáticas durante el compostaje rápido de residuos sólidos urbanos. Para facilitar la descomposición de los residuos orgánicos sólidos urbanos se ensayaron diversos tratamientos: aireación; adición de agentes químicos, como glucosa y ácido acético; y aplicación de un inóculo microbiano especializado en la degradación de celulosa (*Phanerochaete chrysosporium* y *Trichoderma reesei*). El resultado de la investigación reveló que la degradación de sustratos orgánicos se produjo de manera más acelerada, en un lapso de 9 a 12 días, y que en ese tiempo se alcanzó una relación C/N por debajo de 20. El compostaje normal tardó más de 20 días para alcanzar la relación C/N por debajo de 20.

En otro experimento¹¹ se buscó determinar el potencial de 3 cepas microbianas, *Bacillus shackletonii*, *Streptomyces thermovulgaris* y *Ureibacillus thermosphaericus*, como mejoradoras de la degradación de lignocelulosa en los procesos de compostaje. La investigación determinó que *U. thermosphaericus* fue el microorganismo más eficiente desde la inoculación, ya que redujo más el contenido de lignina que los otros tratamientos. De esta forma, se concluyó que el proceso de compostaje puede ser mejorado por medio de la inoculación, si los microorganismos utilizados para este fin son los adecuados.

La implementación de inóculos microbianos para mejorar los procesos de compostaje ha sido un tema controversial. Algunas investigaciones describen la ausencia completa de efectos con este tipo de tratamiento¹¹, mientras que otras informan mejorías en el proceso de compostaje⁸. El presente trabajo evaluó inóculos extraídos en 5 momentos diferentes de un proceso de compostaje como aceleradores del tiempo de biotransformación de un compost de estiércol de ovino más paja de avena.

El experimento se llevó a cabo en el Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, estado de México. Se sometió

una mezcla de estiércol de ovino con paja de avena a un proceso de compostaje, utilizando el método de apilamiento con volteos al aire libre. Se extrajo inóculo de 5 diferentes fases del proceso de compostaje, a los 18, 23, 28, 33 y 38 días después de iniciado aquel. Dicho inóculo se evaluó para reducir el tiempo de biotransformación del estiércol en compost; a los 18 días se hizo el primer muestreo, tomando muestras de 5 puntos diferentes, para formar una muestra compuesta. Se realizaron 5 muestreos en total y se obtuvo una muestra compuesta de cada fase del proceso. Las muestras se conservaron en un ultracongelador vertical (-6°C) marca Sanyo MDF-U76VC-PA; después, cada una se liofilizó. Para acelerar este proceso se utilizaron ciclos de congelación-sublimación, con los que se consiguió eliminar prácticamente la totalidad del agua libre contenida en el producto original, pero preservando la estructura molecular de la sustancia liofilizada. Se utilizó un liofilizador Labconco freeze Dry- System/lyph Lock 4.5 (<http://www.labconco.com/product/freezone-45-liter-benchtop-freeze-dry-systems/97>) para obtener el inóculo, que se agregó a los tratamientos de la segunda fase experimental. En esta se estableció un diseño experimental completamente al azar con 6 tratamientos y 3 repeticiones, tratamiento C = paja (P) + estiércol de ovino (E); T1 = P + E + inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje (I18); T2 = P + E + I23; T3 = P + E + I28; T4 = P + E + I33; T5 = P + E + I38. Se mezcló el inóculo con la paja y el estiércol y se agregó un litro de agua hasta obtener una mezcla homogénea, después se colocaron en charolas de 2 kg de capacidad, se pasaron a una cámara de ambiente controlado con una temperatura de 30°C y una humedad relativa del 45%; al mismo tiempo, se colocaron frascos con material de los diferentes tratamientos para medir la producción diaria y la acumulación de CO_2 . La temperatura se registró diariamente utilizando termómetros de reloj. El compost se secó en estufa de aire forzado para llevarlo a peso constante y luego se molió para facilitar el manejo de las muestras y lograr mayor homogeneidad.

En el laboratorio se determinó el porcentaje de nitrógeno total (NT) con el método de Kjeldahl, el porcentaje de materia orgánica y carbono total, la relación C:N, el tamaño de partícula, por medio de tamices de diferente malla, y la densidad aparente en g/l. El pH y la conductividad eléctrica (CE) se determinaron en 3 fases del proceso (al inicio, en la fase intermedia y al final); en la determinación de pH se utilizó una relación 1:2 H_2O ; en el caso de la CE, la relación fue 1:5 H_2O y fue determinada en dS/m , los datos de la [tabla 1](#) muestran las mediciones del final del experimento.

