

EFECTO DE ACTIVADORES SOBRE LA CALIDAD DE COMPOSTS ELABORADOS CON CACHAZA Y BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Effects of activators on the quality of composts elaborated with sugarcane filter cake and bagasse.

Cecilia Madrid y Yelitza Castellanos ¹

¹ Universidad de Los Andes, Núcleo "Rafael Rangel", Dpto. Ciencias Agrarias, Trujillo Venezuela. Fax. 072-362177.

Resumen

Para evaluar el efecto de los activadores sulfato de amonio (S), polienzima (P) y multienzima (M) en el compostaje, se combinaron desechos de la agroindustria de la caña de azúcar: cachaza (C) con bagazo (B) en una proporción 10 a 1, a los cuales se agregaron los activadores antes mencionados, para un diseño de cuatro tratamientos o cúmulos, según el siguiente esquema: CB, CBS, CBSP y CBSM. Se midieron las características físicas, químicas de los composts y la germinación del mastuerzo (*Lepidium virginicum*). Se observaron temperaturas en el rango termófilo (45-60 °C) desde el inicio hasta la finalización del ensayo (60 días). No se cumplió la etapa final de enfriamiento requerida para la adecuada humificación de la materia orgánica debido a la excesiva altura de los cúmulos. CB mantuvo porcentajes de humedad óptimos para la actividad degradativa debido a una mezcla más eficiente de los residuos. El carbono orgánico y C/N aumentaron al avanzar el compostaje; esta falla es atribuible a errores de muestreo. Ocurrieron cuantiosas pérdidas por volatilización del amoníaco, siendo más acentuadas al añadir sulfato. Los valores de N-NH₄⁺, conductividad eléctrica y cenizas a los 60 días resultaron superiores en los tratamientos CBS, CBSP y CBSM que en CB. Las enzimas incrementaron la solubilidad del P, Ca y Mg respecto al control, de manera similar al añadir solamente sulfato. Los activadores no mejoraron la disponibilidad del potasio y el grado de humificación respecto al control. Los composts presentaron pH ligeramente ácidos, bajos contenidos de N, P, Ca y concentraciones de N-NH₄⁺ próximas a la fitotoxicidad. Sin embargo, la conductividad eléctrica fue baja y no inhibieron el índice de germinación del mastuerzo.

Palabras clave: Compostaje, cachaza, bagazo, humificación, multienzimas.

Abstract

In order to evaluate the effect of the following compost activators: ammonium sulphate (S), polienzime (P), multienzime (M) on the composting; the sugarcane industry wastes filter-cake (C) and bagasse (B) were mixed in the proportion 10 to 1 with the activators above mentioned. Four treatments were designed: CB, CBS, CBSP and CBSM. The physical and chemical characteristics and the germination of mastuerzo (*Lepidium virginicum*) were measured. Thermophilic temperatures ranging from 45-60° C were observed from the beginning to the end of the trial (60 days). The cooling final stage necessary for an adequate humification was not fulfilled due to the heap excessive height. Treatment CB kept good moisture percentage for the degradation activity due to a more efficient waste mixture. As the composting process advanced the organic carbon and C/N increased, which is interpreted as an effect of sampling errors. There was very high lost of ammonia by volatilization, this lost was greater when sulfate was added. The values of N-NH₄⁺, electric conductivity and ashes measured at 60 days were higher in the CBS, CBSP and CBSM treatments than in the CB one. The enzymes increased the solubility of phosphorus, calcium and magnesium in relation to the control, but these values were similar in the cases where only sulfate is added. The activators improved neither the availability of potassium nor the humification degree in relation to the control. The resulting composts had pH slightly acid, low values of nitrogen, phosphorus, calcium, concentrations of N-NH₄⁺ that almost reached toxicity levels. However, the salt concentration was low and the seeds germination index was not inhibited.

Key words: composting, filter cake, bagasse, humification, multienzime.

INTRODUCCIÓN

La acumulación de desechos orgánicos producidos por la actividad humana bien sea agrícola, industrial o doméstica, causa deterioro del paisaje, contaminación del ambiente y problemas sanitarios.

La agroindustria de la caña de azúcar genera, por cada tonelada de tallos molidos, 250 kg de bagazo, 6 kg de cenizas, 45 kg de melaza y 30 kg de cachaza (Quintero, 1994). La cachaza o bagacillo es acumulada en los alrededores de la fábrica causando efectos ambientales adversos, por lo cual, debe

trasladarse a campos marginales; esta labor ocasiona cuantiosos gastos a las factorías azucareras.

