

Caracterización físico-química y microbiológica de materiales compostados obtenidos de residuos vegetales del Mercado Principal de Mérida, Venezuela

Fernando C. Millán^{1*}, José G. Prato^{2**}, Jorge Uzcátegui³, Alí Sulbarán³, Adriana Sánchez¹

^{1*}Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño, IUPSM – Mérida, Escuela Ingeniería Química, Venezuela. ^{2**}Universidad de Los Andes (ULA), Facultad de Ingeniería Química, Mérida, Venezuela. ³Universidad de Los Andes (ULA), Facultad de Ciencias, Mérida, Venezuela. Correos electrónicos: *carlosmillan@gmail.com; **pratoj@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo muestra caracterización físico-química y microbiológica de tres compost, fabricados con residuos vegetales del Mercado Principal de la ciudad de Mérida, Venezuela. Para la obtención de los compost (C), los residuos fueron mezclados con estiércoles de: gallina C1, caballo C2 y vaca C3, enriquecidos con roca fosfórica. Se registraron temperaturas hasta de 70 °C. A los 45 días del proceso se estabilizaron los compost, con una temperatura de 25 °C. La humedad y la conductividad eléctrica cumplieron con la normativa internacional. Los valores de pH superaron los recomendados (> 9); esto ocasionó pérdidas amoniacales, reflejada en los bajos contenidos de nitrato en extractos acuosos (1 – 4 ppm). La relación C/N para C1 (10,4) y la concentración de fósforo para C2 (1,2 %) fueron favorables según la normativa internacional. Los contenidos de bases y materia orgánica estuvieron en concordancia con la literatura. La prueba de termoestabilidad fue satisfactoria para C1, mientras que en los tres compost la evolución de CO₂ estuvo por debajo de lo recomendado. El contenido de metales pesados fue menor a los estándares consultados. Se encontraron y cuantificaron pesticidas organoclorados y organofosforados en trazas, especialmente en C1; aunque no se puede asegurar que las trazas de metales pesados y de pesticidas afecten la cadena alimenticia por la baja concentración. El análisis microbiológico mostró presencia de nemátodos en C3, mientras que los compost C1 y C2 cumplieron la normativa de nemátodos ausentes. Los resultados muestran el uso de estos residuos para fines de compostaje como abono orgánico.

Palabras clave: compost, estiércol, desechos sólidos vegetales, pesticidas en compostaje, metales pesados en compostaje.

Physical, chemical and microbiological characterization of composting materials prepared from vegetables residues from Merida Municipal Market, Venezuela

ABSTRACT

The present paper shows physical-chemical and microbiological characterization of three compost, manufactured with vegetal residues of the Main Market of the city of Mérida, Venezuela. To obtain the compost (C), the waste was mixed with manure from: C1 hen, C2 horse and C3 cow, enriched with phosphate rock. Temperatures up to 70 °C were recorded. After 45 days, the compost stabilized at a temperature of 25 °C. Moisture and electrical conductivity complied with international regulations. The pH values exceeded the recommended values (> 9); this caused ammoniacal losses, reflected in the low nitrate contents in aqueous extracts (1-4 ppm). The C/N ratio for C1 (10.4) and the phosphorus concentration for C2 (1.2%) were favorable according to international regulations. Bases and organic matter contents were in accordance with the literature. The thermostability test was satisfactory for C1. Heavy metals content was lower than standards consulted. Organochlorine and organophosphorus pesticides were found and quantified in traces, especially in C1; heavy metals and pesticides traces don't affect the food chain due to the low concentration. Microbiological analysis showed nematodes in C3, while the compost C1 and C2 complied with the regulation of absent nematodes. Results show the possibility use of this waste for composting purposes as organic fertilizer.

Key words: compost, manure, solid vegetable waste, pesticides in composting, heavy metals on composting.

Recibido: 12/02/16 Aprobado: 15/12/17

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Mérida (estado Mérida, Venezuela) y en el país en general, el tratamiento de residuos sólidos es un tema poco tratado por los organismos municipales y del estado. A pesar de que, el problema de estos desechos desborda la capacidad del antiguo sistema de recolección y disposición en un relleno sanitario.

Según estudio del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de los Andes (CIDIAT-ULA 2002), en la ciudad de Mérida había un promedio de desechos sólidos de 0,8 kg por habitante diariamente y 0,6 kg por grupo familiar por día. El incremento de la población hace previsible el aumento de la cantidad total de desechos que se producen diariamente.

El referido estudio destaca, además, que uno de los puntos de acumulación de desechos sólidos vegetales y de otra índole, en Mérida es el mercado principal. En este se producen 400 kg de desechos diariamente, lo que justifica la inversión del Estado en diversas plantas procesadoras que le den valor agregado a estos materiales. Parte de esos residuos son orgánicos, vegetales, hortalizas, frutas, tubérculos, entre otros. El proceso de compostaje se presenta como alternativa al almacenaje de estos desechos, cuya putrefacción al aire libre genera un problema ambiental y de salud pública.

Existe información referencial limitada sobre la caracterización físico-química de los residuos vegetales del Mercado Principal de la ciudad de Mérida, con fines de compostaje. La única referencia ubicada fue la de Castro (2008), que reportó la caracterización físico-química de dos compost con el uso de estos desechos. En la investigación, los valores obtenidos para los parámetros estudiados (pH, CE, CIC, humedad, MO) se reportan dentro de intervalos considerados como aceptables, aunque no fueron comparados con ninguna norma establecida. Esa condición limita alguna conclusión sobre el uso del producto final como abono, debido también a la falta de un análisis de nitrógeno total. La contaminación de la materia prima por biocidas y

metales pesados es determinante en la decisión de utilizar compost como abonos agrícolas, aspecto que no reporta Castro (2008).

Por lo antes expuesto, el objetivo del presente trabajo fue la caracterización de diversos compost preparados con residuos sólidos provenientes del Mercado Principal de la ciudad de Mérida. Esto con la finalidad de determinar la viabilidad de su uso como abono orgánico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en las instalaciones del Instituto Universitario Politécnico "Santiago Mariño" (IUPSM-Mérida), de la ciudad de Mérida; que se ubica a 1.600 m.s.n.m., con temperatura ambiente que oscila entre 20 °C (noche) y 25 °C (día).

