

USO DE BIOPREPARADOS EN EL COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS URBANOS

BIOPREPARATIONS AND COMPOSTING OF URBAN ORGANIC WASTE

Einstein Churchill Aveiga Villacis, Rubén Melquiades Alcívar Murillo, Francisco Horley Cañarte García, Hebert Edison Vera Delgado

Facultad Agropecuaria, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ciudadela Universitaria Vía San Mateo.
Manta-Ecuador

Contactó: ruben.alcivar@uleam.edu.ec

RESUMEN

El trabajo tuvo como objetivo evaluar la aplicación de biopreparados microbianos como aceleradores del proceso de compostaje de residuos orgánicos generados en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. En el proceso se emplearon cajoneras de madera que contenían 170 kg de material inicial, el cual fue inoculado con los aceleradores del proceso de compostaje, ensayando tres variantes: T1, testigo (sin inóculo); T2, EM comercial y T3, microorganismos nativos. El inóculo fue asperjado al inicio del proceso de compostaje que duró ocho semanas, en este lapso se monitoreó pH, humedad y temperatura. Al final del proceso se tomó una muestra compuesta de cada tratamiento y se realizaron determinaciones físico-químicas y pruebas de fitotoxicidad empleando semillas de caupi (*Vigna unguiculata*). Los resultados determinaron que la temperatura, pH y humedad no variaron significativamente; sin embargo, los indicadores de estabilidad y madurez del compost (C/N, MO, N, P, microelementos y porcentaje de germinación de semillas de caupi fueron favorables en el compost que había sido inoculado con microorganismos nativos, alcanzando valores óptimos, según la norma técnica colombiana 5167. Los resultados demuestran que los inóculos son eficientes en el proceso de compostaje y que el compost obtenido puede ser utilizado con fines agrícolas.

Palabras clave: Compost, fitotoxicidad, inóculos, residuos orgánicos.

ABSTRACT

This study aimed at evaluating the effect of microbial biopreparations on accelerating the composting process of organic wastes generated at the Laica Eloy Alfaro de Manabí University. We used 170 kg wooden boxes with the starting material, which was inoculated with composting accelerators in three treatment combinations: T1, control (without inoculation); T2, Commercial EM and T3, native microorganisms. The inoculation was sprayed at the start of the composting process, which lasted eight weeks. During this period, we monitored pH, moisture content and temperature. At the end of the process, we carried out physical and chemical analysis, and phytotoxicity tests using cow pea seeds (*Vigna unguiculata*). The results showed that temperature, pH and moisture content did not vary significantly. However, compost stability and ripeness indicators (C/N, MO, N, P), microelements and the seed germination index were most favorable with the compost that was inoculated with native microorganisms, reaching optimum levels in accordance with the Colombian 5187 Technical Standard. The results showed that the inoculation was efficient in the composting process, and the resulting product can be used as an agricultural input.

Keywords: Compost, phytotoxicity, inoculation, organic waste.



Recibido: 31 de agosto de 2016

Aceptado: 29 de noviembre de 2016

ESPAMCIENCIA 7(2): 135-142/2016

INTRODUCCIÓN

Los residuos orgánicos producto del consumo de alimento, en la mayoría de los casos contamina el entorno donde son depositados, generando mal olor, incremento de insectos transmisores de enfermedades y reservorio de agentes patógenos (Tan, 2000). Esta realidad conduce a la búsqueda de alternativas tecnológicas, que sean consecuente con la naturaleza, accesibles desde el punto de vista técnico y económico, pero además que sea aceptada social y culturalmente, una opción a considerar es a través del proceso de compostaje.

El compostaje es un proceso biooxidativo gobernado por microorganismos heterótrofos que transforman los materiales orgánicos en un producto llamado compost que aporta beneficios físicos, químicos y biológicos a los suelos o sustratos donde se lo aplique. En estado natural, los microorganismos están presentes en los materiales a compostar; sin embargo, se ha desarrollado la técnica de inoculación de organismos específicos que aceleran la descomposición de los materiales (Zhu, 2006). En tal sentido, Guzmán *et al.* (2014) señalan que se comercializan productos biológicos importados que merecen ser validados para conocer su eficiencia frente a los aislamientos nativos.

