



# SISTEMA DE COMPOSTAJE Y LOMBRICOMPOSTAJE APLICADO EN RESIDUOS ORGÁNICOS DE UNA GALERÍA MUNICIPAL

James Muñoz, Jhon Dorado y Edier Humberto Pérez<sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup>Universidad del Cauca,  
Grupo de investigación en  
Agroquímica.

✉:  
[ehperez@unicauca.edu.com](mailto:ehperez@unicauca.edu.com)

**Palabras clave:**  
compostaje,  
lombricompostaje, residuos  
orgánicos.

## RESUMEN

*La creciente producción de residuos orgánicos compromete la disponibilidad de sitios de vertido en condiciones ambientales aceptables, siendo la gestión de residuos sólidos un problema que enfrenta la sociedad actual.*

*La finalidad del trabajo es el aprovechamiento técnicamente viable de los residuos orgánicos generados en el municipio de Totoró por medio de la producción y evaluación del proceso de compostaje y lombricompostaje y la evaluación de la calidad del producto final, considerados como un método limpio y sostenible. Se implementó la compostación en 4 cajones (T1, T2, T3, T4) con capacidad de 500Kg de residuos orgánicos de galería cada uno y 2 para lombricompostaje (L1 y L2), con control de temperatura 3 veces al día durante 3 meses y toma de muestras cada 15 días desde el inicio del proceso y hasta los 3 meses determinando: humedad, pH, materia orgánica, nitrógeno y relación C/N y los parámetros como capacidad de intercambio catiónico, densidad, fracción húmica, macro y micronutrientes (P, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Mn, Zn, S), cenizas, carbonatos y metales pesados (Cd, Cr, Hg, Ni y Pb) se evaluaron al final para ambos procesos, de acuerdo a la NTC 5167/2011.*

*Las características finales de los compost T1, T2, T3, T4, L1 y L2 fueron: pH: 8.62, 8.78, 8.67, 9.19, 8.29, 8.68, MO: 25.18, 26.92, 30.12, 45.38, 41.83, 38.25%, N: 0.43, 1.23, 1.47, 1.47, 1.71, 1.89%, C/N: 31.87, 10.96, 10.28, 15.61, 12.22, 10.13, CIC: 11.95, 15.22, 13.11, 14.95, 43.83, 49.43 meq/100g respectivamente. Los resultados mostraron que la aireación afecta positivamente las propiedades del producto final y permiten realizar un control de la temperatura, encontrándose que T4 presenta adecuadas propiedades físicas y químicas y T1 por el contrario presenta deficiencia en dichas propiedades. T2 y T3 se encuentran en un rango intermedio.*

## DEVELOPING A GEOSTATISTICAL TOOL FOR MAPPING SOIL SPATIAL VARIABILITY

**Key words:**  
Composting,  
Vermicomposting, organic  
waste

**SUELOS  
ECUATORIALES**  
45 (2): 72-83

ISSN 0562-5351

## ABSTRACT

*The purpose of the work is technically feasible use of organic waste generated in the municipality of Totoró through the production and evaluation of the process of composting and vermicomposting and the evaluation of the quality of the final product, considered as a clean and sustainable method. The growing production of waste of any kind compromises the availability of landfill sites under acceptable environmental conditions, as the solid waste management problem facing today's society.*

*Composting is implemented in four drawers (T1, T2, T3, T4) with a capacity of 500 kg of organic waste gallery each one and 2 for vermicomposting (L1 and L2), with temperature control 3 times daily for 3 months and it takes samples every 15 days from the start of the process and up to 3 months determining moisture, pH, organic matter, nitrogen and C / N and parameters as cation exchange capacity, density, humic fraction, macro and micro nutrients (P, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Mn, Zn, S), ash, carbonates and heavy metals (Cd, Cr, Hg, Ni and Pb) were evaluated at the end for both process according to the NTC 5167 / 2011.*

*The final characteristics of T1, T2, T3, T4, L1 and L2 compost were: pH: 8.62, 8.78, 8.67, 9.19, 8.29, 8.68, MO: 25.18, 26.92, 30.12, 45.38, 41.83, 38.25%, N: 0.43, 1.23, 1.47, 1.47, 1.71, 1.89%, C / N: 31.87, 10.96, 10.28, 15.61, 12.22, 10.13, CIC: 11.95, 15.22, 13.11, 14.95, 43.83, 49.43 meq / 100g respectively.*

*The results showed that aeration positively affects the final product properties and allow a control of the temperature, finding T4 presents appropriate physical and chemical properties and T1 contrast are deficient in such properties. T2 and T3 are in an intermediate range.*

Rec.: 04.11.2015

Acep.: 20.12.2015

## INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos pueden definirse como todo material que ha sido destinado al abandono por su productor o poseedor, pudiendo resultar de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza (Barradas, 2009). En Colombia del total de los desechos generados cerca de un 70% lo constituyen los residuos sólidos orgánicos urbanos, por tal motivo se constituye en una prioridad ambiental buscar un manejo adecuado de los mismos, potenciando así los productos finales y minimizando el impacto ambiental que podrían generar, sin una disposición seria y responsable en cuanto a la normatividad vigente (Jaramillo y Zapata, 2008).

Una opción viable en el manejo de los residuos sólidos urbanos es el proceso de compostaje, en cuyo proceso intervienen numerosos y variados microorganismos que requieren humedad, aireación, relación C/N, pH entre otros parámetros químicos que implican y favorecen el paso por una etapa termofílica y una producción natural de fitotoxinas que bajo condiciones controladas origina productos como CO<sub>2</sub>, agua y minerales, así como una MO estabilizada y dispuesta para su empleo en la agricultura sin que provoque fenómenos adversos cuando es aplicada al suelo (Mathur *et al.*, 1993). Así mismo la producción de humus mediante la cría de lombrices resulta de gran importancia económica y ecológica, debido a que es una alternativa natural y de bajo costo en la agricultura (Crespo, Romero y Gonzales, 2012).

Finalmente, los residuos inorgánicos inertes o minerales generados durante el proceso de compostaje y lombricompostaje se pueden incorporar a la estructura del suelo, de los microorganismos y de las plantas produciendo beneficios ambientales, sociales, económicos y de salubridad al entorno (Jaramillo y Zapata, 2008).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La planta de compostaje fue construida en la Vereda Betania del municipio de Totoró (Cauca) en el Km 26 de la vía Popayán-Inzá. Coordenadas: 2° 30' 39.733" N 76° 22' 33.499" W, 2750 m.s.n.m y temperatura media de 14 °C.

Se construyeron 4 cajones para compost de 2 m<sup>3</sup> para los Tratamientos T1, T2, T3 y T4 y 2 cajones de 0.8m<sup>3</sup> para los Tratamientos L1 y L2. Para los tratamientos T1 a T4 se conformaron cada uno, mediante capas sucesivas de 5cm de los materiales clasificados y picados en el siguiente orden (de abajo hacia arriba): aserrín (seco y rico en carbono), residuos orgánicos (aporta húmeda y nitrógeno), hierba seca (aporta carbono), estiércol seco de caballo (aporta nitrógeno y microorganismos) y finalmente 1

cm de cal (regula el pH). Este proceso se repite hasta completar la altura del cajón. Los residuos son obtenidos de la galería ubicada en la cabecera del municipio. En los tratamientos L1 y L2 se utilizó excreta vacuna como sustrato, utilizada también por Morales-Mungia *et al.* (2009) y la lombriz la *Eisenia foetida* (lombriz roja californiana) por su alta tasa de reproducción (Schuldt, 2008), baja tendencia a la migración (Chacón y Blanco, 1999), capacidad de vivir en poblaciones altas de entre 40 a 50 mil individuos por m<sup>2</sup> (Guerrero, 1993).