A partir de los resultados obtenidos se determinaron cuáles fueron los mejores tratamientos y cuál inóculo fue el que redujo el tiempo de biotransformación. Se realizó un análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey ($\alpha = 0,05$) mediante el paquete SAS® (SAS Institute Inc., Carolina del Norte, EE. UU.).

El tratamiento T5, al que se agregó inóculo de la última fase del proceso de compostaje, mostró las mejores características finales respecto de los demás tratamientos ([tabla 1](#)). Esto implicó una más rápida maduración del compost, que aceleró el proceso. El compost tuvo un incremento en la evolución del C- CO_2 ([tabla 1](#)). La tasa de mineralización relativa depende de la acumulación de

carbono en el tiempo. Para la variable producción de CO_2 , el tratamiento T5 y el T2 mostraron diferencias significativas ($p = 0,05$) respecto de los demás tratamientos; para el resto de las variables, no mostraron diferencias significativas ([tabla 1](#)).

Partiendo de materia orgánica fresca se presenta una etapa muy activa, que corresponde a la liberación de materiales orgánicos lábiles (azúcares, aminoazúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos), seguida de una segunda etapa en la que la actividad biológica es decreciente. En ella se quedan los materiales recalcitrantes². La velocidad o tasa de mineralización de la materia orgánica expresa el porcentaje de carbono inicial que se mineraliza en un período determinado; la mineralización constituye un indicador de la actividad biológica en un medio dado⁵. Tal comportamiento puede explicarse por una menor cantidad de carbono disponible para los microorganismos debido al mayor grado de estabilidad que alcanzó el compost: durante el proceso de compostaje, los microorganismos rompen la materia orgánica y producen CO_2 , agua, humus —el producto orgánico final más estable— y calor⁶.

El inóculo tuvo una dinámica que mantuvo activos los microorganismos, lo que permitió reducir el tiempo del compostaje. En la medida que la actividad de los microorganismos es mayor, la acumulación de CO_2 es mayor, y la calidad del compost y su madurez se garantizan cuando disminuye la cantidad de CO_2 , lo cual se puede atribuir a que el abono orgánico presenta diferentes etapas de descomposición.

Los microorganismos respiran continuamente y la tasa de respiración es un índice confiable de la tasa de crecimiento. Los factores que afectan al crecimiento también influyen en la respiración en el mismo grado. Las tasas de descomposición y liberación de los nutrientes están determinadas por la calidad de la materia orgánica. La calidad del material utilizado es definida por los constituyentes orgánicos y los contenidos de nutrientes; en este caso, se refiere a la energía disponible para los microorganismos descomponedores¹⁰.

Los resultados obtenidos indicaron que el contenido de materia orgánica, el NT, el pH, la CE, el tamaño de partícula, la densidad aparente, el carbono orgánico y el CO_2 están vinculados con la calidad del compost. Estas propiedades, a su vez, afectan a la sustentabilidad de los cultivos^{4,12} y su capacidad productiva^{3,9}. Es decir, un buen manejo favorece el desarrollo de los cultivos y la biorremediación de los suelos degradados.

El hombre, en busca de satisfacer sus necesidades de supervivencia, altera el equilibrio dinámico y provoca condiciones menos propicias para los microorganismos al establecer cultivos, con lo que tiende a romper la simbiosis existente y a afectar a las propiedades físicas, químicas y ambientales, que, sin duda alguna, restringen el crecimiento y desarrollo de los simbioses.

La biomasa microbiana es altamente sensible a los cambios físicos, químicos y ambientales, los que provocan variaciones en su tamaño y diversidad. Para alcanzar altos rendimientos en los cultivos es necesario crear la biomasa microbiana del suelo, suministrando las fuentes necesarias de energía y los nutrientes apropiados, y crear un ambiente más estable de temperatura y humedad.

Tabla 1 Analítica del proceso de compostaje de una mezcla de paja y estiércol de ovino agregando inóculos obtenidos a diferentes tiempos, en un proceso de compostaje previo