Preparación de los composteros y medición de la temperatura

Se prepararon tres compost (C1; C2 y C3) siguiendo un modelo estratificado con volteo aireado, los cuales difieren sólo en el estiércol que se utilizó: de gallina (C1), de caballo (C2) y de vaca (C3). Los compost se prepararon en capas, a partir de una base de piedra picada para facilitar el drenaje, en el orden que se menciona a continuación: bagazo de caña, estiércol, cáscara de café, restos vegetales como hortalizas, frutas no cítricas, tubérculos, cenizas (provenientes de la quema del bagazo de caña), aserrín y restos de grama fresca. La secuencia se repitió hasta alcanzar un metro altura. Esta es la altura mínima necesaria para que las temperaturas puedan conseguir valores óptimos, según el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM 2011).

Entre las capas de los materiales a compostar, se colocó una pequeña capa de 5 mm de espesor de roca fosfórica triturada, proveniente de la localidad de Mistajá, estado Mérida; con la finalidad de enriquecer y verificar el efecto del proceso de compostaje sobre su solubilización. El volteo de los composteros se realizó cada ocho días, a partir del quinto día después de armada

las pilas de compost. En el Cuadro 1 se muestra la composición de las pilas de compostaje.

Para contener los compost, se fabricaron cajones de madera de 1 m³ aproximadamente, los cuales se aislaron del suelo unos 20 cm a fin de evitar la entrada de insectos y roedores; se inclinaron levemente para facilitar la recolección de los lixiviados por la parte inferior frontal de la pila, si los hubiere. Las paredes internas de los mismos fueron forradas con malla plásticas, con orificios de 2 mm, para permitir buena

Cuadro 1. Composición de las pilas de compostaje.

Composición (%)	Compostaje		
	C1	C2	C3
Bagazo de caña de azúcar	3,96	3,11	3,59
Estiércol	25,10	16,93	21,86
Cáscara de café	7,66	10,89	6,38
Material vegetal	38,48	49,00	49,88
Cenizas	10,24	7,00	7,78
Aserrín	8,25	7,78	4,19
Gramma fresca	5,94	4,67	5,99
Roca fosfórica	0,33	0,58	0,29

penetración del aire y la tapa se cubrió con un plástico negro.

En los compost se midió la temperatura diariamente, por medio de una sonda tipo termocupla digital, en ocho puntos tanto la parte externa del compostero, T1 a T7, como en la parte central del cubo, T8.

Análisis físico químico de los compost

Se aplicaron los métodos de análisis de compost y suelos (Soliva et al. 2002). Igualmente,

se consideraron los acuerdos del “Segundo Taller sobre Abonos Orgánicos” auspiciado por el CIDIAT-ULA y el INIA-Mérida sobre métodos para analizar parámetros químicos seleccionados, en materias primas como en compost (Carrillo de Cory y Ruíz Dáger 2012). A falta de una norma venezolana acerca de la calidad de los productos compostados, se consideraron otras normas oficiales latinoamericanas (colombiana, chilena, argentina) y europeas (belga).

La caracterización físico química de los materiales compostados se efectuó a diferentes intervalos de tiempo durante el proceso, hasta que alcanzaron una estabilidad térmica. Se tomaron muestras de 2 kg de cada compost, según lo indicado en la Normativa del Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN Chile 2004); colocadas en bolsas con cierre hermético y conservadas en nevera a 4 °C hasta el submuestreo para los análisis respectivos. La humedad se midió gravimétricamente después de calentamiento a 105 °C por 24 horas; el pH y la conductividad se evaluaron en extracto de agua a la relación 1:10 por medio de un pH metro Hanna 211 y un conductímetro marca Hanna modelo HC3010 (Tan 1996).

El análisis aniónico se realizó por cromatografía líquida en un cromatógrafo iónico DIONEX (Pansu et al. 1998), para un extracto acuoso 1:10 utilizando agua y 24 h de agitación. El análisis de plaguicidas se llevó a cabo por cromatografía de gas en un cromatógrafo Varian 3800 con detectores de captura electrónica (organoclorados) y NPD (organofosforados), después de una extracción sólido líquido en un equipo Soxhlet con hexano grado HPLC (organoclorados) y diclorometano (organofosforados).

El fósforo se determinó en extracto acuoso, en un espectrofotómetro UV Vis Milton and Roy, después de la decoloración del extracto con ácido perclórico (Millán y Hetier 2015). El calcio, magnesio y potasio se determinaron del extracto acuoso por EAA – llama y los metales traza se analizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer con horno de grafito después de una digestión ácida con la mezcla de HNO₃ / H₂O₂. (Tan 1996, Skoog et al. 2001).

Las cenizas se determinaron gravimétricamente después de un calcinamiento a 550 °C por 4 horas hasta peso constante (Sadzawka *et al.* 2005).

La prueba térmica de estabilidad se realizó en un vaso Dewar de 2 L, con tapa aislante a la cual se le perforaron tres orificios para la introducción de la sonda a tres profundidades distintas (Carrillo de Cory y Ruíz Dáger 2012).

La respirometría se efectuó según el método descrito por Tognetti *et al.* (2007), introduciendo 20 g del compost, envueltos en una gasa, en un erlenmeyer de 500 mL conjuntamente con 50 mL de NaOH 0,105 N. El sistema se cerró herméticamente con tapón de caucho sellado con parafina fundida. La cantidad de NaOH consumida se determinó por titulación con HCl 0,01 N y fenolftaleína. El nitrógeno total se determinó por el método Kjeldahl (Millán y Hetier 2015) y la materia orgánica se determinó por el método de Wakley y Black (Jackson 1970).

Todas las mediciones fisicoquímicas se realizaron por triplicado a fin de aplicar la estadística de medidas repetidas (Miller y Miller 1988, 2002), para obtener un promedio y un coeficiente de variación. Los metales se expresan como el promedio de tres mediciones realizadas sobre la misma muestra debido a las limitaciones de costo por análisis.