## Composición de los residuos sólidos T1 a T4

El tratamiento T1 se compone de 61,55Kg fruta, 179Kg de leguminosa y 132 Kg de verduras. Para T2 20 Kg fruta, 190 Kg de leguminosas y 112Kg de verduras. Para T3 42 Kg fruta, 174 Kg leguminoso y 213 Kg de verduras. Para T4 41,3 Kg fruta, 120 Kg de leguminosas y 258,8 Kg de verduras.

## Muestreo

En los tratamientos T1 a T4 se delimitaron 3 zonas en el cajón, la parte alta, la parte media y la parte baja. En cada una de ellas se diseñó un muestreo tipo cuadrícula que fue homogenizado y cuarteado para llevar a un peso aproximado de 1Kg en base húmeda. Posteriormente las muestras se secaron al aire para tamizaje (Tamiz #35) según la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 segunda actualización. Cada variable a determinar se realizó por triplicado. El tiempo de muestreo en días fue 0, 15, 30, 45, 60 y 90, una vez empezado el proceso. Para L1 y L2 inicialmente se diseñó un muestreo tipo cuadrícula con posterior homogenización y cuarteo hasta obtener aproximadamente 1Kg de muestra. Posteriormente se secó al aire para tamizaje (Tamiz # 35) según Norma Técnica Colombiana NTC 5167 segunda actualización. Para cada análisis se realizó un triplicado. Los tiempos de muestreo en días fueron a los 0 y 90.

## Parámetros de control del proceso de compostaje

El volteo se realizó cada 15 días y es indispensable en el proceso de compostaje debido a que garantiza la presencia de oxígeno, además de mejorar la homogenización de la mezcla y favorecer la uniformidad de la temperatura en todas las zonas de la pila. Para el control de humedad se realiza semanalmente la prueba del puño. Adicionalmente se hacen agujeros verticales desde la superficie del cajón hasta el fondo para evitar un aumento de temperatura por encima de los 70°C. La temperatura se midió con un termómetro bimetálico marca Mengte 3 veces al día durante la etapa inicial del proceso. Posteriormente

en las etapas de enfriamiento y maduración se midió 3 veces por semana.

**Parámetros de seguimiento de los tratamientos T1, T2, T3, T4, L1 y L2**

Se determinaron pH, relación carbono/nitrógeno (relación C/N) y Materia Orgánica (MO) en los días 0, 15, 30, 45, 60 y 90 de T1 a T4; 0 y 90 en L1 y L2. La Capacidad de intercambio catiónico (CIC) se determinó solo al inicio y al final en todos los tratamientos.

**Parámetros de Calidad de los tratamientos T1, T2, T3, T4, L1 y L2**

Se determinaron densidad real, fracción húmica, macro y micronutrientes (P, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Mn, Zn, S), cenizas, carbonatos y metales pesados (Cd, Cr, Hg, Ni y Pb).

**Evaluación del grado de condensación de las sustancias húmicas en T1, T2, T3, T4, L1 y L2**

Para evaluar el grado de condensación se determinó el porcentaje de carbono de los extractos húmicos totales (%CEHT), el porcentaje de carbono de los ácidos húmicos (%CAH) y el porcentaje de carbono de los ácidos fúlvicos (%CAF). El grado de condensación de las sustancias húmicas se calculó de acuerdo con la ecuación 1:

$$HR_2 = \%CAH / \%CAF \quad \text{Ecuación 1}$$

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

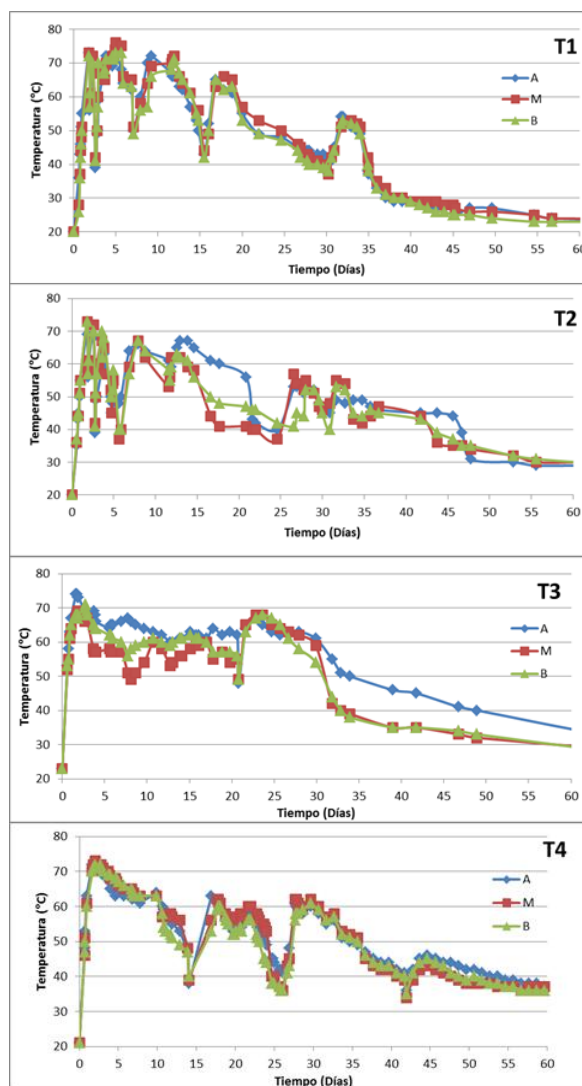
**Seguimiento y evaluación del proceso de compostaje**

**Temperatura**

La temperatura es el indicador más importante de la eficiencia del proceso de compostaje (Fogiel, 2003). En la figura 1 se muestran las curvas de temperatura de los tratamientos T1 a T4 de la parte alta, media y baja de cada cajón. La temperatura en cada tratamiento alcanzó valores mayores de 70 °C a partir de 48 horas de iniciado el proceso, razón por la cual fue necesario realizar volteos para refrigerar el material orgánico. Después de cada volteo, sobre todo en la fase termofílica del proceso hay un incremento de temperatura, ya que se consigue una mejor homogeneización de los residuos y saturación de oxígeno.

La temperatura de los tratamientos aumenta rápidamente durante los primeros días del proceso, de tal manera que, a las 42 horas de iniciado, ya se alcanzan temperaturas de 75 °C coincidiendo con lo

reportado por Solano *et al.*, (2001). El rápido incremento de la temperatura denota una alta actividad microbiana, debido en parte al porcentaje de residuos vegetales verdes, ya que según Van Heerden *et al.*, (2002), la fase termofílica del compostaje de residuos frescos vegetales se caracteriza por un incremento del grupo de microorganismos dominantes durante esta etapa. Por otra parte, la adición de estiércol de caballo también ocasiona un incremento en la temperatura puesto que el estiércol sirve para introducir microorganismos muy activos para la descomposición y posee reservas de sustancias energéticas.