Es posible convertir los residuos orgánicos en biofertilizantes de excelente calidad agrícola mediante la técnica del compostaje. Esta práctica antigua, consiste en la biodegradación aeróbica de la materia orgánica bajo condiciones controladas. Si se controlan adecuadamente los factores del compostaje, se obtiene al final del proceso de descomposición un compost maduro, el cual, es un abono orgánico altamente humificado, seguro desde el punto de vista sanitario, libre de sustancias fitotóxicas y los nutrientes que contiene estarán disponi-

bles para las plantas después de un proceso gradual de mineralización (Datzell *et al*, 1991; Costa *et al*, 1991).

Teniendo en cuenta que la incorporación de residuos orgánicos frescos al suelo causa daños a las plantas, debido a que al inicio del proceso de descomposición se liberan fitotoxinas, aumenta la temperatura, disminuye la concentración de oxígeno y la biodisponibilidad del nitrógeno (Senesy, 1989; Eghball *et al*, 1997), y a la lenta descomposición inicial de la cachaza; Eng *et al* (1992) han estudiado la biodegradación de este desperdicio orgánico mediante la técnica del compostaje y refieren que es posible obtener un biofertilizante de adecuado grado de madurez, después de 10 a 12 semanas de haberse iniciado el proceso. El Central azucarero La Pastora, estado Lara, produce diariamente 150 a 200 Mg de cachaza, por lo cual se requiere acelerar el proceso del compostaje de este residuo azucarero a través del uso de activadores. Se hace necesario estudiar como la aplicación de estos activadores influyen las propiedades de los composts con miras a satisfacer los requerimientos agrícolas. En este sentido se realizó esta experiencia, cuyo objetivo fue evaluar el efecto de los activadores del compostaje: sulfato de amonio y mezclas enzimáticas comerciales, sobre la calidad de composts de cachaza y bagazo a través de la medición de las características físicas, químicas y respuestas biológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevo a cabo en la Planta de Biofertilizantes del Central La Pastora en el estado Lara. Se utilizaron 120 Mg de cachaza, 12 Mg de bagazo, 600 kg de sulfato de amonio, 2,5 Kg de polienzima y 2,5 Kg de multienzima. Estas mezclas enzimáticas fueron suministradas por una casa comercial que no ofrece información detallada sobre la composición de la polienzima, sin embargo, el catálogo de la multienzima señala que esta constituida por: amilasas, celulasas, lactasas, lipasas, pancreasas, proteasas, fosforilasas, invertasas, otras enzimas y anillos de unión. Se aplicó una dosis de sulfato de amonio al 0,6 por ciento y las mezclas enzimáticas al 0,076 por mil; se mezclaron los activadores con la masa de desechos mediante volteo mecanizado. Se conformaron cuatro cúmulos de forma cónica de 3 metros de altura y la base aproximadamente circular. A cada cúmulo se asignó un tratamiento, las dimensiones de la unidad experimental o cúmulo limitaron su replicación. En el cuadro 1, se expresan la proporción de los residuos orgánicos y activadores correspondientes a cada tratamiento.

Los residuos se voltearon cada 10 días. Por razones de logística el cúmulo 1 se mezcló con tractor y pala incorporada, el resto de tratamientos con cargador frontal (pyloader). No se aplicó riego. Para obtener el perfil de temperatura se tomaron mediciones diarias a 20 y 40 cms de profundidad del cúmulo. La humedad se midió al momento de voltear los cúmulos, gravimétricamente mediante la pérdida de peso después de secado a estufa. El experimento duró 60 días. Las características químicas se cuantificaron al inicio, 30 y 60 días de compostaje.

Cuadro 1. Componentes orgánicos y activadores mezclados en

cada tratamiento.

Tratamiento	Cachaza (Kg)	Bagazo (Kg)	Sulfato de Amonio (kg)	Polienzima (Kg)	Multienzima (Kg)
CB	30.000	3.000	--	--	--
CBS	30.000	3.000	200	--	--
CBSP	30.000	3.000	200	2,5	--
CBSM	30.000	3.000	200	--	2,5

C =cachaza, B = Bagazo, S = Sulfato de Amonio, P= Polienzima, M = Multienzima.

micas se cuantificaron al inicio, 30 y 60 días de compostaje.

El carbono orgánico (CO) se determinó por digestión ácida (Ciavatta *et al*, 1989), el nitrógeno total (Nt) según Kjeldhall (Chapman, 1981), el nitrógeno amoniacal (Na) por destilación del amoníaco y titulación con HCl standard (Tinkell, 1961), para determinar el fósforo la muestra se digirió con la mezcla nítrico:perclórica (1:1) y el fosfato se determinó por el método colorimétrico basado en la producción de un complejo azul molibdato y el anión ortofosfato en solución ácida (Chapman, 1981), el calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) por absorción atómica (Rodier, 1981), la conductividad eléctrica por electrometría en extracto acuoso 1:5, el porcentaje de cenizas por calcinación a 600 ° C. Se replicaron cuatro veces los análisis químicos en una muestra compuesta, constituida por cuatro sub muestras de la pila.

