

Cambios en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales

Yudith Acosta, Anghie Zárraga, Lesdybeth Rodríguez y Maziad El Zauahre

Sección de Ecología de Suelos, Laboratorio de Investigaciones y Servicios Ambientales (LISA),
Universidad del Zulia, Núcleo Punto Fijo.

yukitaluz@gmail.com

Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar los cambios ocurridos en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje (biodegradación de la materia orgánica) de un lodo residual del tratamiento de aguas servidas mezclado con estiércol caprino y residuo del procesamiento de sábila (*Aloe vera*), empleando el método de apilamiento por volteos (aeróbico). A este propósito se tomaron muestras de la mezcla ($n=5$) al inicio y al final del proceso (0-210 días); obteniéndose los siguientes resultados: Humedad (60-43%); Temperatura (24-34°C; Tmáx.: 58°C); pH (6,74-7,97); Conductividad Eléctrica (1,40-2,87 mScm⁻¹); Carbono orgánico total (37-27%), Nitrógeno total (2,38-1,04%) y C/N (28-18). El compost obtenido mostró para los metales intercambiables, un valor mayor para K y Mg. El contenido total de Cd y Pb, considerados tóxicos para los seres vivos, fue de 4,1 y 76,1 mgkg⁻¹ respectivamente; valores inferiores a los límites de concentración establecidos por las normas internacionales. Al final del proceso, se observaron cambios significativos ($p<0,05$) en los parámetros evaluados, indicando que el compost de lodo residual municipal es un material orgánico rico en nutrientes, libre de metales pesados potencialmente tóxicos, que puede ser adicionado al suelo para mejorar sus propiedades fisicoquímicas y consecuentemente su fertilidad y productividad.

Palabras clave: lodo residual, compostaje, propiedades fisicoquímicas.

Changes in Physicochemical Properties in the Process of Composting Sewage Sludge

Abstract

The aim of the study was to evaluate changes in the physicochemical properties during the composting process (organic matter biodegradation) of a sewage sludge mixed with goat manure and residue from Aloe processing (*Aloe vera*), using the method of heaping by turning over (aerobic). Samples of the mixture ($n=5$) were taken at the beginning and the end of the process (0-210 days). The following results were obtained: Dampness (60-43%); Temperature (24-34°C; $T_{max.}$: 58°C); pH (6,74-7,97); Electrical Conductivity (1.40-2.87 mScm⁻¹); total organic Carbon (37-27%), total Nitrogen (2.38-1.04%) and C/N (28-18). For exchangeable metals, the compost showed a greater value for K and Mg. The total content of Cd and Pb, considered toxic for living beings, was 4.1 and 76.1 mgkg⁻¹ respectively, values lower than the concentration limits established by international regulations. At the end of the process, significant changes were observed ($p<0,05$) in the evaluated parameters, indicating that the compost of sewage sludge is an organic material rich in nutrients, free of potentially toxic heavy metals, which can be added to the soil to improve its physicochemical properties and consequently, its fertility and productivity.

Keywords: sewage sludge, composting, physicochemical properties.

Introducción

Los residuos orgánicos de origen urbano se producen en grandes cantidades y, constituyen una de las más importantes fuentes de contaminación de suelos y aguas; en especial los lodos residuales provenientes del tratamiento de aguas servidas municipales, para cuyo nivel de generación y acumulación actual, no son suficientes los sistemas de eliminación tradicionales (incineración y vertido controlado).

Una de las formas de aprovechamiento de los residuos orgánicos es en la agricultura, debido a que los mismos poseen un alto contenido de materia orgánica y nutrientes, los cuales pueden ser reciclados al ser aprovechados por las plantas, si son dispuestos adecuadamente en los suelos [1]. Su empleo directo (frescos) en el suelo implica ciertos riesgos sanitarios que pueden evitarse mediante el proceso de compostaje. El compostaje es un método biológico que transforma restos orgánicos de distintos materiales (lodos residuales, residuos domiciliarios, residuos de cosecha, cortezas y estiércol, entre otros) en un producto relativamente estable, cuyo uso se ha incrementado en los últimos años como una alternativa efectiva para mejorar la productividad y la calidad de los suelos, debido a que pro-

porciona un producto final con una materia orgánica biodegradada más estabilizada, libre de microorganismos patógenos y sustancias fitotóxicas [7].

