



USO DE UN INOCULANTE TERMOFILICO EN LA TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

USE OF A TERMOFILIC INOCULANT IN TRANSFORMATION OF URBAN SOLID WASTES (USW)

D. Rodríguez, A. Ruiz, M. Martínez-Salgado, A. Matiz

Grupo de Biotecnología Ambiental e Industrial,

Departamento de Microbiología, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana, Carrera 7 # 43-82, Bogotá, Colombia

*esmero19@hotmail.com, marul179@hotmail.com, mmmartin@javeriana.edu.co
amatiz@javeriana.edu.co.*

Resumen

El relleno sanitario Don Juanito en la ciudad de Villavicencio, Colombia, es uno de los más importantes centros de investigación en el manejo y aprovechamiento de la fracción orgánica de residuos sólidos. Actualmente se encuentra desarrollando un importante proyecto de aprovechamiento y transformación mediante el proceso de compostaje enriquecido con inoculantes microbianos termófilos. El inoculante está conformado por bacterias autóctonas con actividad amilolítica del orden de 114.5 UA y actividad proteolítica de 98.5 UP, siendo estos valores apreciables para generar descomposición de la materia orgánica de forma eficaz y acelerada.

En el estudio se evaluó un tratamiento con una mezcla de diferentes residuos como cascarilla de arroz, contenido ruminal, pasto y residuos sólidos orgánicos en un 50% para la obtención de compost y su correspondiente control con 55% de residuos sólidos orgánicos, según investigaciones anteriores. El proceso de compostaje se logró en 8 semanas y se registraron temperaturas máximas de 70.8°C en el tratamiento y de 74.26°C en el control, estos valores se alcanzaron dos días después de iniciado el proceso. El producto final se obtuvo libre de *Salmonella sp.*, presencia de coliformes y *E.coli*; con características fisicoquímicas de 11.13% de carbono orgánico oxidable, cenizas 36.1%, C.I.C. de 32.5 me/100g, relación C/N de 9.66, nitrógeno total 1.16%, fósforo total 1.66%, potasio 2.3%, calcio 3.7% y magnesio 1.09%, valores cercanos a lo exigido en la norma ICONTEC-NTC/5167 (2004).

Palabras clave: compost, inoculante termofílico, residuos sólidos urbanos R.S.U.

Abstract

“Don Juanito” sanitary landfill, located in Villavicencio city, Colombia, is one of the most important research places in organic solid waste management. This industry is developing an important alternative of transformation and use of organic wastes, through composting process enriched with thermophilic microbial inoculum. The inoculum is made up of indigenous bacteria with amilolytic activity in range of 114.5 UA, and proteolytic activity of 98.5 UP; these values are significant for an effective and speedy generation of decomposed organic waste.

This study evaluated a treatment in which rice husks, ruminal content, grass and 50% of organic solid residues were mixed. A control with 55% organic solid residues as indicated in prior researches was used. Composting process was carried out within 8 weeks. Maximum temperatures of 70.8°C in treatment and 74.26°C in control were recorded respectively. These values were recorded after the first two days of processing. Resulting product was free of *Salmonella spp.*, thermotolerant coliforms and *E. coli*, and showed to have as physico-chemical characteristics: 11.13% of organic carbon, chemises 36.1%, C.I.C. of 32.5 me/100g; C/N ratio of 9.66, total nitrogen 1.16%, total phosphorous 1.66%, potassium 2.3%, calcium 3.7% and magnesium 1.09%. These values nearly match those required under ICONTEC-NTC/5167 (2004).

Key words: compost, thermophilic inoculum, urban solid wastes USW.

INTRODUCCIÓN

A nivel urbano, la generación de residuos sólidos varía según las actividades socio-económicas, causando un gran impacto ambiental y problemas de salud pública.

Gracias al apoyo del Sistema Nacional Ambiental (SINA), y a través de las corporaciones autónomas regionales (CAR) y empresas privadas, se ha dado prioridad a la problemática que presentan los residuos sólidos urbanos RSU en municipios y grandes ciudades, mediante políticas nacionales de gestión ambiental, tratamiento y disposición final para residuos sólidos, buscando el aprovechamiento de los mismos (Bioagrícola del Llano S.A, 2004).

