

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

EVALUACION PRELIMINAR DE ACTIVADORES BIOLOGICOS PARA EL COMPOSTAJE DE RESIDUOS DE TOMATE

* Patricia Martínez-Nieto¹
Gustavo García-Gómez¹
Germán Sánchez-León¹
Claudia Vargas-Vargas²

*PRELIMINARY EVALUATION OF BIOLOGICAL
ACTIVATORS FOR TOMATO WASTE COMPOSTING*

Recibido el 3 de diciembre de 2013; Aceptado el 19 de junio de 2014

Abstract

Compost activators are microorganisms and nutrients mixtures primarily used to speed up the decomposition of organic, agricultural and industrial wastes and to enhance the biological and nutritional fertilizers quality. This research tested fermented herbal preparations (FHP), native beneficial microbiota captured in rice (NBMR) and cellulolytic, proteolytic and amylolytic microorganisms (CPAM) as biological inoculants added to tomato waste composting in order to evaluate its performance in the degradation of these wastes and fertilizers quality. The shortest degradation was observed with CPAM (78 days), followed by MNBA and FHP (84 days) and finally the uninoculated control (91 days). All fertilizers meet current standards, except the treatment NBMR regarding phytotoxicity test (61%), which had an average value lower than required by international standards ($\geq 90\%$). Although the nutrients concentrations, except boron, were higher in compost with biological activators, there were no significant differences between inoculated and uninoculated compost at $P < 0.05$. Biological inoculants showed to be effective decreasing the composting degradation time of organic material and increasing nutrient content relative to uninoculated compost; however, it is important to continue optimizing the doses to obtain significant results for the improvement of the obtained fertilizers nutritional quality.

Key Words: Biological activators, fermented herbal preparations, microbial inocula.

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), Colombia

² Colegio Provinma, Colombia

* *Autor correspondiente:* Calle 142 No 13-49 interior 2. Conjunto Residencial "El Pórtico", Bogotá, Colombia.

Email: patingli@gmail.com

Resumen

Los activadores del compost son mezclas de microorganismos y nutrientes que se utilizan principalmente para acelerar la descomposición de residuos orgánicos, agrícolas e industriales y a su vez pueden mejorar la calidad nutricional y biológica de los fertilizantes producidos. En esta investigación se ensayaron plantas aromáticas fermentadas (PAF), microbiota nativa benéfica capturada en arroz (MNBA) y microorganismos celulolíticos, proteolíticos y amilolíticos (MCPA) como inoculantes biológicos adicionados a procesos de compostaje de residuos de tomate con el fin de evaluar su desempeño en la degradación de estos residuos y calidad de los abonos producidos. El menor tiempo de degradación se observó con MCPA (78 días), seguido por MNBA y PAF (84 días) y por último el control sin inocular (91 días). Todos los abonos cumplieron con la normatividad vigente, a excepción del tratamiento MNBA con relación a la prueba de fitotoxicidad (61%), el cual obtuvo un valor promedio inferior a lo exigido por normas internacionales ($\geq 90\%$). Aunque las concentraciones de los nutrientes a excepción del boro, fueron mayores en los compost con activadores biológicos, no se presentaron diferencias significativas entre los compost inoculados y no inoculados a un $P < 0,05$. Los inoculantes biológicos mostraron ser eficientes disminuyendo el tiempo de degradación del material orgánico en el proceso de compostaje e incrementando el contenido de nutrientes con relación a los compost no inoculados; sin embargo, es importante seguir optimizando las dosis para obtener resultados significativos con relación al mejoramiento de la calidad nutricional de los abonos obtenidos.

Palabras Claves: Activadores biológicos, Preparaciones herbales fermentadas, Inóculos microbianos.

Introducción

El compostaje es un método eficiente para el manejo sostenible de residuos orgánicos que permite el aprovechamiento del producto final a nivel agroindustrial (Cariello *et al.*, 2007; Kaosol y Wandee, 2009). La variación del proceso depende de muchos factores entre los que se encuentran el volumen y calidad de los residuos, el tamaño de partícula, disposición de la pila, aireación, humedad y población microbiana (Cariello *et al.*, 2007; Azurduy *et al.*, 2009). Una disminución en el periodo de degradación implica menor requerimiento de superficie y menores costos de producción por lo que en el mercado hay diferentes alternativas tecnológicas entre las que se encuentran los aditivos orgánicos. Los activadores biológicos son aditivos o adyuvantes que utilizan nutrientes, cepas seleccionadas de microorganismos, enzimas y plantas medicinales que adicionados al compostaje buscan por diferentes mecanismos acelerar el proceso de degradación permitiendo disminuir el tiempo de compostaje (Barker, 2000; Beidou *et al.*, 2003; Azurduy *et al.*, 2009).