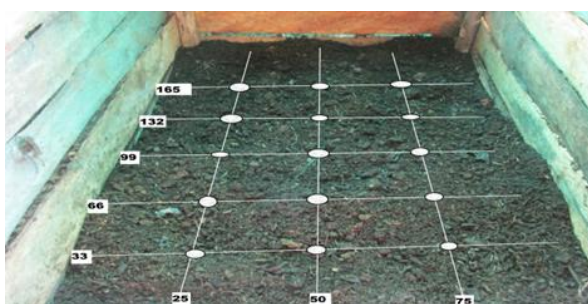


**Figura 1.** Variación de la temperatura respecto al tiempo de los tratamientos T1, T2, T3 y T4. Donde A= Parte alta, M= Parte media, B= Parte baja,

↓ = Volteo, □ = Hueco, ↓ = adición de agua

Con el fin de disminuir la temperatura de la pila se hace necesario realizar un volteo (Fogiel, 2003) y adicionar agua a los 2 días de iniciado el proceso consiguiendo disminuir la temperatura hasta 58°C.

Teniendo en cuenta que en T1 se alcanzan valores de temperatura por encima de 70 °C, en los tratamientos restantes (T2, T3 y T4) se realizan huecos verticales, los cuales se distribuyen uniformemente a lo largo y ancho de cada cajón como se muestra en la figura 2. El tamaño y número de huecos es determinante para mantener una temperatura óptima la cual se consigue a una velocidad de aireación de moderada a baja para maximizar la degradación y obtener un producto estable durante el compostaje (Cabeza et al., 2013).



**Figura 2.** Distribución de los huecos en el cajón de compostaje

### Humedad

La humedad al inicio del proceso se encuentra entre 60 y 70% (T1 y T4), este porcentaje de humedad es apropiado para iniciar el proceso de compostaje, debido a que la humedad óptima para el crecimiento microbiano se encuentra en un rango entre 50 y 70%. Por debajo de 30%, la actividad biológica disminuye y por encima de 70% el agua desplaza el aire en los espacios libres entre las partículas llevando a procesos anaeróbicos por la falta de oxígeno (Haug, 1993).

En la mayoría de los tratamientos (T2, T3 y T4) se observa una distribución uniforme del porcentaje de humedad en el proceso de compostaje, esto implica que se tiene un control del contenido de humedad. Es de resaltar no obstante que para T2 la humedad se encuentra por debajo de 60 % presentándose una disminución de la actividad microbiana.

En T1 se observa una disminución de la humedad a los 15 días de compostaje llegando a un porcentaje de 40%. Este resultado implica que se ha perdido agua principalmente por evaporación debido a la alta temperatura que se alcanzó en los primeros días de compostaje, esto demuestra además que hay una relación directa entre la temperatura y el porcentaje de humedad, ya que por una parte en este tiempo (fase termofílica) es donde se alcanzan las mayores

temperaturas; por otro lado la disminución de la humedad inhibe la actividad de los microorganismos y como se puede apreciar en la figura 1 a partir de los 15 días ocurre un descenso de la temperatura, razón por la cual se adiciona agua y 1 día después se observa nuevamente un incremento de la temperatura que alcanza un máximo de 67°C.

### Análisis químicos

En la figura 3 se presenta la variación del pH durante el proceso de compostaje. Al inicio del proceso los tratamientos (T1, T2, T3 y T4) tuvieron valores de pH mayores a 7. Aunque el pH de los materiales no es un parámetro crítico en el proceso (Christian et al., 2009), es importante que no se alcancen niveles ácidos que puedan llevar a procesos anaeróbicos. En T1 el pH inicia en 8,1 debido a que este tratamiento contiene una cantidad más alta de cal dolomita, en cambio el pH inicial de T4 inicia en 7,2. En general (T1 y T4) el valor de pH se incrementó durante los primeros 15 días de compostaje coincidiendo con la etapa termofílica en la cual se degradan los ácidos orgánicos debido a la actividad microbiana; además aun cuando se aplicó cal al inicio ésta no reaccionó de forma inmediata sino que se va descomponiendo a medida que ocurre el proceso de compostaje. El incremento en la velocidad de descomposición ocurre porque la cal neutraliza los ácidos orgánicos producidos durante la primera fase del compostaje. A los 15 días de iniciado el proceso se obtuvo el máximo valor de pH (9,6) indicando que la cal ha reaccionado completamente liberando Calcio y Magnesio bases que elevan el valor del pH. Después de los treinta días se puede observar una estabilización del pH.

En los tratamientos posteriores (T2, T3 y T4) se disminuyó la cantidad de cal observándose una reducción del pH a los 15 días, sin embargo en los días posteriores se observó un comportamiento semejante del pH el cual se mantiene en un rango entre 8,5 y 9,2. El valor de pH del tratamiento T4 es ligeramente superior a los demás tratamientos debido a la producción de amoníaco producto de la degradación de compuestos orgánicos nitrogenados que se producen en la fase termofílica (Menoyo, 1995). Después de los 30 días T4 muestra el valor de pH más alto comparado con los demás tratamientos debido posiblemente a pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco. De la misma manera Cegarra (1994) encontró que un pH elevado y temperaturas elevadas pueden originar pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco. Por lo anterior se puede afirmar que el amoníaco liberado puede causar el aumento del pH sobre todo en las zonas baja y media de cada cajón donde el amoníaco puede ser retenido por la MO

como se plantea en la FAO (1997) quienes reafirman que la pila de compost es un almacén de nitrógeno.

En la figura 4 se presentan los resultados de la evolución del contenido de MO. El tratamiento T1 inicia con un 55% de MO y a los 15 días del proceso este porcentaje ha disminuido significativamente hasta un 19%. Respecto a los demás tratamientos, T1 presentó la mayor disminución de MO debido a que no se realiza un buen control de la aireación ocasionando una mineralización rápida de la MO. Por otra parte hay que tener en cuenta que a T1 se le adiciona una cantidad mayor de cal dolomita comparada con los demás tratamientos. Esta cantidad de cal resulta en un aumento del pH contribuyendo a la mineralización de la MO.

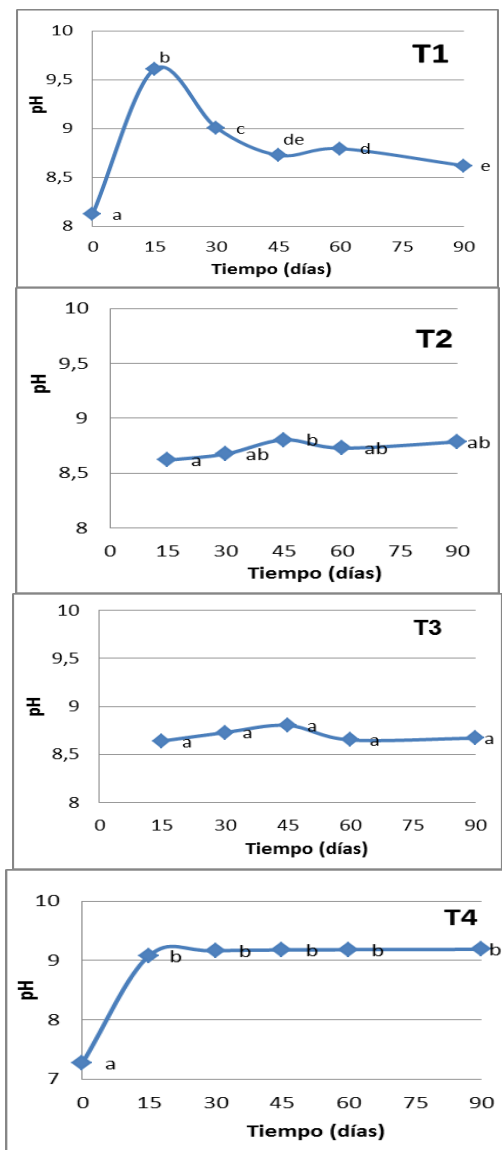
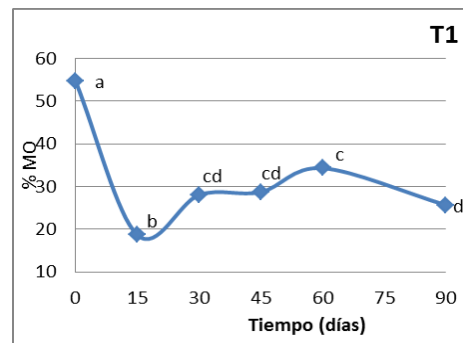