De esta forma, es posible recuperar la fracción orgánica empleando sistemas biológicos como el compostaje, digestión anaerobia de sólidos en baja concentración y digestión anaerobia de sólidos en alta concentración (Tchobanoglous *et al.*, 1996).

La degradación dentro del proceso de compostaje se logra mediante la oxidación de los residuos por consorcios microbianos productores de enzimas; estas poblaciones microbianas se utilizan para generar mayor velocidad de descomposición biológica de los residuos orgánicos y ofrecer soluciones en la minimización del impacto ambiental con la producción de abonos orgánicos de buena calidad (Rueda *et al.*, 2002).

La comercialización del producto final, se realiza a partir de la obtención de un compost estable, que garantice un contenido nutricional (N, P, C y K), ausencia de patógenos humanos, fitopatógenos y de sustancias tóxicas para el medio ambiente y la comunidad (ICONTEC-NTC/5167, 2004).

MATERIALES Y MÉTODOS

La experimentación en campo de esta investigación se realizó en el relleno sanitario Don Juanito de la ciudad de Villavicencio, Colombia manejado por la empresa Bioagrícola del Llano S.A. ESP, donde se prepararon las pilas de compostaje. Los análisis de laboratorio se desarrollaron en la facultad de ciencias de la Pontificia Universidad Javeriana, Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales de la Universidad Jorge Tadeo Lozano y AGRILAB Ltda.

El inóculo acelerador empleado utilizó cepas amilolíticas y proteolíticas con actividad de 118.8 UA - 101.3 UP respectivamente y una concentración final de 10^{16} UFC/ml (Galindo *et al.*, 2005). La actividad proteolítica se midió de acuerdo con el método del ácido tricloroacético (ATC) (Márquez *et al.*, 2004) considerando una unidad proteolítica como la cantidad de enzima capaz de liberar un mol de tirosina por minuto por mililitro. La actividad amilolítica se midió con la técnica del ácido 3-5, dinitrosalicílico (DNS), definiendo una unidad amilolítica como la cantidad de enzima necesaria para hidrolizar un ìmol de glucosa por minuto por litro (Miller, 1959).

Montaje de las pilas de compostaje

El montaje de las pilas se realizó bajo techo, utilizando poda seca, cascarilla de arroz, contenido ruminal, y residuos de plaza correspondientes a un porcentaje de 50% para el tratamiento y 55% para el control previamente evaluado por Galindo *et al.*, (2005). Se hicieron 6 pilas correspondientes a 3 réplicas para el tratamiento y 3 réplicas para el control, finalmente cada pila obtuvo un peso total de 4 t y un tamaño de 2 m de base por 1,5 m de altura por 6 m de largo.

La temperatura se determinó *in situ*, en cinco puntos diferentes de la pila, cada 24 horas y durante 10 semanas, empleando un termómetro de punzón de 70 cm de largo con receptor digital. El pH se determinó tomando cinco submuestras en diferentes puntos y se analizó por medio del método de pasta de saturación (ICONTEC; NTC/5167, 2004). Se realizaron volteos periódicos a las pilas de compostaje cada 8 días, para mantener las condiciones de aerobiosis (Gómez, 2000).

Toma de muestras

Para la toma de muestras, se tuvo en cuenta el comportamiento de la temperatura a lo largo del proceso en cada una de las fases del tratamiento y del control, con el fin de analizar el aumento de la población microbiana amilolítica y proteolítica termofílica en la fase inicial y de termofilia, y la disminución de patógenos humanos y fitopatógenos en la fase de maduración.

Se tomaron 500 g de muestra compuesta de cinco submuestras puntuales de diferentes secciones de cada pila en fase inicial y termofílica en cada una de las pilas. Igualmente se destinaron 500 g de muestra final, para evidenciar la ausencia o presencia de patógenos humanos y fitopatógenos y para el análisis de los parámetros físicoquímicos, teniendo como parámetros los expuestos en la norma ICONTEC; NTC5167 (2004) para el uso en cultivos agrícolas.

