

Avances de Investigación

Pérdida y liberación de nutrimentos durante la descomposición de tres tipos de compost en condiciones de campo¹

Claudia Yaniris Muñoz Astaíza²; Reinhold Muschler³; Jean-Michel Harmand⁴; Gabriela Soto³

Palabras claves: broza de café; liberación de nutrimentos; estabilidad del compost.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la disponibilidad potencial de nutrimentos en compost y lombricompost de broza de café y en un compost elaborado con gallinaza, suelo, carbón vegetal, cascarilla y mucílago de café. Las tasas de descomposición y liberación de N, P, K, Ca y Mg fueron evaluadas durante 209 días, utilizando bolsas de descomposición colocadas bajo las copas de las plantas de café. Durante el compostaje se presentaron pérdidas superiores al 50% de los contenidos iniciales de los nutrimentos. Al final del período inicial de dos meses de compostaje se revelaron diferencias significativas en el grado de descomposición o madurez, siendo el más maduro el lombricompost y el menos maduro el compost de broza. En el campo, el compost de broza perdió más materia que los otros (36%), debido a su menor grado de descomposición; también presentó las mayores tasas de liberación de N (37%), P (61%), K (98%), Ca (22%) y Mg (42%) durante los 209 días. Aunque el compost de residuos tuvo el mayor contenido inicial de P, tuvo menor liberación de este elemento, posiblemente debido a una fijación del P por las arcillas del suelo agregado. La tasa de liberación de K correlacionó positivamente con el contenido inicial.

Nutrient loss and release during the decomposition of three types of compost under field conditions

Key words: Coffee pulp; nutrient release; compost stability.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the potential nutrient availability in coffee-pulp compost, vermicompost, and a compost made from chicken manure, soil, charcoal, and coffee parchment and mucilage (coffee-waste). Decomposition rate and the release of N, P, K, and Mg were evaluated during 209 days using decomposition bags placed under the crowns of coffee plants. During the composting process, more than 50% of the initial nutrient content was lost. At the end of the two-month composting period, composts differed significantly in the degree of decomposition or maturity. Vermicompost was the most mature and coffee-pulp compost the least mature. In the field, coffee-pulp compost lost the most dry matter (36%), because of its lower decomposition rate; it also released the highest amounts of N (37%), P (61%), K (98%), Ca (22%), and Mg (42%) during the 209 days. Although the mixed compost had the highest initial P content, less P was released, probably due to the fixation of P on clay particles added to the mixture. The rate of K release was positively correlated with initial content.

INTRODUCCIÓN

El uso eficiente de materiales orgánicos incorporados al suelo se logra cuando la dinámica de liberación de los nutrimentos coincide con la demanda nutricional por los cultivos. La velocidad de liberación de nutrimentos está en función de la fragmentación, mineralización y humificación, procesos determinantes para la descomposición (Lavelle *et al.* 1993, Zech *et al.* 1997). La descomposición está determinada por la temperatura, la

humedad, las propiedades del suelo, la actividad de la meso- y microfauna (Lavelle *et al.* 1993) y por la calidad de los materiales en descomposición (sobre todo su relación C/N y los contenidos de polifenoles y lignina).

Antes de incorporar materia orgánica al suelo, es común someterla a un proceso de compostaje; p.ej., una descomposición parcial para reducir el volumen y

¹ Basado en Muñoz A, CY. 2002. Disponibilidad de nutrimentos de tres compost. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 67 p.

² M.Sc. en Agroforestería Tropical, CATIE, Sede Central. Correo electrónico: claudiayaniris@yahoo.com (autora para correspondencia).

³ Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE, Sede Central. Correos electrónicos: muschler@catie.ac.cr; gabisoto@catie.ac.cr

⁴ CIRAD-Forêt/CATIE, Sede Central. Correo electrónico: harmand@catie.ac.cr

peso de los materiales y para obtener un producto más estable y con menos patógenos y semillas de malezas, entre otros beneficios (Rink 1992). Sin embargo, se reconoce que durante este proceso hay pérdidas de nutrimentos, principalmente de N. Martins y Dewels (1992) reportaron que se puede perder entre el 16 y el 75% del N total, dependiendo del contenido del N total del material, la temperatura, pH alto (>8) y la frecuencia de volteo.