La relación ácidos húmicos/fulvicos (AH/AF), que indica el grado de humificación de la materia orgánica, se determinó en base a la solubilidad diferencial en ácidos y álcalis (Stevenson, 1982).

Para evaluar la respuesta biológica de acuerdo al grado de maduración de la materia orgánica, se estableció un bioensayo a los 60 días, el cual, consistió en hacer germinar semi-llas de mastuerzo (*Lepidium virginicum*) en extractos acuosos de los composts. La mezcla compost-agua (40 g.l⁻¹) se dejo reposar 30 minutos, se centrifugó a 3500 rpm, se filtró en papel Whatman 42. Para comparar efectos se hizo un extracto con excreta de conejo fresca. Se colocaron en cápsulas de Petri, 10 semillas y se agregaron 0.5 ml del filtrado al 30%. Se replicaron 4 veces los tratamientos. Se midió a las 48 horas el porcentaje de germinación y longitud radicular referidos al control con agua destilada, este producto se dividió entre 100 obteniéndose el Índice de Germinación creado por Zucconi (Ayuso *et al*, 1992). Si el índice es ≥ 50 , la maduración es adecuada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El perfil de temperatura del cúmulo de composts es un factor que orienta sobre la evolución del proceso de compostaje. En la figura 1, se visualiza como un día después de elaborados los cúmulos, las temperaturas en todos los tratamientos se ubicaron en el rango termofílico (45-60° C). En esta etapa ocurre la biooxidación acentuada de la materia orgánica lábil (Peireira y Stentiford, 1992).

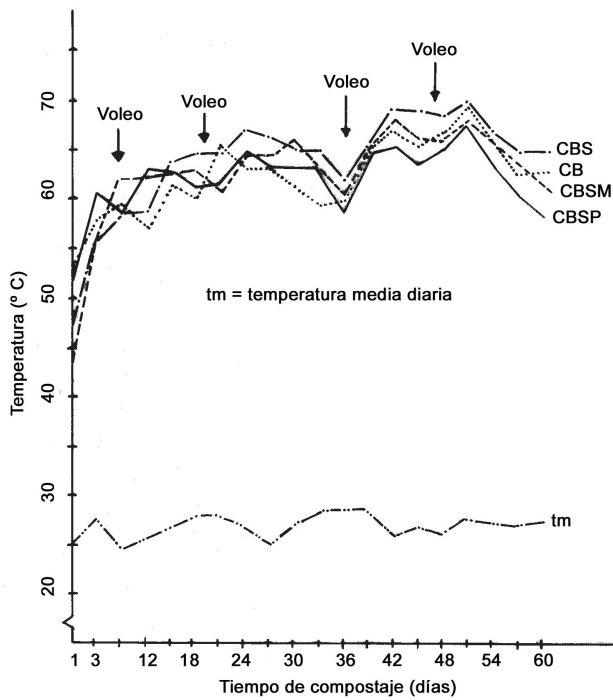


Figura 1. Temperatura desarrollada durante el tiempo de compostaje.

Desde los 18 hasta los 36 días las temperaturas superaron el límite biológico 55-60 °C (Walter *et al.*, 1992). A partir de los 51 días comenzaron a disminuir; sin embargo, al finalizar el período experimental, persistieron valores en el rango termofílico indicando que los componentes orgánicos se encontraban aún en la fase de máxima biodegradación aeróbica. No se observó la etapa final de enfriamiento o maduración de los residuos requerida para los procesos de humificación de la materia orgánica, en la cual la temperatura toma valores inferiores a 40° C. Poincelott (1972) afirma que un aspecto decisivo para la adecuada maduración y pasteurización del compost, es el cumplimiento satisfactorio de las fases termofílica, mesofílica y de enfriamiento posterior en el perfil de temperatura durante el proceso de compostaje.

La configuración geométrica de las pilas es el factor que mas afecta el comportamiento de la temperatura. Las elevadas temperaturas observadas en este ensayo, obedecen al desajuste entre la altura y la sección transversal del cúmulo. Pereira y Stentiford (1992), recomiendan en estos casos de sobrecalentamiento, reducir estas dimensiones para permitir la pérdida de calor y controlar la evolución de la temperatura. Eng *et al.* (1992) compostaron cachaza en pilas de 1 metro de alto y 2 de ancho, observaron la fase termofílica a las 5-7 semanas de compostaje y la etapa de enfriamiento o maduración, en la cual la temperatura retoma sus valores iniciales, después de 11-12 semanas.