Figura 3. Variación del pH respecto al tiempo en los tratamientos T1 a T4. Prueba de Tukey. Letras diferentes indican diferencia significativa. Letras iguales indican que no hay diferencia significativa.

En la figura 4 se presenta la evolución de la relación C/N durante la fase biooxidativa del proceso de compostaje. Uno de los principales inconvenientes a la hora de realizar un proceso de compostaje es establecer una adecuada relación C/N inicial que permita asegurar un buen proceso de compostaje. Teniendo en cuenta que se utilizaron los residuos provenientes de galería y que estos presentan una composición muy heterogénea, se dificulta realizar un cálculo preciso de este parámetro. Estudios realizados muestran que una relación C/N óptima inicial debe estar en un rango entre 26 y 35 de acuerdo con Mote y Griffis (1980). La relación C/N inicial de los tratamientos estudiados muestra que se encuentra por debajo de este rango, lo cual implica pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco. La relación C/N de los compost en los tratamientos T1-T4 disminuyó constantemente durante los primeros 30 días de compostaje tendiendo a estabilizarse por un período de 30 días, tiempo después del cual aumentó progresivamente hasta finalizar el proceso, excepto para T4 donde se observó un aumento a partir de los 45 días. En T1 se puede observar que la relación C/N al final del proceso aumenta progresivamente hasta los 90 días alcanzando un valor de 30 lo cual indica que este compost no tiene un buen grado de madurez. Así mismo ocurre en el tratamiento T2, aunque en este caso el valor de la relación C/N es menor (10,9). Esto puede ser explicado teniendo en cuenta que los materiales inician con una relación C/N baja ocasionando que en la fase final del proceso de compostaje haya una mineralización de compuestos nitrogenados y se siga perdiendo nitrógeno. En T3 y T4 se observa que al final del proceso la relación C/N es menor a 20, indicando esto un grado de madurez aceptable (Poincelot, 1974), aunque la relación C/N no puede ser utilizado como un indicativo absoluto del grado de madurez.

Respecto al contenido de materia orgánica se aprecia que T1 y T2 presentan deficiencia (<30%), por la alta mineralización. Para T3 y T4 se aprecia que el contenido de MO es considerablemente mayor y cumplen con la norma.



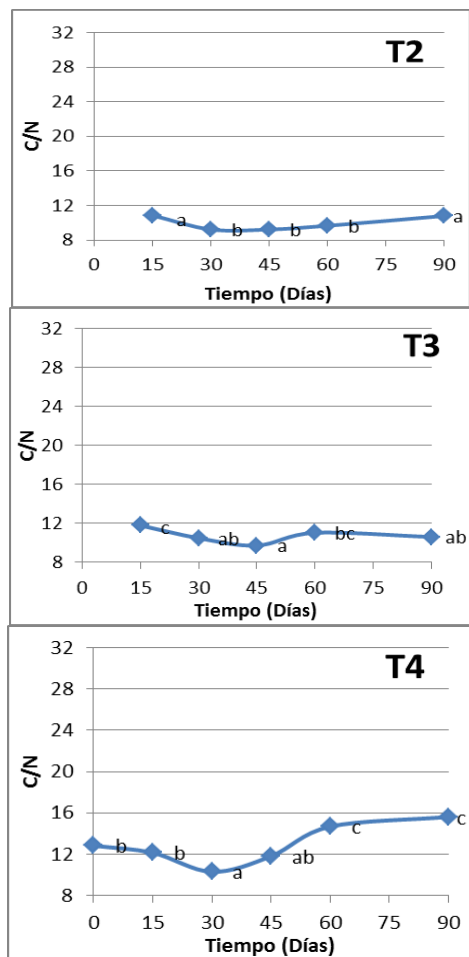


Figura 5. Evolución de la relación C/N de los tratamientos T1 a T4 respecto al tiempo

Es de resaltar que el contenido de metales pesados es bajo y cumple con la norma (NTC 5167) en todos los tratamientos, lo cual favorece la calidad del producto final.

**Calidad y grado de madurez del compost**

En la tabla 1 se registran los parámetros de calidad y madurez de acuerdo a la norma NTC 5167 segunda actualización. En la tabla se puede apreciar que el contenido de cenizas para los tratamientos T1 a T3 se encuentran por encima del 60% indicando una alta mineralización de la materia orgánica (Himanen y Hänninen, 2009; Wang et al., 2004). En cambio, para T4 se puede apreciar que este contenido es de 44,57% lo que indica que para este tratamiento se realizó un mejor control. Además de acuerdo con Dimambro et al., (2007) el contenido de cenizas está asociado con el contenido de potasio y nitrógeno y como se observa en la tabla estos valores también son altos (>1%), excepto para T1 donde el contenido de nitrógeno es muy inferior.

Respecto al contenido de materia orgánica se aprecia que T1 y T2 presentan deficiencia (<30%).

Es de resaltar que el contenido de metales pesados es bajo y cumple con la norma (NTC 5167) en todos los tratamientos, lo cual favorece la calidad del producto final.

**Seguimiento y evaluación del proceso de lombricompostaje**

En la tabla 1 y 2 se observa la variación de las propiedades de seguimiento en L1 y L2, respectivamente.

La degradación (descarboxilación) de los ácidos orgánicos causa un incremento en el valor del pH de acuerdo a lo observado en las tablas 1 y 2. Igualmente, durante la mineralización de las proteínas se producen compuestos amoniacales que contribuyen aún más en el aumento del valor del pH (Albuquerque *et al.*, 2006, 2009; Días *et al.*, 2010; Moreno y Mormeneo, 2008). Un pH inicial del sustrato (estiércol bovino) entre 6,5 y 7,5 sería el óptimo para iniciar el proceso de lombricompostaje. Sin embargo, el pH inicial en L1 no se encuentra en este rango a diferencia de lo observado en L2. El valor del pH no es un indicador tan importante de la madurez en un lombricompost, pero si es importante para un desarrollo normal de las lombrices dentro del sustrato. También se ha encontrado que una fracción de la materia orgánica durante el proceso sufre una mineralización originada por la acción combinada de las lombrices y los microorganismos causando una disminución en el contenido de carbono orgánico. Esta disminución varía de acuerdo a la naturaleza del residuo, la densidad de la población de las lombrices, su biodegradabilidad y la duración del proceso (Domínguez, 2004; Nogales *et al.*, 2008).