Recuento de microorganismos proteolíticos y amilolíticos

A partir de 500 g de muestra de compost se tomaron 10 g para el recuento de microorganismos proteolíticos y amilolíticos y se realizaron diluciones seriadas en base diez, en agua peptonada al 0.1% (p/v) desde 10^{-1} hasta 10^{-20} . Luego se sembró en superficie y por triplicado 0.1 ml de las diluciones, en

los medios agar leche para proteolíticos y en agar almidón para amilolíticos.

Por último, se llevó a incubación a 65°C por 24 a 48 horas (Pedroza *et al.*, 2003). Para evidenciar cuantitativamente la actividad enzimática, se tuvo en cuenta el diámetro de los halos (mm) (Nakamura *et al.*, 2004).

Análisis de patógenos

Se realizaron análisis de patógenos humanos (coliformes totales, *E. coli* y *Enterococcus* spp.) por la técnica de filtración por membrana, *Salmonella* spp. por la técnica de NMP (EPA 530R34003, 1994), de fagos somáticos por la técnica de la doble capa de agar en el centro de servicios de la Pontificia Universidad Javeriana. Asimismo se determinó la presencia de nematodos y hongos fitopatógenos (*Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Phytophthora* spp. y *Alternaria* spp.) en el laboratorio de fitopatología del Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Análisis de parámetros físicoquímicos

Se determinaron características físicoquímicas del producto final incluyendo humedad (%), cenizas (%), pérdida por volatilización (%), carbono orgánico oxidable (%), conductividad eléctrica (ds/m), pH, densidad (g/c.c), capacidad de retención de humedad (%), capacidad de intercambio catiónico (me/100 g), relación C/N, nitrógeno total (%) y de fósforo (%), calcio (%), potasio (%) y magnesio (%); estas pruebas se realizaron en el laboratorio de AGRILAB Ltda.

Análisis estadístico de resultados

Se determinó la eficiencia del inóculo en relación a los parámetros físicoquímicos obtenidos en el producto final del trata-

miento y control de las tres repeticiones definidas. Para ello se aplicó el coeficiente de asimetría para observar la distribución normal de los datos con la prueba F y ANOVA de una vía con comparación de medias por LDS para determinar diferencias entre tratamientos (utilizando el programa Statistix (6.0).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El inóculo mixto producido a partir de cepas nativas aisladas por Galindo *et al.*, (2005) se sometió al análisis cuantitativo de actividad enzimática amilolítica y proteolítica. La técnica de DNS arrojó un valor de 114.5 UA con halo de hidrólisis de 4 mm; estos resultados cuantitativos y semicuantitativos son comparables con relación al valor de 118.8 UA, que se obtuvo a las 48 horas (fase final) de la fermentación en el estudio con las mismas cepas microbianas (Galindo *et al.*, 2005). Además, el recuento de la población microbiana amilolítica alcanzó una concentración de 10^{16} UFC/ml.

El análisis de la actividad enzimática proteolítica indicó valores de 98.5 UP con un halo de hidrólisis de 9 mm, estos resultados se acercan al valor de 101.3 UP que se presentó a las 48 horas (fase final) de la fermentación en el estudio anterior de Galindo *et al.*, 2005, con 10^{20} UFC/ml, concentración superior a la reportada en los estándares de calidad nacionales para inóculos del ICA, según resolución 0375 de 2004.

Estos resultados permiten sugerir que la población proteolítica se presentó en mayor proporción que la amilolítica en el inoculante, posiblemente porque la materia orgánica presente en el contenido ruminal contiene nitrógeno orgánico disponible de rápida degradación, mientras el pasto predigerido aun contiene fuentes de carbono completas como celulosa constituido

por celulosa y hemicelulosa, con una relación C/N de 150:1, haciendo más lenta su degradación (Gómez, 2000).

En otros estudios realizados en Colombia, en el municipio de Gramalotes (Norte de Santander), utilizando inóculos aceleradores con bacterias lipolíticas y proteolíticas aisladas del tren del tratamiento de residuos y de la planta de compostaje, se logró una reducción en el volumen de la fracción orgánica entre el 80% - 90% (Moreno *et al.*, 2001).

