

Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos

Yudith Acosta¹, Joglenys Cayama², Eudelys Gómez², Nicolás Reyes¹, Dickon Rojas¹ y Hendrina García¹

¹Laboratorio de Investigaciones y Servicios Ambientales (LISA). LUZ.

Núcleo Punto Fijo. ²Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM).

E-mail: yacosta@ivic.ve

Resumen

Una mezcla de lodo residual producto del tratamiento de aguas servidas, estiércol de chivo y residuo del procesamiento industrial de sábila (*Aloe vera*) fue sometida a un proceso de compostaje durante 120 días, empleando el método del apilamiento con volteos. En la mezcla se evaluó la dinámica de la respiración microbiana determinando el contenido de CO₂ desprendido en un periodo de 106 días, el cual alcanzó valores de CO₂ acumulado de 87,68 mg C-CO₂.100 g⁻¹. día⁻¹ en el primer día del proceso y de 1648,75 mg C-CO₂.100 g⁻¹. día⁻¹ a los 106 días, encontrándose diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los valores a diferentes tiempos de evaluación. Se aplicó, además, una prueba de germinación empleando semillas de *Lepidium sativum*, para evaluar el grado de fototoxicidad a los compuestos orgánicos tóxicos, al inicio y al final del proceso de compostaje; resultando en un índice de germinación de 23% al inicio del experimento y 51% al final de los 120 días, indicando que las sustancias fitotóxicas presentes en la mezcla de los residuos frescos disminuyeron durante el proceso y que el producto orgánico final podría proporcionar un medio favorable para la germinación de las semillas. En general, se produjeron variaciones importantes en la descomposición de la materia orgánica, derivadas de los cambios en la actividad microbiana, los cuales dependen de la naturaleza y la calidad de la materia orgánica de los materiales empleados, de algunos parámetros físicoquímicos (humedad, temperatura, relación C/N y pH), y del tiempo empleado para el proceso de compostaje.

Palabras clave: Residuos orgánicos, compostaje, respiración microbiana, fitotoxicidad.

* Este artículo fue presentado en la VI Jornadas de Investigación y Postgrado.

Microbial Respiration and Phytotoxicity Test in Compost Process of Organic Residues Mixture

Abstract

A mixture of waste sludge of treatment of served waters, goat manure and aloe industrial residue was submitted to a compost process for 120 days, using heaping with roll over method. Microbial respiration dynamics was evaluated determining CO₂ content detached in a period of 106 days, which reached values of CO₂ accumulated of 87.68 mg C- CO₂, 100 g⁻¹ día⁻¹ on the first day of the process up to 1648.75 mg C- CO₂, 100 g⁻¹.día⁻¹ to 106 days; being high significant differences ($p \leq 0.05$) between the values to different evaluation times. A germination test was applied, besides, using *Lepidium sativum* seeds to evaluate phytotoxicity degree at beginning and end of compost process; which resulted in an germination index of 23 % at beginning of the experiment and 51 % at the end of 120 days, indicating that phytotoxic substances presence in fresh residues mixture diminished during the process and organic final product might provide a favorable way for seeds germination. Important variations took place in the organic matter decomposition, derivatives of the changes in the microbial activity, depend on nature and the quality of organic matter in used materials, on some parameters physics and chemical (dampness, temperature, C/N and pH), and compost process time.

Key words: Organic residues, compost process, microbial respiration, phytotoxicity.

Introducción

Uno de los problemas considerados más importantes en los suelos de la Península de Paraguaná, estado Falcón, es el bajo contenido de materia orgánica, y consecuentemente su baja fertilidad. Estas son características propias de los suelos de ambientes áridos y semi-áridos, además de la poca capacidad de retención de humedad y la excesiva pérdida de nutrientes por efecto de la percolación (Caravaca y Roldán, 2003). Una de las alternativas para mejorar el contenido de materia orgánica en estos suelos, sería la incorporación de residuos orgánicos o sus composts, lo cual además de constituir una interesante práctica agronómica, resulta ser una estrategia no convencional para el manejo de desechos orgánicos (Pérez-Píqueres *et al.*, 2006).