En lugar de permitir que el proceso de degradación de la materia orgánica presente en los residuos orgánicos suceda de forma lenta en la propia naturaleza, puede prepararse un entorno optimizando las condiciones para que los agentes de la descomposición (microorganismos) proliferen. Estas condiciones incluyen una mezcla correcta de carbono, nitrógeno y oxígeno, así como control de la temperatura, pH y humedad [4, 12].

En este estudio se evaluaron los cambios en las propiedades físicoquímicas al inicio y final del proceso de compostaje de una mezcla de lodo residual, estiércol caprino y residuo de sábila.

Materiales y métodos

Una mezcla de lodo residual proveniente del tratamiento de aguas servidas municipales, estiércol caprino y residuo del procesamiento industrial de la sábila (*Aloe vera*) fue compostada, empleando el método aeróbico de apilamiento por volteos.

La pila de compostaje estuvo constituida por: 87 Kg de lodo residual de la planta de tratamiento de aguas servidas (Centro Refinador Paraguaná); 85 Kg de estiércol de chivo (Santa Elena, Punto Fijo) y 25 Kg de Residuo de Sábila (Planta Procesadora Industrial-PIZCA, Coro).

Las muestras de la mezcla se tomaron al inicio (0 días) y al final (210 días) del proceso de compostaje y fueron analizadas en el laboratorio trabajando con cinco (5) réplicas.

La Tabla 1 muestra los métodos y técnicas empleados en la determinación de los parámetros fisicoquímicos tanto en los residuos orgánicos de partida como en la mezcla de estos usada en el proceso de compostaje.

Resultados y discusión

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica de los materiales orgánicos utilizados para la elaboración del compost.

Se observa que el contenido de COT (78%) y de NT (2,3%) es elevado para el lodo residual, lo que evidencia su importante aporte de materia orgánica y N (uno de los nu-

trientes más importantes para las plantas) a la mezcla a compostar.

La Tabla 3 muestra el contenido total de elementos químicos en estos residuos.

Es notable, que los metales pesados potencialmente peligrosos para las plantas como Cd y Pb se encuentran por debajo de los valores máximos permitidos por la normativa internacional; por lo que es posible descartar anticipadamente algún problema de toxicidad para las plantas debida a la presencia de estos metales pesados. Por otra parte, la concentración del K es elevada, lo que resulta favorable, considerando que éste es un macronutriente importante para las plantas.

Acosta *et al.* [2] en un estudio anterior, evaluaron un lodo residual municipal e indicaron que éste podría ser usado como enmienda en el suelo debido a su alto contenido de C y N, entre otros nutrientes. Sin embargo, por tratarse de un lodo residual, éste debería ser sometido a compostaje, a fin de garantizar que la materia orgánica adicionada al suelo sea bioquímicamente estable y microbiológicamente libre de patógenos [7]. Por otra parte, se ha indi-

Tabla 1. Métodos y técnicas empleados en la determinación de los parámetros fisicoquímicos en los residuos orgánicos solos y en la mezcla de los mismos usada para el proceso de compostaje.

Parámetro	Método y Técnica	Ref.
Humedad (%)	Gravimétrico: 10 g de muestra a temperatura de 105°C durante 1 h. Lectura en una balanza para humedad	[10]
pH	Potenciométrico con electrodo de vidrio combinado (10 g muestra en 25 mL H ₂ O destilada). Lectura en un pH-metro	[10]
Conductividad Eléctrica (CE) (mScm ⁻¹)	Conductimétrico (10 g de muestra en 25 mL de H ₂ O destilada) (*). Lectura en un Conductímetro	[10]
Carbono Orgánico Total (COT) (%)	Combustión húmeda. Walkley-Black modificado. Espectrofotometría Visible $\lambda=600$ nm	[13]
Nitrógeno Total (NT) (%)	Kjeldahl. Destilación/alcalimetría	[10]
Nitrógeno disponible (NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺) (μgkg^{-1})	Extracción con una solución de K ₂ SO ₄ 0,5 M Espectrofotometría (NO ₃ ⁻): UV $\lambda=410$ nm. (NH ₄ ⁺): Visible $\lambda=655$ nm	[16] [3]
Elementos químicos (mgkg ⁻¹) (Cd, Pb, Zn, Co, Ni, Fe, K, Mg, Na)	Digestión: 0,05 a 0,2 g de muestra + 12 mL HNO ₃ concentrado (180°C / 2 h) + 5 mL HClO ₄ Espectrofotometría de Emisión de Plasma	[8] [9]

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica de los residuos orgánicos empleados en la mezcla a compostar (valor \pm desviación estándar; n=3).