Los niveles de humedad en los tratamientos 2, 3 y 4, ilustrados en la figura 2, presentaron una tendencia similar durante el período de experimentación, siendo fuertemente afectado

por las precipitaciones ocurridas a los 29 días de compostaje. A partir de esta fecha, la humedad disminuyó pero de una manera menos acentuada en el tratamiento 1.

Como en todos los casos se mezclaron igual proporción de cachaza y bagazo, la respuesta de CB parece atribuirse al uso de tractor con pala incorporada para airear los residuos, este equipo de volteo brindó mayor uniformidad a la masa total y las muestras colectadas respecto al pyloader. A partir de los 40 días, la humedad cayó por debajo del rango 40-60 %, considerado óptimo para los microorganismos y para la actividad de la multienzima, según recomienda el catálogo comercial que ofrece este insumo.

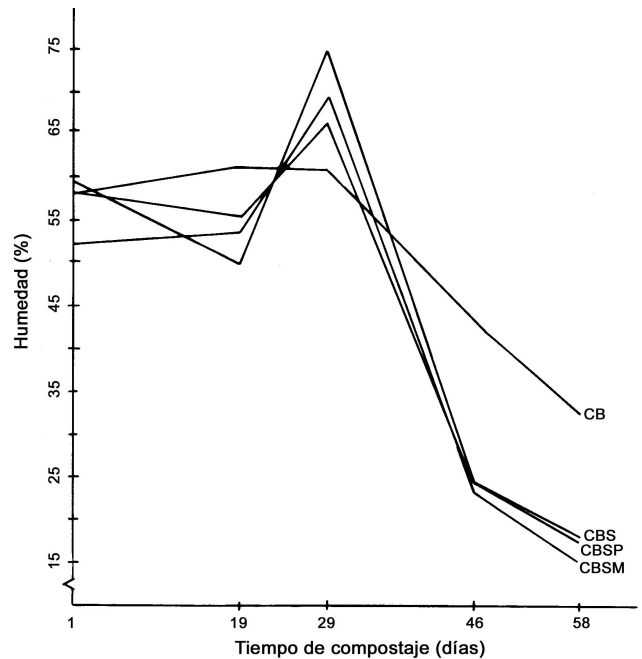


Figura 2. Humedad durante el tiempo de compostaje.

Al avanzar el período de compostaje el contenido de carbono orgánico (CO) debe disminuir debido a su mineralización. Los resultados obtenidos en esta investigación no siguen ese comportamiento. Mientras que las elevadas temperaturas y el aumento del porcentaje de ceniza orientan sobre una intensa actividad biodegradativa del carbono orgánico, el continuo incremento de esta característica química indica lo contrario (Cuadro 2).

Estos resultados atípicos podrían atribuirse a errores de muestreo en unidades experimentales demasiado grandes y heterogéneas.

A los 60 días no se observaron marcadas diferencias en el porcentaje de carbono orgánico (CO) entre tratamientos, los valores obtenidos, entre 39,7 y 43,1%, son superiores al 15 % referido por Eng *et al.* (1992) en composts de cachaza, aunque son comparables al rango comprendido entre 38,8 y 37,7 % encontrado por Ferrer *et al.* (1997) en composts de bagazo de uva.

Cuadro 2. Características químicas de los composts a 0, 30 y 60 días de compostaje.

Compost	Días	C Orgánico (%)	N Total (%)	N - NH ₄ ⁺ (%)	C/N	pH (1:5)	CE (mS.cm ⁻¹)	Ceniza (%)
CB	0	39,2 ± 0,05	0,78 ± 0,51	0	50,3	5,8 ± 0,1	1,56 ± 0,02	38,6 ± 0,2
	30	31,9 ± 5,56	0,96 ± 0,39	0	33,2	5,7 ± 0,1	1,27 ± 0,01	Nd
	60	42,8 ± 2,85	0,71 ± 0,02	0	60,3	6,2 ± 0,1	0,79 ± 0,01	67,3 ± 0,1
CBS	0	33,7 ± 3,66	1,47 ± 0,28	0,02 ± 0,008	22,9	5,7 ± 0,1	1,43 ± 0,01	71,7 ± 0,1
	30	36,4 ± 2,48	1,61 ± 0,07	0,04 ± 0,012	22,6	6,2 ± 0,1	1,51 ± 0,01	Nd
	60	43,1 ± 3,68	0,70 ± 0,16	0,04 ± 0,002	21,6	6,2 ± 0,1	1,32 ± 0,01	76,3 ± 0,1
CBSP	0	30,1 ± 1,84	1,13 ± 0,27	0,02 ± 0,016	26,6	5,3 ± 0,1	1,32 ± 0,1	73,4 ± 0,2
	30	44,6 ± 0,26	0,60 ± 0,15	0,07 ± 0,014	74,3	5,4 ± 0,1	1,53 ± 0,01	Nd
	60	Nd	0,66 ± 0,35	0,06 ± 0,006	Nd	5,9 ± 0,1	1,23 ± 0,02	79,9 ± 0,1
CBSM	0	32,8 ± 16,5	1,12 ± 0,53	0,05 ± 0,022	29,3	5,5 ± 0,1	1,64 ± 0,01	70,5 ± 0,1
	30	34,8 ± 4,81	0,70 ± 0,02	0,06 ± 0,022	49,7	6,0 ± 0,1	1,44 ± 0,01	Nd
	60	39,7 ± 3,8	0,84 ± 0,24	0,06 ± 0,011	47,3	6,1 ± 0,1	1,30 ± 0,02	79,1 ± 0,1