Análisis microbiológico

El análisis microbiológico se ejecutó en el Laboratorio de Fitopatología del INIA Mérida, de acuerdo al procedimiento descrito en Sadzawka *et al.* (2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura en los composteros

La temperatura es uno de los factores considerados porque en la medida que incrementa, en la fase termofílica se alcanza una mejor y más rápida descomposición de los composteros. El rango de temperatura que se recomienda está entre 55 °C y 65 °C en el centro del compost,

durante un tiempo que va de una a tres semanas (Brinton 2000).

En la Figura 1, se muestra la variación de temperatura durante 45 días de compostaje para las tres pilas compostadas. Igualmente se señalan los tiempos de volteo del material en descomposición. El comportamiento térmico de las tres pilas fue semejante. Las temperaturas medidas en los diferentes puntos del compost respondieron a un patrón similar, con el valor más alto en el centro del compostero. Después del primer volteo, la temperatura alcanzó los 70 °C en el centro de las pilas y en promedio 65 °C en el resto de los puntos externos durante 10 días. Seguidamente descendió en dos etapas: a los 16 días la temperatura promedio fue de 45 °C y la estabilización del compost se alcanzó en 45 días aproximadamente, con un promedio de 25 °C.

Según IRAM (2011), la mayoría de los organismos patógenos deberían morir después de una hora a temperaturas mayores de 50 °C. Por otro lado, este período de alta temperatura puede causar un descenso de la humedad debido a la evaporación del agua.

Análisis físico químico de los compost

En el Cuadro 2 se muestran los valores promedio y la variabilidad analítica de la humedad de los diferentes compost a lo largo del proceso de compostaje. La humedad óptima reportada en la literatura está entre 40% y 60 % (Gabeta 2004; INN Chile 2004; Sztern y Pravia 1999), valores más altos desplazarían el aire (O₂) y los procesos microbiológicos pasarían a ser anaeróbicos. Por el contrario, si la humedad es menor al 40 % (IRAM 2011) la actividad de los microorganismos baja y con valor crítico de 15 % el proceso de descomposición se detiene o se hace muy lento.

Los resultados muestran que la humedad de los diferentes compost se incrementa a lo largo del proceso de compostaje. Sin embargo, el compost C2, con estiércol de caballo, mantiene una humedad por debajo del límite inferior aceptado. A partir del día 36 los valores de humedad

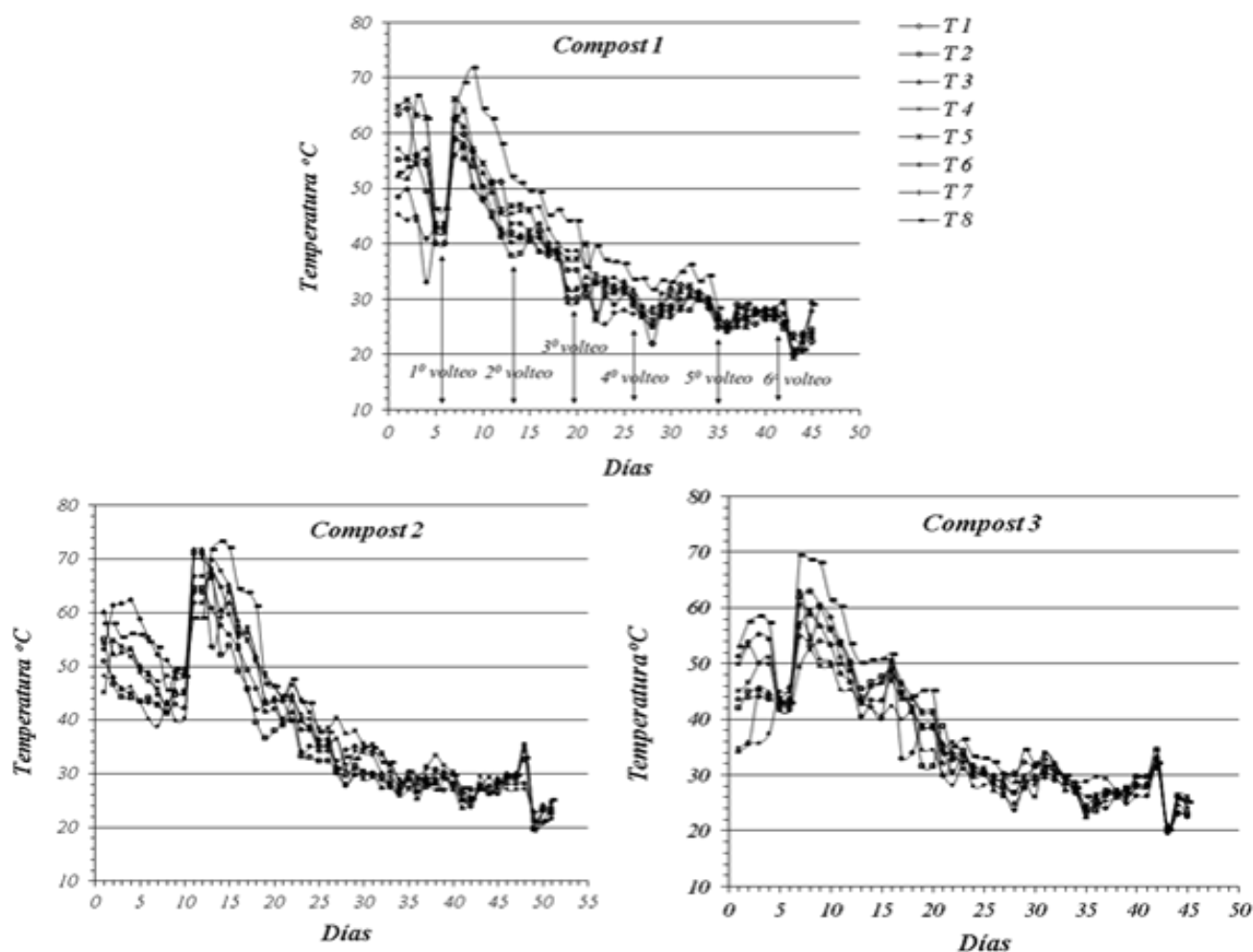


Figura 1. Variación de temperaturas (°C) durante 45 días para las tres pilas de compost: puntos T1 al T7 partes laterales y punto T8 centro del compost.