El objetivo del presente trabajo fue comparar tres tipos de compost de residuos del procesamiento de cerezas de café con respecto a la calidad del producto final, la pérdida de nutrimentos durante el compostaje y la liberación de nutrimentos en condiciones de campo después del compostaje.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones ambientales y preparación de los compost

El compostaje se realizó en el CATIE (9°52'N, 83°39'O; 622 msnm; 21,8 °C temperatura media anual; 2479 mm de precipitación anual; y 87% de humedad relativa anual). Los ingredientes y el procesamiento de los tres compost se presentan en el Cuadro 1.

La broza (fresca) y el mucílago de café, proveniente del despulpado sin agua, se obtuvieron en noviembre del 2001 del beneficio CoopeSuiza. Solamente la broza para el lombricompost tenía dos meses de reposo. Los demás ingredientes provinieron de fincas cercanas (Muñoz 2002). Las proporciones del compost de residuos y el período de compostaje de dos meses se definieron con el criterio de un agricultor con experiencia en el tema (Edgar Víquez, miembro de la Asociación de Productores Orgánicos de Turrialba, diciembre del 2001), buscando una aplicabilidad amplia de los resultados.

El compostaje se realizó bajo techo en dos pilas de 45 cm de altura por 2,5 m de largo y 1,5 m de ancho, una

para broza y otra para el compost de residuos (no hubo repeticiones de los tratamientos). En la pila de broza, se colocaron 3800 kg de broza fresca por compostear (87% humedad; 494 kg materia seca) y en la pila de compost de residuos se colocaron 1423 kg de gallinaza, suelo, carbón vegetal, cascarilla y mucílago (55% de humedad; 783 kg materia seca). El volteo se realizó cada tres días, y el control de la humedad se efectuó mediante el tacto, asegurando que no cayeran gotas al presionar un puño de material (Dalzell *et al.* 1991). La cama de broza no se humedeció, ya que su contenido de humedad siempre fue superior al 60%. El compost de broza y el compost de residuos se prepararon durante dos meses. El lombricompost se preparó bajo techo en camas de menos de 20 cm de altura, durante un mes, empleando la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).



Pila de compost de broza (foto: Claudia Muñoz).

Durante el compostaje se evaluaron la temperatura y la humedad a cuatro profundidades (0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm). Para determinar la humedad, se tomó una muestra compuesta (cuatro submuestras por pila) de los materiales en las cuatro profundidades mencionadas y se secó a 65 °C durante 48 h. Todas las mediciones se realizaron a la misma hora cada tres días durante 60 días. Para evaluar los rendimientos del compostaje

Cuadro 1. Ingredientes y tipo de compostaje de los tres tipos de compost evaluados durante el estudio en CATIE, Turrialba, Costa Rica

Tipo de compost	Ingredientes	Procesamiento
Compost de broza	Broza fresca de café	Volteo cada 3 días
Lombricompost de broza	Broza de dos meses	Lombricompostaje
Compost de residuos	Gallinaza, suelo, carbón vegetal, cascarilla y mucílago de café en relación 1: 0,13 : 0,04 : 0,03 : 0,001 (peso seco).	Volteo cada 3 días

se pesaron los materiales al inicio y a los 59 días de compostaje.

Caracterización química de los compost

La materia orgánica se analizó por el método de Walkley-Black y carbono orgánico (Nelson y Sommer 1982); el N total por el método semimicro Kjeldahl (Jones y Case 1990); el pH en agua; los nitratos y amonio por extracción con KCl_2 2N y determinación por destilación; el P por colorimetría; y el K, Ca y Mg por absorción atómica (Mills y Jones 1996). La madurez se determinó por medio de las relaciones C/N y NH_4 -N/ NO_3 -N como indicadores (Mathur *et al.* 1993).