En la agricultura biodinámica se utilizan fermentos de plantas aromáticas, medicinales y la corteza del árbol forestal roble (*Quercus robur* L.) para acelerar y mejorar la calidad nutricional del compostaje de residuos orgánicos vegetales y animales (Carpenter-Boggs *et al.*, 2000). Con este mismo fin a nivel rural se han empleado otros activadores biológicos del compostaje como Té de compost, residuos parcialmente degradados de palma de dátiles, fermentos de cereales y frutas, extracto de levadura, harina de hueso, yogurt, suero de leche y torta de soya, con resultados satisfactorios en la mayoría de los casos (Azurduy *et al.*, 2009; Chilon-Camacho 2010; Naidu *et al.*, 2010; Sadik *et al.*, 2012).

Teniendo en cuenta que el éxito del proceso de degradación de la materia orgánica y la calidad del producto final depende en gran medida de la actividad microbiana, bio-preparados a base de microorganismos o sus enzimas son los activadores biológicos más utilizados principalmente con fines industriales (Beidou *et al.*, 2003; Forrist 2005; Barrena *et al.*, 2006; Cariello *et al.*, 2007; Vargas-García *et al.*, 2007; Kaosol y Wandee, 2009; Ming *et al.*, 2009; Sarkar *et al.*, 2010; Mirdamadian *et al.*, 2011; Quinatoa, 2012; Martínez-Nieto y Chaparro-Rico, 2013). Sin embargo, el uso de estos inoculantes es un tema controversial debido a que mientras algunos investigadores no han encontrado diferencias significativas al comparar con procesos de compostaje sin adición artificial de microorganismos (Barker, 2000; California Integrated Waste Management Board, 2001; Acevedo *et al.*, 2005), otros reportan aceleración de la degradación del material orgánico y mejoramiento de la calidad nutricional y biológica del producto final (Mirdamadian *et al.*, 2011; Martínez-Nieto *et al.*, 2011a; Pan *et al.*, 2012; Martínez-Nieto y Chaparro-Rico, 2013).

Las diferencias encontradas con la inoculación microbiana de acuerdo con varios investigadores se deben a las condiciones en que se lleve a cabo el proceso de compostaje, características de los sustratos a degradar, tiempo de inoculación, cepas microbianas escogidas y dosis utilizadas (Beidou *et al.*, 2003; Barrena *et al.*, 2006; Cariello *et al.*, 2007; Vargas-García *et al.*, 2007; Ming *et al.*, 2009; Martínez-Nieto *et al.*, 2011 a y b; Mirdamadian *et al.*, 2011; Lin *et al.*, 2012; Pan *et al.*, 2012; Quinatoa, 2012). En el mercado latinoamericano existen muchos productos comerciales a base de microorganismos eficientes (EM, por su siglas en inglés) o productores de enzimas como celulosas, proteasas, amilasas, xilanasas y pectinasas (Rueda, 2006; Azurduy *et al.*, 2009; Pacheco, 2009; Quinatoa, 2012). A nivel artesanal se obtienen inóculos microbianos a partir de arroz o hojarasca de bosque semi-descompuesta (Pacheco, 2009; Quinatoa, 2012).

En esta investigación se realizó el análisis preliminar de dos inóculos microbianos y un bio-preparado a base de plantas aromáticas en el compostaje de residuos de tomate, con el fin de evaluar su efecto en la aceleración del proceso de degradación y calidad del compost obtenido.

Materiales y métodos

Residuos utilizados en el proceso de compostaje

El sustrato principal del proceso de compostaje fueron residuos de cosecha de tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill.), los cuales fueron mezclados con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst.) a una proporción de 55:1. Con el fin de mejorar el contenido de macronutrientes y retención de humedad de la mezcla se utilizaron salvado de trigo y cascarilla de arroz como aditivos, para obtener una relación carbono/nitrógeno de 30:1 y un porcentaje de humedad de 56%. En la tabla 1 se observa el contenido de carbono, nitrógeno, humedad y densidad aparente de los sustratos empleados en el proceso de compostaje.

Tabla 1. Contenido de nutrientes, humedad y densidad de los residuos y aditivos utilizados en el proceso de compostaje

Sustratos	Humedad %	Carbono %	Nitrógeno %	Relación C/N	Densidad g cm ⁻³
Tomate	58.09	50.60	1.62	31.23	0.06
Pasto	50.00	41.10	1.09	37.71	0.15
Cascarilla de arroz	11.60	38.50	0.56	68.75	0.19
Salvado trigo	13.44	46.08	2.90	15.89	0.25

Preparación de activadores biológicos

Se utilizaron tres activadores biológicos: plantas aromáticas fermentadas (PAF), microbiota nativa benéfica capturada en arroz (MNBA) y microorganismos celulolíticos, proteolíticos y amilolíticos (MCPA) siguiendo las metodologías de Dolan (2008), Singh (2008), Martínez-Nieto *et al.* (2011b) y Quinatoa (2012) con algunas modificaciones, que se describen a continuación.