Cuadro 2. Valores de humedad (%) durante el proceso de compostaje y de la estabilización.

Compost	Días							
	1		14		34		66	
	Humedad (%)±DE	CV (%)	Humedad (%)±DE	CV (%)	Humedad (%)±DE	CV (%)	Humedad (%)±DE	CV (%)
C1	48,20±3,31	6,68	31,03±4,88	15,72	47,23±8,80	18,64	47,20±0,95	2,02
C2	30,63±2,20	7,19	40,43±3,25	8,03	34,63±11,55	33,35	39,93±0,85	2,12
C3	26,57±4,07	15,32	41,06±2,42	5,90	42,93±1,65	3,84	45,17±3,43	7,60

Desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV).

son más favorables para los compost C1 y C3; al final del proceso se ubican dentro del intervalo aceptable para todos los casos. La variabilidad analítica de determinación de la humedad es significativa en la mayor parte del proceso, debido a que la disgregación de los materiales no es tan acentuada; sin embargo, al final del esta variabilidad es pequeña porque el producto final es más homogéneo en relación al tamaño de las partículas.

La influencia del pH es determinante sobre la acción de los microorganismos. El rango de actividad bacteriana está entre pH 6 y 7,5 (Sadzawka *et al.* 2005). Los hongos actúan en un rango más amplio que va de pH 5 a 8. Según la literatura (Hogg *et al.* 2002, Gabeta 2004), el rango de pH a la estabilización del compost debe estar entre 7,5 y 8,5. En el Cuadro 3 se muestran los valores de pH medidos a diferentes períodos del proceso de compostaje, a lo largo de 66 días. Estos valores están por encima del intervalo recomendado por la normativa consultada, especialmente en el período que se considera la estabilidad. Esto no es conveniente ya que valores altos de pH ocasionan pérdidas de nitrógeno amoniacal (Meisinger y Jokela 2000). Igualmente, en el mismo Cuadro 3 se muestran los valores de conductividad medidos a diferentes períodos del proceso de compostaje, durante 66 días. Los resultados para los tres compost varían entre 1,16 y 2,5 dS m⁻¹, valores considerados como bajos. Los límites de conductividad establecidos por algunas normas (INN Chile 2004): < 3 dS m⁻¹ Tipo A y < 8 dS m⁻¹ Tipo B, IRAM (2011): < 3 dS m⁻¹, son superiores a los obtenidos en la presente

investigación y califican para compost tipo A, según la norma chilena.

Prueba de estabilidad térmica: en esta prueba, los valores de temperatura de la muestra no deben manifestar cambios significativos a lo largo de mínimo tres días consecutivos. Una temperatura invariable (Cv < 1 a 2 %) puede ser sinónimo de estabilidad del compost CIDIAT-ULA (2002).

En el Cuadro 4 se muestran las variabilidades térmicas, en °C, tanto diarias como al final de los tres días que duró la prueba para muestras provenientes de los tres compost estudiados. En todos los casos la variabilidad térmica diaria está por debajo del 1 %, pero al final del experimento hubo un incremento de temperatura de 0,9 °C para el compost C1 y de 1,1 °C para el compost C2. Sin embargo, para el compost C3 el incremento de temperatura al final de los tres días fue de 3,9 °C. Eso indica que el compost C3 no logró su estabilización, ya que persistió el proceso de descomposición y de actividad microbiana. Esto pudo deberse a que el estiércol vacuno produce una mayor actividad microbiana, que el de caballo y el gallinazo.

La composición química de los diferentes materiales compostados después de la estabilización se muestra en el Cuadro 5. Los contenidos de N total en los tres compost están entre 1 y 2 %. Al respecto, la normativa consultada difiere de la recomendación dada por Sadzawka *et al.* (2005), quienes señalan que el contenido de N total debe ser mayor que 0,5 %; mientras que, IRAM (2011) reporta que debe ser mayor a 2 %. Según Melgarejo *et al.* (1977), para que continúe

Cuadro 3. Valores de pH durante el proceso de compostaje y de la estabilización térmica.

Compost	Días							
	3		14		34		66	
	pH	CE(dS.m ⁻¹)	pH	CE(dS.m ⁻¹)	pH	CE(dS.m ⁻¹)	pH	CE(dS.m ⁻¹)
C1	8,83	1,16	9,74	2,24	8,95	1,41	9,59	1,19
C2	8,18	2,58	9,62	1,55	8,81	1,62	9,15	2,00
C3	8,76	1,62	9,81	2,01	9,18	1,68	9,76	2,26

Conductividad eléctrica (CE).

Cuadro 4. Resultados de la prueba de termo estabilidad de los compostas durante tres días.

Compost	Día			CV (%) *
	1	2	3	
C1	24,1±0,2 (0,7%)	24,8±0,2 (0,6%)	25,0±0,3 (1,0%)	0,8
C2	25,1±0,6 (0,4%)	26,3±0,3 (1,1%)	26,2±0,1 (0,5%)	2,7
C3	24,2±0,1 (0,4%)	26,2±0,2 (0,6%)	28,1±0,1 (0,2%)	7,6

*Coeficiente de variación (CV) al final de los tres días que duró la prueba.

el proceso de humificación del compost en el suelo se requiere más de 2 % de N total.

La relación C/N para los tres compost estudiados varió entre 6,25 y 8,57. La normativa de IRAM (2011) indica que esta relación (C/N) debe ser menor a 20, con un valor óptimo de 15. La norma Belga (Hogg et al. 2002) recomienda una relación C/N de 12,5. Otros autores (Durán y Henríquez 2007) han reportado relaciones entre 5 y 10. Según estos datos, la relación C/N es más favorable para el caso del compost C1. Valores de relaciones C/N entre 10 y 25 son indicativo de que el compost podría estar estabilizado (Durán y Henríquez 2007, Ulle et al. 2004).