Tabla 1. Seguimiento Tratamiento L1

TRATAMIENTO L1 Parámetro	Tiempo	
	Día 0	Día 90
Humedad Higroscópica (%)	8,56 <sup>a</sup>	6,27 <sup>b</sup>
pH	7,67 <sup>a</sup>	8,29 <sup>b</sup>
Carbono (%)	22,34 <sup>a</sup>	20,91 <sup>b</sup>
MO (%)	44,67 <sup>a</sup>	41,83 <sup>b</sup>
Nitrógeno (%)	1,61 <sup>a</sup>	1,71 <sup>b</sup>
Relación C/N	13,88 <sup>a</sup>	12,22 <sup>b</sup>
Capacidad de intercambio catiónico (mEq/100g)	32,85 <sup>a</sup>	43,83 <sup>b</sup>

Letras diferentes implican diferencia significativa, Prueba Anova ( $p < 0,05$ )

El porcentaje de Nitrógeno se incrementó en L1 y L2. Una posible explicación de este incremento podría ser un efecto de concentración del mismo, causado

por la mineralización de la materia orgánica (Elvira, 1998).

La Capacidad de intercambio catiónico aumenta en L1 y L2 debido a la humificación de la materia orgánica, que genera la acumulación de compuestos con carga negativa (como restos de lignina) e incrementa los grupos carboxílicos y fenólicos causando este aumento, igual efecto lo registran Benito *et al* (2009); Harada e Inoko (1980); Lax *et al* (1986) y Sánchez-Monedero *et al* (2002). Cuando ocurre el proceso de mineralización de la materia orgánica, el carbono orgánico disminuye mientras que el nitrógeno se conserva, ocasionando por consiguiente una disminución en la relación C/N (Navarro y Navarro, 2003).

**Tabla 2.** Seguimiento Tratamiento L2

TRATAMIENTO L2 Parámetro	Tiempo	
	Día 0	Día 90
Humedad Higroscópica (%)	7, 26 <sup>a</sup>	8,68 <sup>b</sup>
pH	21,06 <sup>a</sup>	19,12 <sup>b</sup>
Carbono (%)	42, 12 <sup>a</sup>	38,25 <sup>b</sup>
MO (%)	1, 70 <sup>a</sup>	1,89 <sup>b</sup>
Nitrógeno (%)	12, 42 <sup>a</sup>	10,13 <sup>b</sup>
Relación C/N	37, 71 <sup>a</sup>	49,43 <sup>b</sup>
Capacidad de intercambio catiónico (mEq/100g)	32, 85 <sup>a</sup>	43,83 <sup>b</sup>

Letras diferentes implican diferencia significativa, Prueba Anova ( $p < 0,05$ )

La relación C/N de un lombricompost maduro debe estar cercana a 10 (Duran y Henriquez, 2009; Jimenez, 2008; Salazar *et al.* 2003). Por lo tanto, para L1 indicaría que el lombricompost aún no ha completado el proceso de maduración. Por lo tanto, sería necesario mantener el proceso durante un periodo de tiempo más prolongado para mejorar la relación C/N. La relación C/N tan baja también podría implicar que el proceso de lombricompostaje podría hacerse con una mayor rapidez (Zhu, 2006). Sin embargo, la relación C/N en L2 es 10 con lo cual podríamos afirmar que el lombricompost ya está maduro.

En la tabla 2 se observa que el HR<sub>2</sub> es superior a 1 en todos los casos, excepto en T1; por tal razón en los tratamientos T2, T3, T4, L1 y L2 prevalece la formación de ácidos húmicos sobre los ácidos fulvicos con lo que se puede afirmar que se favorece el proceso de estabilización de la materia orgánica.

### Grado de Condensación de las sustancias húmicas

En la tabla 3 se observa el grado de condensación de las sustancias húmicas, expresado como el índice

de humificación HR<sub>2</sub>. Se registran los parámetros de calidad y madurez de acuerdo a la norma NTC 5167 segunda actualización. Se puede apreciar que respecto al contenido de cenizas para los tratamientos T1 a T3 se encuentran por encima del 60% indicando una alta mineralización de la materia orgánica (Himanen y Hänninen, 2009; Wang *et al.*, 2004). En cambio para T4 se puede apreciar que este contenido es de 44,57% lo que indica que para este tratamiento se realizó un mejor control. Además de acuerdo con Dimambro *et al* (2007) el contenido de cenizas está asociado con el contenido de potasio y nitrógeno y como se observa estos valores también son altos (>1%), excepto para T1 donde el contenido de nitrógeno es muy inferior y no cumple con la NTC 5167 segunda actualización.

**Tabla 3.** Grado de condensación de las sustancias húmicas

Tratamiento	%CEHT	%CAH	%CAF	HR <sub>2</sub>
T1	5,53	2,46	3,07	0,83
T2	6,92	4,49	2,43	1,88
T3	7,40	4,61	2,79	1,67
T4	7,75	5,46	2,30	2,54
L1	7,52	4,85	2,67	1,82
L2	8,05	4,29	3,76	1,14

Respecto al contenido de materia orgánica se aprecia que T1 y T2 presentan deficiencia (<30%), debido a la alta mineralización que ocurrió sobre todo en los primeros tratamientos donde no se ha logrado aún optimizar la aireación y por lo tanto se presentan temperaturas mayores a 75°C que contribuyen a dicha mineralización. En cambio para T3 y T4 se aprecia que el contenido de MO es considerablemente mayor y cumplen con la norma.

Es de resaltar que el contenido de metales pesados es bajo y cumple con la NTC 5167 segunda actualización en todos los tratamientos, lo cual favorece la calidad del producto final.

Respecto al contenido de cenizas para el lombricompost, en la tabla 3 se puede observar que tanto para T1 como para T2 cumplen con la norma (<60%). De acuerdo con la NTC 5167 segunda actualización el contenido de carbonatos no es un parámetro a garantizar ni a caracterizar. Sin embargo, se ha encontrado que los carbonatos pueden ser provenientes de la degradación del estiércol bovino por medio de las glándulas calcíferas que están presentes en el tracto digestivo de la lombriz (Canti y Pearce, 2003; Shipitalo y Le Bayon, 2004), además de los originados a partir del CO<sub>2</sub> liberado en la degradación de la materia orgánica que realizan los microorganismos sobre el estiércol bovino (Roig *et al.*, 2004).