Parámetro	Lodo Residual	Estiércol caprino	Residuo de Sábila
COT (%)	78,42 \pm 10,6	56,58 \pm 2,9	49,50 \pm 7,0
NT (%)	2,3 \pm 0,2	1,45 \pm 0,1	0,69 \pm 0,1
C/N	21,56	39,03	114,24
pH	6,91 \pm 0,0	9,51 \pm 0,3	7,11 \pm 0,5
CE (mScm ⁻¹)	1,03 \pm 0,0	1,34 \pm 1,3	0,68 \pm 0,1

cado que el compostaje puede disminuir la movilidad de los metales pesados potencialmente tóxicos para las plantas, tales como Cd y Pb; los cuales pudieran estar presentes en los lodos residuales [5, 18].

La Figura 1 muestra las variaciones registradas en las condiciones de temperatura (a) y humedad (b), en la pila de compostaje durante los 210 días del proceso. Ambas condiciones, aparte del pH, son determinantes para el éxito del proceso.

La temperatura a los cuatro días de iniciado el proceso de biodegradación de la materia orgánica, alcanzó un valor máximo de 58°C. En este punto se inicia la fase termofílica, cuyos valores oscilan entre 40 a 70°C [17], en la cual la microflora mesófila es sustituida por la termófila (resistente a altas temperaturas) y el material más difícil de descomponer comienza a ser degradado. Las altas temperaturas son capaces de eliminar patógenos, pero también

son capaces de terminar con la flora benéfica y desnaturar a las enzimas responsables de la degradación [12]. En este caso, la temperatura máxima alcanzada (58°C) resultó adecuada.

El valor de la humedad inicial fue cercano al 60% con una clara tendencia a disminuir con el tiempo, indicando esto último la existencia de una buena aireación. Al final, el proceso culminó con un contenido de humedad de 43,19%; sin embargo, fue notorio que el proceso se mantuvo activo a través del tiempo, debido esencialmente a la acción microbiana, la cual al parecer no se vio influenciada drásticamente por la disminución en el contenido de humedad.

La Tabla 4 muestra los valores obtenidos en las propiedades físicoquímicas en la mezcla orgánica al inicio (0 días) y al final (210 días) del proceso de compostaje. En la misma tabla se incluyen, como referencia, los rangos de

Tabla 3. Contenido de elementos químicos en los residuos orgánicos empleados para la mezcla a compostar (valor \pm desviación estándar; n=3).

Elemento (mgkg ⁻¹)	Lodo Residual	Estiércol Caprino	Residuo de Sábila	(*) pH<7	(*) pH>7
Cd	5,00 \pm 0,2	3,33 \pm 0,6	2,00 \pm 0,3	20	40
Pb	80,671,15	89,007,94	2,330,29	750	1200
Zn	40,33 \pm 0,6	94,00 \pm 1,3	43,33 \pm 0,8	2500	4000
Co	18,30 \pm 2,9	13,33 \pm 2,9	5,00 \pm 0,3	-	-
Ni	208,33 \pm 14,4	23,33 \pm 5,8	10 \pm 0,1	300	400
Fe	23416,00 \pm 314,7	6666,67 \pm 190,9	125,00 \pm 10,0	-	-
K	24458,00 \pm 438,9	8083,33 \pm 200,7	8458,33 \pm 288,7	-	-
Na	864,10 \pm 3,8	1621,67 \pm 15,3	338,33 \pm 11,6	-	-
Mg	4416,00 \pm 144,3	11708,33 \pm 288,7	11666,67 \pm 473,2	-	-

(*) Valores máximos permitidos (mgkg⁻¹) en el contenido total de metales pesados en lodos residuales destinados a uso hortícola en suelos con pH<7 y pH>7 [1] (Adaptado parcialmente).