Este proceso de fermentación aerobia, exige un condicionante biológico para su funcionamiento y por tanto, como todo lo vivo, estará sometido a factores muy diversos, que influirán en mayor o menor grado en la optimización de la actividad microbiana; el proceso implica sustratos orgánicos heterogéneos en su composición y procedencia y homogéneos en su tamaño, suministro de humedad, nutrientes y oxígeno, así como el manejo adecuado de temperatura, pH y relación C/N de los sustratos a compostar (Dávila *et al.*, 2002). Durante la transformación se suceden tres fases: mesofílica, termofílica y de enfriamiento, pero la mayor actividad ocurre en las dos primeras (De la Maza, 2001). En consecuencia se dan reacciones de diferente significado, con producciones metabólicas intermedias que pueden resultar fitotóxicas, de ahí la importancia del control de la maduración y de la gestión adecuada; finalmente, el proceso de compostaje conduce a la liberación de CO₂, agua, minerales y materia orgánica más o menos estabilizada, rica en poblaciones microbianas útiles y en bioactivadores de la fisiología vegetal (Ganjyal *et al.*, 2007).

Dentro del proceso de compostaje, los microorganismos primarios que intervienen son bacterias y hongos produciendo enzimas extracelulares, como amilasas, lipasas y proteasas que en pequeñas cantidades promueven actividad química catalizando la descomposición de

materia orgánica (Dávila *et al.*, 2002).

La solubilización llevada a cabo por la degradación microbiana de la materia orgánica, comprende la síntesis bioquímica de compuestos de bajo peso molecular que son los responsables de los cambios en la concentración y composición química de la materia orgánica disuelta (Said-Pullicino y Gigliotti, 2007). Al respecto, Lasardi y Stentiford (1998) han reportado que existe una fuerte relación entre la estabilidad del compost y la concentración de carbono orgánico disuelto, lo cual condiciona su uso agrícola.

El compost es un abono orgánico de color café oscuro o negro y huele a tierra. Se caracteriza porque mejora la textura y apariencia del suelo, aumenta su fertilidad, mejora la estructura y aireación, aumenta la habilidad del suelo para retener agua y nutrientes, modera la temperatura, reduce la erosión, suprime el crecimiento de malezas y se obtienen cosechas limpias (EPA, 1994). Se utiliza en la agricultura, horticultura, paisajismo, viveros, residencias y, sirve para acondicionar suelos, enmendar suelos y/o como cubierta protectora. También se utiliza en biorremediación, prevención de la contaminación, control de la erosión, reforestación, restauración de humedales y rehabilitación de hábitat (EPA, 1997).

Para Wu *et al.* (2000) los factores más importantes que afectan el éxito de la aplicación del compost en la agricultura son el grado de estabilidad y la madurez. La aplicación de un compost inestable o inmaduro puede inhibir la germinación de las semillas, reducir el crecimiento de la planta, causar fitotoxicidad en las plantas o una competencia por el oxígeno.

Así, siempre será importante investigar sobre compostaje de residuos orgánicos urbanos y periurbanos, lo cual será, una herramienta útil para futuros proyectos encaminados al desarrollo de esta tecnología. El objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicación de biopreparados microbianos como aceleradores del proceso de compostaje de residuos orgánicos generados en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

MATERIALES Y METODOS

Se realizó en la unidad de compostaje del Departamento de Medio Ambiente de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ubicada entre las coordenadas 0°57'35'' de Latitud Sur y 80°43'02'' de Longitud Oeste, a 6 msnm, en Manta, Manabí, Ecuador, que tiene precipitación promedio anual de 210 mm, con temperaturas promedio de 26°C en época lluviosa y 24°C en periodo seco (ULEAM, 2012).

Inoculación y compostaje

Se emplearon residuos orgánicos generados en los bares por las ventas de alimentos, además se incorporaron residuos vegetales de podas de áreas verdes de la ULEAM.

Previo la elaboración de la pila, se determinó la relación C/N de los materiales compostados para conseguir que la mezcla tenga una relación 25:1, definido los volúmenes de cada componente se procedió a depositar capas alternadas (residuos orgánicos de áreas verdes-residuos orgánicos de bares). Se adicionó agua hasta alcanzar una humedad del 65%.