Nd = no determinado; C Orgánico = carbono orgánico, N Total = nitrógeno total, N-NH₄⁺ = nitrógeno amoniacal; C/N = relación carbono/ nitrógeno; CE= conductividad eléctrica; ± = desviación estándar (n=4).

Aunque el contenido de nitrógeno total (Nt) aumentó ligeramente cuando se agregaron poli o multienzima entre 30 y 60 días de compostaje; se detectaron fuertes pérdidas de este componente entre 0 y 60 días en todos los tratamientos evaluados, siendo esta disminución más acentuada cuando se agregó nitrógeno inorgánico en forma de sulfato de amonio. Eghball *et al.* (1997) refieren que el 92 % de las pérdidas de nitrógeno se deben a la volatilización del amoníaco. El ascenso del pH, las elevadas temperaturas y la deshidratación de la masa de residuos ocurridas hacia el final del proceso, favorecieron estas pérdidas (Atallah *et al.*, 1995; Buckman y Brady, 1977). Los niveles de nitrógeno total a los 60 días, entre 0,66 y 0,84 %, son inferiores al rango de 1,31-1,64 % encontrado por Eng *et al.* (1992) en composts de cachaza.

La adición de sulfato de amonio aumento los niveles de N-NH₄⁺ respecto al control, se observa que a los 30 y 60 días de compostaje, en las mezclas con enzimas, los niveles de NH₄⁺ superan el límite máximo 0.04 % señalado por Zucconi y De Bertoldi (1987) y Senesy (1989) para composts maduros. Katayama *et al.*(1987) y afirman que si la concentración de amonio es superior a 0,0001 % en el suelo, puede ocurrir daño a las raíces de las plantas.

La evolución del carbono orgánico y nitrógeno total descrita anteriormente, ocasionó un aumento atípico de la relación C/N hacia el final del período experimental. A los 60 días de compostaje, se obtuvieron valores elevados de C/N, de 47,3 a 62,9, característicos de residuos frescos, ricos en celulosa y

lignina. La empresa productora de la multienzima afirma que después de 30-45 días de descomposición, el compost alcanzará una relación C/N entre 15 y 30. Los resultados de esta experiencia no concuerdan con esos señalamientos.

El pH final de los compost fue mayor que el inicial en todos los tratamientos, independientemente de los cambios en el contenido de los elementos alcalinizantes calcio y magnesio. Se encontraron pH entre 5,3 y 6,2, ligeramente ácidos, muy diferentes a los valores cercanos a 8 referidos por Eng *et al.* (1992) en composts de cachaza y el rango 6 a 8 considerado típico en estos bioabonos (Zucconi y De Bertoldi, 1987).

La concentración de sales solubles disminuyó en todos los composts entre 0 y 60 días. Inbar *et al.* (1993) relacionan la conductividad eléctrica con el contenido de iones sulfato, calcio y magnesio (Cuadro 3). En este sentido, se observa como este parámetro aumentó en los tratamientos que se adicionó sulfato de amonio; sin embargo, las variaciones en calcio y magnesio entre 0 y 60 días en las mezclas con enzimas, no repercutieron sobre el nivel de salinidad. Los valores de conductividad eléctrica son inferiores al límite máximo 5.5 mS.cm⁻¹ en extracto acuosos 1:5 (p/v) señalado por Verdonck y Pennick (1985) como inofensivo a las plantas.

La proporción de ceniza o constituyentes inorgánicos aumentó hacia el final del proceso de descomposición debido a la mineralización de las formas orgánicas. El contenido de cenizas fue superior al añadir sulfato de amonio a las mezclas.

Cuadro 3 Elementos minerales en composts a 0, 30 y 60 días de compostaje.