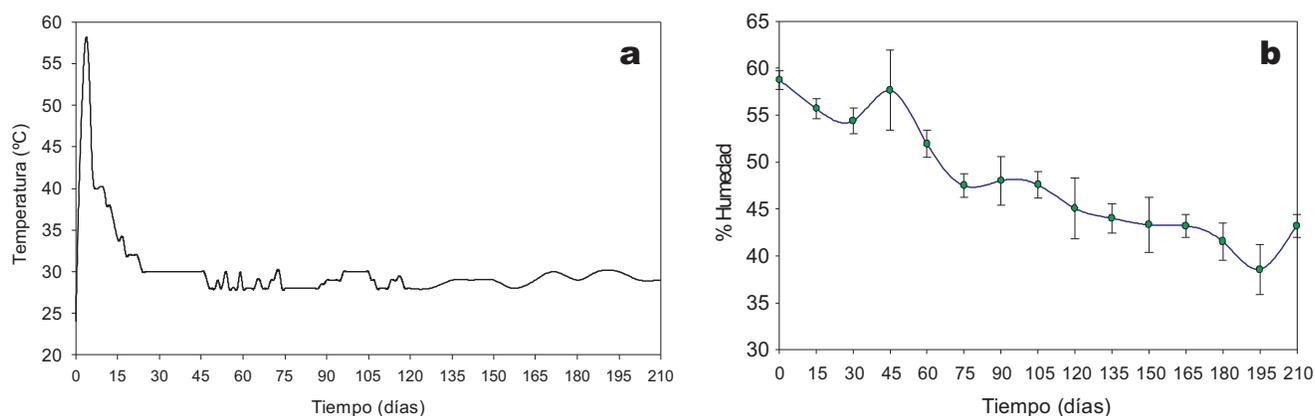


Figura 1. Cambios en el contenido de la temperatura (a) y la humedad (b) durante los 210 días del proceso de compostaje del lodo residual (las barras de error representan \pm la desviación estándar para n=5).

Tabla 4. Valores en los diferentes parámetros físicoquímicos generales, elementos químicos y cationes intercambiables (media desviación estándar, n=5) en la mezcla orgánica para el inicio (0 días) y el final (210 días) del proceso de compostaje.

Parámetro	Tiempo (días)		(*) Rango de valores aceptables		
	0	210	Bajo	Medio	Alto
Físicoquímico					
C (%)	33,250 ± 3,628	23,737 ± 1,334	20-29	29-38	38-49
N (%)	2,09 ± 0,33	1,35 ± 0,30	0,5-1,5	1,5-3	3
C/N	28,28	17,58	13-16	16-19	19-40
pH	6,740,25	7,970,32	-	-	-
CE (mScm ⁻¹)	1,401 ± 0,060	2,873 ± 0,050	0-1	1-2	2
NH ₄ ⁺ (mgKg ⁻¹)	123,292 ± 0,550	8,330 ± 0,520	-	-	-
NO ₃ ⁻ (mgKg ⁻¹)	0,360 ± 0,860	17,845 ± 0,500	-	-	-
Elemento químico (mgkg⁻¹)					
Cd	4,7 ± 0,27	4,1 ± 0,22	1-15	15-35	35
Pb	57,3 ± 2,28	76,1 ± 4,39	100-400	400-1000	1000
Zn	2250 ± 197,64	1170 ± 97,47	100-1200	1200-2000	2000
Co	15 ± 0,30	64 ± 4,18	-	-	-
Ni	66 ± 6,52	61 ± 12,00	20-100	100-200	200
Fe	11050 ± 142,52	10300 ± 1254,90	1000-8000	8000-13000	15000
Cu	20,34 ± 0,53	176 ± 10,40	-	-	-
Cationes Intercambiables [cmol(+)kg⁻¹]					
K ⁺	14,410	28,974	2-16	15-30	30
Na ⁺	6,026	3,765	-	-	-
Mg ⁺⁺	54,423	35,000	10-25	25-40	40

(*) Rango de valores considerados para compost [7] (Adaptado parcialmente).

valores en los diferentes parámetros físicoquímicos y algunos metales pesados; considerados por la Comunidad Europea para el uso de compost en el suelo [7]. Entre los días 0 y 210 se observó un aumento significativo ($p < 0,05$) de la conductividad eléctrica (CE) (1,401-2,873 mScm⁻¹). El valor obtenido en el producto final resultó mayor que el valor considerado alto en el rango de valores indicados para compost.