De la misma forma, en el estudio realizado por Palomino *et al.*, 2002 en el municipio Sogamoso Boyacá, se evaluó la acción de un inóculo termofílico con actividad enzimática proteolítica, amilolítica, lipolítica y celulolítica sobre residuos urbanos y se evidenció la reducción del tiempo de degradación a ocho semanas, frente a 16 semanas originales, garantizando el mejoramiento de las características fisicoquímicas y la eliminación de patógenos en el producto final.

En esta investigación, durante la evaluación del inóculo termofílico en la transformación de RSU mediante el proceso de compostaje, se obtuvieron resultados óptimos tanto en el proceso, como en el producto final. Los valores de pH y temperatura de las muestras oscilaron entre 6.5 a 8, y 50°C a 74.26°C respectivamente, (figuras 1 y 2) sin encontrar diferencias estadísticamente significativas en los valores de temperatura en la fase termofílica del tratamiento (50% residuos de plaza) y control (55% residuos de plaza) (figura 3A). Lo anterior, indica que las proporciones de RSU que se manejaron sirvieron para lograr eficacia en la actividad enzimática microbiana, lo que se evidenció en el aumento significativo de la temperatura máxima en el control de 74.26°C y en el tratamiento de 70.8°C, sin diferencias estadísticas en-

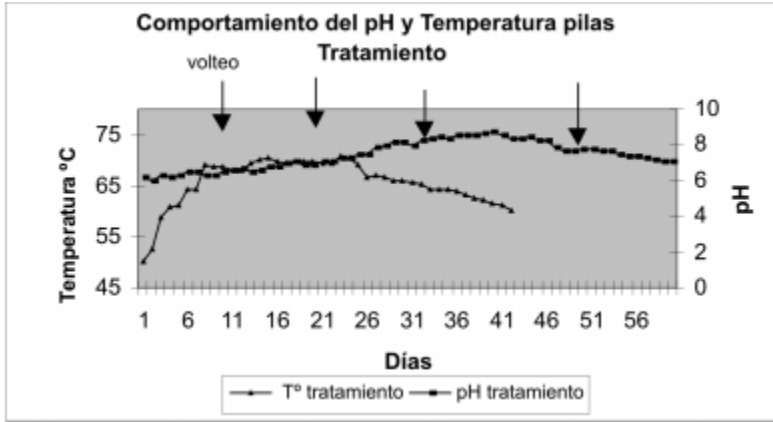


FIGURA 1. Comportamiento de pH y temperatura pilas tratamiento.

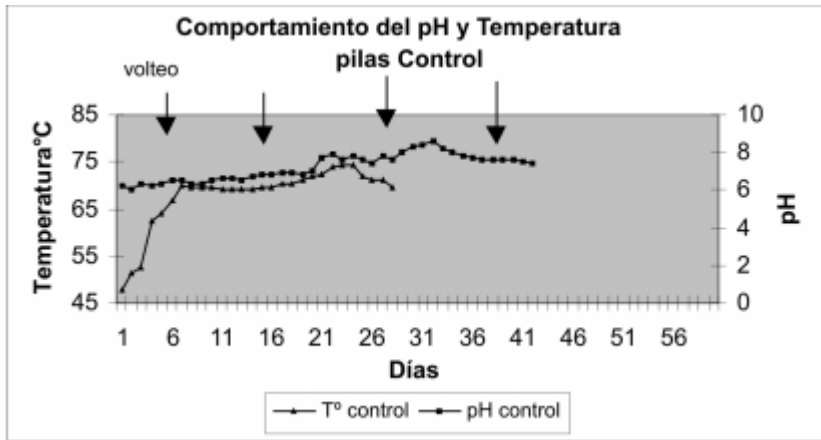
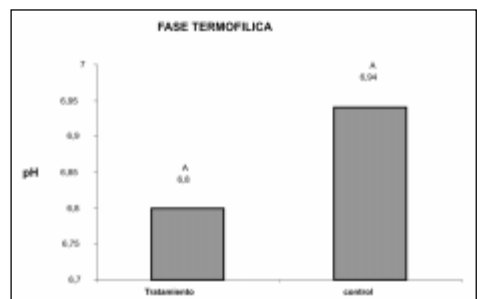
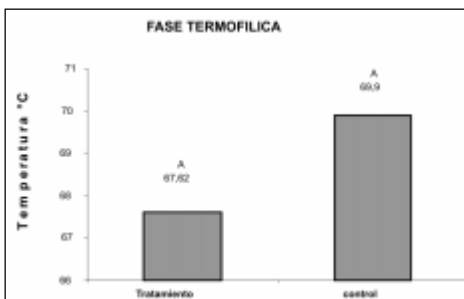