Compost	Días	Pt (%)	Ps (%)	Cat (%)	Cas (%)	Kt (%)	Ks (%)	Mgt (%)	Mgs (%)
CB	0	0,18 ± 0,05	0	1,08 ± 0,31	0,23 ± 0,03	0,17 ± 0,08	0,18 ± 0,02	0,44 ± 0,06	0,16 ± 0,01
	30	0,26 ± 0,06	0	1,30 ± 0,13	0,27 ± 0,02	0,37 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,55 ± 0,07	0,13 ± 0,13
	60	0,20 ± 0,1	0	1,28 ± 0,23	0,12 ± 0,01	0,30 ± 0,09	0,15 ± 0,02	0,47 ± 0,02	0,07 ± 0,02
CBS	0	0,18 ± 0,05	0	0,87 ± 0,2	0,41 ± 0,03	0,17 ± 0,14	0,13 ± 0	0,47 ± 0,01	0,15 ± 0,01
	30	0,23 ± 0,05	0	1,08 ± 0,09	0,36 ± 0,04	0,22 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,54 ± 0,02	0,16 ± 0,02
	60	0,21 ± 0,09	0	1,10 ± 0,15	0,33 ± 0,04	0,09 ± 0,02	0,10 ± 0,01	0,51 ± 0,08	0,13 ± 0,01
CBSP	0	0,06 ± 0,02	0	0,66 ± 0,51	0,34 ± 0,06	0,19 ± 0,02	0,12 ± 0,04	0,33 ± 0,02	0,08 ± 0,03
	30	0,09 ± 0,05	0	0,24 ± 0,03	0,39 ± 0,06	0,11 ± 0,09	0,11 ± 0	0,33 ± 0,02	0,13 ± 0,03
	60	0,04 ± 0,02	0	0,25 ± 0,19	0,30 ± 0,05	0,15 ± 0,13	0,10 ± 0,02	0,30 ± 0,02	0,10 ± 0,03
CBSM	0	0,06 ± 0,01	0	1,38 ± 0,18	0,48 ± 0,06	0,25 ± 0,04	0,10 ± 0,01	0,35 ± 0,06	0,12 ± 0,01
	30	0,13 ± 0,03	0	0,40 ± 0,14	0,35 ± 0,02	0,14 ± 0,1	0,10 ± 0,01	0,35 ± 0,03	0,11 ± 0,01
	60	0,10 ± 0,04	0	0,40 ± 0,09	0,32 ± 0,03	0,22 ± 0,14	0,11 ± 0,02	0,38 ± 0,03	0,09 ± 0,02

Pt = Fósforo total; Ps = P soluble ; Cat = Calcio total; Cas = Ca. soluble; Kt = Potasio total; Ks = K soluble; Mgt = Magnesio total; Mgs = Mg soluble; ± = Desviación estándar (n=4).

El fósforo total tomó valores menores en los tratamientos con enzimas lo cual puede obedecer a pérdidas de fósforo orgánico debido a la mineralización, esto concuerda con el aumento en los niveles de fósforo soluble respecto al control (Cuadro 3). El rango observado en el fósforo total, de 0,04 a 0,21 %, es superior al encontrado por Leal y Madrid (1998) de 0,016 a 0,03 % en composts de residuos de café, e inferior al valor 155 % referido por Eng *et al.* (1992) para composts de cachaza.

Análogamente, el Cat disminuyó en las mezclas con enzimas, mientras que las formas solubles incrementaron en relación al control, los niveles detectados en CBS son comparables al testigo. El Kt y Ks en los tratamientos con activadores a los 60 días, resultaron inferiores al control. Pirin *et al.* (1988) refieren niveles de potasio entre 1.14 y 1.65, superiores a los observados en estos composts.

El Mgt tiende a ser menor en los tratamientos mezclas con activadores, mientras que la fracción soluble Mgs, tiende a ser ligeramente superior al control CB. El grado de humificación del carbono y la materia orgánica fue superior en los composts con multienzima, por el contrario, la adición de sulfato de amonio solo o con polienzima no incrementó este parámetro (Cuadro 4).

El porcentaje de carbono humificado presente en las muestras, de 18,72 a 44,99 %, cae en el rango 13 a 47 % encontrado por Riffaldi *et al.* (1983) en diversos residuos orgánicos y es superior al mínimo 10 % recomendado por Zucconi y De Bertoldi (1987) para composts de residuos municipales. El

predominio de ácidos húmicos respecto a los fúlvicos en el compost CB, sin activadores, orienta sobre una mayor evolución del humus obtenido en esas condiciones de compostaje. Es probable que la mayor concentración de calcio presente en este tratamiento haya favorecido la descomposición aeróbica y el proceso de humificación de la materia orgánica (Gilbert, 1967). El cociente AH/AF igual a 1,22, es inferior al valor 1,3 encontrado por Forster *et al.* (1993) en composts preparados con residuos industriales de madera y papel.