Tabla 4. Requisitos NTC 5167 segunda actualización

Propiedad	Tratamientos						Requisito
	T1	T2	T3	T4	L1	L2	NTC 5167
DR (g/cm <sup>3</sup> )	0.78 <sup>b</sup>	0.65 <sup>a</sup>	0.68 <sup>a</sup>	0.64 <sup>a</sup>	0.67 <sup>a</sup>	0.66 <sup>a</sup>	Máximo 0.6
(%CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	10.36 <sup>c</sup>	10.19 <sup>c</sup>	7.75 <sup>b</sup>	4.48 <sup>a</sup>	11.68 <sup>a</sup>	9.74 <sup>b</sup>	NA
Cenizas (%)	67.22 <sup>c</sup>	63.56 <sup>b</sup>	61.84 <sup>b</sup>	44.57 <sup>a</sup>	42.62 <sup>a</sup>	48.82 <sup>b</sup>	Máximo 60
PV (%)	32.78 <sup>c</sup>	36.44 <sup>b</sup>	38.16 <sup>b</sup>	55.43 <sup>a</sup>	57.38 <sup>a</sup>	51.18 <sup>b</sup>	Mínimo 40
CRH (%)	118.17 <sup>a</sup>	138.48 <sup>b</sup>	145.57 <sup>c</sup>	202.83 <sup>d</sup>	141.35 <sup>a</sup>	128.28 <sup>b</sup>	Mínimo 100%
pH	8.62 <sup>a</sup>	8.78 <sup>a</sup>	8.67 <sup>a</sup>	9.19 <sup>b</sup>	8.29 <sup>a</sup>	8.68 <sup>b</sup>	4-9
CO (%)	12.59 <sup>a</sup>	13.46 <sup>a,b</sup>	15.06 <sup>b</sup>	22.91 <sup>c</sup>	20.91 <sup>a</sup>	19.12 <sup>b</sup>	Mínimo 15
MO (%)	25.18 <sup>a</sup>	26.92 <sup>a,b</sup>	30.12 <sup>b</sup>	45.83 <sup>c</sup>	41.83 <sup>a</sup>	38.25 <sup>b</sup>	Mínimo 30
N (%)	0.43 <sup>a</sup>	1.23 <sup>b</sup>	1.47 <sup>c</sup>	1.47 <sup>c</sup>	1.71 <sup>a</sup>	1.89 <sup>b</sup>	(Declarar)> 1
Relación C/N	31.87 <sup>b</sup>	10.96 <sup>a</sup>	10.28 <sup>a</sup>	15.61 <sup>a</sup>	12.22 <sup>a</sup>	10.13 <sup>b</sup>	NA
CIC (meq/100g)	11.95 <sup>a</sup>	15.22 <sup>a</sup>	13.11 <sup>a</sup>	14.95 <sup>a</sup>	43.83 <sup>a</sup>	49.43 <sup>b</sup>	Mínimo 30
FT (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1.58 <sup>b</sup>	1.69 <sup>b</sup>	1.47 <sup>b</sup>	1.09 <sup>a</sup>	1.32 <sup>a</sup>	1.25 <sup>b</sup>	(Declarar)> 1
FA (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.08 <sup>a</sup>	0.08 <sup>a</sup>	0.07 <sup>a</sup>	0.07 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>	NA
Azufre (%)	0.42 <sup>b</sup>	0.46 <sup>b</sup>	0.40 <sup>b</sup>	0.30 <sup>a</sup>	0.24 <sup>a</sup>	0.28 <sup>b</sup>	NA
RIA (%)	23.87 <sup>b,c</sup>	26.41 <sup>c</sup>	20.03 <sup>a</sup>	22.28 <sup>a,b</sup>	24.14 <sup>a</sup>	19.72 <sup>b</sup>	NA
CaO (%)	6.66 <sup>c</sup>	4.80 <sup>b</sup>	4.60 <sup>b</sup>	2.08 <sup>a</sup>	2.49 <sup>a</sup>	2.40 <sup>a</sup>	NA
MgO (%)	2.86 <sup>b</sup>	2.93 <sup>b</sup>	3.33 <sup>c</sup>	1.57 <sup>a</sup>	1.17 <sup>a</sup>	1.06 <sup>b</sup>	NA
Na (%)	0.13 <sup>a</sup>	1.63 <sup>b</sup>	0.26 <sup>a</sup>	0.14 <sup>a</sup>	0.25 <sup>a</sup>	0.76 <sup>b</sup>	NA
K <sub>2</sub> O (%)	4.46 <sup>a</sup>	6.40 <sup>b</sup>	4.65 <sup>a</sup>	6.04 <sup>b</sup>	2.15 <sup>a</sup>	2.74 <sup>b</sup>	(Declarar)> 1
Fe (ppm)	10283.15 <sup>c</sup>	10146.61 <sup>c</sup>	6939.73 <sup>b</sup>	4438.71 <sup>a</sup>	8118.74 <sup>a</sup>	7125.73 <sup>b</sup>	NA
Cu (ppm)	82.41 <sup>b</sup>	69.25 <sup>a</sup>	89.15 <sup>b</sup>	70.09 <sup>a</sup>	41.68 <sup>a</sup>	36.08 <sup>b</sup>	NA
Mn (ppm)	116.38 <sup>c</sup>	81.35 <sup>b</sup>	52.34 <sup>a</sup>	38.11 <sup>a</sup>	405.90 <sup>a</sup>	407.05 <sup>a</sup>	NA
Zn (ppm)	882.37 <sup>a</sup>	958.50 <sup>a</sup>	893.15 <sup>a</sup>	953.81 <sup>a</sup>	87.77 <sup>a</sup>	75.56 <sup>b</sup>	NA
Ni (ppm)	137.67 <sup>b</sup>	131.17 <sup>b</sup>	178.29 <sup>c</sup>	65.34 <sup>a</sup>	27.55 <sup>a</sup>	33.17 <sup>b</sup>	Máximo 420
Cr (ppm)	94.78 <sup>c</sup>	73.11 <sup>b</sup>	95.34 <sup>c</sup>	13.59 <sup>a</sup>	23.36 <sup>a</sup>	26.11 <sup>a</sup>	Máximo 1200
Hg (ppm)	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Máximo 17
Cd (ppm)	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Máximo 39
Pb (ppm)	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Máximo 300

Letras diferentes implican diferencia significativa, Prueba Anova ( $p < 0,05$ ). Dónde: Nd: No detectado, NA: No Aplica, DR: Densidad real, PV: Pérdidas por volatilización, CRH: Capacidad de retención de humedad, FT: Fósforo total, FD: Fósforo disponible, RIA: Residuo insoluble en ácido.

Esta misma especifica que se debe declarar el fósforo total si es mayor del 1%. Por otra parte, se ha encontrado que este debe ser mayor a 0,4% de acuerdo con Sharma *et al* (1997). En este caso ambos lombricompost presentan un contenido de fósforo mayor del 1%, debido a que en la disminución de la masa de la materia orgánica durante la estabilización y biodegradación, las pérdidas de fósforo por volatilización o lixiviación son prácticamente nulas;

por tanto era de esperar una concentración de fósforo durante el proceso de lombricompostaje (Felton *et al.*, 2004; Gálvez-Solá *et al.*, 2010). Cabe resaltar que un alto contenido de fósforo en el lombricompost es favorable debido a que al ser aplicado al suelo después del tercer mes empieza a favorecer el crecimiento de las plantas (Hargreaves *et al.*, 2008).

En la norma NTC 5167 segunda actualización los contenidos de azufre, calcio, magnesio, sodio, cobre,



hierro, manganeso y zinc no son parámetros a garantizar ni a caracterizar. Sin embargo, se considera un bajo contenido de azufre el cual podría ser explicado por la incorporación del azufre en los tejidos de la lombriz y con pérdidas por lixiviación durante el proceso de lombricompostaje (Chaudhuri *et al.*, 2000; Elvira *et al.*, 1996). De igual forma el contenido de residuo insoluble encontrado es inferior de acuerdo a lo encontrado por Castillo (2010) para un lombricompost con estiércol de bovino, el cual reporta un 35,4%. En cuanto al contenido de calcio se ha encontrado valores cercanos al 1% (Hargreaves *et al.*, 2008) y de 1 a 1,5% de acuerdo a Fajardo (2002). Así mismo para el magnesio Fajardo (2002) encontró un 0,55%. En este estudio se encontraron contenidos superiores de calcio y magnesio a los anteriormente reportados, lo cual podría influir positivamente al acondicionar un suelo neutralizando parte de la acidez del mismo.

El sodio en un lombricompost reportado por Hargreaves *et al.* (2008) está entre el 0,35 y el 2,1%. En L1 y L2 se observa que están en este rango. Se encuentran valores bajos en el contenido de sodio en ambos cajones lo cual es favorable teniendo en cuenta que un alto contenido de este elemento aumentaría la conductividad eléctrica, lo que podría generar inhibición en el crecimiento de las plantas al ser adicionado el lombricompost en el suelo (Bustamante *et al.*, 2009).

Respecto al contenido de potasio (2,15 y 2,74% K<sub>2</sub>O para L1 y L2 respectivamente) se encontró que es mayor al establecido por la NTC 5167 segunda actualización (1%). De acuerdo a Fajardo (2002) debe estar entre 1 y 1,5%.

### Normatividad Colombiana

En la tabla 4 se observan los resultados obtenidos de todos los tratamientos y los parámetros exigidos por la NTC 5167 segunda actualización.

En cuanto a los contenidos de Cu, Mn y Zn Castillo (2010) ha encontrado que para lombricompost de estiércol los contenidos de estos metales son 43 ppm, 428 ppm y 31 ppm, respectivamente, los cuales son valores semejantes a los encontrados en este estudio, excepto para Zinc cuyo valor es aproximadamente el doble al encontrado por este autor. Respecto a los metales pesados se encontraron bajas concentraciones en cuanto a cromo y níquel, y no se detectaron concentraciones de mercurio cadmio y plomo. El contenido de nitrógeno debe declararse si es mayor del 1%. En ambos tratamientos se encontró que el contenido de este parámetro está por encima de este valor. Como se mencionó para el potasio, se ha encontrado que lombricompost con contenidos medios de cenizas (como en este lombricompost) tienen altos

contenidos de nitrógeno (Dimambro *et al.*, 2007). En la misma norma el contenido de carbono debe ser mínimo del 15%. Tanto L1 como L2 muestran un aporte significativamente superior a este valor, lo cual podría generar un impacto positivo al ser aplicado en el suelo (Meléndez, 2003).

Por otra parte, la relación C/N, el pH y la capacidad de intercambio catiónico son parámetros a caracterizar. La relación C/N de un lombricompost estable debe estar cercana a 10 (Duran y Henríquez, 2009; Salazar *et al.* 2003), con lo cual podríamos afirmar que L2 es estable. En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico y el rango de pH los tratamientos cumplen con la norma.

### CONCLUSIONES

- El proceso de descomposición se caracterizó por la determinación de parámetros tales como la temperatura, pH, contenido de materia orgánica y nitrógeno. Los principales cambios que se produjeron durante el compostaje fueron una disminución en la proporción C/N y MO, un aumento de la capacidad de intercambio catiónico y del valor de pH.
- En el proceso de implementación de una compostera en la vereda Betania del municipio de Totoró, se demostró que el uso de agujeros verticales en la superficie de cada cajón se tradujo en una mejor tasa de descomposición biológica de los residuos orgánicos y una disminución de las pérdidas de materia orgánica debido al control o estabilización de la aireación y por lo tanto de la temperatura. Además un sistema de aireación pasiva es un método eficaz que disminuye el costo del proceso ya que no se requiere del uso de equipos y se requiere menor mano de obra.
- El uso de aserrín como agente de carga permitió tener una relación C/N adecuada además de proporcionar al medio una estructura porosa que ofrece canales de flujo de aire bien formados que facilitan la circulación de gases. En cambio, el uso de hierba seca tiene una estructura suave que tiende a colapsar cuando esta se encuentra húmeda favoreciendo condiciones anaeróbicas. En la elaboración del compost resultó beneficioso emplear como inoculante microbiano capas alternas de 5 cm de estiércol equino ya que aporta por una parte cantidades significativas de carbono y sobre todo microorganismos beneficiosos para el proceso, lo que permite afirmar que es una manera fácil, sencilla y económica de obtención de materia orgánica de alto valor.
- El contenido de metales pesados en su conjunto no sobrepasa los niveles máximos permitidos por la norma NTC 5167 (segunda actualización),

mejorando la calidad e inocuidad del producto al ser aplicado al suelo.

- La calidad del compost de los tratamientos T3 y T4 cumple con los estándares de abono orgánico establecido en la NTC. De acuerdo a esta normatividad se puede decir que el compost obtenido a partir de residuos de galería puede ser usado en cualquier actividad de tipo agrícola.
- Los productos obtenidos durante el proceso de lombricompostaje tanto en L1 como en L2 se consideran maduros y estables teniendo en cuenta que cumplen con los requisitos exigidos en la NTC 5167 segunda actualización para abonos orgánicos y presentan un aporte significativo de nutrientes cuando se aplican al suelo como son el carbono orgánico, nitrógeno, fósforo y potasio; así como poseen una alta capacidad de intercambio catiónico. Además, su bajo contenido de metales pesados los convierte en productos de alta calidad. Sin embargo, se observó que L1 es un poco mejor debido a que presenta un mayor índice de humificación y una mayor capacidad de retención de humedad.
- El índice de humificación en promedio es mayor a 1 en los todos los tratamientos excepto en T1, lo cual me indica que prevalece el contenido de sustancias húmicas sobre las sustancias fulvicas en T2, T3, T4, L1 y L2, lo que implica que hay un buen proceso de humificación de la materia orgánica.

#### AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen al cabildo indígena del municipio de Totoró, a la Universidad del Cauca, al grupo de Agroquímica de la Universidad del Cauca y un especial agradecimiento a la profesora Isabel Bravo Realpe por toda colaboración y enseñanza durante el transcurso de toda la investigación.

#### REFERENCIAS

- ALBUQUERQUE, J.A., GONZALES, J., GARCIA, D. and CEGARRA, J. 2006. Measuring detoxification and maturity in compost made from "alperujo", the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere* (64) 470-477.
- ALBUQUERQUE, J.A., GONZALES, J., TORTOSA, G., AIT-BADDI, G. and CEGARRA, J. 2009. Evaluation of "alperujo" composting base on organic matter degradation, humification and compost quality. *Biodegradation* (20) 250-270.
- BARRADAS, A (2009). Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales. Estado del Arte. Instituto Tecnológico de Minatitlán, México. 3 p.
- BENITO, M., MASAGUER, A., MOLINER, A., HONTORIA, C. and ALMOROX, J. 2009. Dynamics of pruning waste and spent horse litter co-composting as determined by chemical parameters. *Biosource Technology* (100) 497-500.
- BUSTAMANTE, M., PAREDES, C., MARHUENDA-EGEA, F., PEREZ-ESPINOSA, A., BERNAL, M. and MORAL, R. 2008. Co-composting of distillery wastes with animal manures; Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability, *Chemosphere* (72) 551-557.
- CANTI, M. G. and PIERCE, T. G. 2003. Morphology and dynamics of calcium carbonate granules produced by different earthworm species. *Pedobiologia*(47) 511-521.
- CHACÓN, A.G., BLANCO J.M. 1999. Manual práctico para la fabricación de abono orgánico utilizando lombrices. San José. Costa Rica. 39 p.
- CHAUDHURI, P., PAL, T., BHATTACHARJEE, G. and DEY, S. 2000. Chemical changes during vermicomposting (*Perionyx excavatus*) of kitchen waste. *Tropical Ecology* (41)107-110.
- CASTILLO, J. Analisis de lombricompostos a partir de diferentes sustratos. Tesis de Especialización. Universidad Nacional. Facultad de Agronomía 2010.49-58 p.
- CRESPO, H. ROMERO, F. Y GONZALES, M. (2012). "Producción de humus de lombriz en Cuba. Aplicaciones y resultados" en Observatorio de la Economía Latinoamericana. p. 169.
- DIAS, B.O., SILVA, C.A., HIGASHIKAWA, F.S., ROIG, A. and SANCHEZ-MONEDERO, M.A. 2010. Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: Efect on organic matter degradation and humification. *Bioresource Technology*(101)1239-1246.
- DIMAMBRO, M.E., LILYWHITE, R.D. and RAHN, C.R. 2007. The Physical, Chemical And Microbial Characteristics of Biodegradable Municipal Waste Derived Composts. *Compost Science and Utilization* (15) 243-252.
- DOMINGUEZ, J. State-of-the-art and new perspectives on vermicomposting research.

- Earthworm Ecology. 2da ed. Ed Edwards, C.A. Florida. 2004. Pag 381-424.
- DURAN, L y HENRIQUEZ, C. 2009. Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* (33) 275-281.
- ELVIRA, C., GOICOECHEA, M., SAMPEDRO, L., MATO, S. and NOGALES, R. 1996. Bioconversion of solid paper-pulp mill sludge by earthworms. *Bioresource Technology* (57)173-177.
- ELVIRA, C., SAMPEDRO, L., BENITEZ, E. and NOGALES, R. 1998. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*. A pilot-scale study. *Bioresource Technology* (63) 205-211.
- FAJARDO, V. Manual Agropecuario. 1a ed. Ed Limerín. Bogotá. 2002. Pag 481-502.
- FELTON, G., CARROLL, L., PRIGGE, C. and BOUKAMP, J. 2004. Nitrogen and phosphorus dynamics in co-composted yard trimmings and broiler litter. *Compost Science and Utilization* (12) 349-355.
- GALVEZ-SOLA, L., MORALES, J., MAYORAL, A., MARHUENDA-EGEA, F., MARTINEZ-SABATER, M., PEREZ-MURCIA, M., BUSTAMANTE, M., PAREDES, C. and MORAL, R. 2010. Estimation of phosphorus content and dynamics during composting: Use of near infrared spectroscopy. *Chemosphere* (78) 13-21.
- GUERRERO, J. 1993. Abonos orgánicos: tecnología para el manejo ecológico de suelos. Perú. Ed. Red de Acción en Alternativas al Uso de Agroquímicos. 89 p.
- HIMANEN, M. and HÄNNINEN, K. 2009. Effect of commercial mineral-based additives on composting and compost quality. *Waste Management* (29) 2265-2273.
- JARAMILLO, G. Y ZAPATA, L. Aprovechamiento de los residuos sólidos en Colombia. Tesis de Especialización. Medellín: Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería 2008. 35 p.
- JIMENEZ, M. Extractos de vermicomposta en la producción orgánica de lechuga en hidroponía. Tesis de Maestría. Montecillo Texcoco: Colegio de Postgraduados 2008. 104p.
- HARADA, Y. and INOKO, A. 1980. Relationship between cation-exchange capacity and degree of maturity of city refuse composts. *Soil Science and Plant Nutrition* (26) 353-362.
- HARGREAVES, J., ADL, M. and WARMAN, P.A. review of use of composted municipal solid waste in agriculture. 2008. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (123) 1-14.
- LAX, A., ROIG, A. and COSTA, F. 1986. A method for determining the cation-exchange capacity of organic materials. *Plant and Soil* (94)349-355.
- MATHUR, S. P., H. DANIEL, G. OWEN, M. SCHNITZER AND J. DUGAN. 1993. Determination of compost biomaturity. I. Literature review. *Biol. Agric. and Hort.*, 10:65-85.
- MELÉNDEZ, G. Residuos orgánicos y material orgánica del suelo. En: *Memorias Taller de Abonos Orgánicos*. Costa Rica: CATIE, GTZ, UCR, CANIAN, 2003.
- MORALES-MUNGUÍA, J. C., M. V. FERNÁNDEZ-RAMÍREZ, A. MONTIEL-COTA, B. C. PERALTA-BELTRÁN. 2009. Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). *BIOTecnica* XI(1):19-26.
- MORENO, J. and MORMENEO, S. Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje. En: Moreno, J. y Moral, R (Eds). *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 2008. Pag 111-140.
- NOGALES, R., DOMINGUEZ, J. y MATO, S. Vermicompostaje. En: Moreno, J. y Moral, R (Eds). *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 2008. Pag 187-207.
- NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC) 5167. *Materiales Orgánicos Utilizados como Fertilizantes o Acondicionadores de Suelos*. Bogotá, 2011.
- ROIG, A., CAYUELA, M.A. and SANCHEZ-MONEDERO, M.A. 2004. The use of elemental sulphur as organic alternative to control pH during composting of olive mill wastes. *Chemosphere* (57) 1099-1105.
- SALAZAR SOSA, E., ORTHIS HERNANDEZ, M. VASQUEZ ALARCON, A. y VASQUEZ VASQUEZ, C. Abonos Orgánicos y plasticultura. Cap 1-5. Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C y COC y TED. Mexico. 2003. Pag 1-109.

- SANCHEZ-MONEDERO, M., CEGARRA, J., GARCIA, D. and ROIG, A. 2002. Chemical and structural evolution of humic acids during organic waste composting. *Biodegradation*(13) 361-371.
- SCHULDT, M. 2008. Iniciación de lombricultivos de *Eisenia fetida* (y *E. andrei*) (Oligochaeta, Lumbricidae) con siembras de baja densidad. *Estrucplan VIII(676):1- 7.* (en línea). Consultado abril 2009. Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/verarticulo.asp?IDarticulo=2027>.
- SHARMA, V.K., CANDITELLI, M., FORTUNA, F. and CORNACCHIA, G. 1997. Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: review. *Energy Conversion and Management* (38) 453-478.
- SHIPITALO, M.J. and LE BAYON, R. Quantifying the effects of earthworms on soil aggregation and porosity. In: Edwards, C.A (Ed). *Earthworm Ecology*. Florida. 2004. Pag 183-200.
- WANG, P., CHANGA, C., WATSON, M., DICK, W., CHEN, Y. and HOITINK, H. 2004. Maturity indices for composted dairy and pig manures. *Soil Biology and Biochemistry* , 767-776. Wilkins, K., & Larsen, K. (1996). Volatile organic compounds from garden waste. *Chemosphere* 2049 - 2055.
- ZHU, N. 2006. Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. *Bioresource Technology* (97) 1870-1875.