FIGURA 2. Comportamiento de pH y temperatura pilas control.



p:0.000033

p:0.11871861

FIGURA 3. Temperatura y pH en fase termofílica del tratamiento y control

tre los valores promedio de pH entre el tratamiento y el control ya que fueron cercanos a la neutralidad (figura 3B).

Respecto al recuento de microorganismos proteolíticos y amilolíticos de las muestras de compost, se obtuvo un recuento inicial de microorganismos proteolíticos de 10^{16} UFC/g para el tratamiento y de 10^{19} UFC/g para el control y de 10^8 UFC/g y 10^{13} UFC/g para amilolíticos respectivamente. En la fase termofílica se registró un incremento en microorganismos proteolíticos de 10^{18} UFC/g para el tratamiento y de 10^{21} UFC/g para el control y de 10^{14} UFC/g y 10^{15} UFC/g para amilolíticos respectivamente.

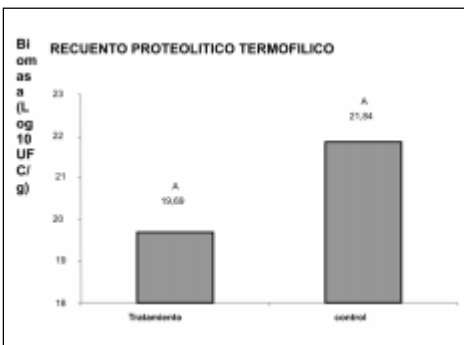
Estos resultados indicaron una recuperación de las poblaciones a temperaturas altas en el tratamiento; sin embargo, se encontró una mayor población de microorganismos proteolíticos con relación a los amilolíticos, debido posiblemente a que en ambos casos se presentó la misma proporción de residuos de contenido ruminal (20%), lo que facilitó el consumo de las fuentes de nitrógeno presentes (NH_4^+ y nitrógeno orgánico, más sencillas); posteriormente, los compuestos resultantes proporcionaron a los microorganismos amilolíticos fuentes de nitrógeno más

sencillas para empezar a utilizar los sustratos de carbono (Gómez, 2000).

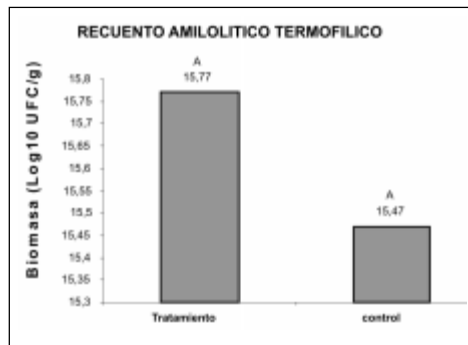
Finalmente, el análisis estadístico, comprobó que no existen diferencias significativas en los recuentos presentes, determinando que el incremento de la población microbiana mesofílica y termofílica se comportó igual en el tratamiento y el control (figuras 4A y 4B). Sin embargo, vale la pena resaltar que el control contó con mayor proporción de RSU e iguales condiciones de aireación que el tratamiento los resultados de los parámetros físicoquímicos demostraron diferencias entre las variables analizadas.

También se determinó que no existieron diferencias significativas entre los promedios de las variables de carbono orgánico oxidable, capacidad de retención de humedad, CIC, pH, nitrógeno total, y calcio; en contraste con los parámetros de humedad, % cenizas, pérdida por volatilización, conductividad eléctrica, densidad, relación C/N, fósforo y magnesio, en el tratamiento y el control, lo que significa un comportamiento diferente (tabla 1).

Tanto en el tratamiento como en el control, los parámetros evaluados cumplen con los



p:1.02



p:0.99

FIGURA 4. Recuento proteolítico y amilolítico termofílico del tratamiento y control.