Cuadro 4. Grado de humificación del carbono y la materia orgánica en composts de cachaza.

Tratamiento	Carbono orgánico humificado (%)	Materia orgánica humificada (%)	AH (%)	AF (%)	AH/AF (%)
CB	28	48,16	54,89	45,1	1,22
CBS	22,71	39,06	45,91	54,1	0,85
CBSP	18,72	32,19	46,33	58,7	0,86
CBSM	44,99	77,38	44,9	55,1	0,81

AH = ácidos húmicos, AF = ácidos fúlvicos.

El extracto acuoso de los composts CB y CBS causaron a las 48 horas, índices de germinación de semillas de mastuerzo inferiores a 50, lo cual indica que no alcanzaron la etapa de maduración. CBSP y CBSM superaron el valor crítico 50, sin embargo, CBSP estimuló el Índice de Germinación respecto al control con agua destilada (Cuadro 5).

Cuadro 5. Índice de Germinación de semillas de Mastuerzo (*Lepidium virginicum*) en extractos acuosos de composts a los 60 días.

Tratamiento	2 días	7 días
Agua destilada	100	100
Excreta fresca	9,5 ± 3,4	19,1 ± 3,4
CB	12,1 ± 1,4	61 ± 16,5
CBS	9,5 ± 2,3	187,8 ± 12,9
CBSP	144,3 ± 16,5	69 ± 10,4
CBSM	57,5 ± 12,2	122,9 ± 21,56

C=cachaza; B=Bagazo; S=Sulfato de Amonio; P=Polienzima; M=Multienzi-
ma; ± =Desviación estándar (n = 4).

A los 7 días los índices de germinación de todos los tratamientos, excepto CB, son superiores a 50, orientando sobre la disminución en la concentración de sustancias que retrasan la germinación mas bien que inhibirla.

CONCLUSIONES

La excesiva altura y sección transversal de los cúmulos produjeron sobrecalentamiento, pérdidas de humedad y volatilización del Nitrógeno.

No se observó durante el período experimental la etapa final de enfriamiento o maduración, que es un aspecto físico indicativo de una adecuada humificación de la materia orgánica.

El incremento del carbono orgánico y la relación C/N con el tiempo orientan sobre la necesidad de ajustar la técnica de muestreo de los cúmulos.

La incorporación de sulfato de amonio a las mezclas causó mayores pérdidas de nitrógeno total entre 0 y 60 días, aumento en la concentración de $N-NH_4^+$, conductividad eléctrica, porcentaje de ceniza, solubilidad del fósforo, calcio y magnesio respecto al control.

A los 60 días, el composts con multienzima presentó mayor contenido de nitrógeno total respecto al resto de tratamientos. Las enzimas aumentaron la concentración de nitrógeno amoniacal, conductividad eléctrica y contenido de cenizas respecto al control sin activadores.

La adición de poli y multienzima tiende a mejorar la solubilidad del fósforo, calcio y magnesio respecto al tratamiento cachaza + bagazo, sin embargo, esos valores resultaron similares a los encontrados en la mezcla con sulfato de amonio. La solubilidad del potasio no aumentó al aplicar los catalizadores.

El grado de humificación de la materia orgánica, reflejada en la relación ácidos húmicos/fúlvicos, no fue favorecida por la incorporación de enzimas o sulfato de amonio.

Los composts obtenidos en esta experiencia se caracte-

rizan por presentar pH relativamente ácido, bajos niveles de Nitrógeno, fósforo, Calcio y concentración de $N-NH_4^+$ próximos a la fitotoxicidad. Sin embargo, no inhibieron el índice de germinación de semillas de mastuerzo a los siete días y no contienen niveles de salinidad nocivos a las plantas.

Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico de la Universidad de los Andes, CDCHT-ULA, por la subvención aportada a este proyecto codificado como: NURR - C-230 -98-01F.