Ensayo de liberación

El experimento de liberación se realizó en una parcela de café (*Coffea arabica* cv. Catimor y Caturra) orgánico del CATIE bajo sombra de poró (*Erythrina poeppigiana*) y laurel (*Cordia alliodora*), con las características ambientales dadas arriba, entre marzo y octubre del 2002 (Fig. 1). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con parcelas divididas y cuatro repeticiones, donde las parcelas principales (100 a 180 m²) fueron asignadas a los tipos de compost y las subparcelas a las mediciones en el tiempo (siete bolsas de descomposición). No se empleó un área fija debido a que las filas de cafetos podadas en algunas secciones del cafetal obligaron a ampliar el área de las parcelas para obtener al menos 30 cafetos productivos (edades de entre cinco y ocho años). Se utilizaron bolsas de descomposición de 27 x 17 cm, en las cuales se colocaron 250 g de compost (peso fresco). El tamaño de los orificios de las bolsas fue de 330 μ m para la cara superior y de 40 μ m para la cara inferior (la cara en contacto con el suelo para evitar pérdidas de las fracciones más finas). Las bolsas se cubrieron

totalmente con una malla galvanizada con un tamaño de agujero de 25 mm² para evitar daños por armadillos y se aseguraron al suelo por medio de varillas de hierro, lo cual evitó el volteo y las pérdidas por gravedad.



Bolsa de descomposición en el campo (foto: Claudia Muñoz).

Cada grupo de bolsas (siete) se colocó aleatoriamente debajo de las copas de siete cafetos, orientando el largo de las bolsas en dirección este-oeste. Las evaluaciones se realizaron a los 9, 25, 53, 81, 98, 153 y 209 días. Después de su recolección en el campo, se trasladaron las bolsas al laboratorio para eliminar terrones y pequeñas plantas que crecían sobre el compost, se pesaron, y de cada bolsa se tomó una muestra de 20 g para determinar materia seca. Luego se mezcló el material de las cuatro repeticiones por tratamiento para determinar NH_4 y NO_3 .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Proceso de compostaje y composición química de los compost

La fase termofílica ocurrió durante los primeros 18 días de compostaje de la broza y hasta los 23 días en el compost de residuos (Fig. 2). Luego de esta fase, la temperatura descendió por debajo de los 40 °C pero sin pérdida de humedad, llevando a la descomposición anaeróbica. Esto posiblemente se debió a la humedad relativa de la zona (87%). Para eliminar el exceso de humedad de la pila, se dió una mayor aireación por medio de volteos diarios durante tres días y se incrementó la temperatura a través de una aplicación de una fuente de azúcares (miel de purga), a razón de 2 L por pila, después de los 23 días de iniciado el compostaje (por única ocasión). Debido a lo anterior, a los 36 días hubo nuevamente un aumento de la temperatura en ambas pilas, estabilizándose en 40 °C en el compost de broza y en 43 °C en el compost de residuos.

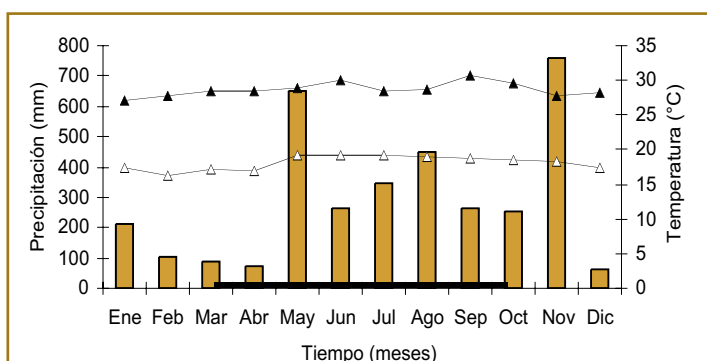
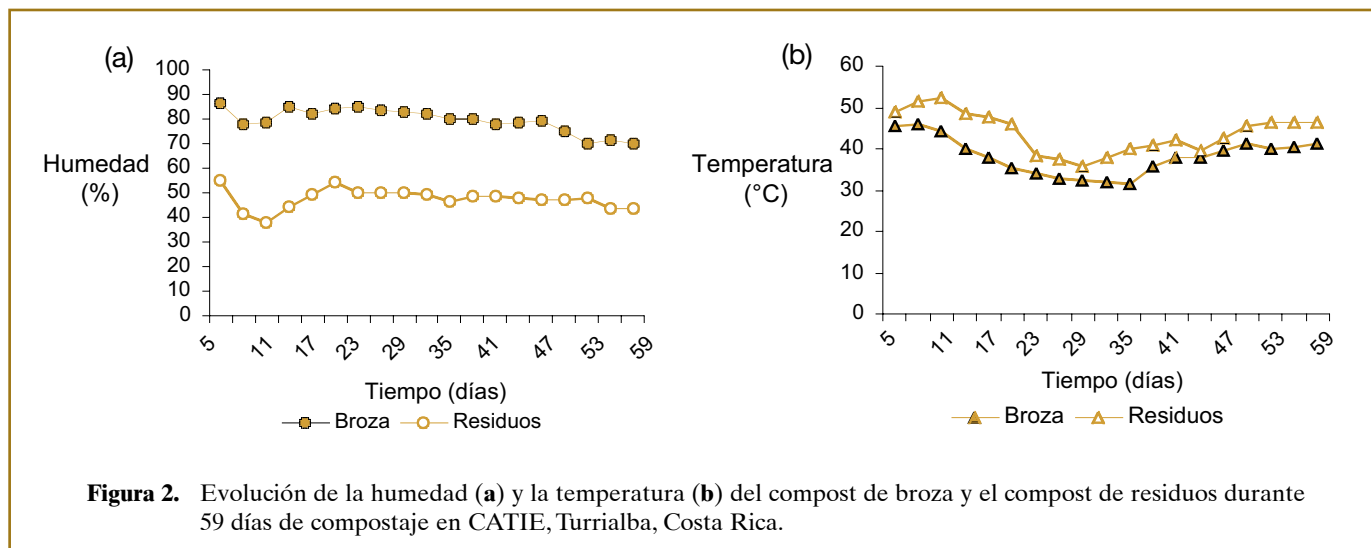