La captura de microorganismos benéficos de la rizósfera de árboles de feijoa (*Acca sellowiana* Berg.) se realizó en recipientes que contenían arroz cocido, los cuales fueron enterrados cerca de las raíces de los árboles durante un mes y licuados hasta obtener un litro de bio-preparado madre. El otro inóculo microbiano fue una mezcla de microorganismos celulolíticos, proteolíticos y amilolíticos a una concentración de 10⁸ UFC mL⁻¹, el cual ya había sido usado en otros procesos de compostaje con muy buenos resultados (Martínez-Nieto, 2006; Martínez-Nieto *et al.*, 2011b). La efectividad mostrada por MCPA en los estudios descritos anteriormente condujo a su utilización como tratamiento para comparar su acción con los bio-preparados obtenidos de manera artesanal (PAF y MNBA) en esta investigación.

Los preparados biológicos a partir de las plantas aromáticas, manzanilla (*Matricaria chamomilla* L.), caléndula (*Calendula officinalis* Linn.) y ortiga (*Urtica dioica* L.), se obtuvieron de infusiones en agua estéril fermentadas sin agitación mecánica en bio-reactores de 5 L utilizando el 40 % de su capacidad. Las plantas aromáticas manzanilla y ortiga, son utilizadas por la agricultura biodinámica para obtener compost a partir de residuos vegetales y animales, por eso fueron escogidas en esta investigación (Carpenter-Boggs *et al.*, 2000; Dolan, 2008; Singh, 2008). La caléndula se seleccionó debido a su actividad biocida contra algunos nematodos, hongos e insectos fitopatógenos de importancia económica para la agricultura (Khalid y Teixeira, 2012; Masheva *et al.*, 2012)

En el laboratorio de Fitopatología del Centro de Investigaciones Tibaitatá de CORPOICA se realizaron recuentos microbianos en placa de bacterias, hongos y levaduras de los activadores biológicos PAF y MNBA utilizando los medios agar nutritivo, agar papa dextrosa y agar rosa de bengala. También en este laboratorio determinaron la presencia o ausencia de fitopatógenos mediante características microscópicas, macroscópicas y pruebas bioquímicas (Barnett y Hunter, 1972; Samson *et al.*, 2000; Brenner *et al.*, 2005).

Compostaje bajo condiciones de invernadero

Con base en los contenidos de nutrientes, humedad y densidad, se estableció un diseño experimental con 4 tratamientos y dos repeticiones para un total de ocho pilas de compostaje de 1.04 m³ dentro de un invernadero con una temperatura y humedad relativa promedio/día de 20 °C y 77% durante el experimento. Los tres aceleradores biológicos según tratamiento (T1: MCPA, T2: MNBA, T3: PAF) fueron adicionados a una mezcla de tomate (165 kg), pasto (3 kg), salvado de trigo (3 kg) y cascarilla de arroz (4 kg) a concentraciones del 0.1 % en el caso de los inóculos microbianos y del 0.5 % para los fitopreparados. Las inoculaciones se realizaron durante el montaje, a los ocho y quince días. Adicionalmente se montó un tratamiento control sin adición de biopreparados de plantas o microbianos (T4).

Se realizaron volteos semanales y registros diarios de temperatura con termómetro de punzón, humedad con la prueba del guante y pH con tiras reactivas hasta que todas las unidades experimentales alcanzaron la etapa de curado (olor a tierra húmeda y temperatura igual o ligeramente por encima de la temperatura ambiente (Li *et al.*, 2004; Ge *et al.*, 2006). En la etapa de curado los tratamientos con sus repeticiones fueron tamizados y se les realizó test de fitotoxicidad en rábano (*Raphanus sativus* L.) para confirmar la madurez de los compost producidos (Varnero *et al.*, 2007). Con estos resultados se procedió a la realización de análisis fisicoquímicos completos para compost, metales pesados, Enterobacterias, *E.coli* y *Salmonella* sp. Los resultados permitieron establecer la calidad de los compost producidos con base en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167 expedida por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) (2004) y la normatividad internacional consultada (Washington State Department of Ecology, 1994; Hogg *et al.*, 2002; Instituto Nacional de Normalización de Chile, 2005; Ge *et al.*, 2006). Los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos y aguas del Centro de Investigación Tibaitatá de CORPOICA.