Según IRAM (2011) el contenido de fósforo debe estar entre 0,15 % y 1,5 %; el INN Chile (2004) no especifica cantidad alguna. El contenido de fósforo en los compost C1 y C3 está muy por debajo del mínimo recomendado y en C2 supera

el valor máximo. En razón de que, los compost fueron enriquecidos con roca fosfórica se puede inferir que hubo un efecto solubilizador en el proceso de descomposición en el compost C2; aspecto que sugiere abordar en futuras investigaciones. En este sentido, en la literatura ha sido reportado el uso de roca fosfórica en procesos de compostaje con resultados satisfactorios en cuanto a la calidad final del producto (Guerrero-Marcucci y Campo-Vera 2015).

Para los tres compost estudiados los contenidos de calcio superaron el 3,5 % y los de magnesio y potasio estuvieron entre el 1,15 % y 1,67 %. Las normas latinoamericanas consultadas no especifican intervalos de concentración recomendados para estos elementos; aunque la normativa Belga (Hogg et al. 2002) recomienda un 1,5 % de calcio, un 0,2 % de magnesio y un 0,8 % de potasio. Otras literaturas (Rodríguez et al. 2010)

Cuadro 5. Composición de los materiales compostados después de la estabilización.

Composición	Compost		
	C1	C2	C3
NT (%)	1,51±0,19 (12,62%)	2,16±0,14 (6,32%)	1,69±0,06 (3,45%)
C (%)	12,94±1,32 (10,23%)	13,51±0,99 (7,32%)	11,59±0,34 (2,90%)
C/N	10,4	6,25	6,86
P (%)*	0,07	1,19	0,06
Ca (%)*	3,54	3,84	3,56
Mg (%)*	1,15	1,15	1,28
K (%)*	1,54	1,46	1,67
Cenizas (%)	52,97±2,53 (4,21%)	54,47±1,39 (2,55%)	58,75±1,38 (2,34%)
MO (%)	21,31±2,46 (11,57%)	21,01±0,81 (3,82%)	18,38±0,49 (2,64%)

*Promedio de mediciones por triplicado sobre la misma muestra con CV (%) < 1. Nitrogeno total (NT), carbono (C), relación carbono/nitrógeno (C/N), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), materia orgánica (MO).

reportan contenidos de calcio entre 0,09 % y 0,3 %, para magnesio entre 0,02% y 0,07% y para potasio entre 0,09% y 0,12%. Para vermicompostes se han conseguido (Durán y Henríquez 2007) cantidades de calcio entre el 1, 6% y 5,6 %, para magnesio entre el 0,3% y 0,8 % y para potasio entre 1% y 3 %.

Pérez *et al.* (2008) señalan valores entre 2,5 y 10 % de calcio, entre 0,5 y 1,8 % de magnesio y entre 0,2 y 2,5 % de potasio, para materiales compostados. Bajo esta perspectiva, los resultados para estos elementos en los diferentes compost estudiados están en concordancia con estos valores consultados en la bibliografía, pero se debe considerar que se integró una cantidad importante de cenizas a los compost (entre 7 % y 10 %). Esto está reflejado en el porcentaje de cenizas, mayor al 50 % el cual representa el componente mineral.

El contenido de materia orgánica es similar en los tres composteros estudiados, entre 18 % y 21 %. Estos valores están en los límites inferiores de los intervalos recomendados por la mayoría de las normas citadas, las cuales exigen un contenido de materia orgánica mayor del 20 %. En la literatura se reportan valores de entre 30 y 35 % (Durán y Henríquez 2007) y de hasta 50 % (Pérez *et al.* 2008).

El contenido aniónico se muestra en el Cuadro 6, el ión amonio no fue detectado debido al alto valor del pH que originó las pérdidas del mismo. Los contenidos de nitrato están muy por debajo de la norma Chilena (> 100 ppm), lo que puede confirmar las pérdidas de nitrógeno en forma amoniacal que no llegó a nitrificarse. La norma antes mencionada no contempla el caso de los cloruros y sulfatos.

La respirometría muestra de alguna manera la actividad biológica a través del desprendimiento de CO_2 , el cual es atrapado en una solución de $NaOH$. Las normas Argentina y Chilena (IRAM 2011, INN Chile 2004) establecen una evolución de CO_2 menor a 8 mg C- CO_2 por gramo por día. La literatura (Moreno y Moral 2007) propone un máximo de 5 mg de C - CO_2 por gramo de

Cuadro 6. Contenido de aniones en los extractos acuosos de los tres compost.

Aniones (ppm)	Compost		
	C1	C2	C3
Cl^-	1,70	1,85	2,96
SO_4^{-2}	2,84	1,70	4,04
NO_3^-	1,29	3,62	2,92

Promedio de mediciones por triplicado sobre la misma muestra con CV (%) < 1.

muestra húmeda por día para un compost que ha alcanzado su estabilidad.

En la Figura 2 se muestra el desprendimiento de CO_2 por triplicado en muestras de los tres compost. Se observa que en sólo dos días las cantidades de CO_2 desprendido por la actividad microbiana disminuye y se estabiliza en más o menos 1 mg de CO_2 por gramo de muestra por día. La evolución de CO_2 para los tres compost estudiados varía entre 0,25 y 0,40 mg C- CO_2 g⁻¹ d⁻¹, lo que está muy por debajo de lo recomendado por la bibliografía consultada.

Metales tóxicos: en el Cuadro 7 se muestra el contenido de algunos metales pesados encontrados en las muestras analizadas. Los contenidos de Pb, Cd, Cr, As y Cu están por debajo de las normas referidas (Hogg *et al.* 2002, INN Chile 2004), sin embargo, las cantidades de cadmio se encuentran debajo del límite inferior de la norma UE (0,7 y 3 ppm) (López 1998). La fuente de arsénico podría encontrarse en algunos plaguicidas utilizados en el campo o en el aserrín de madera utilizado ya que este proviene de madera tratada, igualmente para el caso de la presencia del cobre. Sin embargo, la presencia de materia orgánica humificada contribuye a la inmovilización de estos metales pesados en forma de quelatos (Fassbender 1980) o pueden ser adsorbidos irreversiblemente en las arcillas de los suelos (McBride 1984, Guzmán Alcalá 2007).