Figura 1. Precipitación mensual (barras) y temperatura máxima (▲) y mínima (Δ) en el CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2002. La barra horizontal indica el período experimental.



Los rendimientos fueron de 9,1% para el compostaje de broza y 41,5% para el de residuos en base húmeda, y 21,1 vs. 51,8% en base seca, respectivamente (Fig. 3). Para el compost de broza, los rendimientos de este estudio fueron cercanos a los encontrados por Blandón *et al.* (1998; 8,9 y 16,5% en base húmeda y seca, respectivamente). El menor contenido de humedad del compost de residuos se explica por su composición de materiales más secos. El pH en el compost de broza aumentó en una unidad, probablemente debido al aumento de las concentraciones de las bases (Cuadro 2), mientras que el pH del compost de residuos no cambió.

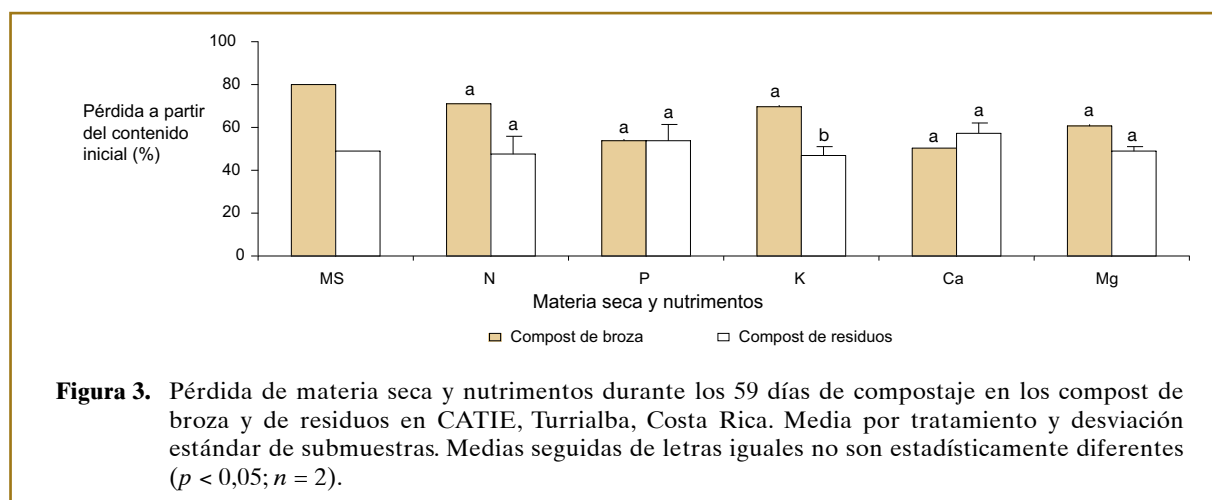
El compost y lombricompost (ambos de broza) difirieron significativamente en todas las variables, excepto C/N, P