LITERATURA CITADA

- Atallah, T., F. Andreux, T. Chone y F. Gras.** 1995. Effect of storage and composting on the properties and degradability of cattle manure. *Agricultural, Ecosystems and Environment*. 54:203-213.
- Ayuso, M., T. Hernández, F. Costa, C. García y J. Pascual.** 1992. Influencia del grado de madurez de un residuo urbano sobre la germinación y disponibilidad de nitrógeno. *Suelo y Planta*. 2:517-527.
- Buckman, H. y N. Brady.** 1977. *Naturaleza y Propiedades de los Suelos*. Montaner y Simón S. A. Edit. Barcelona. España. pp. 533-547.
- Chapman, H.** 1981. *Métodos de Análisis para Suelo y Planta*. Edit. Trillas. México. 100 p.
- Ciavatta, C., L. Antisari y P. Sequi.** 1989. Determination of organic carbon in soils and fertilizers. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 20(7-8):759-773.
- Costa, F., C. García, T. Hernández y A. Polo.** 1991. *Residuos Orgánicos Urbanos. Manejo y Utilización*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Edita Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, CEBAS. Murcia. España.
- Datzell, H., A. Biddlestone, K. Gray y K. Thurairajan.** 1991. Manejo del suelo: Producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. *Boletín de Suelos FAO* N° 56. Roma 312 p.
- Eghball, B., J. Power, J. Gilley y J. Doran.** 1997. Nutrient, carbon and mass loss during composting of cattle feedlot manure. *Journal off environmental quality (USA)*. 26(1): 189-198.
- Eng F., M. Klibansky, M. León, M. Brizuela, G. Delgado, B. Reyes, D. Betancourt, A. González, C. Arias y R. Rodríguez.** 1992. Degradación biológica de la cachaza por composteo. *Revista del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)*,

- Ferrer, R., G. Páez, E. Martínez, C. Chandler, M. Chirinos y Z. Mármol.** 1997. Efecto del abono del bagazo de uva sobre la producción de la materia seca en el cultivo del maíz (*Zea mays*). Revista de la Facultad de Agronomía Universidad del Zulia, 14:55-65.
- Forster, J., W. Zech y E. Wurdinger.** 1993. Comparison of Chemical and microbiological methods for the characterization of the maturity of composts from contrasting sources. Biol. and Fert. Of Soils 16:93-99.
- Gilbert, W.** 1967. Los Suelos. Origen, Constitución y Clasificación. Introducción a la Edafología. Edit. Omega. Barcelona. España. pp. 186-217.
- Inbar, Y., Y. Hadar, y Y. Chen.** 1993. Recycling of cattle manure: the composting process and characterization of maturity. Journal of environmental quality (USA). 22(4): 857-863.
- Katayama, A., Kerr K.C., Hirai M., Shoda M., y Kubota H.** 1987. Stabilization process of sewage sludge composts in soil. In: Composts: Production Quality and Use (M. De Bertoldi, M.P. Ferranti, P.L. L'Hermite and F. Zucconi Eds.). Elsevier Applied Science. London U.K. pp. 341-350.
- Leal, N. y Madrid C.** 1998. Compostaje de residuos orgánicos mezclados con roca fósforica. Agronomía Trop. 48(3): 335-357.
- Pereira, J. y E. Stentiford.** 1992. A low cost controlled windrow system. Acta Horticulturae. 302:181-192.
- Pirin, K., Suthaphun - Triratana.** 1988. Effect of some nitrogenous compounds and activator LD -1 on the decomposition of waste sawdust block of shiitake mushroom. Programme and Abstracts 14th Conference on Science and Technology of Thailand. Bangkok (Thailand). pp. 394-395.
- Poincelott, R.** 1972. The biochemistry and methodology of composting. Connecticut Agric. Exp. Sta. Bull. 727. New Haven. USA. 38 pp.
- Quintero, R.** 1994. Subproductos de la industria azucarera y uso como fertilizantes. En: Seminario Manejo integral de suelos para una agricultura sostenible. Centro Internacional para la Agricultura Tropical. CIAT. Cali. Colombia.
- Riffaldi, R., R. Levi-Minzi y A. Saviozzi.** 1983. Humic Fraction of Organic Wastes. Agricultural, Ecosystems and Environment, 10:353-359.
- Rodier, J.** 1981. Análisis de las Aguas naturales residuales y del mar. Edit. Omega. Barcelona. pp.232-236.
- Senesy, M.** 1989. Composted materials as organic fertilizers. The Science of Total Environment, 81/82:521-542.
- Stevenson, F.** 1982. Humus Chemistry: Genesis composition and reactions. Wiley. New York. 496 p.
- Tinckell, R.** 1961. Estudio de los Suelos Venezolanos. Fundación Shell. Cagua. Vzla. pp. 110-116.
- Verdonck, O. y R. Pennick.** 1985. The composting of bark with soy scrap sludge. Acta Horticulturae 172:183-187.
- Walter, E., J. Lopez-Real y J. Wharfe.** 1992. Composting of sewage sludge and straw: laboratory scale simulation and evaluation of selected temperatures and effect on composting performance. Acta Horticulturae 302:113-124.
- Zucconi, F. y M. De Bertoldi.** 1987. Specifications for solid waste compost. Byocycle. May-June. pp. 56-61.
-