Para el caso del manganeso, las normas anteriores no contemplan intervalos específicos como metal tóxico, sin embargo, la normativa

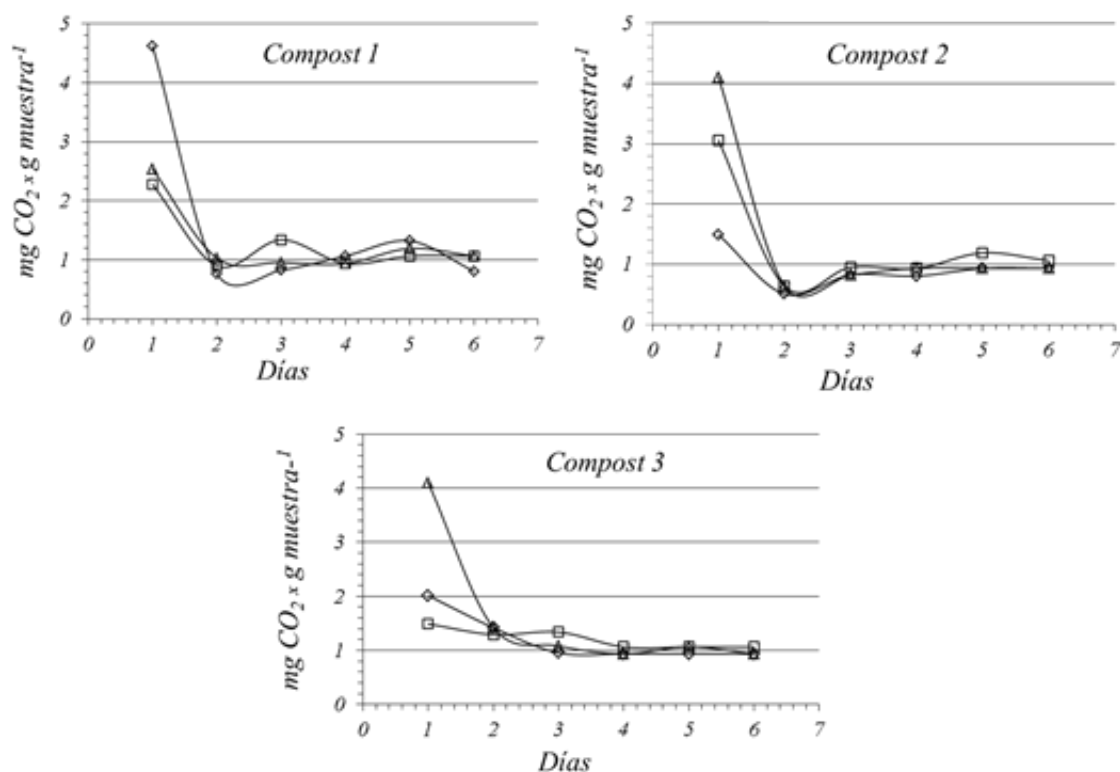


Figura 2. Miligramos de CO₂ desprendidos por gramo de muestra para las tres pilas de compost.

Cuadro 7. Metales tóxicos en base a materia seca. Promedio de mediciones por triplicado sobre la misma muestra con CV (%) < 1.

Compost	Metales tóxicos (ppm)					
	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Mn
C1	1,66	0,61	0,66	0,39	3,20	35,57
C2	0,26	0,25	0,83	0,42	6,52	19,96
C3	0,38	0,35	0,44	0,44	2,10	33,82

Pb: plomo; Cd: cadmio; Cr: cromo; As: arsénico; Cu: cobre; Mn: manganeso

Uruguay (Sztern y Pravia 1999) lo considera como micronutriente y reporta resultados de 250 ppm de Mn para compost con estiércol de vacuno y de 350 para compost con gallinazo.

Plaguicidas: fueron identificados y cuantificados 12 plaguicidas organoclorados y 3 organofosforados a nivel de trazas. En el Cuadro 8 se resumen los resultados del análisis. Las muestras analizadas de los compost C2 y C3 están menos

contaminadas ya que algunos de estos plaguicidas no fueron detectados como en el caso de las muestras provenientes del compost C1 donde se cuantificaron todos los plaguicidas identificados. Es preocupante la presencia de DDT y similares ya que son plaguicidas residuales y altamente resistentes a la descomposición. El plaguicida organofosforado clorpirifos y el organoclorado dieldrín están presentes en los tres compost. Estos biocidas se reportan en la literatura como comúnmente encontrados en compost (Brinton 2000) y la presencia de estos plaguicidas se debe probablemente a que los residuos son en gran parte hortalizas frescas de las zonas agrícolas del estado Mérida, donde se sabe que hay un uso no controlado de agroquímicos.

El comportamiento de biocidas en el suelo y medio ambiente está bastante documentado (McBride 1994, Sánchez y Sánchez 1984). Sin embargo, se conoce poco sobre biocidas en compost, aunque algunos de estos conceptos pudiesen aplicarse a los materiales compostados.

Cuadro 8. Contenido de plaguicidas en $ng.g^{-1}$ en muestras secas de los tres compost.