Pese a lo anterior, la Comisión Nacional de Ambiente de Santiago de Chile [20], expresa que los valores permisibles de la CE del sustrato de cultivo debe encontrarse entre valores de 2,0 a 3,5 mScm⁻¹ a 25°C, para que éste resulte inofensivo para las plantas. Para Smith y Doran [20], la CE es un buen indicador de la dinámica del nitrato (NO₃⁻) disponible en el suelo, la cual puede ser resultado de dos procesos de la mineralización orgánica del nitrógeno, la formación del primer producto, el amonio (NH₄⁺), llevado a cabo por muchos microorganismos sobre una amplia gama de condiciones sobre el suelo y el segundo, producto

de la oxidación de amonio a nitrato (NO₃⁻). Este último proceso es realizado por un grupo de bacterias especializadas que son sensibles a las variaciones de temperatura, al contenido de agua y al oxígeno disponible en el suelo. El incremento en la CE concuerda con el incremento del contenido de nitrato (NO₃⁻) durante el proceso.

El pH, desde el inicio hasta los 210 días de transcurrido el proceso, fue incrementándose paulatinamente hasta alcanzar un valor muy cercano a 8 (7,97). Las normas de calidad de compost, emitido por CONAMA-RM [6], expresa que los límites permisibles de pH se encuentran entre 5,0 y 7,5; sin embargo el uso de un compost con un pH=8 podría ser adecuado en suelos tanto ácidos como ligeramente alcalinos.

La concentración de COT en la mezcla disminuyó a través del tiempo, lo cual puede atribuirse básicamente a la degradación de la materia orgánica de la mezcla durante el proceso de compostaje. En la primera fase del proceso las fracciones de carbono más fácilmente biodegradables

(azúcares, lípidos, fenoles, ácidos orgánicos, entre otras) son degradadas por los microorganismos. Estos compuestos, al mismo tiempo, estimulan la respiración y el crecimiento de un gran número de microorganismos, ya que son fuente de carbono y energía de rápida utilización [19]. Este descenso en la concentración de COT, se encuentra también influenciado por el probable desprendimiento de CO_2 generado por el proceso oxidativo.

Para el N total también se verificó al final del proceso una disminución con respecto al valor obtenido al inicio; lo cual resulta lógico ya que en los primeros días existe una mayor actividad biológica de los microorganismos, acelerando la biodegradación de la materia orgánica, donde se asumen pérdidas de nitrógeno por volatilización de NH_4^+ . García *et al.* [11], al evaluar un compost de residuos sólidos urbanos (RSU) indicó que los composts generalmente presentan valores bajos de NT puesto que parte de éste se pierde por volatilización de amonio (NH_4^+) o por lixiviación de nitrato (NO_3^-) durante el proceso de compostaje.

Bernal *et al.* [4], al evaluar un compost de lodos residuales, indicó que la concentración de NT se ve afectada por la degradación de los compuestos orgánicos con reducción de peso en la pila de compostaje. Estos autores encontraron valores al inicio del proceso de compostaje de lodos para NH_4^+ y NO_3^- de 169,82 y 0,669 mgkg^{-1} , respectivamente; y al final del mismo las concentraciones para estas formas de N fueron de 0,431 y 3,612 mgkg^{-1} , respectivamente. En comparación con el estudio anteriormente mencionado, ambos parámetros (NH_4^+ y NO_3^-) al inicio y al final del proceso de compostaje objeto de este estudio, resultaron significativamente más bajos. La alta concentración de NO_3^- en relación a la concentración de NH_4^+ al final del proceso, se debe posiblemente a una intensa nitrificación.