(%) y Ca (%). Aparte del efecto de las lombrices, la edad mayor de dos meses de la broza para el lombricompost puede haber contribuido a estas diferencias. En el compost de broza, el contenido de N total fue similar al rango 3,2 a 4,2% reportado en la literatura (Moorthy *et al.* 1995, León-Arteta y Tzitzia 1997, Blandón *et al.* 1998). La concentración de N total en el lombricompost de broza fue menor a la reportada en la literatura, donde varía entre 3,2 y 4,1% (Carrillo *et al.* 1995, Orozco *et al.* 1996, Blandón *et al.* 1999). El porcentaje de N total del compost de residuos fue bajo en comparación con otros compost elaborados a partir de gallinaza (Castellanos y Pratt 1981, Hartz *et al.* 2000), aunque en el presente caso la gallinaza correspondió al 83% en peso seco del total de la mezcla. Para el compost de broza y el

Cuadro 2. Composición química de compost de broza y compost de residuos ($\pm s$) a los 7 y 59 días de compostaje, y composición del lombricompost al final del compostaje en CATIE, Turrialba, Costa Rica

Característica	Compost de broza		Compost de residuos		Lombricompost
	7 días	59 días	7 días	59 días	60 días
Humedad (%)	86,5 +/- 0,0	70,3 +/- 2,0a	51,4 +/- 0,0	43,8 +/- 0,0c	57,0 +/- 0,0b
PH	8,0 +/- 0,9	9,0 +/- 0,0a	8,6 +/- 0,1	8,6 +/- 0,0b	6,4 +/- 0,0c
N total (%)	2,5 +/- 0,2	3,6 +/- 0,0a	1,0 +/- 0,1	1,0 +/- 0,2c	2,5 +/- 0,2b
Amonio (mg/kg)	313,0 +/- 141	32,5 +/- 7,8b	2743 +/- 137	4,0 +/- 3,0b	145 +/- 26a
Nitratos (mg/kg)	14,8 +/- 1,0	1146 +/- 67b	17,3 +/- 6,0	4,2 +/- 1,2c	3033 +/- 35a
C orgánico (%)	43,5 +/- 0,7	37 +/- 0,0a	21 +/- 0,0	16,0 +/- 0,7c	27 +/- 0,0b
C/N	17,8 +/- 0,3	10,4 +/- 0,0b	20,5 +/- 0,0	15,0 +/- 0,7a	10,9 +/- 0,0b
P (%)	0,2 +/- 0,0	0,4 +/- 0,0b	1,1 +/- 0,0	1,0 +/- 0,2a	0,6 +/- 0,0b
K (%)	2,5 +/- 0,1	3,7 +/- 0,1a	1,5 +/- 0,0	1,5 +/- 0,1b	1,1 +/- 0,0c
Ca (%)	0,8 +/- 0,0	2,1 +/- 0,0b	5,2 +/- 0,5	4,3 +/- 0,5a	2,3 +/- 0,1b
Mg (%)	0,2 +/- 0,0	0,4 +/- 0,0b	0,4 +/- 0,0	0,4 +/- 0,0b	0,5 +/- 0,0a

Para el día 59-60 las medias seguidas de letras iguales no son significativamente diferentes (Duncan 1%).



lombricompost, las relaciones C/N y los contenidos de P, K y Mg finales fueron similares y los de Ca superiores a los valores reportados en la literatura (Moorthy *et al.* 1995, Blandón *et al.* 1998, 1999, Irison *et al.* 1999).