Compost	Plaguicidas								
	β -HCH	Chlorpirifos	Dieldrín	p p DDD	p p DDT	Mirex	Methoxychlor	Ethoprop	Ethion
C1	36 \pm 2	87 \pm 2	50 \pm 2	66 \pm 2	36 \pm 2	12 \pm 4	18 \pm 4	20 \pm 10	60 \pm 20
C2	nd	79 \pm 2	31 \pm 2	nd	nd	6 \pm 4	nd	20 \pm 10	nd
C3	nd	30 \pm 2	18 \pm 2	nd	6 \pm 2	6 \pm 2	nd	nd	Nd

nd: no detectado

La normativa consultada no es muy específica acerca de los estándares para estos pesticidas en compost o simplemente no menciona nada. Sin embargo, a nivel de estas trazas es difícil predecir si estos pesticidas pudiesen llegar a alguna parte de la cadena alimenticia, dependiendo del tipo de pesticida el mismo puede vaporizarse, puede ser adsorbido en la materia orgánica del compost o en el suelo, puede solubilizarse y movilizarse hacia los acuíferos, o puede ser descompuesto por vía química o biológica. Habiendo un porcentaje adecuado de MO, al igual que las trazas de metales pesados podría sucederse la adsorción en sitios activos del humus. Salvo el DDT y el dieldrín que son pesticidas persistentes, los pesticidas no residuales se pueden descomponer en el tiempo y dejar de ser peligrosos. A pesar de la presencia de estos pesticidas en las muestras de los compost, el nivel de concentración no inhabilita a estos materiales de ser utilizados como abonos en diferentes cultivos como flores y plantas ornamentales.

Análisis microbiológico

En el Cuadro 9 se muestran los resultados del análisis microbiológico de las muestras de los tres materiales compostados. Sólo en el caso del compost C3 se reporta la presencia de nemátodos, lo que hace poco viable su uso con fines agrícolas. Por el contrario, los compost C1 y C2 muestran poblaciones de hongos y bacterias que, aunque no fueron identificados en su género y especie, pueden ser beneficiosas. Esto indica la posibilidad de uso de estos materiales compostados como abonos.

CONCLUSIONES

Cuadro 9. Resultados del análisis microbiológico.

Análisis	Compost		
	C1	C2	C3
Hongos patógenos	Negativo	Negativo	Negativo
Hongos benéficos:			
<i>Rizopus sp.</i>	-----	Positivo	-----
<i>Trichoderma sp.</i>	Positivo	Positivo	Positivo
Bacterias:			
No patógenas	Positivo	Positivo	Positivo
<i>Xanthomonas sp.</i>	Positivo	-----	-----
<i>Erwinia sp.</i>	Positivo	-----	Positivo
Nemátodos			
Fitoparasíticos	Negativo	Negativo	Positivo
<i>Helictylenchus spp.</i>	-----	-----	Positivo
<i>Ditylenchus spp.</i>	-----	-----	Positivo

Para un compost, la condición de madurez viene dada por la serie de parámetros físicos, químicos, nutricionales, de estabilidad térmica, microbiológicos y de contaminación. Según las mediciones de temperatura los procesos de descomposición, de los tres compost se llevaron a cabo en un tiempo relativamente corto de 45 a 50 días.

Los materiales compostados, o productos finales, cumplen con la normativa internacional en relación al contenido de humedad y conductividad, aunque valores de pH están sobre el límite superior de los estándares consultados.

Los diferentes compost cumplen la normativa para nitrógeno total y las relaciones C/N están dentro de lo esperado, siendo más favorables para el compost C1. En relación al fósforo, sólo el compost C2 está sobre el estándar de la

normativa consultada. Las cantidades de calcio, magnesio y potasio, así como los resultados de materia orgánica están en concordancia con los datos de la literatura.

La prueba de estabilidad térmica fue satisfactoria solo en el compost C1, cuyo coeficiente de variación térmico estuvo por debajo del 1 %, mientras que para los compost C2 y C3 la prueba indicó que el proceso de descomposición continuó. Sin embargo, los resultados de las pruebas de evolución del CO₂ estuvieron por debajo de lo recomendado en la normativa internacional, lo que indica que los tres compost podrían poseer un grado de madurez importante.

Los análisis microbiológicos fueron favorables en los compost C1 y C2. En el compost C3 la presencia de nemátodos hace poco viable su utilización como abono debido al peligro de contaminación biológica con microorganismos perniciosos. El contenido de contaminantes como metales pesados y plaguicidas fue insignificante y no inhabilita a los materiales compostados de ser utilizados en cultivo agrícolas. Si se tiene reserva sobre trazas de metales pesados y plaguicidas, estos materiales compostados pueden usarse en cultivos de flores y otras plantas ornamentales, fertilización de áreas verdes de la ciudad o inclusive en programas de reforestación.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo pueden valorizarse en futuras investigaciones. De esta manera, construir un argumento a favor del uso de los materiales de desecho del Mercado Principal y otros desechos de fácil acceso en el entorno de la ciudad de Mérida, para la fabricación de compost a mayor escala. Además de establecer las bases para la normativa nacional, de las condiciones de producción, calidad y utilización de los compost como fertilizantes orgánicos.

AGRADECIMIENTOS

Al Profesor Milton Prada de la Universidad Experimental José Ma. Semprún, UNESUR, por la realización de los análisis de metales pesados; la Ing. Ma. Angélica Ormeño del INIA por su valiosa crítica a los resultados del presente

trabajo; el Dr. Jean Marie Hetier por la revisión del manuscrito; los participantes del III Taller de Abonos y Enmiendas Orgánicas, CIDIAT por sus aportes en la discusión abierta del mismo; y a la Dra. Rosaima García del Laboratorio de Fitopatología del INIA Mérida por los análisis microbiológicos.

LITERATURA CITADA

- Brinton, WF. 2000. Compost quality: Standards and guideline. New York, USA, Woods End. Res. Lab., Inc. NY. 230 p.
- CIDIAT-ULA (Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Universidad de los Andes, Venezuela). 2002. Reporte: Estimación de la producción de desechos sólidos en el área metropolitana de la ciudad de Mérida, estado Mérida. Mérida, Venezuela. 52 p.
- Carrillo de Cori, CE y Ruíz Dáger, M. 2012. (Informe de trabajo). Métodos para analizar parámetros químicos seleccionados para evaluar tanto materias primas como compost. Taller II de Enmiendas y Abonos Orgánicos. Métodos y Procedimientos Analíticos Aplicables en Abonos y Enmiendas Orgánicas: Hacia la Normalización. INIA – CIDIAT-ULA. Mérida, Venezuela. 33 p.
- Castro, F. 2008. Caracterización físico química de compost en dos tiempos del proceso de Compostaje. Tesis Ascenso a la Categoría de Profesor Agregado, Puerto Ordaz, Venezuela. Universidad Nacional Experimental de Guayana (UNEG). 90 p.
- Durán, L; Henríquez, C. 2007. Caracterización química, física y biológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1):41-51.
- Fassbender, HW. 1980. Química de suelos: Con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, San José de Costa Rica, Costa Rica, Editorial IICA. 350 p.