	Tratamientos					
	C	T1	T2	T3	T4	T5
% MO	36,11 ^A	36,71 ^A	34,09 ^A	36,01 ^A	40,52 ^A	36,63 ^A
% C orgánico total	20,06 ^A	20,39 ^A	18,94 ^A	20,00 ^A	22,52 ^A	20,35 ^A
% N total	3,16 ^A	3,061 ^A	3,21 ^A	3,13 ^A	3,43 ^A	3,59 ^A
C:N	6,11 ^A	6,65 ^A	5,93 ^A	6,42 ^A	6,88 ^A	5,68 ^A
CE (dS/m)	6,26 ^B	7,14 ^{AB}	8,44 ^A	7,53 ^{AB}	7,53 ^{AB}	7,79 ^{AB}
pH	9,28 ^A	9,33 ^A	9,42 ^A	9,32 ^A	9,33 ^A	9,30 ^A
Densidad aparente (g/l)	347,67 ^A	336,00 ^A	367,23 ^A	332,98 ^A	350,70 ^A	392,44 ^A
Producción de CO ₂ (mg)	25,06 ^{AB}	24,10 ^{AB}	26,03 ^A	23,81 ^{AB}	22,79 ^B	26,20 ^A
Tamiz	Tamaño de partícula					
TA ¼	41,85 ^A	44,12 ^A	44,19 ^A	39,65 ^A	38,34 ^A	41,54 ^A
TA 4	16,77 ^A	17,20 ^A	17,36 ^A	18,22 ^A	17,92 ^A	18,58 ^A
TA 8	24,47 ^A	24,11 ^A	24,65 ^A	22,35 ^A	25,57 ^A	24,00 ^A
TA 10	2,79 ^A	2,33 ^A	2,89 ^A	2,88 ^A	3,15 ^A	2,65 ^A
TA recibidor	13,91 ^A	12,22 ^A	10,90 ^A	16,71 ^A	14,97 ^A	13,23 ^A

Se muestran los valores promedio de los tratamientos. Letras diferentes en superíndice indican diferencias significativas mediante test de Tukey ($p < 0,05$).

C: paja (P) + estiércol de ovino (E); T1 = P + E+ inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje (I18), T2 = P + E + I23, T3= P + E + I28, T4= P + E + I33, T5= P + E + I38.

TA ¼: tamiz > 6.400 µm; TA 4: tamiz de 6.400 µm; TA 8: tamiz de 4.760 µm; TA 10: tamiz de 2.360 µm; TA recibidor: 2.000 µm.

El uso de inoculante se presenta como una tecnología complementaria al compostaje, que ayuda a reducir la cantidad de residuos orgánicos biotransformándolos, para usarlos luego como un abono orgánico en los cultivos. Se requiere que se siga trabajando en estas investigaciones, ya que prometen mucho en cuanto a una mejora en la limpieza del ambiente y la recuperación de los suelos áridos, contaminados con sustancias tóxicas.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Al laboratorio de Fisiología Vegetal de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, al posgrado de Botánica por las facilidades para el uso de la cámara de ambiente controlado, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

(CONACYT), Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, por el financiamiento que hizo posible la realización de la presente investigación.

Bibliografía

1. Acevedo E, Martínez E. Sistema de labranza y productividad de los suelos. En: Acevedo E, editor. Sustentabilidad en cultivos anuales. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas; 2003. p. 13–25. Número 8.
2. Acosta Y, Cayama J, Gómez E, Reyes N, Rojas D, García H. Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias*. 2006;6:220–7.
3. Bauer A, Black AL. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Sci Soc Am J*. 1994;58:185–93.
4. Carter MR. Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron J*. 2002;94:38–47.
5. Christensen TH, Gentil E, Boldrin A, Larsen AW, Weidema BP, Hauschild M. C balance, carbon dioxide emissions and global warming potentials in LCA-modelling of waste management systems. *Waste Manag Res*. 2009;27:707–15.
6. Clemente R, Bernal MP. Fractionation of heavy metals and distribution of organic carbon in two contaminated soils amended with humic acids. *Chemosphere*. 2006;64:1264–73.
7. De Carlo E, Rosa A, Benintende S, Cariello M, Castañeda L, Figoni E, Grasso N, Ruiz A, Mascheroni F. Estudio de la población microbiana en las etapas iniciales del compostaje. *Rev Ceres*. 2001;48:699–715.
8. Raut M. Microbial dynamics and enzyme activities during rapid composting of municipal solid waste —A compost maturity analysis perspective. *Bioresour Technol*. 2007;99: 6512–9.

9. Sánchez JE, Harwood RR, Willson TC, Kizilkaya K, Smeenk J, Parker E, Paul EA, Knezek BD, Robertson GP. Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. *Agron J.* 2004;96:769–75.
10. Sánchez S, Crespo G, Hernández M, García Y. Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales. *Pastos y Forrajes.* 2008;31: 99–108.
11. Vargas GM, Suarez EF, López M, Moreno J. Effect of inoculation in composting processes: Modifications in lignocellulosic fraction. *Waste Manag.* 2007;27:1099–107.
12. Wander MM, Walter GL, Nissen TM, Bollero GA, Andrews SS, Cavanaugh-Grant DA. Soil quality: Science and process. *Agron J.* 2002;94:23–32.
13. Zhu J. A review of microbiology in swine manure odor control. *Agric Ecosyst Environ.* 2000;78:93–106.