La relación C/N fue disminuyendo con el tiempo de biodegradación, alcanzando un valor al final del proceso de 17,58. Este valor está ubicado dentro del rango de valores medios para compost (16-19) [7]; sin embargo, hay que tomar en cuenta que la materia orgánica sigue un proceso de estabilización lenta y que este parámetro se estabiliza también con el transcurrir del tiempo. La C/N para compost en un gran número de investigaciones, se ha encontrado alrededor de 15 indicando que el compost es totalmente maduro y podría ser usado en forma segura con propósitos agrícolas [15]. Los resultados obtenidos en las propiedades químicas del producto final dependen de la naturaleza de los residuos orgánicos empleados en la mezcla, por lo cual se ha reportado una amplia variabilidad en los valores de estas propiedades en compost derivados de

materiales orgánicos de diferente procedencia. Jing-Chun Tang *et al.* [14] reportaron para cuarenta y cuatro (44) composts derivados de varias categorías de residuos (madera, café, hierbas, cáscaras de trigo, estiércol de animales, residuos de alimentos, entre otros) los siguientes rangos de valores: Humedad (3,1–82,7%); pH (4,38–9,44); CE (0,12–17,08 mScm^{-1}); COT (16,9–51,0%); NT (0,61–9,83%) y relación C/N (5,2–53,1).

El orden en el contenido de metales a los 210 días de iniciado el proceso de compostaje (Tabla 3) fue para los metales intercambiables: $\text{K} > \text{Mg} > \text{Na}$; para los metales pesados: $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Co} > \text{Ni} > \text{Cr}$ y para los metales potencialmente tóxicos: $\text{Pb} > \text{Cd}$. A los efectos de comparar con otra normativa internacional, conviene tomar en cuenta los valores de concentración máxima de metales pesados en compost elaborados con lodos residuales según la Norma de calidad de compost CONAMA, NCh2880 de Chile [6]. Éstos son: $\text{Cd}=8$, $\text{Pb}=300$, $\text{Zn}=2000$, $\text{Ni}=80$ y $\text{Cu}=1000 \text{ mgkg}^{-1}$. Por otra parte, el contenido de K (28,974 mgkg^{-1}) y Mg (35 mgkg^{-1}) es alto, mientras que para Fe (10300 mgkg^{-1}) y Zn (1170 mgkg^{-1}) se encuentra dentro de los rangos establecidos para compost orgánicos.

Conclusiones

Las propiedades fisicoquímicas generales registraron cambios significativos ($p < 0,05$) al final (210 días) del proceso de compostaje, considerada como etapa de maduración del compost, en relación al tiempo de inicio (0 días) del mismo cuando la mezcla la constituyen los residuos orgánicos frescos. Los valores de pH y CE se incrementaron, mientras que el contenido de C y N disminuyó con el tiempo; indicando que la disminución en el COT se debe probablemente al proceso de mineralización de la materia orgánica, y en el caso del N a pérdidas por volatilización de NH_4^+ y lixiviación de NO_3^- durante la etapa termofílica. Por otro lado, el valor de la relación C/N al final del proceso, se encontró dentro del rango de valores medios considerado para el uso de compost en el suelo.

Los cambios registrados en las condiciones de temperatura y humedad, así como los cambios en las diferentes propiedades fisicoquímicas son un indicativo fundamental de las variadas trayectorias metabólicas predominantes durante el proceso de compostaje. Los cambios más acentuados en la temperatura se llevaron a cabo durante los primeros 13 días de iniciado el proceso, y la temperatura máxima registrada (58°C) permite inferir que se cumplió la etapa termofílica del proceso, con una duración de 5 días garantizando la esterilización del material a degradar.

Al final del proceso, el contenido más alto de metales intercambiables se registró para K y Mg, indicando que este material orgánico es rico en estos dos macronutrientes. El contenido total de Cd y Pb, considerados potencialmente tóxicos para los seres vivos fue menor a los valores límites de concentración establecidos por las normas internacionales.

Los resultados obtenidos para el producto final podrían indicar que el compost derivado del lodo residual mezclado con los otros dos residuos orgánicos (estiércol caprino y residuo de sábila) es un material orgánico rico en nutrientes, libre de metales pesados potencialmente tóxicos, que puede ser usado en el suelo para mejorar sus propiedades fisicoquímicas y consecuentemente su fertilidad y productividad.

Agradecimiento

Al FONACIT por la subvención otorgada al Proyecto de Investigación S1-2002000403.