Análisis estadístico

Los datos se trataron estadísticamente mediante un análisis de varianza de una sola vía ($P < 0.05$) y con la prueba de Rango Múltiple de Duncan, para determinar diferencias significativas entre las medias. Para la interpretación de los resultados, los porcentajes fueron transformados utilizando la fórmula $Y = \sqrt[2]{x + 0.5}$, donde, Y son los valores transformados, y x son los porcentajes obtenidos en el experimento, con el fin de reducir el coeficiente de variación y detectar diferencias significativas (Orozco y Thienhaus, 1997).

Resultados y Discusión

Preparación de activadores biológicos

No se aislaron fitopatógenos ni *E. coli* en las infusiones con plantas aromáticas fermentadas y en el inóculo MNBA. Las concentraciones de bacterias, hongos y levaduras oscilaron entre 10²-10³,

10^2 y 10^1 - 10^2 UFC mL⁻¹ respectivamente, en el activador biológico PAF; mientras que en el MNBA las concentraciones de los microorganismos estuvieron en los siguientes valores 10^6 , 10^4 y 10^2 UFC/mL, respectivamente para bacterias, hongos y levaduras.

Las tasas de inoculación bacteriana de las preparaciones biodinámicas herbales usadas como aditivos de compost, fueron estimadas por Carpenter-Boggs *et al.* (2000) aproximadamente en 10^3 UFC g⁻¹ de compost, las cuales son más altas de las adicionadas en esta investigación, posiblemente debido a que estos compuestos son fermentados en tejidos animales durante el invierno en el caso de la manzanilla y para la ortiga se entierran en suelo todo un año (Carpenter-Boggs *et al.*, 2000; Biodynamic Agriculture Australia Ltd, 2013). Mientras que en los MNBA los recuentos bacterianos están dentro del rango para los inoculantes conocidos como EM, que oscilan entre 10^4 y 10^8 células mL⁻¹ (Khan *et al.*, 2006; Sivasubramanian y Raja, 2013).

En próximos estudios se deben incrementar las poblaciones microbianas principalmente en las preparaciones herbales fermentadas ya que se han observado efectos positivos sobre el compostaje cuando las poblaciones microbianas son superiores a 10^6 UFC mL⁻¹ (Barrena *et al.*, 2006; Cariello *et al.*, 2007; Martínez-Nieto *et al.*, 2011 y 2013).

Compostaje bajo condiciones de invernadero

El tiempo del proceso de compostaje hasta obtener un producto maduro fue menor en los tratamientos inoculados en comparación con el tratamiento sin adición de biopreparados. Los residuos inoculados con MCPA fueron los que más pronto llegaron a la fase de maduración con un tiempo total de degradación de 78 días seguido por PAF y MNBA (84 días) y por último el control sin inocular con 91 días. Los resultados del uso de inóculos microbianos u otros activadores biológicos en procesos de compostaje son variados, mientras unos investigadores han observado aceleración del proceso otros no han evidenciado ningún efecto en comparación con pilas no inoculadas (Barker, 2000; California Integrated Waste Management Board, 2001; Cariello *et al.*, 2007; Azurduy *et al.*, 2009; Sadik *et al.*, 2010; Mirdamadian *et al.*, 2011; Gaind, 2013; Martínez-Nieto *et al.*, 2013). En muchas investigaciones se ha observado que el efecto de los inoculantes biológicos depende de las condiciones del proceso de compostaje, características fisicoquímicas de los residuos, composición de los inoculantes, prevalencia de las cepas inoculadas durante el proceso de degradación, dosis utilizadas y tiempo de inoculación (Beidou *et al.*, 2003; Barrena *et al.*, 2006; Vargas-García *et al.*, 2007; Kaosol y Wandee, 2009; Ming *et al.*, 2009; Pacheco, 2009; Chilon, 2010; Martínez-Nieto *et al.*, 2011 a y b; Mirdamadian *et al.*, 2011; Lin *et al.*, 2012; Pan *et al.*, 2012; Quinatoa, 2012).

El mayor incremento de temperatura fue de 55 °C en el centro de las pilas del tratamiento con fitopreparados (T3) al segundo día de montado el experimento. En los otros tratamientos el mayor incremento de temperatura registrado fue de 50 °C al segundo día de montadas las pilas, a excepción del T4 (sin inoculación) que presentó este valor hasta el cuarto día. La medida

de las pilas utilizadas en esta investigación pudo ser una de las causas para que los tratamientos no logran una temperatura igual o mayor a 55 ° C por más de un día, debido a que tamaños inferiores a 2m² de base presentan fuertes fluctuaciones de temperatura debido a la incapacidad del sistema para alcanzar un equilibrio adecuado entre el calor generado por los microorganismos y las pérdidas por conducción, convección y radiación (Trautmann y Krasny, 1997).