- Gabeta, J. 2004. Manual Teórico Práctico para la cría de lombrices. 2da Edición, Buenos Aires, Argentina, Ediciones Continente. 128 p.
- Guerrero-Marcucci, IE; Campo-Vera, Y. 2015. Evaluación del tiempo y calidad de producción de abono orgánico a partir de residuos de cocina con utilización de microorganismos eficientes y roca fosfórica (en línea). In II Semana Internacional y X Semana de Ciencia, Tecnología e Innovación. Memoria. Bogotá, Colombia, Universidad Francisco de Paula Santander. p. 443. ISSN 2422-3115. Consultado en 5 diciembre 2016. Disponible en www.ufps.co/ufps/IIsemanainternacional_cyt/ponencias.html/pdf
- Guzmán Alcalá, MC. 2007. La contaminación de suelos y aguas: Su prevención con nuevas sustancias naturales. Sevilla, España. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. 54 p.
- Hogg, D; Barth, J; Favoino, E; Centemero, M; Caimi, V; Amlinger, F; Devliegher, W; Brinton, W; Antler, YS. 2002. Review of compost standards in Belgium (Flanders). Nation Specific Supplement 2. Belgium, Published by The Waste Resources Action Programme (WRAP). 20 p.
- IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación). 2011. Esquema 2 de Norma IRAM 29556 – 1. Compostaje aeróbico (en línea). Buenos Aires, Argentina. Consultado en 8 de diciembre 2016. Disponible en <https://www.yumpu.com/es/document/read/40317233/esquema-2-de-norma-iram-29556-1>
- INN (Instituto Nacional de Normalización, Chile). 2004. Norma Nch 2880. C2003 (en línea). Santiago de Chile, Chile. Consultado en 14 enero 2017. Disponible en <http://www.in-geachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>
- Jackson, ML. 1970. Análisis químico de suelos. 2da Ed. Barcelona, España, Ed Omega. 662 p.
- López, R. 1998. Requisitos y normativa de calidad de compost. Madrid, España, Ministerio de Ciencia y Tecnología, CSIC, Proyecto LIFE00 ENV/E/000543. Madrid, España, CSIC. 23 p.
- McBride, MB. 1994. Environmental chemistry of soils, Oxford, England, Ed. Oxford University. 406 p.
- Meisinger, JJ; Jokela, WE. 2000. Ammonia volatilization from dairy and poultry manure: Managing nutrients and pathogens from animal agriculture. (NRAES – 130). Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (en línea), Ithaca, New York, USA. 21 p. Consultado en 14 enero 2017. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Jj_Meisinger/publication/245272887_Ammonia_Volatilization_from_Dairy_and_Poultry_Manure/links/546a19040cf2f5eb1807753a.pdf
- Melgarejo, MP; Ballesteros, MI; Bendeck, M. 1977. Evaluación de algunos parámetros físico químicos y nutricionales en humus de lombriz y compost derivados de diferentes sustratos. Revista Colombiana de Química 26(2):11-19.
- Millán, F; Hétiér, JM. 2015. Apéndice analítico: Métodos de análisis de suelo, descripciones y referencias *In*: López, R; Hétiér, JM; López, D; Schargel, R; Zinck, A. (eds). Tierras Llaneras de Venezuela. Tierras de Buena Esperanza, Mérida, Venezuela. ULA, p 697 – 863.
- Miller, JC; Miller, JN. 1998. Basic statistical methods for analytical chemistry. Part I. statistic of repeated measurements: A review. Analyst 113:1351-1356.
- Miller, JC; Miller, JN. 2002. Estadística y quimiometría para química analítica. 4ta edición, Madrid, España, Pearson Educación. 296 p.

- Moreno, J; Moral, R. 2007. Compostaje, 1ra edición. Madrid, España, Ediciones Mundi Prensa. 98 p. <https://es.scribd.com/document/21728186/compost-1>
- Pansu, M; Gautheyrou, J; Loyer, JY. 1998. L'Analyse du Sol: Echantillonnage, Instrumentation et contrôle. Paris. France, Ed. Masson, 497 p.
- Pérez, A; Céspedes, C; Núñez, P. 2008. Caracterización química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 8(4):10-29.
- Rodríguez, R; Alcantar, EG; Iñiguez, G; Zamora, F; García, PM; Ruiz, MA; Salcedo, E. 2010. Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia* 35(7):515-520.
- Sadzawka, A; Carrasco, MA; Grez, R; Mora, M. 2005. Métodos de análisis de compost: Revisión 2005. Series Actas INIA 30, 152 p. ISSN 0717-4810.
- Sánchez Martín, MJ; Sánchez Camazano, M. 1984. Los plaguicidas. Adsorción y evolución en el suelo (en línea). Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología. Temas de Divulgación, 1ra. Edición, Salamanca, España, Centro Superior de Investigaciones Científicas – CSIC. Consultado en 15 ene. 2018. Disponible en <http://digital.csic.es/bitstream/10261/12919/1/plaguicidas.pdf>.
- Skoog, DA; Holler, FJ; Nieman, TA. 2001. Principios de Análisis Instrumental. 5ta Ed. Madrid, España, McGraw Hill. 1028 p.
- Soliva, M; Condes, L; Indurain, M; López, M; Paulet, S. 2002. Análisis de muestras de compost. Barcelona, España, Escuela Superior de Agricultura. 85 p.
- Sztern, D; Pravia, MA. 1999. Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos (en línea), Asunción, Uruguay, Presidencia de la República, Oficina de Planeamiento y Presupuesto y Unidad de Desarrollo Municipal. 69 p. Consultado en 24 may 2017. Disponible en: