

DINÁMICA MICROBIOLÓGICA EN ABONOS OBTENIDOS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE FINCAS CAFETERAS

*Natalia Escobar Escobar**, *Jairo Ricardo Mora-Delgado*** y *Néstor Romero Jola****

* Profesora Investigadora, Universidad de Cundinamarca.

** Profesor Asociado, Líder Grupo de Investigación Sistemas Agroforestales Pecuarios, Universidad del Tolima. Correo electrónico: jrmora@ut.edu.co

*** Profesor Asistente, Departamento de Sanidad Animal, Universidad del Tolima.

Recibido: 5 de julio de 2013; aprobado: 3 de septiembre de 2013

RESUMEN

La producción de cultivos y animales genera globalmente un alto nivel de residuos orgánicos que ocasionan efectos negativos en el ambiente; estos residuos pueden aprovecharse si se tiene en cuenta que son una fuente reutilizable de nutrientes y energía. Con base en los procesos biológicos y bioquímicos que suceden durante el compostaje se busca mejorar la calidad y aprovechamiento de residuos orgánicos. Se compostó material orgánico en tres mezclas de material orgánico (pulpa de café, banano, gallinaza y bovinaza), proveniente de fincas cafeteras ubicadas en el departamento de Cundinamarca. Al contrario de las bacterias, las poblaciones de hongos son significativamente bajas en las etapas iniciales del compostaje, presentándose una tendencia ascendente en el tiempo. Las actinobacterias pueden estar presentes en cualquier etapa del proceso.

Palabras clave: compostaje, abonos orgánicos, indicadores, calidad.

ABSTRACT

MICROBIOLOGICAL DYNAMIC OF MANURES MADE OUT OF COFFEE FARMS ORGANIC WASTES

The animal and crops production globally generates a high level of organic waste that result in negative effects on the environment; these residues can be exploited like a reusable source of nutrients and energy. Based on the biological and biochemical processes that occur during composting, the improvement of the quality and use of organic waste can be enhanced. Organic material in three mixtures (coffee pulp, banana, cattle and hens manure) from coffee farms located in Cundinamarca Department, was composted. Unlike bacteria, fungal populations are significantly lower in the initial stages of composting, introducing an upward trend over time. Actinobacterias may be present at any stage of the process.

Key words: composting, organic fertilizers, indicators, quality.

INTRODUCCIÓN

Se sabe que el procesamiento del café maduro genera el 80% del volumen de desechos y cada elemento residual en un grado diferente constituye un riesgo para el ambiente (Pujo *et al.*, 2000); en realidad, en el proceso del café se estima que menos del 5% de la biomasa generada se aprovecha en la elaboración de la bebida, el resto queda en forma residual (Rodríguez & Zambrano, 2010), además de hojarasca y leña (Rodríguez, 1999).

Pero en las fincas cafeteras también se produce otra serie de materiales orgánicos reciclables, ya que normalmente el cultivo del café está asociado con musáceas y otras especies leñosas usadas como sombrío. En musáceas, se estima que por cada hectárea se dispone de seis toneladas de raquis (peso fresco) de fruta y diez toneladas de fruta de rechazo o residuos de cosecha (Reyes, 2013). Tales residuos, como pseudotallo, vástago y hojas, poseen potencialidades de reciclaje para el uso en la alimentación animal.

La producción de residuos orgánicos provenientes de las actividades pecuarias es igualmente significativa. Se han hecho estimaciones entre 3,3 y 4,0 ton/ha de materia seca de estiércol de bovino proveniente de fincas de la zona cafetera del Tolima y entre 4,3 y 8,2 ton/ha en fincas ganaderas de clima medio de Cundinamarca, más la cantidad de materia seca entre 5,5%; 8,5% del peso vivo proveniente de aves y porcinos, respectivamente (Estrada, 2002; Piñeros *et al.*, 2011).

Esto sugiere la urgencia de introducir cambios en la cultura para sustituir el desperdicio por el reciclaje. Si se considera la producción cafetera, pecuaria y de otros componentes agrícolas y animales que existe en la zona cafetera, es lógico inferir que el estudio de flujo de masas orgánicas en estos sistemas es fundamental para mejorar los procesos de reciclaje de nutrientes. Una de las alternativas de manejo de estos residuos orgánicos es el compostaje, práctica

que a través de respiración aerobia persigue disminuir efectos negativos sobre el ambiente así como también recuperar energía (Barral *et al.*, 2001; Adams & Frostick, 2007).

La pulpa del café posee características apropiadas para el proceso de compostaje ya que contiene un alto contenido de azúcares (fuente energética), una buena relación carbono/nitrógeno (25-30:1) y un tamaño de partícula adecuado, por lo que el compostaje de este sustrato como de otros residuos agropecuarios se ha difundido como una alternativa de manejo inocuo de residuos (Zuluaga-Vasco, 1989; Soto & Muñoz, 2002).

Las poblaciones microbianas son el componente activo de los procesos de biodegradación y conversión durante el compostaje. Así, la calidad del compost está directamente relacionada con la composición y sucesión de comunidades microbianas durante el proceso, siendo los hongos, bacterias y actinobacterias los que realizan la verdadera degradación de la materia orgánica, liberando nutrientes de manera lenta en el tiempo (Peters *et al.*, 2000; Ozores-Hampton, 2006). Cuando los abonos orgánicos son aplicados al suelo son los microorganismos nativos los que continúan la biodegradación de la materia orgánica y constituyen un importante reservorio lábil de C, N y P (Díaz *et al.*, 1993).

Así, el presente estudio tiene como objetivo la caracterización de la dinámica microbiológica del proceso de compostaje de materiales orgánicos provenientes de fincas cafeteras y su relación con parámetros físicos y químicos, para la toma de decisiones sobre su uso como abonos orgánicos en agricultura.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación inició con el diagnóstico y cuantificación de residuos orgánicos producidos en sistemas agropecuarios ubicados entre 1000 y

2000 msnm en Cundinamarca y Tolima. Para ello se utilizó la información obtenida en dos proyectos (Mora-Delgado, 2009; Universidad de Cundinamarca, 2009). En el primero, se identificó que los sustratos más frecuentes eran pulpa de café (cacota), residuos de musáceas, hojarasca, forrajes residuales, estiércoles de bovinos (bovinaza), porcinos (porquinaza) y aves de corral (gallinaza). El segundo proyecto, permitió generar una base de datos de 202 fincas del departamento de Cundinamarca, donde se estimó la cantidad de heces producidas anualmente por cada finca ganadera, siguiendo la metodología de Colorado State University (2009), que consiste en hacer cálculos de heces con base en el número y tipo de animales presentes en el predio, el peso vivo en edad adulta

y la extensión del tiempo que permanecen en la explotación.

Fase experimental

Se hizo monitoreo en un ambiente controlado en microcomposteras de 0,9 m de alto x 0,6 m de diámetro, usando los residuos orgánicos más comunes identificados en los proyectos en mención. Las unidades experimentales se establecieron en la Quinta Villamaría, ubicada en el municipio de Fusagasugá, entre los 4° 21' 00" latitud Norte y los 74° 24' 00" de longitud Occidental (Lat: 004° 20' 38" N / Long: 074° 22' 04" O), a una altura promedio de 1.720 msnm (Figura 1).



Figura 1. Localización de la zona de estudio en el municipio de Fusagasugá (Colombia).

Diseño de los experimentos

Se evaluaron tres mezclas de sustratos orgánicos: de banano (BN), bovinaza (BV), pulpa de café (CA) y gallinaza (GZ). Con estos se prepararon mezclas usando proporciones adecuadas de residuos fibrosos y lábiles teniendo en cuenta que conservaran una relación C/N entre 35:1 y 25:1 para alcanzar al final

del proceso un compost con una relación de 15:1 (Tabla 1). Las muestras para determinar la relación C/N se procesaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad del Tolima mediante el método Walkley-Black. La mezcla se balanceó con la fórmula de Cornell (Richard & Trautmann, 1996) usando datos secundarios:

$$R = \frac{Q_1(C_1*(100-M_1))+Q_2(C_2*(100-M_2))+Q_3(C_3*(100-M_3))+ \dots}{Q_1(N_1*(100-M_1))+Q_2(N_2*(100-M_2))+Q_3(N_3*(100-M_3))+ \dots}$$

Dónde: R = C/N de la mezcla de compost; Q_n = N_n = nitrógeno (%) del material n; M_n = contenido de humedad (%) del material n; C_n = carbono (%) del material n;

Tabla 1. Proporción de materiales orgánicos y relación C/N en tres mezclas

Mezcla	Medida (kg)	Ingredientes					C/N
		Pulpa café	Bovinaza	Gallinaza	Banano	Hojarasca	
1	Peso fresco	15,0		15,0	5,0	50,0	27
	Materia seca	6,0		12,8	1,0	40,0	
2	Peso fresco	15,0	15,0		5,0	50,0	27
	Materia seca	6,0	12,8		1,0	40,0	
3	Peso fresco	8,5	17,0	17,0		42,5	27
	Materia seca	4,0	15,0	15,0		34,0	

Preparación de las mezclas

Los componentes de la mezcla fueron homogeneizados. Para ello, los residuos de banano fueron picados para reducir el tamaño de las partículas a aproximadamente 0,5 cm. Además, fue necesario hidratar la bovinaza y gallinaza para establecer una óptima humedad, no mayor de 60%, la cual fue determinada mediante el método gravimétrico. A cada tratamiento se le adicionaron 10 g por cada 100 g de muestra de compost terminado de gallinaza como inóculo para promover la diversidad y actividad microbiana y reducir el tiempo de maduración (Jia *et al.*, 2011) más 10 g de melaza diluida para estimular la actividad microbiana. Finalmente, se procedió a llenar los bultos de lona hasta una altura de 90 cm, altura probada para garantizar un aumento adecuado de temperatura.

Disposición de las microcomposteras

Las microcomposteras se dispusieron en una base de madera cubierta con plástico con un desnivel inclinado del 17%. El piso de la base tenía un

canal para la colección de lixiviados en envases de plástico puestos sobre el piso en un extremo de las canaletas (Figura 2A). Para mantener una aireación adecuada se insertaron en el centro de cada bulto, tubos perforados de PVC de 2 pulgadas de diámetro (Figura 2B).

Variables microbiológicas

Se tomaron muestras de cada tratamiento con las cuales se hicieron conteos microbiológicos en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad de Cundinamarca. A los 0, 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días del proceso de compostaje se realizaron muestreos para hacer un conteo microbiológico de UFC/mL (Unidades Formadoras de Colonia) de bacterias, hongos y actinobacterias.

Todos los materiales a utilizar (tubos de ensayo, cajas de Petri, erlenmeyers, pipetas) fueron esterilizados en un autoclave (All American B-32) de 15-20 minutos a 121°C, al igual que los medios de cultivo preparados en erlenmeyers tapados con algodón hidrófobo y papel de aluminio.

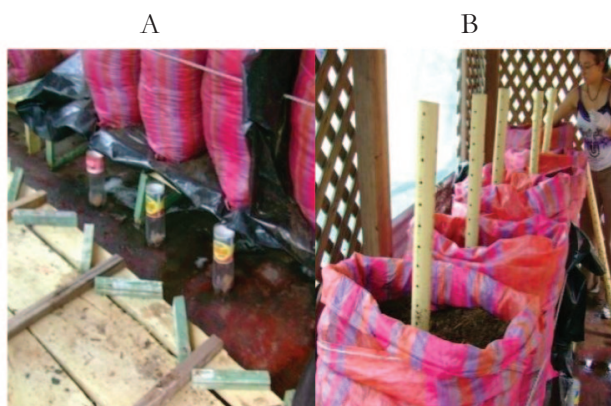


Figura 2. Sistema de aireación (A) y base para la disposición de las microcomposteras con recipiente para la colecta de lixiviados (B).

Preparación medios de cultivo

Para realizar el conteo bacteriano se utilizó el medio PCA (Plate Count Agar, pH 7), ya que se quería estimar la cuantificación general de bacterias, según lo reportado por Lauber *et al.* (2009). Para hongos totales se usó el medio sólido PDA (Potato Dextrosa Agar, pH 5,5) y para actinobacterias se utilizó el medio AA (Almidón Amoniaco, pH 5,5), todos los medios empleados fueron marca MERCK. Para los recuentos bacterianos el PCA es un medio nutritivo que permite el recuento de mesófilos, los medios PDA y AA permiten el recuento de levaduriformes (mohos y levaduras) que crecen en pH con tendencia ácida.

Todos los medios (PCA, PDA, AA) se sirvieron en cajas de Petri. Este procedimiento se realizó en condiciones totalmente estériles mediante el uso de una cámara de flujo laminar (LABOTEC modelo 403) y mechero de gas encendido al que se aproxima el recipiente con el medio, mientras que con la otra mano se acerca la caja de Petri, se abre al lado de la llama y se vierte en ella un poco de medio, cerrándose inmediatamente. Este proceso se repite hasta terminar el medio preparado.

Algunos autores como Tiquia & Won (2002), Adamantini *et al.* (2009), Duangporn *et al.* (2009),

Casacchia *et al.* (2011) y Coelho *et al.* (2013) han utilizado en sus investigaciones el medio PCA para cuantificación de bacterias asociadas a los procesos de compostaje.

Diluciones seriadas

Para todos los tratamientos, previamente refrigerados, se tomaron 10 g de muestra y se diluyeron en 90 mL de agua peptonada al 1,0%. De esta dilución se tomó una alícuota de 1 mL y se diluyó en 9 mL de agua peptonada para obtener la dilución 10^{-2} . Este procedimiento se repitió consecutivamente hasta obtener la dilución 10^{-8} .

La lectura de las UFC/mL, consistió en contar las colonias que crecieron sobre el medio, teniendo en cuenta las cajas que contenían entre 30 y 300 colonias. Las cajas en las que se presentó sobrecrecimiento se descartaron y se realizó de nuevo el procedimiento.

Acidez (pH)

Se midió la acidez para monitorear la calidad del proceso cada 15 días. Se utilizó un potenciómetro (HANNA-HI 8314) para cada uno de los sustratos y sus mezclas: BN, BV, CA, GZ, MZ1, MZ2 y MZ3. Para medir el pH de los tratamientos se mezclaron

2,5 mL de agua destilada y muestra de abono en proporción 1 g, se puso en agitación por 10 minutos y finalmente se dejó reposar por 5 minutos para hacer la lectura con el potenciómetro.

Análisis estadísticos

Para evaluar el efecto de las mezclas sobre la dinámica de maduración del compost, los datos se analizaron en un diseño completamente al azar con una estructura de medidas repetidas en el tiempo, considerando cada compostera como unidad experimental con 3 réplicas y diferentes tiempos de evaluación. Cada punto de muestreo contó con 3 réplicas. El modelo fue corrido a través del procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS, versión 9.0 (SAS® Institute Inc, 2002).

El mismo diseño experimental fue usado para evaluar la calidad final al día 90 de maduración del compost. El modelo fue corrido a través del procedimiento de Modelo Lineal General (GLM). Cuando se registró efecto significativo (alfa del 5%) de los factores experimentales, se procedió a realizar pruebas de comparación de medias de Tukey, por medio del mismo programa estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros microbiológicos

Las poblaciones de bacterias en MZ1 y MZ3 presentaron una tendencia similar, con un comportamiento diferenciado por etapas: la primera hasta el día 15 con una concentración significativamente alta ($P < 0,05$), a partir de este día se nota un progresivo decrecimiento y después del día 30 una menor población de bacterias, estabilizándose hasta el final del proceso ($P < 0,05$) (Tabla 2).

Las poblaciones bacterianas altas de MZ1 y MZ3 en los primeros 15 días, posiblemente derivadas de la alta carga bacteriana presente en la gallinaza,

como se encontró en el análisis de sustratos simples realizado por Escobar (2011) y que concuerda con lo reportado por Meléndez & Soto (2003) y Salazar *et al.* (2004) respecto a la alta concentración bacteriana de este sustrato. En el mismo sentido, el estudio de Pérez *et al.* (2006) reportó la alta cantidad de microorganismos presentes en una mezcla que contenía gallinaza, pulpa y restos vegetales, donde los grupos de bacterias alcanzaron valores entre $9,5$ y $6,9 \times 10^9$ UFC/mL de dilución.

En contraste, la mezcla 2 presenta una baja carga bacteriana en la etapa inicial del compostaje y progresivamente va aumentando hasta el día 30, posiblemente por un incremento progresivo de la carga microbiana contenida en la bovinaza, que puede beneficiarse de una liberación lenta de nutrientes provenientes de los sustratos en el proceso de degradación de las paredes celulares, resultando en un rico caldo de cultivo para el incremento de la población bacteriana, dado el alto contenido de carbohidratos solubles de la pulpa de café (Urbaneja *et al.*, 1997).

Es sabido que los carbohidratos sirven como fuente de energía para los microorganismos y otra pequeña fracción de carbón es incorporada a las células microbiales (Artola *et al.*, 2009). Así, los primeros microorganismos que llegan con los residuos orgánicos en las primeras etapas se multiplican (en algunos casos) cambiando las condiciones del medio y haciéndolos más aptos para otro grupo microbiano (Ryckeboer *et al.*, 2003).

Por otra parte, las bacterias se adaptan más fácilmente a los cambios rápidos en disponibilidad de sustratos y otros parámetros (temperatura, humedad y disponibilidad de oxígeno) que caracterizan las primeras fases y en las que presentan una amplia ventaja competitiva frente a los hongos. Capacidad derivada de su elevada velocidad de crecimiento, su gran diversidad metabólica, la capacidad de algunas especies para formar esporas muy resistentes a condiciones ambientales adversas y a la presencia

de microorganismos capaces de desarrollarse en amplios rangos de temperatura (Moreno & Moral, 2008). A pH bajo hay un mayor crecimiento de UFC, en cambio entre más se incrementa el pH no es significativo el crecimiento de las bacterias (Castrillón *et al.*, 2006).

Al contrario de las bacterias, las poblaciones de hongos son significativamente bajas ($P < 0,05$) en las etapas iniciales del compostaje (Tabla 2), presentándose una tendencia ascendente en el tiempo, un aumento intermedio en el día 30 y un incremento significativamente mayor ($P < 0,05$) desde el día 75 en las tres mezclas.

Tabla 2. Evaluación de poblaciones microbianas durante el proceso de compostaje en tres mezclas de sustratos orgánicos expresadas en UFC/mL

Días	Tratamientos	Bacterias ($\times 10^9$)		Hongos ($\times 10^6$)		Actinobacterias ($\times 10^8$)	
		Media	DE	Media	DE	Media	DE
0	MZ1	5,262	1,316	3,657	1,633	3,235	0,723
	MZ2	0,892	0,510	1,257	0,487	1,093	0,220
	MZ3	5,078	2,049	0,562	0,157	1,353	0,323
15	MZ1	5,559	1,976	1,997	0,640	2,024	0,244
	MZ2	1,383	0,654	1,460	1,316	0,821	0,181
	MZ3	4,653	1,573	0,437	0,075	2,009	0,919
30	MZ1	2,960	2,553	15,724	0,179	1,236	0,371
	MZ2	3,466	2,062	16,198	5,353	3,506	1,309
	MZ3	2,304	2,033	15,300	8,428	2,141	0,543
45	MZ1	1,503	0,291	5,692	4,267	1,342	0,628
	MZ2	0,931	0,054	3,002	2,883	1,120	0,387
	MZ3	0,944	0,431	3,984	3,570	0,890	0,130
60	MZ1	1,456	0,366	13,158	6,506	0,382	0,153
	MZ2	1,343	1,105	36,578	5,658	0,578	0,086
	MZ3	1,295	0,477	30,246	3,923	0,575	0,154
75	MZ1	1,180	0,532	18,908	7,876	2,253	0,603
	MZ2	2,306	0,294	15,968	8,111	1,694	0,208
	MZ3	1,737	1,105	16,993	6,638	3,095	0,684
90	MZ1	2,018	1,184	19,593	6,292	0,127	0,085
	MZ2	2,324	0,304	24,712	13,470	0,479	0,438
	MZ3	3,470	1,737	22,078	9,342	2,861	1,883

DE: Desviación Estándar.

Las tres mezclas contenían pulpa con alto contenido de lignina y celulosa, esto hace que la dominancia del medio por hongos en las fases intermedia y final sea normal dada su capacidad de degradación de compuestos biológicos más complejos, especialmente al final del proceso de compostaje (García & Torres, 2003).

Las actinobacterias (Tabla 2) en las tres mezclas se caracterizan por un crecimiento intermitente, es decir que estos microorganismos pueden estar presentes en cualquier etapa del proceso de compostaje (Thirup *et al.*, 2001), posiblemente asociado al alto contenido de polímeros orgánicos complejos de mayor complejidad como los presentes en la pulpa, la hojarasca y el banano, presentes en las mezclas.

No obstante la versatilidad de las actinobacterias, la tendencia sugiere una reducción de su población, posiblemente por la competencia de las poblaciones de hongos que se instalan cómodamente en las etapas avanzadas del compostaje (García & Torres, 2003).

Cabe anotar que las actinobacterias poseen la facilidad de crecer con valores de pH superiores a 5 y se ha documentado que a pH <5,0 el crecimiento es limitado o nulo (Arslan *et al.*, 2008), dada esta característica es de esperarse la proliferación de estos microorganismos en las mezclas estudiadas cuyo pH osciló entre 5 y 8 durante todo el proceso.

Acidez (pH)

Los tres tratamientos presentaron una tendencia ascendente y valores finales de pH entre 7,9 y 8,0. La mezcla 1 presentó pH inicial significativamente mayor ($P < 0,05$) y fue el único tratamiento que descendió durante las dos primeras semanas (Figura 3), posiblemente por una producción de ácidos orgánicos en una etapa con alta humedad, lo cual puede desencadenar procesos anaeróbicos estimulando la producción de ácidos orgánicos y ácido láctico (Ryckeboer *et al.*, 2003).

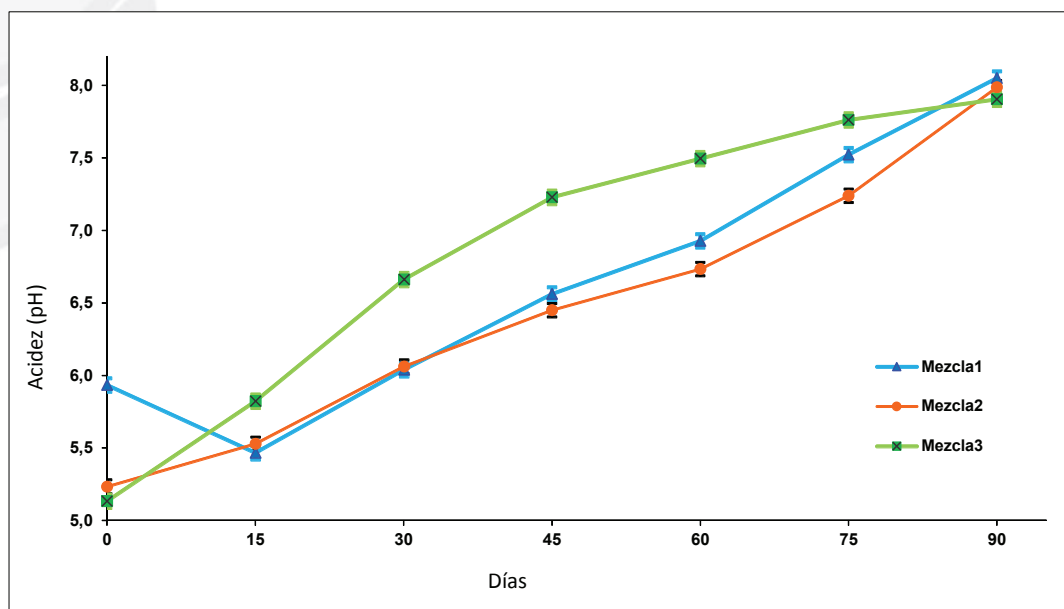


Figura 3. Dinámica del pH durante el proceso de compostaje en tres mezclas.

Los abonos orgánicos en los que se incluye el banano y pulpa de café tienen un pH inicial bajo, alrededor de 5, posiblemente por la presencia de ácidos orgánicos en los cuales predominan el ácido acético y el ácido láctico que pueden reducir el pH alrededor de cuatro o la presencia de ácidos grasos como lo sugieren Castrillón *et al.* (2006) en su estudio acerca del efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos.

El pH del medio de cultivo es importante para el crecimiento de microorganismos que influye en los procesos metabólicos. Como mencionan Madigan *et al.* (2001), la mayoría se desarrollan mejor en medios con un pH neutro, aunque algunos requieren medios más o menos ácidos. Un pH inadecuado puede inhibir el crecimiento o alterar los procesos metabólicos normales.

CONCLUSIONES

Se observó una mayor población de bacterias al comienzo del proceso de compostaje, que podría atribuirse a la disponibilidad de material rico en carbono y nutrientes de fácil degradabilidad. Al contrario de las bacterias, las poblaciones de hongos son significativamente bajas en las etapas iniciales, presentando la mayor tendencia ascendente a partir de la segunda mitad del proceso, lo cual puede deberse, en parte, a que se encuentra una mayor disponibilidad de residuos fibrosos. Las actinobacterias pueden estar presentes en cualquier etapa del proceso, no obstante la tendencia sugiere una reducción de su población, posiblemente por la competencia de las poblaciones de hongos que se instalan en estados de estabilización de la materia orgánica.

Se recomienda adelantar estudios que permitan un seguimiento más detallado de la dinámica microbiana a través del tiempo y de sus interacciones, así como de los factores asociados con la diversidad funcional en los procesos de compostaje.

REFERENCIAS

- Adamantini, K., Irene, G., Thrassyvoulos, M., Kotsou, K. & Lasaridi, L. 2009. Microbial characterization during composting of biowaste. *Waste Management*. 29: 1520-1525.
- Adams, J.D. & Frostick, L.E. 2007. Investigating microbial activities in compost using mushroom (*agaricus bisporus*) cultivation an experimental system. *Bioresource technology*, (99): 1097–310 1102.
- Arslan, E., Öbek, E., Kirba, S., pek, U. & Topal, M. 2008. Determination of the Effect of Compost on Soil Microorganisms. *International Journal of Science & Technology*. 3(2):151-159.
- Artola, A., Barrena, R., Font, X., Gabriel, D., Gea, T., Mudhoo, A., Sánchez, A. 2009. Composting from a Sustainable Point of View: Respirometric Indices as Key Parameter. In: Teixeira da Silva, J.A. Special Issues of Dynamic Soil, Dynamic Plant 3 (Special Issue 1): Composts and Composting. Global Science Books, Japan 1-16 p.
- Barral, M., Domínguez, M. & Díaz-Fierros, F. 2001. Usos del compost y papel de la materia orgánica del suelo. Situación Gallega. *Bioresource Technol.* 8(98):32-38.
- Casacchia, T., Toscano, P., Sofo, A. & Perri, E. 2011. Assessment of microbial pools by an innovative microbiological technique during the co-composting of olive mill by-products. *Agricultural Sciences Agricultural Sciences*. 2(2):104-110.
- Castrillón, O., Bedoya, O. & Montoya, D. V. 2006. Effect of pH on the growth of microorganisms during the maturation stage in static compost piles. *Producción + Limpia*. 1(2):8-12.
- Coelho, L., Reis, M. & Dionísio, L. 2013. Variation in microbial population during composting of agro-industrial waste. *Appl Microbiol Biotechnol.* 97:4179-4186.
- Colorado State University. 2009. Comprehensive Nutrient Management Plan Workbook. <http://www.extsoilcrop.colostate.edu/Soils/cnmp/sec4.html>
- Díaz, R.M., Acea, M.J. & Carballas, T. 1993. Microbiological characterization of four composted urban refuses. *Biological wastes*. 30(2):89-100.
- Duangporn, K., Kanjana, K., Wilawan, C. & Ashara, P. 2009. Microbial succession in a fermenting of wild forest noni (*Morinda coreia* Ham) fruit plus molasses and its role in producing a liquid fertilizer. *Electronic Journal of Biotechnology*. 2(2):104-1.
- Escobar, N. 2011. Caracterización de la Población Microbiana en el Proceso de Compostaje con Sustratos Provenientes de Zonas Cafeteras de Cundinamarca y Tolima. Tesis de Maestría. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia.
- Estrada, J. 2002. Pastos y Forrajes para el trópico Colombiano. Editorial Universidad de Caldas, Manizales. 506 p.
- García, A.M. & Torres, R.G. 2003. Producción de enzimas lignolíticas por Basidiomycetes mediante la técnica de fermentación en sustrato sólido. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 1:56-64.
- Jia, L., Xiu-Hong, X., Hong-Tao, L. & Ying, X. 2011. Effect of microbiological inocula on chemical and physical properties and microbial community of cow manure compost. *Biomass and Bioenergy*. 35(8):3433-3439.
- Lauber, L., Hamady, M., Knight, R. & Fierer, N. 2009. Pyrosequencing-Based Assessment of Soil pH as a Predictor of Soil Bacterial Community Structure at the Continental Scale. *Applied Environmental microbiology*. 75(15). p.95-97.
- Madigan, M., Martingo, J. & Parker, J. 2001. Brock: biología de los microorganismos. Octava edición. Prentice Hall. p.112-114.
- Meléndez, G. & Soto, G. 2003. Taller de abonos orgánicos. CATIE/GTZ/UCR.
- Mora-Delgado, J. 2009. Flujo de Masas y Energía en Fincas Campesinas de la Zona Cafetera: Vínculos entre la Racionalidad Campesina y el Reciclaje de Materiales y Energía. Universidad del Tolima-Universidad de Caldas. Proyecto financiado por la Red Alma Máter.

- Moreno, J. & Moral, R. 2008. Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. p.78-85.
- Ozores-Hampton, M. 2006. Soil and nutrient management: Compost and Manure. Grower's IPM Guide for Florida Tomato and Pepper Production. IPM-IFAS Extension, University of Florida.
- Pérez, A., Hermann, V., Alabouvette, C. & Steinberg, C. 2006. Response of soil microbial communities to compost amendments. *Soil Biol. Biochem.* 38(3):460-470.
- Peters, S., Koschinsky, S., Schwieger, F. & Tebbe, C.C. 2000. Succession of microbial communities during hot composting as detected by PCR–single-strand-conformation polymorphism-based genetic profiles of small-subunit rRNA genes. *Applied and environmental microbiol.* 66(3):930-936.
- Piñeros, R., Mora-Delgado, J. & Aya, S. 2011. Cómo estimar el flujo potencial de masas orgánicas en fincas campesinas de la ecoregión cafetera. En: Mora-Delgado, J. & Holguín, V. (eds.). *Medios de Vida y Materiales orgánicos en fincas campesinas*. Universidad del Tolima, Ibagué.
- Pujo, R., Zamora, L., Sanarrusia, M. & Bonilla, F. 2000. Estudio de impacto ambiental del cultivo y procesamiento de café. Programa de desarrollo urbano sostenible. Universidad de Costa Rica. 20.
- Reyes, F. 2013. Cuantificación de los desechos sólidos de la producción bananera en el cantón El Guabo. Trabajo de titulación. Universidad Técnica de Machala.
- Richard, T. & Trautmann, N. 1996. C/N Ratio. Cornell Composting. Science and Engineering. http://compost.css.cornell.edu/calc/cn_ratio.html
- Rodríguez, N. 1999. Manejo de residuos en la agroindustria cafetera. Seminario internacional, gestión integral de residuos sólidos y peligrosos, siglo XXI, Cenicafé. p.44-45.
- Rodríguez V, N. & Zambrano F, D. 2010. Los subproductos del café: fuente de energía renovable. *Avances técnicos* No. 393. Chinchiná, Colombia, Cenicafé.
- Ryckeboer, J.; Megaert, J.; Coosemans, J.; Deprins, K.; Swings, J. 2003. Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *J. Appl. Microbiol.* 94(1):127-137.
- Salazar, E., López, J.D., Zúñiga, R., Vázquez, C., Fórtiz, M. & Silva, J. 2004. Uso y aprovechamiento del estiércol como alternativa nutricional en invernadero. *Bol. Soc. Mex.* 44-48.
- SAS® Institute Inc. 2002. User Installation Guide for the SAS® System Version 9 for Microsoft® Windows®, Cary, NC: SAS.
- Soto, G. & Muñoz, C. 2002. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost y su empleo en la agricultura orgánica. *Manejo integrado de plagas y agroecología.* 65:123-129.
- Thirup, L., Johnsen, K., Torsvik, V., Spliid, N.H. & Jacobsen, C.S. 2001. Effects of Fenpropimorph on Bacteria and Fungi during Decomposition of Barley Roots. *Soil Biology and Biochemistry.* 33:1517-1524.
- Tiquia, H.C. & Won, N. 2002. Microbial Population Dynamics and Enzyme Activities During Composting. *Compost Science & Utilization.* 10(2):150-161.
- Universidad de Cundinamarca. 2009. Desarrollo e Innovación Tecnológica en Ganadería Ecológica y Eficiente en la Provincia del Sumapáz en los Sectores Productivos y Educativos. Universidad de Cundinamarca-UDEC. Colciencias-MEN, Convocatoria 355.
- Urbaneja, G., Ferrer, Jr., Páez, G., Arenas de Moreno, L., Colina, G. & Sandoval, L. 1997. Hidrólisis ácida y caracterización de carbohidratos de la pulpa de café. *Rev. Fac. Agron. (LUZ).*14:265-275.
- Zuluaga-Vasco, J. 1989. Utilización integral de los subproductos del café. En: S. Roussos, S., Licon, R. & Gutiérrez, M. (eds.). *I Seminario Internacional sobre Biotecnología en la Agroindustria Cafetalera*. Jalapa, México.