Referencias

- [1] ABAD, M. (1998). La gestión de los residuos orgánicos. pp. 27-37. En: F. Orozco P y W. Osorio (Eds.), **Residuos Orgánicos. Aprovechamiento Agrícola como Abono y Sustrato**. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia. Impresos Caribe, Ltda. Medellín, Colombia.
- [2] ACOSTA, Yudith; PAOLINI J.; FLORES, S; BENZO, Z; EL ZAUHRE M.; TOYO, L.; SENIOR, A. (2003). Evaluación de metales pesados en tres residuos orgánicos de diferente naturaleza. **Multiciencias**. 3 (1): 15-60.
- [3] ANDERSON, J.; INGRAM, J. (1993). **Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods**. Second Edition. CAB International. Wallingford, UK. 62 p.
- [4] BERNAL, M; CEGARRA J; PAREDES, C; SÁNCHEZ, M. (1997). Maduración y estabilidad de parámetros de compost preparados con amplia gama de desechos orgánicos". **Biores. Technol.** 62:91-99.
- [5] BEESLEY, L.; DICKINSON, N. (2011). Carbon and trace element fluxes in the pore water of an urban soil following greenwaste compost, woody and biochar amendments, inoculated with the earthworm *Lumbricus terrestris*. **Soil Biol. Biochem.** 43 (1): 188-196.
- [6] CONAMA (2000). Norma de calidad del compost clasificación y requisitos. Santiago de Chile. Comisión Nacional de Medio Ambiente [Documento en línea] Disponible: <http://www.conama.cl/rm/568/article-28706.html>. [consulta: 2000, Abril 10].
- [7] COSTA, F; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T; POLO, A. (1991). **Residuos Orgánicos Urbanos. Manejo y Utilización**. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Murcia. España. 181p.
- [8] DÍAZ-BURGOS, M.; CECCANTI, B.; POLO, A. (1993). Monitoring biochemical activity during sewage sludge composting. **Biol. Fertil. Soils**. 16: 145-150.
- [9] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (1992). **Guide to site and soil description for hazardous waste site characterization**. Vol. 1: metals.
- [10] FONDO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (FONAIAP). (1990). **Manual de Métodos y Procedimientos de Referencia. (Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad)**. Serie D. N° 26. UCLA, Maracay. 206 p.
- [11] GARCÍA, C., HERNÁNDEZ, T, COSTA, F; AYUSO, M. (1992). Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.** 23: 1501-1512.
- [12] GRAVES, R. (2000). National Engineering Handbook: Composting. [documento en línea] Disponible: <http://www.cfe.cornell.edu/compost/microorg.html>.
- [13] INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA. UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA (UCV) (1993). **Cuadernos de Agronomía**. Año 1. N° 6. UCV. Maracay, Venezuela. 89 p.
- [14] JING-CHUN, Tang; YASUSHI, Inoue; TSUYOSHI, Yasuta; SHIGEKATA, Yoshida; ARATA, Katayama. (2011). Chemical and microbial properties of various compost products. **Soil Sci. Plant Nutr.** 49 (2): 273-280.
- [15] KABBASHI, NASSERELDEEN (2011). Sewage sludge composting simulation as carbon/nitrogen concentration change. **J. Environ. Sci.** 23 (11): 1925-1928.
- [16] KEENEY, D.; NELSON, D. (1982). Nitrogen-inorganic forms. pp. 643-698. In: **Methods of Soils Analysis**. Part 2. A. Page *et al.* (Eds.). 2 ed. Agronomy 9. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- [17] MADRID, C.; CASTELLANOS, Y. (1997). Efecto de activadores sobre la calidad de compost elaborados con cachaza y bagazo de la caña de azúcar. **Venezuelos**. 1(2):22-28.
- [18] MORENO, J.; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T; AYUSO, M. (1997). Application of composted sewage sludges contaminated with heavy metals to an agricultural soil. **Soil Sci. Plant Nutr. (Japan)**. 43 (3): 565-573.
- [19] PASCUAL, J. (1992). Aspectos químicos y bioquímicos del proceso de compostaje. Tesis de Licenciatura. Universidad de Murcia. España. 322 p.
- [20] SMITH, J.; DORAN, J. (1996) Measurement and use of pH and Electrical Conductivity for soil quality analysis. In: **Methods for Assessing Soil Quality**, Doran J.W., Jones A.J. (Eds.). Soil Sci. Soc. Am. Special Publication 49. SSSA, Madison, WI.