En relación con el peso inicial, las pérdidas fueron superiores en el compost de broza (Fig. 3). Los nutrientes de mayor pérdida para el compost de broza fueron N (71%), K (69,7%) y Mg (60,3%) mientras que en el compost de residuos fueron Ca (57%), P (54%) y Mg (49%). Una posible razón de las grandes pérdidas del compost de broza es la alta humedad de este sustrato, la cual superó ampliamente el 60% recomendado (Rink 1992). Este exceso de humedad probablemente condujo a la denitrificación y posterior volatilización del N, además de la lixiviación de nitratos. Las pérdidas de los demás elementos se debieron a la lixiviación. Las pérdidas encontradas en este estudio fueron similares a las reportadas por Blandón *et al.* (1998; 60% N, 66% P, 69% K, 53% Ca y 60% Mg) durante dos meses de compostaje con dos volteos semanales. Contrario a estos resultados, Moorthy *et al.* (1995) hallaron pérdidas muy inferiores de N (27%) y P (0%) después de cuatro meses de compostaje, mientras que el K también sufrió una alta pérdida (73%).

Madurez del compost

Respecto a la madurez, la relación C/N de los tres compost se encontró dentro del rango de 8 a 15 mencionado por Mustin (1987) para el final del compostaje. Asimismo, la relación $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ fue menor a 0,5 para el compost y lombricompost de broza considerado por Brinton (2000) como valor máximo para compost muy maduros. El compost de residuos tuvo una relación $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ cercana a 1.

Patrones de descomposición de los compost en el campo

Descomposición de materia orgánica

La pérdida de materia seca de los tres compost en el campo fue lineal en relación con el tiempo (0,74 para el compost de residuos; 0,3 para el lombricompost; y 0,77 para el compost de broza). Al cabo de los 209 días de evaluación, el lombricompost y el compost de residuos fueron los materiales con menos pérdidas (7 y 13% del peso inicial, respectivamente), mientras que el compost de broza había perdido el 36% (Cuadro 3).

La comparación con las tasas de liberación halladas en otras investigaciones es difícil debido a las diferencias

Cuadro 3. Promedio de materia seca y nutrientes liberados (% del valor inicial) luego de 209 días de descomposición en CATIE, Turrialba, Costa Rica

Materiales	Materia seca y elementos liberados (% del peso inicial)					
	MS	N	P	K	Ca	Mg
Compost de broza	35,9 a	37,1 a	61,1 a	98,1 a	22,1 a	41,7 a
Lombricompost	6,9 b	24,0 b	37,8 b	79,0 c	30,1 a	35,4 a
Compost de residuos	13,3 b	24,3 b	15,4 b	90,7 b	0,0 b	25,3 a

MS: materia seca. Las diferencias entre medias son estadísticamente significativas cuando los promedios están seguidos de letras diferentes ($p < 0,05$; $n = 4$).

en la composición de estos materiales y a la influencia ambiental. Sin embargo, era de esperar que los compost presentaran tasas de descomposición menores que materiales frescos como las hojarasca, debido a que ya habían pasado por una etapa de descomposición. Por ejemplo, en esta misma zona, el estudio realizado por Arco-Verde (1998) mostró que la hojarasca de *Gliricidia sepium*, *Calliandra calothyrsus*, *Canavalia ensiformis* y *Mucuna pruriens* al cabo de 60 días perdió entre el 30 y 50% de su materia seca inicial. El compost de broza a los 53 días es el que se acerca más a estas tasas, ilustrando su menor grado de descomposición y a la vez la mayor madurez del lombricompost.

Los estudios sobre pérdidas de biomasa de compost son escasos. La pérdida de materia seca hallada por Balkcom *et al.* (2001) —de alrededor del 36% para un compost de lodos urbanos al cabo de un año en condiciones de campo, bajo 1270 mm de precipitación anual y 19 °C de temperatura media— fue menor, ya que el compost de broza liberó 36% de su materia seca en tan solo 209 días. Aparte de las diferencias entre los materiales, es posible que esto se deba (al menos parcialmente) a diferencias en las condiciones meteorológicas. En comparación con el lombricompost y el compost de residuos, el compost de lodos urbanos perdió mucha más materia seca, posiblemente debido a una menor madurez, indicada por la amplia relación C/N de 23,1.

Patrones de liberación de nutrientes en el campo

El compost de broza liberó más del 50% de sus contenidos de P y K y menos del 50% de los otros nutrientes en los 209 días de evaluación. El lombricompost liberó menos del 60% del contenido inicial de todos los nutrientes, con excepción del K. El compost de residuos fue el tratamiento con la liberación más lenta, excepto para el K, el cual tiene una liberación rápida de todos los materiales (Cuadro 3).

Durante los primeros 98 días de evaluación, ningún tratamiento liberó cantidades sustanciales de N. El compost de residuos tuvo el comportamiento más irregular, posiblemente debido a su composición heterogénea en comparación con los otros dos. Hasta el día 209 de evaluación, el compost de broza había perdido más de su N inicial (Cuadro 3). Entre los 0 a 53 y 0 a 153 días se hallaron correlaciones negativas significativas entre la relación C/N y las tasas de liberación de N, ilustrando la mayor disponibilidad de N-NO₃ y N-NH₄ para ser liberados con relaciones C/N bajas.

El lombricompost y compost de broza liberaron el P en forma lineal, mientras que la liberación del compost

de residuos no pudo ser descrita por ningún modelo. Al final de los 209 días de evaluación, el compost de broza había perdido el 61%, el lombricompost de broza el 38% y el compost de residuos el 15% de sus contenidos iniciales (Cuadro 3). La tasa de liberación del P tuvo una correlación positiva con el contenido de N inicial, pero negativa con el contenido de P inicial. Lo anterior significa que su liberación dependió fuertemente de la disponibilidad de N para la actividad microbial. La correlación negativa con el P inicial se explica porque el compost de residuos tuvo los mayores contenidos de P provenientes de la gallinaza, pero su liberación fue la menor, posiblemente causada al fijarse el P con las arcillas del suelo con que se mezcló.

El K tuvo una liberación no lineal. Las pérdidas elevadas de K (Cuadro 3) son comunes debido a su alta solubilidad. Las tasas de liberación del K tuvieron una correlación positiva con el contenido inicial de K. La liberación del Ca fue lineal para el compost y lombricompost de broza; el compost de residuos, debido a sus altas fluctuaciones, no pudo ser descrito por ningún modelo. Este compost no tuvo pérdidas, debido probablemente a una inmovilización del Ca (Cuadro 3). El compost de broza y el lombricompost no difirieron (20-30% liberados), probablemente porque el Ca forma parte de un mismo tipo de material vegetal. El empleo de abonos orgánicos con bajas tasas de liberación, como las encontradas en nuestro estudio, sugiere que en suelos con bajos contenidos de Ca se deben emplear fuentes de liberación rápida, como las minerales. La liberación de Mg fue lineal en el compost y lombricompost de broza. El compost de residuos presentó una tasa de liberación definida solamente a partir de los 98 días de evaluación. La tasa de liberación correlacionó positivamente con el contenido inicial de Mg y N como elemento determinante de la actividad microbial.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Durante los dos meses de compostaje se presentaron pérdidas de N, P, K, Ca y Mg entre el 49 y el 71% de los contenidos iniciales. Para la mayoría de nutrientes, estos porcentajes fueron superiores a los porcentajes liberados en el campo durante siete meses.
- Las tasas de descomposición durante los 209 días en el campo siguieron el orden: compost de broza > compost de residuos > lombricompost. El menor grado de descomposición del compost de broza explica su mayor pérdida, caso contrario al lombricompost. El menor contenido de N total del compost de residuos explica su menor descomposición.

- Las tasas de liberación de N siguieron el orden: compost de broza > compost de residuos = lombricompost. El contenido inicial de N correlacionó positivamente con la tasa de liberación de N.
- Las tasas de liberación de P siguieron el orden: compost de broza > compost de residuos = lombricompost. Se halló correlación negativa con el contenido inicial de P, lo cual se explica por una posible fijación del P por las arcillas del sustrato en el compost de residuos, el compost con el mayor contenido de P inicial.
- Las tasas de liberación de K siguieron el orden: compost de broza > compost de residuos > lombricompost. El contenido inicial de K correlacionó positivamente con las tasas de liberación.
- Las tasas de liberación de Ca siguieron el orden: lombricompost > compost de broza > compost de residuos.
- Para disminuir la variabilidad en los análisis de compost con composición heterogénea, como el compost de residuos de este estudio, se recomienda usar más repeticiones y analizar cada muestra independientemente.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Arco-Verde, MF. 1998. Tasa de descomposición, disponibilidad de nutrientes y efectos de la aplicación de compuestos orgánicos en el cultivo del maíz en un Humic Andosol de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 105 p.
- Balkcom, KS; Adams, JF; Hartzog, DL; Wood, CW. 2001. Mineralization of composted municipal sludge under field conditions. *Communications Soil Science Plant Analysis* 32 (9/10):1589-1605.
- Blandón, CG; Rodríguez, VN; Dávila, AMT. 1998. Caracterización microbiológica y físico - química de los subproductos del beneficio del café en proceso de compostaje. *Cenicafé* 49(3): 169-185.
- _____; Dávila, AMT; Rodríguez, NV. 1999. Caracterización microbiológica y físico - química de la pulpa de café sola y con mucílago en proceso de lombricompostaje. *Cenicafé* 50 (1): 5-23.
- Brinton, WF. 2000. Compost quality standards & guidelines; final report. Estados Unidos, Woods End Research Laboratory, New York State Association of Recyclers. 62 p.
- Carrillo, CM; Gómez, ZJ; Miranda, CJ. 1995. Caracterización de los ácidos húmicos extraídos de cuatro lombricompostos y su efecto sobre la germinación de semillas de maíz *Zea mays* L., algodón, *Gossypium hirsutum* y tomate *Lycopersicon esculentum* L. *Acta Agronómica* 46(1/4):30-36.
- Castellanos, JZ, Pratt, PF. 1981. Mineralization of manure nitrogen- Correlation with laboratory indexes. *Soil Science Society of America Journal* 45: 354-357.
- Dalzell, HW; Biddlestone, AJ; Gray, KR; Thurairajan, K. 1991. Manejo del suelo; producción y uso de composte en ambientes tropicales y subtropicales. Servicio de Recursos, Manejo y Conservación de Suelos. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas, FAO. 178 p.
- Hartz, TK; Mitchell, JP; Giannini, C. 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and compost. *HortScience* 35(2):209-212.
- Irisson, SN; Barois, I; Aranda, EG. 1999. Calidad química, bioquímica y bacteriológica de la vermicomposta de pulpa de café. Simposio Internacional y primera reunión nacional. (1999, Chapingo, MX). *Lombricultura y abonos orgánicos*. Eds. Martínez, C; Romero, R; Corlay L, Trinidad, A y Santoyo, LF. Chapingo, MX. p. 145-147.
- Jones, JB; Case, V. 1990. *Soil testing and plant analysis*. 3 ed. Wisconsin, US. p. 414.
- Lavelle, P; Blanchart, E; Martin, A; Martin, S; Spain, A; Toutain, F; Barois, I; Schaefer, RA. 1993. Hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems; application to soils of the humid tropics. *Biotropica* 25(2):130-150.
- León-Arteta, R; Tzitzia, FO. 1997. Elaboración de composta aeróbica de pulpa de café en Zongolica, Veracruz. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 3(1):55-59.
- Martins, O; Dewels, T. 1992. Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes. *Bioresource Technology* 42(2):103-111.
- Mathur, SP; Owen, G; Dine, H; Schnitzer, M. 1993. Determination of compost biomaturity. *Biological Agriculture and Horticulture* 10:65-85.
- Mills, HA; Jones, JB. 1996. *Plant Analysis Handbook II*. Georgia, US, Micro Macro Publishing. p. 119.
- Moorthy, VK; Moorthy, AK; Rao, KB. 1995. Studies on composting coffee wastes. *Journal of Coffee Research* 25(2):64-79.
- Muñoz, C. 2002. Disponibilidad de nutrientes de tres compost. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 67 p.
- Mustin, M. 1987. *Le Compost, gestion de la matière organique*. Paris, FR, Editions François Dubusc. 954 p.
- Nelson, DW; Sommer, LE. 1982. Total carbon and organic matter. *In Methods of soil analysis chemical and microbiological properties*. 2 ed. p. 539-594. (Agronomy Series no. 9).
- Orozco, FH; Cegarra, J; Trijillo, LM; Roig, A. 1996. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia foetida*: effects on C and N contents and the availability of nutrients. *Biology and Fertility of Soils* 22:162-166.
- Rink, R. 1992. *On-farm composting handbook*. New York, US, Northeast Regional Agricultural Engineering Service. 186 p.
- Zech, W; Senesi, N; Guggenberger, G; Kaiser, K; Lehmann, J; Miano, TM; Miltner, A; Schroth, G. 1997. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma* 79:117-161.