En cada capa del tratamiento de residuo orgánico se inoculó el biopreparado correspondiente, con una dilución 5:1 agua:inóculo, este último con una concentración de 10^9 de *Bacillus cereus* y 10^5 del hongo *Trichoderma longibrachiatum* en el inóculo nativo (proveniente de la ESPAM); mientras que en el inóculo comercial consta en la etiqueta una concentración de 10^8 de microorganismos inespecíficos perteneciente a bacterias heterótrofas y hongos filamentosos. Se aplicó 1 L de biopreparado por cada 100 kg de material compostado.

Manejo de la pila de compostaje

Se adicionó agua periódicamente para mantener una humedad del 65% y que favorezca una actividad microbiana ideal. La aireación fue mediante volteos, el primero se realizó a los 15 días y luego cada 8 días, con la intención de regular temperatura, humedad y pH, para este fin se usó una pala.

El compost se cosechó cuando se percibió un olor agradable a bosque, color negro/marrón y el termómetro marcó temperatura ambiente en la pila, lo cual ocurrió a la octava semana del proceso de compostaje. En este momento se tomaron muestras de compost de todas las composteras y se enviaron al Laboratorio de Bromatología y Química Ambiental de la ESPAM MFL para determinar parámetros físico-químicos.

Datos registrados y método de evaluación

Durante el proceso de compostaje se registró la temperatura de las pilas, cada tres días, para lo cual se introdujo un termómetro punzón marca Halthen en tres puntos de muestreo equidistantes dentro de cada compostera. En los mismos sitios, se tomaron 300 g del material, se secaron en estufa a 70°C durante 24 h para determinar la humedad, en el cálculo se empleó la ecuación $H\% = (A-B)/A \cdot 100$ (H.- Contenido de agua con base en la muestra húmeda. A.- Masa en gramos de la muestra húmeda. B.- Masa en gramos de la muestra seca). Antes de secar las

muestras, sirvieron para determinar el pH con el uso de un pH-metro.

A los treinta días del compostaje se realizó la primera prueba de germinación, para lo cual se tomaron muestras de cada una de las composteras y se las incorporó en los cubículos de las bandejas germinadoras, luego se colocaron 100 semillas de caupi en igual número de cubículos. Al cabo de 10 días se registró el número de semillas germinadas y el peso total de la biomasa. Una segunda prueba de germinación se realizó al final del proceso de compostaje procediendo de igual manera.

Una vez cosechado el compost se tomó una muestra de 200 g por réplica de cada tratamiento, para determinar los siguientes parámetros: MO, C/N, N, P, K, B, Cu, Mn, Fe, Zn y fibra, se utilizó el método de espectrometría de absorción atómica (EAA). En otra muestra similar de compost se determinó la presencia de *Escherichia coli*, *Salmonella sp* y Coliformes, a través del recuento directo por microscopía de fluorescencia.

Tratamientos y diseño experimental

Se estudiaron dos biopreparados y un testigo: T1 el Biopreparado comercial (EM. Agearth); T2 el Biopreparado autóctono que contiene microorganismos nativos, provenientes de la ESPAM y aislados, seleccionados e identificados por Guzmán *et al.* (2014). El Testigo correspondió a una compostera tradicional (sin biopreparado), los tratamientos se replicaron tres veces y se dispusieron en un Diseño Completamente al Azar. La unidad experimental lo constituyó una compostera (tipo cajón) con dimensiones de 0,8 m ancho x 2 m de largo x 0,5 m alto, que contenían 170 kg de mezcla de material compostado. Los datos se analizaron mediante ANOVA simple y la separación de medias de Tukey y MDS al 5% de probabilidades utilizando el sistema Statistical Graphics Corporation™. Statgraphics® Plus for Windows 5.1 (2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura

La temperatura no fue determinante para el factor en estudio durante el periodo de compostaje a excepción de la tercera semana como se observa en el cuadro 1; donde el valor de temperatura del testigo difiere estadísticamente, lo cual puede deberse a la poca altura de las aboneras y que el material es de fácil descomposición y por tanto los microorganismos cumplieron con su función básicamente durante las tres primeras semanas del compostaje, transformando los materiales solubles y de elevada disponibilidad (azúcares, aminoácidos) a través de la acción de poblaciones de bacterias y hongos mesófilos, cuando

la temperatura alcanza alrededor de los 40°C, atribuido al proceso normal de generación de calor en las primeras semanas y se desarrollan también los primeros actinomicetos, los cuales realizan elevadas tasas de degradación como lo manifiestan Goyal *et al.* (2005).

Cuadro 1. Promedio de temperatura en °C de los tratamientos durante el compostaje

Inóculo	Semanas						
	1	2	3	4	5	6	7
Biopreparado Comercial	41,6	39,00	36,77 a	35,22	30,89	32,89	34,00
Biopreparado Autóctono	42,67	39,55	34,55 b	34,66	31,11	34,11	35,17
Testigo	42,33	39,33	37,22 a	35,77	30,55	33,89	35,83
Probabilidad	0,15	0,3	0,007	0,49	0,19	0,42	0,06
Tukey	-	-	1,66	-	-	-	-
Error Estándar	0,32	0,23	0,40	0,63	0,19	0,62	0,43

a, b letras distintas en columna difieren estadísticamente según Tukey (p<0,05)

La temperatura durante el compostaje fue disminuyendo hasta la quinta semana y posteriormente se da un leve incremento, probablemente por una recolonización de la población mesófila; esta tendencia fue similar en todos los tratamientos.

pH

Como puede apreciarse en el cuadro 2 los valores de pH no difieren estadísticamente entre las variantes en estudio; en todas las semanas de evaluación prácticamente el pH es neutro lo que significa que los materiales compostados no tienen en su composición sustancias que alteren significativamente este indicador de acidez o alcalinidad. Para Sundberg *et al.* (2004) el pH debe variar de ácido en las primeras semanas del proceso debido a la liberación de algunos ácidos orgánicos hasta valores más altos en la etapa termofílica donde se produce la descomposición de las sustancias nitrogenadas. Los valores alcanzados en el presente trabajo coinciden con los indicados en la norma NTC 5167 de 2004 que lo sitúa entre 4 y 9 (ICONTEC, 2004).

Cuadro 2. Promedio de pH en los tratamientos durante el compostaje

Inóculo	Semanas						
	1	2	3	4	5	6	7
Biopreparado Comercial	7,4	6,9	7,0	7,0	7,0	6,8	6,7
Biopreparado Autóctono	7,4	7,1	7,0	6,9	7,0	6,8	6,8
Testigo	7,3	7,1	7,0	6,9	7,0	6,8	6,7
Probabilidad	0,63	0,18	0,7	0,6	>0,99	0,9	0,62
Error Estándar	0,04	0,079	0,03	0,03	0,07	0,05	0,048

Prueba de Fitotoxicidad

En el cuadro 3 se presentan los resultados del análisis de proporciones de germinación de las semillas de caupi ensayado en los sustratos de las tres variantes en estudio, los valores indican la inmadurez del compost a los 30 días del compostaje, lo cual mejora sustancialmente a los 60 días alcanzando promedios por encima del 85%, considerados como sustratos no tóxicos de acuerdo a Godden *et al.* (1987). En las pilas inoculadas con el biopreparado a base de microorganismos nativos se alcanzaron los porcentajes más altos de germinación en las dos etapas de evaluación, a los 30 días tuvo diferencias altamente significativas frente al testigo y significativas al ser comparado con el EM comercial; a los 60 días difiere significativamente con el testigo y comparte el mismo rango estadístico con el EM comercial.

Cuadro 3. Porcentaje de semillas germinadas de caupí a los 30 y 60 días de compostaje

Comparaciones	30 días	P	60 días	P
Biopreparado Comercial vs Testigo	63 a 46 b	0,016	88 78	0,063
Biopreparado Autóctono vs Testigo	79 a 46 b	<0,0001	92 a 78 b	0,0058
Biopreparado Comercial vs Biopreparado Autóctono	63 b 79 a	0,013	88 92	0,36

a, b letras distintas en fila difieren estadísticamente según MDS (p<0,05) en el respectivo tiempo de evaluación.

El peso de la biomasa de las plántulas en los dos ensayos de germinación, determinó que esta variable tiene diferencias altamente significativas entre las variantes; en las dos épocas de evaluación el peso de biomasa de las plántulas fue mayor en el compost que había recibido los microorganismos nativos, ocupando la primera categoría estadística a los 30 y 60 días de evaluación (Cuadro 4).

Cuadro 4. Peso de biomasa de las plántulas de caupi en los dos ensayos de germinación (g).

Inóculo	30 días	60 días
Biopreparado Comercial	33,7 b	63,2 b
Biopreparado Autóctono	39,8 a	80,5 a
Testigo	22,6 c	47,6 c
Probabilidad	0,0001	0,0003
Tukey	4,74	10,73
Error Estándar	1,14	2,58

a, b y c letras distintas en columna difieren estadísticamente según Tukey (p<0,05).

Parámetros físico-químicos del compost

Los resultados del análisis químico de laboratorio (Cuadro 5), indican que los valores de los macronutrientes

N y P difieren estadísticamente entre las variantes en estudio; para el caso del nitrógeno la primera categoría le corresponde al compost inoculado con microorganismos nativos con un promedio de 1,42%, valor cercano a los encontrados por UNED, (1998) en el compostaje de residuos agrícolas llevados a cabo en Costa Rica, cuyos promedios oscilaron entre 1,2 y 1,9%; lo mismo ocurre con el fósforo donde lidera la primera categoría que comparte con el compost inoculado con EM comercial. Cabe resaltar que el compost resultante de la pila de compostaje inoculada con microorganismos nativos alcanzó el mayor porcentaje de MO aunque no difiere estadísticamente con las otras variantes; en cuanto a la relación C/N se reporta un valor de 14,5:1 considerado de óptima por Castillo *et al.* (2002) y Zhu (2006) para su uso agrícola.

Cuadro 5. Parámetros químicos del compost

Inóculo	N %	P Mg/Kg	K Mg/Kg	MO %	Relación C/N	Fibra
Biopreparado Comercial	0,87 c	10476 a	17500	23,05	22,3	7,09
Biopreparado Autóctono	1,42 a	1435,6 b	21500	33,64	14,5	6,65
Testigo	0,91 b	970,7 c	22500	23,05	14,4	7,69
Probabilidad	<0,001	0,04	20500	0,48	0,16	0,25
Tukey	0,01	0,17	-	-	-	-
Error Estándar	0,003	106,08	19500	6,75	2,91	0,39

a, b y c letras distintas en columna difieren estadísticamente según Tukey ($p < 0,05$)

En cuanto a la disponibilidad de micronutrientes los resultados del análisis favorecen al compost donde se inocularon microorganismos nativos, sobre todo en lo relacionado a B, Mn, Fe y Zn, compartiendo categoría estadística con el compost que recibió EM comercial.

Cuadro 6. Micronutrientes del compost

Inóculo	B	Cu	Mn	Fe	Zn
Biopreparado Comercial	15,83 c	20,0	23,02 ab	15,81 a	11,0 ab
Biopreparado Autóctono	16,5 a	20,13	26,13 a	18,53 a	12,77 a
Testigo	13,4 b	17,3	21,1 b	11,78 b	9,44 b
Probabilidad	0,0136	0,14	0,02	0,0029	0,007
Tukey	2,2	-	3,87	3,29	1,96
Error Estándar	0,53	0,96	0,93	0,8	0,47

a, b letras distintas en columna difieren estadísticamente según Tukey ($p < 0,05$)

Microbiológicos

En el cuadro 7, se indica la carga de patógenos encontra-

dos en los diferentes compost, solo en *Escherichia coli*, se presentó diferencias estadísticas, encontrándose la mayor población en el testigo y el compost que recibió EM comercial. En términos generales puede considerarse un compost con valores permisibles para su uso en agricultura.

Cuadro 7. Análisis microbiológico del compost (Logaritmo Neperiano)

Inóculo	<i>Escherichia coli</i>	Coliformes	Hongos	Salmonela
Biopreparado Comercial	5,9 ab	11,13	11,19	5,35
Biopreparado Autóctono	5,47 b	11,11	11,15	5,07
Testigo	6,73 a	11,16	11,23	5,31
Probabilidad	0,01	0,051	0,30	0,24
Tukey	0,79	-	-	-
Error Estándar	0,19	0,015	0,01	0,11

a, b letras distintas en columna difieren estadísticamente según Tukey ($p < 0,05$)

Reducción del material compostado

Al evaluar la variación de peso inicial de los materiales compostados frente al peso del producto terminado, se establece un porcentaje de conversión de 64,32% en el compost que fue inoculado con microorganismos nativos, lo cual difiere estadísticamente con las otras dos variantes que se ubican en categorías distintas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Conversión de material inicial a compost

Inóculo	%
Biopreparado Comercial	58,77 b
Biopreparado Autóctono	64,32 a
Testigo	54,81 c
Probabilidad	0,004
Tukey	3,24
Error Estándar	0,78

a, b, c letras distintas en columna difieren estadísticamente según Tukey ($p < 0,05$)

CONCLUSIONES

La inoculación de microorganismos descomponedores a los residuos orgánicos que se compostaron influyó en la calidad del compost obtenido, el cual puede ser usado con fines agrícola sin riesgo alguno de fitotoxicidad.

De acuerdo a los parámetros evaluados la mayor eficiencia se dio en la variante que recibió los microorganismos nativos.

LITERATURA CITADA

- Albán, M. (s.f.). Manual de Cultivo de frijol caupi (en línea), Proyecto Norte Emprendedor Swisscontact Fundación Suiza para la Cooperación del Desarrollo Técnico, calle Libertad N° 522, Piura Perú, p.07. Disponible en: http://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/CAUPI.pdf
- Álvarez, S. y Anzuelo, J. 2004, actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Agrociencia*. 38:13-22.
- Castillo, A; Eresue, M; Rodríguez, L; Rugama, J, 2002. Manejo integrado de la fertilidad de los suelos en Nicaragua. Managua, Nicaragua. p 130.
- Dávila, D. López y L.; Pedroza, A. 2002. Evaluación de diferentes soportes para la preformulación de un producto termifílico acelerados del compostaje. Título Microbiólogo Industrial. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Microbiología. Bogotá.
- De La Maza, F. 2001. Estudios de la Factibilidad Técnico- Económica para una Planta de Compost a gran Escala. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil Industrial. Facultad de Ciencias Matemáticas, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile. p 103.
- EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente), 1994a. Composting Yard Trimmings and Municipal Solid Waste (EPA530-R-94-003). United States Environmental Protection Agency. 158 p.
- EPA, 1997. Innovate Uses of Compost: Bioremediation and Pollution Prevention (EPA 530-F-97-02), Disease Control for Plants and Animals (EPA530-F-97-44).
- Ganjyal. G; Weber. R y Hanna M. 2007. Laboratory composting of extruded starch acetate and poly lactic acid blended foams. *Bioresource Technology* 98: 3176–3179.
- Goldden B, Mareschal M, Gigliotti G, Businelli G, Benett A. 1987 Effects of manure compost on soil microbiological properties. 473-478.
- Goyal, S., Dhull, S. K. y Kapoor, K. K. 2005. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*. 96:1584–1591.
- Guzmán, A.; Zambrano, D.; Rondón, A.; Silva, M.; Pérez, M.; León, R y Rivera, R. 2014. Aislamiento, selección y caracterización de hongos celulolíticos a partir de muestras de suelo en Manabí-Ecuador. *Revista Facultad de Ciencias Agrarias UNCUYO*. 46(2): 177-189.
- ICONTEC. 2004. (Instituto Colombiano de Norma Técnica), Norma Técnica Colombiana 5167.
- Lasardi. K y Stentiford. E. 1998. A simple respirometric technique for assessing compost stability. *Water Res.* 32: 3717–3723.
- Said-Pullicino, D y Gigliotti G. 2007. Oxidative biodegradation of dissolved organic matter during composting. *Chemosphere* 68: 1030–1040.
- Statgraphics Plus versión 5.1. 2002. Statgraphics Technical Support Center. Manugistics. Inc., Rockville, Maryland, USA.
- Sundberg. C; Smars S; Jonsson H. 2004. Low Ph as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. *Bioresource Technology*. 95:145–150.
- Tan K.H. 2000. *Environmental Soil Science*. Second Edition. Marcel Dekker, New York, NY.
- UNED (Universidad Nacional de Educación a Distancia). 1998. Manejo adecuado de los desechos sólidos en industrias, primera edición, San José, Costa Rica, p 171.
- Wu L; Ma L; Martínez G. 2000. Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. *J. Environmental Quality*. 27:424–429.
- Zhu N. 2006. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. *Bioresource Technology* 98: 9–13.