TABLA 1. Parámetros físico químicos tratamiento y CONTROL y Norma ICONTEC

COMPOSICIÓN	Tratamiento	Control	ICONTEC. 5167/04 Norma Chilena 2880/03
Humedad (%)	37.73 (B)	54.15 (A)	Máx 35%
Cenizas (%)	36.1 (A)	13.35 (B)	Máx 60%
Perdida por Volatización (%)	23.16 (BC)	32.5 (A)	ND
Carbono Org. Oxidable (%)	11.13 (A)	13.3 (A)	Mín 15%
Conductividad Eléctrica (ds/m)	16.98 (A)	10.71 (B)	ND
pH	7.05 (A)	7.5 (A)	(>4 y <9)
Densidad (g/c.c)	0.66 (A)	0.41 (B)	Máx 0.6
Cap. Retención de Humedad (%)	93.96 (A)	101.7 (A)	Propio peso
C.I.C (me/100g)	32.5 (A)	29.25 (A)	Mín 30 ND (≤ 5 . NCh 2880.2003)
C/N	9.66 (B)	17.5 (A)	ND (10%-25% NCh 2880.2003)
Nitrógeno Total (%)	1.16 (A)	0.785 (A)	ND (2% - 3% Gómez. 2000)
P ₂ O ₅	1.66 (A)	1.04 (AB)	ND (1% Gómez. 2000)
CaO	3.745 (A)	3.1 (A)	ND (6% Gómez. 2000)
K ₂ O	2.3 (A)	2.275 (A)	ND (0.5% Gómez. 2000)
MgO	1.096 (B)	0.975 (B)	ND (0.6 % . Gómez. 2000)

requisitos exigidos por la norma colombiana ICONTEC; NTC5167 (2004) e incluso por la norma chilena NTCh 2880 (2003); se evidenció que el tratamiento evaluado, a pesar de tener pequeñas variaciones en los parámetros de CIC, conductividad eléctrica y nitrógeno total, presentó menor dispersión de datos y mejores resultados en los porcentajes de macroelementos (P, Ca, K y Mg).

Por lo anterior, se sugirió la aplicación en diferentes cultivos del abono orgánico

obtenido en el tratamiento por presentar mejores características físicoquímicas. Sin embargo, también se evaluaron para su uso, los resultados obtenidos en análisis de patógenos humanos y fitopatógenos; según los parámetros establecidos por la normatividad EPA-530 (1994).

Con relación a patógenos humanos, el tratamiento y el control se evidenció una población de coliformes fecales final de 10^5 UFC/g PS (UFC por gramo de peso seco) y de *E. coli* de 10^3 UFC/g PS y de 10^3 UFC/g

PS de coliformes fecales y de 10^4 UFC/g PS de *E. coli*, respectivamente (tabla 2). Esto indicó que las condiciones de temperatura de los tratamientos no fueron suficientes para la eliminación de patógenos, según estudios Turner (2001), Hassen, *et al.*, (2001), Lemunier, *et al.*, (2005), que han demostrado la capacidad de termorresistencia de diferentes cepas de *E. coli*, en procesos similares.

Por otra parte, la norma NTC5167 (2004), especifica la ausencia de *Salmonella* spp. como único patógeno asociado a abonos, por lo que se diría que el producto se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la norma y factores como la duración de las temperaturas altas, el tipo de mezcla, la concentración de amonio, la naturaleza de los materiales, la presencia de microorganismos acompañantes, pueden aumentar o inhibir el crecimiento de estos agentes patógenos en el proceso de compostaje (Turner, 2001, Hassen *et al.*, 2001, Lemunier *et al.*, 2005).

De igual forma, para garantizar un compost libre de patógenos, se debe considerar el tiempo de duración de las fases mesofílica, termofílica y maduración de forma que se pueda asegurar la reducción completa de estos agentes microbianos. Se han reportado, en diferentes estudios, la reducción de patógenos en procesos que mantienen

temperaturas de 55°C – 60°C , durante tres meses y medio, empleando residuos orgánicos domiciliarios y de jardín (Pietronave *et al.*, 2004, Tuner, 2001 y Cekmecelioglu *et al.*, 2005).

Finalmente, la aplicación del tratamiento se verá limitada a cultivos de consumo directo, debido a los resultados obtenidos de patógenos humanos, para así evitar el consumo por ganado y contaminación de cosechas. De igual forma, para el empleo de estas proporciones en los materiales de estudio permite obtener un acondicionador de suelo apropiado para diferentes cultivos dependiendo de la presencia de hongos fitopatógenos, aunque estos análisis no son exigidos por el ICA para la aplicación de abonos orgánicos. Los análisis de fitopatógenos de la muestra final indican ausencia de *Rhizoctonia* spp., *Phytophthora* spp. y *Alternaria* spp., aunque se detectó la presencia de *F. solani* en el control y de *F. semitectum* en el tratamiento (tabla 3), hongo saprófito de suelo y materia orgánica. Estos análisis no son contemplados en la NTC5167, 2004, y el empleo de los abonos obtenidos no se sugiere para curcubitáceas, solanáceas y cítricos (Llacer *et al.*, 2000) por la presencia de *F. solani*. Por lo anterior, las muestras de compost del tratamiento, no representa riesgo para ser utilizado como abono orgánico, teniendo en cuenta las restricciones de uso.

TABLA 2. Concentración de indicadores de contaminación fecal en muestras de compost

Muestra	Coliformes fecales (UFC/g P.S)	<i>Escherichia coli</i> (UFC/g P.S)	<i>Enterococcus</i> spp. (UFC/g P.S)	<i>Salmonella</i> spp. (NMP/4g P.S)
Tratamiento	7.9×10^5	1.8×10^3	2.8×10^4	<2
Control	6.1×10^4	2.3×10^3	3.2×10^4	<2

UFC/g PS: unidades formadoras de colonias por gramo de peso seco.

NMP/4g PS: número más probable por 4 gramos de peso seco.

TABLA 3. Análisis de fitopatógenos

MUESTRA	HONGOS FITOPATÓGENOS UFC / g	NEMATODOS Géneros / 100 g
Tratamiento 1	(-) <i>Fusarium</i> spp. 240: <i>Fusarium semitectum</i> (-) <i>Rhizoctonia</i> spp. (-) <i>Phytophthora</i> spp. (-) <i>Alternaria</i> spp.	(-) Nematodos fitoparásitos
Control	(-) <i>Fusarium oxysporum</i> 80: <i>Fusarium solani</i> (-) <i>Rhizoctonia</i> spp. (-) <i>Phytophthora</i> spp. (-) <i>Alternaria</i> spp.	(-) Nematodos fitoparásitos

CONCLUSIONES

El uso de un inoculante con actividad enzimática amilolítica y proteolítica, acelera el proceso de degradación de residuos orgánicos y garantiza la reducción del tiempo en el proceso de compostaje.

A partir de los análisis estadísticos, se estableció que la mezcla con 50% de RSU, reportó características físicoquímicas óptimas ya que los valores obtenidos se encuentran según lo exigido por la norma 5167/04 ICONTEC, incluyendo ausencia de *Salmonella* spp., único parámetro microbiológico incluido en la norma.

A pesar de haber logrado temperaturas altas en la fase termofílica, la presencia de *Fusarium solani* (fitopatógeno en curcubitáceas, ornamentales y cítricos), debe ser evaluada *in vivo* pues restringe la aplicación del compost obtenido en cultivos de consumo directo abre la necesidad de evaluarlo en cultivos de palma de aceite o pastos.

AGRADECIMIENTOS

Bioagrícola del Llano S.A. EPSP Villavicencio, Meta.

LITERATURA CITADA

Bioagrícola del Llano S.A. ESP. *Formatos de registro de valores de pH y temperatura del proceso de compostaje efectuado desde abril hasta agosto*, Villavicencio, Colombia, 2004, 1-20.

CEKMECELIOGLU, D., HEINEMANN, P., DEMIRCI, A., GRAVES, R. Modeling of compost temperature and inactivation of *Salmonella* and *E. coli* O157:H7 during windrow food waste composting *Transactions of the ASAE*, 2005, 48(2), 849-58.

EPA. *Environmental Protection Agency*. Composting Yard Trimmings and Municipal Soil Waste. EPA 530R34003, 1994.

EPA. *Environmental Protection Agency*. Composting Yard Trimmings and Municipal Soil Waste. EPA 530R34003, 1994.

EPA. *Environmental Protection Agency*. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. EPA/625/R-92-01 3, 1999.

GALINDO, L., LONDOÑO, N., MARTÍNEZ, M., MATIZ, A. Aislamiento de bacterias

- termofílicas y hongos mesofílicos a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias Departamento de Microbiología. Bogotá, Colombia, 2005, 1-103.
- GÓMEZ, J. *Abonos orgánicos*, Universidad Nacional de Colombia, Cali – Colombia, 2000, 1-25.
- HASSEN, A., BELGUITA, K., JEDIDI, N., CHERIF, A., CHERIF, M., BOUD-ABOUS, A. Microbial Characterization During Composting of Municipal Solid Waste. *Biosystems Engeneering*, 2001, 80: 217-25.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC. *Norma técnica colombiana 5167. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo*, Bogotá – Colombia, 2004, 96.
- LEMUNIER, M., FRANCOU, F., ROUSSEAU, S., HOUOT, S., DANTIGNY, P., PIVETEAU, P., GUZZO, J. Long Term Survival Pathogenic and Sanititation Indicator Bacteria in Experimental Biowast Compost. *Biosystems Engeneering*, February, 2005, (70),18-25.
- LLACÉR, G., LÓPEZ, M., TRAPERO, A., BELLO. *Patología vegetal*, España, 2000, 120-42.
- LEMUNIER, M., FRANCOU, C., ROUSSEAU, S., HOUOT, S., DANTIGNY, P., PIVETEAU, P., and GUZZO, G. Long-Term Survival of Pathogenic and Sanitation Indicator Bacteria in Experimental Biowaste Composts. *Applied and Environmental Microbiology*, 2005, 71(10): 5779-86.
- MÁRQUEZ, P. y PIRAMANRIQUE, K. Determinación cuantitativa de proteasas de bacterias psicotróficas aisladas de leche cruda. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Departamento de microbiología, Bogotá, Colombia, 2003, 95.
- MILLER, G. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, June, 1959, (35): 426-28.
- MORENO, X., OÑATE, M., MARTÍNEZ, M.M., PEDROZA, A. Producción de un inóculo acelerador de compostaje a partir de bacterias lipolíticas y proteolíticas aisladas de un tren de tratamiento de residuos en una industria láctea. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Departamento de Microbiología, Bogotá, Colombia, 2001, 82.
- NAKAMURA, K., HARUTA, S., NGUYEN, L., LSHII, M., IGARASHI, Y. Enzyme Production - Based Approach for Determining the Functions of Microorganisms within a Community. *Applied and Environmental Microbiology*, 2004, 70(6): 3329-36.
- Instituto Nacional de Normalizacion de Chile. NCh 2880. *Compost. Clasificación y requisitos*, 2003, 18–22.
- PALOMINO, M., SÁNCHEZ, Y., MARTÍNEZ, M.M., PEDROZA, A. Evaluación de un inoculante termofílico como acelerador del proceso de compostaje de residuos sólidos municipales realizado en Sogamoso (Boyacá). Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Departamento de Microbiología, Bogotá, Colombia, 2002, 82.

- PIETRONAVE, S., FRACCHIA, L., RINALDI, M., MARTINOTTI, G. Influence of and Abiotic Factors on Human Pathogens in a Finished Compost. *Water Research*, junio, 2004, (38), 1963-70.
- RUEDA, A., RODRÍGUEZ, E., PEDROZA, A., POUTOU, R. Aislamiento, identificación y caracterización de bacterias termófilas aeróbicas, con actividad proteolítica, a partir de pilas de compost en fase termofílica. *Biología y Ciencias de la Salud*, 2002, 1-13.
- TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S. *Gestión integral de residuos sólidos*, vols. 1 y 2, McGraw-Hill, España, 1996, 58-70, 721-40.
- TURNER, C. The Termal Inactivation of *E. coli* in Straw and Pig Manure. *Biosystems Engeneering*, 2001, (84), 1963-70.

Recibido: 11-11-2006

Aceptado: 30-08-2007