Un factor limitante en esta investigación fue la baja humedad que se manejó durante todo el proceso de compostaje y que pudo también influenciar en los picos de temperatura obtenidos, debido a que humedades debajo de 40 % disminuyen la acción de los microorganismos y a porcentajes menores de 35% esta es limitada (Trautmann y Krasny, 1997). Los compost curados presentaron humedades finales entre 8,4-8,6%, valores que se encuentran dentro de los rangos permitidos por la NTC 5167 (ICONTEC, 2004) (Tabla 2).

Aunque la NTC 5167 no exige el test de fitotoxicidad (ICONTEC, 2004), es una prueba de madurez en países como Australia, Chile, Canadá y Estados Unidos (Washington State Department of Ecology, 1994; Hogg *et al.*, 2002; Instituto Nacional de Normalización de Chile, 2005; Ge *et al.*, 2006). Por tal razón se realizó en esta investigación, encontrando que la mayoría de tratamientos estuvieron dentro de los valores permitidos ($\geq 90\%$) por la normatividad consultada, a excepción de T2 (Tabla 2). Teniendo en cuenta que un alto contenido de sales puede inhibir la germinación de algunas semillas en todas las etapas de curado (Sullivan y Miller, 2001; Martínez-Nieto *et al.*, 2011b), se evaluaron pruebas adicionales como características sensoriales (olor a tierra húmeda), relación carbono/ nitrógeno, temperatura final que mostraron la madurez de T2. Los otros parámetros evaluados estuvieron dentro de los límites exigidos por la NTC 5167 (ICONTEC, 2004) (Tabla 2).

Los tratamientos inoculados presentaron mayor concentración de nutrientes totales, a excepción del boro, pero no hay diferencias significativas entre tratamientos con aditivos biológicos y el control sin inocular ($P < 0.05$) (Tabla 2). Los compost provenientes de T1 presentaron mayores concentraciones de P₂O₅, MgO, Na, S, Fe y Cu; mientras T2 de K₂O, CaO, Mn y Zn, y T3 de N (Tabla 2). Las concentraciones de macronutrientes se incrementaron entre 0.06-1g con la inoculación biológica y los micronutrientes entre 0.001-0.42g. La utilización de EM[®] en Vietnam incrementó las concentraciones de macronutrientes totales como N, P₂O₅ y K₂O en 0.05g, sin diferencias significativas entre pilas inoculadas y sin adición de microorganismos; mientras que si se presentaron diferencias significativas con relación a concentraciones disponibles de estos elementos (Rueda, 2006). Un estudio realizado con abonos provenientes de pilas de compostaje con 2% de un inóculo microbiano nativo, mostraron un aumento de 0.13g en N total en comparación con el control sin inoculación microbiana; mientras que para las otras dosis y activadores biológicos las concentraciones de N estuvieron por debajo del control (Martínez-Nieto *et al.*, 2011a). Otro estudio realizado por

Martínez-Nieto *et al.* (2011b) no encontró diferencias significativas para nutrientes como P2O5 y K2O como en esta investigación, pero sí para N en compost inoculados con MCPA en comparación con pilas no inoculadas. Carpenter-Boggs *et al.* (2000) observaron incrementos del 65% en el contenido de nitrato de pilas con preparaciones biodinámicas en comparación con las no tratadas, pero no hubo diferencias estadísticas para N total, P2O5 y K2O disponibles.

Tabla 2. Análisis de calidad realizado a los abonos obtenidos en los diferentes tratamientos bajo condiciones de invernadero

Parámetros evaluados	Unidad	Tratamientos				NTC 5167 (ICONTEC, 2004)
		MCPA	MNBA	PAF	Sin inoculación	
pH		8.5	8.6	8.7	8.6	4-9
Humedad	%	8.6	8.5	8.6	8.4	≤35 %
Densidad	g cm ⁻³	0.5	0.4	0.4	0.4	≤0.6
Carbono orgánico	%	32.3	32.6	35.2	33.6	≥15
Cenizas	%	26.4	25.5	28.1	31.1	≤60
N	%	2.52	2.67	3.30	3.10	Declarar
P2O5	%	1.37	1.17	1.33	1.26	en
K2O	%	1.03	1.33	1.11	1.27	Etiqueta
MgO	%	1.24	1.12	0.92	1.00	si es
CaO	%	3.48	4.03	3.25	3.03	>1
Na	%	0.77	0.74	0.52	0.63	-----
S	%	2.24	1.87	1.86	1.82	-----
Mn	%	0.088	0.089	0.069	0.070	-----
Fe	%	0.25	0.17	0.20	0.16	-----
Cu	%	0.012	0.010	0.004	0.011	-----
Zn	%	0.028	0.029	0.026	0.025	-----
B	%	0.0087	0.0087	0.0081	0.0098	-----
CIC	cmol kg ⁻¹	61.0	109.1	87.4	91.7	≥30
CE	dS m ⁻¹	45.9	35.2	37.0	35.8	
Relación C/N		12.8	12.2	10.7	10.8	≤25
Fitotoxicidad	%	100	61	96	100	≥90
Metales pesados						
Arsénico	mg kg ⁻¹	0.334	0.398	0.402	0.281	≤41
Cromo	mg kg ⁻¹	4.7	5.1	3.3	3.2	≤1200
Mercurio	mg kg ⁻¹	<0.035	<0.035	<0.035	<0.035	≤17
Níquel	mg kg ⁻¹	<0.108	<0.108	<0.108	<0.108	≤420
Reducción material orgánico	%	65	66	63	61	≥60
Impurezas						
Plástico, metal caucho <0,2	%	0	0	0	0	<0.2
Vidrio > 2mm	%	0	0	0	0	<0.02
Piedras > 5mm	%	0	0	0	0	<2
Vidrio > 16 mm	Detección	No	No	No	No	No
Patógenos						
Enterobacterias	UFC g ⁻¹	600	200	100	100	< 1000 UFC g ⁻¹
<i>E. coli</i>	Detección	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
<i>Salmonella</i> sp.	Detección	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente 25 g

De acuerdo con los resultados encontrados en esta investigación y en otros trabajos, la disminución en el tiempo de degradación y el incremento en la concentración de nutrientes por adición de inoculantes dependen de muchos factores entre los que se encuentran la composición, dosis y tiempo de inoculación de los activadores biológicos utilizados, mezcla de residuos y evolución de parámetros físicos como temperatura y humedad (Barrena *et al.*, 2006; Vargas-García *et al.*, 2007; Cariello *et al.*, 2007; Kaosol y Wandee, 2009; Ming *et al.*, 2009; Martínez-Nieto *et al.*, 2011 a y b; Mirdamadian *et al.*, 2011; Lin *et al.*, 2012; Gaiind, 2013; Martínez-Nieto y Chaparro-Rico, 2013).

Conclusiones

Aunque no se presentaron diferencias significativas a nivel estadístico, los inoculantes biológicos empleados en este estudio disminuyeron el tiempo de residencia del material a degradar entre 7 a 13 días y aumentaron la concentración de nutrientes en mayor o menor grado (5,4-33%) en comparación con el control sin adición de biopreparados, mostrando que tecnologías de bajo costo como los microorganismos capturados en arroz y las plantas aromáticas fermentadas pueden ser una alternativa para la producción no industrial de abonos orgánicos mediante técnicas de compostaje. Sin embargo, se debe seguir investigando con estos activadores biológicos para optimizar su desempeño en la obtención de compost de mejor calidad nutricional y biológica en el menor tiempo posible.

Referencias bibliográficas

- Acevedo, M., Acevedo, L., Restrepo-Sánchez, N. and Peláez, C. (2005) The inoculation of microorganisms in composting processes: need or commercial strategy?, *Livestock Research for Rural Development*, **17**(12). Acceso Agosto 2013, desde: <http://www.lrrd.org/lrrd17/12/acev17145.htm>
- Azurduy, S. N., Ortuño, N. y Azero, M. (2009) Evaluación de activadores orgánicos para acelerar el proceso de compostaje de residuos orgánicos en el Municipio de Quillacollo. Consultado en septiembre 2013, desde: <http://www.proinpa.org/phocadownload/articulos/Bioinsumos/evaluacion%20de%20activadores%20organicos%20para%20acelerar%20el%20proceso%20de%20compostaje%20de%20residuos%20organicos%20en%20el%20municipio%20de%20quillacollo.pdf>
- Barker, A.V. 2000. Evaluation of Activators for Composting. *HortScience*, 35 (3). Consultado en septiembre 2013, desde: <http://hortsci.ashspublications.org/content/35/3/460.1.abstract>
- Barnett, H.L. y Hunter, B.B. (1972) *Illustrated Genera of imperfect fungi*, Burges Publishing Company, Minneapolis, 241pp.
- Barrena, R., Pagans, E., Faltys, G. and Sánchez A. (2006) Effect of inoculation dosing on the composting of source-selected organic fraction of municipal solid wastes, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **81** (3), 420-425.
- Beidou, X., Wei, M., Hongliang, L., Guohe, H., Guangming, Z. and Oi, W. (2003) The variation of inoculation complex microbial community in three stages MSW composting process controlled by temperature, *Chinese Journal of Environmental Science*, **24**, 152-155.
- Biodynamic Agriculture Australia Ltd. 2013. What are the Biodynamic Preparations? Consultado en agosto de 2013, desde: <http://biodynamics.net.au/about-biodynamics/what-are-the-biodynamic-preparations/>

- Brenner, D.J., Krieg, N.R., Garrity, G.M. and Staley, J.T. (2005) *The Proteobacteria : Bergey's Manual of Systematic Bacteriology.*, Vol. II, Springer, New York, 1388 pp.
- California Integrated Waste Management Board. (2001) Compost Microbiology and the soil food web. Consultado en Julio de 2013, desde <http://www.calrecycle.ca.gov/publications/Organics/44200013.doc>
- Cariello, M.E., Castañeda, L., Riobo, I. y González, J. (2007) Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, **7**(3), 26-37.
- Carpenter-Boggs, L., Reganold, J. P. and Kennedy, A. C. (2000) Effects of biodynamic preparations on compost development, *Biological Agriculture and Horticulture*, **17**, 313-328.
- Chilon-Camacho, E. (2010) Compostaje alto andino, suelo vivo y cambio climático, *CienciAgro*, **2** (1), 221-227.
- Dolan, P. (2008) Biodynamic Preparations. Consultado en Agosto de 2013, desde: http://www.pauldolanwine.com/pdf/PDV_PrepsChart.pdf
- Forrist, L. (2005) Efficient Microbes (EM)[™]: Product Information and Usage. <http://edenbound.com/pdf/scd/EM-Handbook.pdf> Acceso Agosto 2013
- Gaind, S. (2013) Accelerators for composting. Consultado en septiembre de 2013, desde <http://www.biotecharticles.com/Agriculture-Article/Accelerators-For-Composting-2986.html>
- Ge, B., McCartney, D. and Zeb, J. (2006) Compost environmental protection standards in Canada, *Journal of Environmental Engineering and Science*, **5**, 221-234.
- Hogg, D., Barth, J., Favoino, E., Centemero, M., Caimi, V., Amlinger, F., Devliegher, W., Brinton, W. and Antler, S. (2002) *Review of Compost Standards in Australia*, Nation Specific Supplement 16, Supplement to Main Report: Comparison of Compost Standards Within the EU, North America and Australasia, The Waste and Resources Action Programmer (WRAP), Banbury, 11pp.
- ICONTEC. (2004) Norma Técnica Colombiana 5167: Productos para la industria agrícola: Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo, ICONTEC, Bogotá, 40 pp.
- Instituto Nacional de Normalización de Chile. (2005) Norma Chilena Oficial NCh 2880: Compost, clasificación y requisitos, INN, Santiago, 19pp.
- Kaosal, T. and Wandee, S. (2009) Cellulolytic Microbial Activator Influence on Decomposition of Rubber Factory Waste Composting, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, **58**, 74-79.
- Khalid, A. and Teixeira J.A. (2012) Biology of *Calendula officinalis* Linn: Focus on Pharmacology, Biological Activities and Agronomic Practices. *Medical and Aromatic Plant Science and Biotechnology*, **6** (1), 12-27.
- Khan, B. M., Hossain, M. K. and Mridha, M. A. U. (2006) Growth Performance of *Cassia fistula* L. seedlings as affected by formulated Microbial Inoculant. *Bangladesh Journal of Botany*. **35**(2), 181-184.
- Li, H.F., Imai, T., Ukita, M., Sekine, M. and Higuchi T. (2004) Compost Stability Assessment Using a SecondaryMetabolite: Geosmin. *Environmental Technology*, **25**(11), 1305-1312.
- Lin, Z., Ning, P. and Liu, Z. (2012) Microbial inoculants of environmental material in the compost application research progress. *Advanced Materials Research*, **534**, 230-234.
- Martínez-Nieto, P. (2006) Compostaje de elodea, residuos de cebolla y gallinaza, en *Avances de resultados de investigación en cebolla de rama en Aquitania*, Boyacá, Herrera C., Sánchez G. y Peña V. editores, Produmedios, Bogotá, 27-40.
- Martínez- Nieto, P., Bernal-Castillo, J., Calixto- Díaz, M., Del Basto- Riaño, M.A. and Chaparro- Rico, B. (2011a) Biofertilizers and Composting Accelerators of Polluting Macrophytes of a Colombian Lake, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, **11** (2), 47-61.
- Martínez- Nieto, P., García-González, D., Silva-Bonilla, P.S., Vargas-Chaparro, G.. y Valderrama-Escallón, F. (2011b) Manejo de residuos generados directa o indirectamente por el cultivo de cebolla en Aquitania (Boyacá-Colombia), *Revista AIDIS*, **4**(2), 23 - 34.
- Martínez-Nieto, P. y Chaparro-Rico B. 2013. Microorganismos benéficos para el compostaje de macrófitas invasoras de la laguna colombiana de Fúquene. *Revista AIDIS*, **6**(1), 73-88.
- Masheva, S., Yankova, V. and Toskov, G. (2012) Plant species screening for biofumigant activity against soil-borne pathogens and root-knot nematodes, *Agricultural Science and Technology*, **4** (2), 139-142.

- Ming, G., Li, H., Lian, D., Zhong, X., Qing, R., Yu, M., Yan, H., Chao, J., You, R. and Lan, X. (2009) Effect of inoculating white-rot fungus during different phases on the compost maturity of agricultural wastes, *Process Biochemistry*, **44**(4), 396-400.
- Mirdamadian, S.H., Khayam-Nekoui S.M. and Ghanavati, H. (2011) Reduce of Fermentation Time in Composting Process by Using a Special Microbial Consortium, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, **52**, 533-537.
- Naidu, Y., Meon, S., Kadir, J. and Siddiqui Y. (2010) Microbial starter for the enhancement of biological activity of compost tea, *International Journal of Agriculture and Biology*, **12**: 51-56
- Pan, I., Dam, B. and Sen, S. K. (2012) Composting of common organic wastes using microbial inoculants, *3 Biotech*, **2** (2):127-134.
- Pacheco, F. (2009) *Evaluación de la eficacia de la aplicación de inóculos microbiales y de Eissenia fetida en el proceso de compostaje doméstico de desechos urbanos*. Magister Agro Biología Ambiental. Universidad pública de Navarra, España. 89 p
- Quinatoa, M. J. (2012) *Estandarización del proceso de producción de compost con fines comerciales utilizando tres fuentes de inóculo con la Asociación Santa Catalina del Cantón Pillaro*. Ingeniería Agronómica. Universidad Técnica de Ambato. San Juan Bautista de Ambato, Ecuador. 99 p
- Rueda P. A. (2006) Compostaje con la tecnología EM. Consultado en agosto de 2013, desde: <http://www.fundases.org/userfiles/file/boltin06.pdf>
- Sadik, M.W., El Shaer, H.M. and Yakot H. M. (2010) Recycling of Agriculture and Animal Farm Wastes into Compost Using Compost Activator in Saudi Arabia, *Journal of International Environmental Application and Science*, **5** (3), 397-403.
- Sadik, M.W, Al Ashhab, A.O., Zahran, M.K. and Alsaqan, F.M. (2012) Composting mulch of date palm trees through microbial activator in Saudi Arabia, *International Journal of Biochemistry and Biotechnology*, **1**(5), 156-161.
- Samson, R.A., Hoekstra, E.S., Frisvad, J.C. and Filtenborg, O. (2000) *Introduction to food and airborne fungi*, CBS, Utrecht, 389pp.
- Sarkar, S., Banerjee, R., Chanda, S., Das, P., Ganguly, S. and Pal, S. (2010) Effectiveness of inoculation with isolated Geobacillus strains in the thermophilic stage of vegetable waste composting, *Bioresource Technology*, **101**(8), 2892 - 2895.
- Singh, A. (2008) Biodynamic Farming. Where Spirit Matters. Consultado en Agosto de 2013, desde: <http://www.cog.ca/documents/TCOG/08Spring-BiodynamicsSpring08.pdf>
- Sivasubramanian, S. and Raja, S. K. (2013) Evaluation of phenol degradation by effective microorganism (EM) technology with EM-1. *African Journal of Microbiology Research*, **7**(32), 4117-4122.
- Sullivan D and Miller R. (2001) Compost Quality attributes. En: Compost Utilization in horticultural cropping systems. Stofella P. and Khan B. editores, Lewis Publishers, Boca Raton, 96-121.
- Trautmann, N. and Krasny, M.E. (1997) Composting in the classroom: Scientific Inquiry for High School Students, Nature Science Foundation, Cornell Waste Management Institute and Cornell Center for the Environment, Ithaca, 116pp.
- Vargas-García, M.C., Suárez-Estrella, F., López, M.J. and Moreno, J. (2007) Effect of inoculation in composting processes: Modifications in lignocellulosic fraction, *Waste Management*, **27**(9), 1099-1107.
- Washington State Department of Ecology. (1994) Interim guidelines for compost quality. Consultado en agosto de 2013, desde: <http://mie.esab.upc.es/ms/informacio/legislacio/EPA/Guidelines%20Compost%20quality%20TYLER.pdf>