La aplicación al suelo de residuos orgánicos frescos (sin compostar) tienden a producir toxicidad en las plantas, debido principalmente a la inmadurez e inestabilidad de la materia orgánica existente y al contenido de sustancias fitotóxicas de naturaleza orgánica (García *et al.*, 1992). Los ácidos alifáticos de cadena corta (ácidos grasos de bajo

peso molecular y ácidos grasos volátiles) tales como el ácido acético y varios compuestos fenólicos producidos durante la descomposición activa de los compuestos

orgánicos, suprimen la germinación de las semillas, la proliferación de las raíces y el rendimiento de los cultivos (Zucconi *et al.*, 1981a, 1981b, 1985; Manios *et al.*, 1987).

Por tal razón, los residuos orgánicos compostados y estabilizados son usados preferentemente debido a que ellos además de constituir una fuente de nutrientes disponibles para las plantas y la microflora, contribuyen a disminuir los problemas asociados a las sustancias orgánicas tóxicas, las cuales son eliminadas durante el proceso de compostaje (Pascual *et al.*, 1999). Adicionalmente, el compostaje constituye un procedimiento adecuado para la eliminación de diferentes tipos de microorganismos patógenos.

Este proceso se basa en la actividad de microorganismos que son los responsables de la descomposición de la materia orgánica bajo condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación (Costa *et al.*, 1991). Experimentos realizados a nivel de microcosmos y de campo han demostrado que la aplicación de estas enmiendas orgáni-

cas no solo mejora la estructura del suelo y actúa como una fuente de nutrientes, sino que además puede tener fuerte influencia sobre la microflora del mismo. La aplicación de un compost de buena calidad puede incrementar la biomasa microbiana total del suelo, mejorando su actividad, la cual ha sido relacionada con algunos parámetros bioquímicos y biológicos indicadores de la calidad de la materia orgánica, tales como la respiración y la actividad enzimática, entre otros (Albiach *et al.*, 2000, Perucci *et al.*, 2000 y Debosz *et al.*, 2002).

Como los microorganismos son los responsables de la descomposición de la materia orgánica, es conveniente monitorear su actividad durante el proceso, ya que para que éstos puedan vivir y desarrollar la actividad descomponedora necesitan unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación. Son muchos y muy complejos los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje, estando influenciados no solamente por las condiciones ambientales, sino también por tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada.

El desprendimiento de CO₂ es una medida de la actividad biológica total del suelo (Shinner *et al.*, 1995), y es uno de los parámetros más frecuentes y más antiguos para cuantificar las actividades microbianas (Kieft y Rosacker, 1991), debido a que ésta responde en forma diferente a los cambios ambientales (Demkina y Anan'eva, 1998).

La mineralización de carbono, medida a través del CO₂ desprendido, es un proceso caracterizado por la disminución del contenido en materia orgánica, al tiempo que aumentan los nutrientes asimilables que previamente estaban inmovilizados en forma orgánica.

La actividad microbiana depende en gran parte de la naturaleza del material orgánico, y la tasa de descomposición del mismo varía con su contenido de N, S, C soluble, lignina y varios carbohidratos (Janzen y Kucey, 1988). Se ha estimado que, bajo condiciones aeróbicas, entre 20 y 40% del C del sustrato carbonado es asimilado por los microorganismos y el resto es liberado como CO₂ (Alexander, 1977).

El objetivo de este estudio consistió en evaluar el proceso de compostaje de la mezcla de tres residuos orgánicos (lodo residual, estiércol de chivo y residuo del procesamiento industrial de la sábila), durante un periodo de ciento veinte (120) días. Para lo cual se determinaron los niveles de mineralización de carbono a través de la medición del CO₂ desprendido, producto de la respiración micro-

biana, y se aplicó una prueba de fitotoxicidad al comienzo y al final del proceso, considerando a estos parámetros como indicadores de la calidad de la materia orgánica.

Materiales y Métodos

Para la mezcla a compostar se emplearon tres residuos orgánicos de diferente naturaleza: estiércol de chivo, residuo del procesamiento de la sábila (*Aloe vera*) y lodo residual del tratamiento de aguas servidas. Esta mezcla fue sometida a un proceso de compostaje durante ciento veinte (120) días, empleando el método de aplillamiento por volteos (Indore, 1931. Citado por Costa *et al.*, 1991).

La respiración microbiana se midió a través de la determinación del CO₂ desprendido en el tiempo, se empleó el método por titulación descrito por Anderson e Ingram (1993) empleando trampas de álcali (10g muestra + 10 mL NaOH 0,25 M (25°C/24h) + 2 mL BaCl₂ 0,5 M + 3 ó 4 gotas fenoltaleína y titulación con HCl 0,25M). Las titulaciones se realizaron diariamente durante quince días y luego se espació el tiempo a intervalos de 4, 8, 15 y 29 días sucesivamente, hasta culminar un tiempo de 106 días; tiempo a partir del cual no se verificaron cambios en la medición del contenido de CO₂. La determinación de este parámetro permitió evaluar el proceso de mineralización de la materia orgánica.

El ensayo de fitotoxicidad se efectuó por el método de determinación del índice de germinación propuesto por Zucconi *et al.* (1985), empleando semillas de berro (*Lepidium sativum*) y un (1) mL del extracto acuoso de 5 g del material orgánico.

La caracterización de la mezcla durante durante los 120 días del proceso de compostaje se realizó tomando muestras cada quince (15) días, midiendo sistemáticamente la temperatura y la humedad, y determinando conductividad eléctrica, pH, carbono y nitrógeno total, empleando métodos estandarizados (FONAIAP, 1990).

Tratamiento Estadístico

El análisis de los parámetros químicos se efectuó empleando estadística básica. Las diferencias significativas, en el caso de la mineralización, se determinaron efectuando comparaciones de medias empleando el Test de Duncan. Se usó el paquete estadístico STATISTICS (Versión 6,0).

Resultados y Discusión

Caracterización de la mezcla de residuos orgánicos durante el proceso de compostaje

Los resultados de esta caracterización se muestran en la Tabla 1.

Los valores de los parámetros más importantes monitoreados durante el proceso de compostaje y registrados en el producto final en el tiempo estimado de 120 días, estuvieron entre los rangos considerados como óptimos (Costa *et al.*, 1991), no solamente para la adecuada descomposición de la materia orgánica, sino también para el material orgánico (compost) que puede ser aplicado al suelo.

Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35-55°C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. A temperaturas muy altas, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros no actúan al estar esporados.

En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40-60 %. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad depende de las materias primas empleadas.

El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Por ello para obtener un compost de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Teóricamente una relación C/N de 25-35 es la adecuada, pero ésta variará en función de las materias primas que conforman la mezcla. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica. Una relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostaje, y el exceso de nitrógeno se pierde en forma de amoníaco. Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C/N para obtener un compost equilibrado.

En el presente caso, durante el proceso de compostaje, los valores para los parámetros mencionados variaron para la temperatura entre 25 y 52°C, para el % de humedad entre 38, 35 y 51,03 y la relación C/N alcanzó al final de los 120 días un valor de 19,62. Solo los valores de pH y conductividad eléctrica, al final del proceso, estuvieron ligeramente por encima de los especificados para los composts correspondientes a 8 y 2, respectivamente. Esto puede atribuirse, posiblemente, a que el estiércol que forma parte del producto tiene una CE de 7,66, la cual es alta (Acosta *et al.*, 2003).

La Figura 1, muestra los resultados de la emisión de C-CO₂ acumulado durante ciento seis (106) días del proceso de compostaje de la mezcla de los diferentes residuos orgánicos, notándose, que durante los primeros quince (15) días de incubación, realizando las titulaciones diaria-

Tabla 1. Caracterización físico-química de la mezcla en las muestras tomadas a diferentes tiempos del proceso de compostaje (valores \pm desviación estándar; n=3).

Día	T (°C)	Humedad (%)	CE (mS/cm)	pH	C (%)	N (%)	C/N
0	25	39,49 \pm 3,03	1,95 \pm 0,063	8,39 \pm 0,04	36,69 \pm 1,69	1,55 \pm 0,800	23,67
15	51	47,43 \pm 1,32	1,35 \pm 0,063	8,02 \pm 1,05	33,57 \pm 2,69	2,38 \pm 0,951	14,11
30	52	47,99 \pm 3,00	1,95 \pm 0,063	7,97 \pm 0,32	31,29 \pm 1,10	1,92 \pm 0,366	16,30
45	48	51,03 \pm 0,47	1,95 \pm 0,063	7,97 \pm 0,32	26,40 \pm 1,09	1,89 \pm 0,491	13,97
60	43	50,65 \pm 1,46	2,05 \pm 0,063	7,97 \pm 0,32	24,332,33	1,65 \pm 0,057	14,75
75	37	48,59 \pm 2,55	2,18 \pm 0,063	7,97 \pm 0,32	28,320,71	1,90 \pm 0,003	14,91
90	32	49,49 \pm 3,03	2,94 \pm 0,063	8,39 \pm 0,0	31,821,43	1,87 \pm 0,024	17,02
105	36	42,35 \pm 0,50	2,45 \pm 0,063	8,06 \pm 0,07	29,512,45	1,88 \pm 0,020	15,70
120	36	38,35 \pm 0,58	2,95 \pm 0,063	7,85 \pm 0,01	28,360,73	1,44 \pm 0,030	19,69

T: temperatura. CE: Conductividad Eléctrica.

mente, el proceso de emisión de dióxido de carbono fue bastante intenso.

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos de la emisión del dióxido de carbono (C-CO₂) diario y acumulado durante los 106 días que fue evaluada la respiración.

A los quince (15) días se registró un valor de 815,92 9,10 mg C-CO₂ · 100 g⁻¹ · día⁻¹ de CO₂ acumulado. Este incremento continuo es debido probablemente, al contenido de carbono orgánico y lignina presente en los materiales de partida, los cuales suministran el sustrato necesario para la proliferación de los microorganismos responsables de la descomposición. La actividad de los microorganismos que intervienen al inicio del proceso es máxima, como consecuencia de tener a su alcance gran cantidad de compuestos fácilmente biodegradables procedentes de los materiales orgánicos de partida. En este caso, probablemente se derive del residuo vegetal fresco presente en la mezcla (Acosta, 2002).

En las titulaciones realizadas cada 7, 15, 39 y 106 días, se verificó un decaimiento en los valores de C-CO₂ obtenido diariamente, lo cual puede considerarse normal en la evolución del proceso de compostaje. Esta conducta en la mezcla, pone de manifiesto, que en el proceso global de la mineralización de carbono, se definen secuencial y alternativamente dos etapas fundamentales. La primera etapa corresponde al incremento en la actividad biológica y a la degradación por parte de los microorganismos de sustancias fácilmente biodegradables tales como azúcares, lípidos, fenoles, ácidos orgánicos etc., los cuales estimulan tanto el crecimiento como la respiración de un gran número de microorganismos, ya que son fuente de carbono y energía, de rápida utilización y de bajo costo (Pascual, 1995). Esta actividad de los microorganismos se mantiene mientras existan compuestos fácilmente biodegradables. La segunda etapa definida, está descrita por la disminución en el desprendimiento de C-CO₂, la cual define también un decrecimiento en la actividad biológica, como consecuencia de la disminución de las sustancias fácilmente biodegradables, provocando así su estabilización al final del proceso (Acosta, 2003).

Este comportamiento también fue observado por Leifeld *et al.*, (2001), al evaluar este proceso en suelos tratados y no tratados con compost derivado de estiércol, obteniendo mayor cantidad de carbono mineralizado en este último realizando la incubación durante un año.

Durante el proceso de compostaje se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los diferentes tiempos en que fue evaluada la mineralización de carbono en la

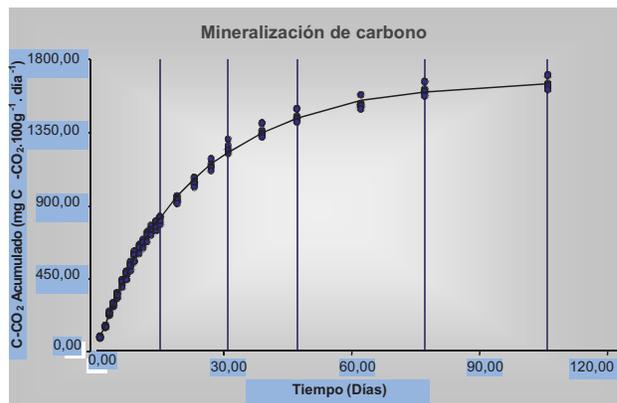


Figura 1. C-CO₂ acumulado durante la descomposición de la materia orgánica durante el proceso de compostaje.

Tabla 2. Valores de la emisión del dióxido de carbono (C-CO₂) diario y acumulado (media desviación estándar; n = 5) durante 106 días del proceso de compostaje de la mezcla de residuos orgánicos.

Tiempo (días)	C-CO ₂ diario (mg C-CO ₂ · 100 g ⁻¹ · día ⁻¹)	C-CO ₂ acumulado (mg C-CO ₂ · 100 g ⁻¹ · día ⁻¹)
0	0	0
1	87,68	87,68 4,95
2	68,58	156,26 1,72
3	76,88	233,14 5,60
4	56,84	289,98 2,80
5	56,68	346,66 3,01
6	79,38	426,04 10,90
7	51,67	477,71 2,48
8	53,08	530,79 2,10
9	62,94	593,74 0,70
10	44,15	637,89 1,72
11	37,72	670,62 1,40
12	45,56	716,18 2,37
13	37,11	753,29 5,85
14	31,94	785,23 5,03
15	30,69	815,92 9,10
19	119,78	935,70 14,56
23	103,97	1020,09 6,02
27	109,13	1127,66 6,10
31	109,29	1258,09 5,61
39	96,45	1354,54 2,37
47	92,22	1446,76 2,17
62	81,42	1528,18 0,00
77	86,12	1614,30 0,00
106	34,45	1648,75 0,00

mezcla durante los ciento seis (106) días del experimento. Esto también puede ofrecer una idea acerca de la proporción de carbono mineralizado a lo largo del proceso de compostaje, lo cual pudiese estar relacionado, probablemente, con las características intrínsecas de los residuos empleados (contenido de carbono, relación C/N, contenido de celulosa y contenido de lignina), lo que define la calidad de su materia orgánica.

Ayuso *et al.*, (1996), reiteran que mientras más estable es la materia orgánica, la emisión de CO₂ y la actividad microbiana son menores. Por otro lado, quienes evaluaron también la influencia del grado de madurez de un compost de residuos sólidos urbanos sobre la mineralización de carbono, encontraron que el desprendimiento de CO₂ (como porcentaje de carbono adicionado) en las muestras compostadas por un período de 70 días, disminuyó hasta un 22,3%. En el presente estudio, el descenso de CO₂ comenzó, prácticamente, luego de los 30 días logrando su estabilidad antes del tiempo estimado de 120 días para la finalización del estudio; presentándose una disminución a los 106 días de casi un 40% del valor inicial.

Prueba de fitotoxicidad

En la Tabla 3 se muestran los índices de germinación para las semillas de *Lepidium Sativum* sobre extractos de muestras de dos distintas etapas del compostaje (0 y 120 días), considerando como germinación al proceso que comprende la brotación y los primeros estadios del crecimiento de las semillas.

El índice de germinación ha sido estimado como un indicador del grado de madurez de los residuos orgánicos, considerándose maduro cuando alcanza el valor de 50% o superior (Zucconi, 1985), y viene dado por la expresión:

$$IG = [(\% GM \times LM) / (\% GC \times LC)] \times 100$$

Donde: IG= índice de germinación, %GM= porcentaje de semillas germinadas de la muestra (extracto), %GC= porcentaje de semillas germinadas del control (agua destilado), LM= longitud media de las raíces de las semillas de la muestra y LC= longitud media de las raíces de las semillas del control.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede decir que el índice de germinación encontrado al inicio del proceso (0 días) resultó mucho menor al índice propuesto por Zucconi, lo cual podría indicar que, debido a que son materiales relativamente frescos, existe una marcada toxicidad al comienzo del proceso, indicando probablemente, la presencia de compuestos de naturaleza fitotóxicas tales como fenoles, lípidos y ácidos orgánicos de bajo peso molecular.

Tabla 3. Índice de Germinación para la mezcla de residuos orgánicos empleados, usando Berro (*Lepidium Sativum*) como planta indicadora.

Tiempo (días)	Índice de Germinación (%)	% de Semillas Germinadas	Longitud media de las raíces (mm)
0	23,03	66	1,64
120	51,60	82	3,02

Tanto al inicio del proceso como al final (120 días), la germinación se produjo a las setenta y dos (72) horas, es decir, al tercer día de iniciado el experimento; aunque de acuerdo al método está pautada a las veinticuatro (24) horas. Lo anterior, no indica propiamente una inhibición, pero podría decirse, que evidentemente se produjo un retardo en la brotación. Se ha considerado que una alta salinidad (CE) y un alto contenido de sodio, pueden también afectar la germinación de las semillas de *Lepidium sativum* (In Bog Lee *et al.*, 2002). Aunque al final de la experiencia (120 días) se obtuvo un índice de germinación ligeramente superior al 50% (51,60%), indicando, posiblemente, que durante el proceso de compostaje han disminuido en alguna medida las sustancias que retardan el proceso, se podía también inferir que el valor alto de la CE pudiese estar impidiendo que el índice registrado sea mucho mayor.

La germinación de las semillas es considerada exitosa cuando la longitud de las raíces alcanzan de 3 mm a 20 mm. La desventaja de la prueba de germinación es que presenta un valor contable, y como tal no transmite la intensidad del efecto tóxico. La germinación como una prueba indicadora única, podría no ser tan sensitiva a los tóxicos como sería la extensión de las raíces (Acosta, 2002).

Fariás *et al.*, (1999), evaluaron un compost derivado de residuos lignocelulósicos de rosas durante un periodo 165 días, determinando el índice de germinación con semillas de *Lepidium Sativum*, colocadas sobre algodón en cápsulas de Petri con 10 mL del extracto acuoso e incubándolas a 27°C durante 12 días. Al evaluar la fitotoxicidad, los autores determinaron un índice de germinación de 55,60%, a los 127 días del proceso de compostaje, indicando que el grado de inhibición disminuye con la materia orgánica más estabilizada. Este valor obtenido es muy cercano al obtenido en la mezcla en estudio, aunque el tiempo de incubación y la cantidad del extracto empleados fueron menores.

In Bog Lee *et al.*, (2002), evaluaron la estabilidad de un compost con residuos de alimentos durante 80 días de compostaje (un tiempo menor al de este estudio), repor-

tando un índice de germinación para este tiempo de 59,1%, utilizando para ello semillas de *Lepidium Sativum*. Este resultado resultó mayor al valor obtenido en el presente estudio, debido posiblemente a la naturaleza y composición de los residuos orgánicos utilizados inicialmente.

Ayuso *et al.*, (1996), evaluaron tres grupos diferentes de residuos municipales: la fracción orgánica de un residuo sólido municipal, lodos residuales y los compost de cada uno de estos materiales. Estos autores evaluaron los efectos fisiológicos de estos residuos sobre la germinación de las semillas de *Lepidium Sativum*, y concluyeron que el porcentaje de germinación se incrementó en los residuos orgánicos con la materia orgánica más estabilizada.

Conclusiones

Los residuos orgánicos utilizados en la preparación de la mezcla sometida al proceso de compostaje, producen variaciones importantes sobre la descomposición de la materia orgánica, derivadas de los cambios en la dinámica de la población microbiana y a una serie de reacciones que son propias del proceso biooxidativo. Estos cambios dependen, en primer lugar, de la naturaleza y la calidad de la materia orgánica de los materiales de partida, y en segundo lugar, de algunos parámetros físicos y químicos, tales como: humedad, temperatura relación C/N y pH entre otros; además del tiempo empleado para el proceso de compostaje.

El desprendimiento de CO₂, medido a través de la determinación de la respiración microbiana, puede considerarse como uno de los parámetros más sensibles a los cambios que ocurren en la transformación de la materia orgánica, detectándose en el proceso una fase inicial de mineralización rápida, donde tiene lugar la descomposición por los microorganismos de los compuestos fácilmente disponibles y otra fase final donde la mineralización es lenta; indicando el agotamiento de nutrientes para la microbiota involucrada en la descomposición.

La determinación del índice de germinación, es importante cuando se quiere destinar un material orgánico a uso agrícola, ya que es una medida de su potencial fitotóxico. El resultado obtenido de este índice al final del proceso (120 días), fue de 51,60%, lo que indica que durante el proceso de compostaje disminuyeron en gran medida las sustancias fitotóxicas presentes al inicio del proceso (0 días), donde el índice de germinación determinado fue de 23,03%.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos para los parámetros estudiados en el proceso de compostaje de la mezcla de los residuos orgánicos, y los parámetros físico-químicos determinados al final del experimento, podía suponerse que este material puede ser usado como un acondicionador de suelos, cuya aplicación exitosa dependerá de la dosis y la frecuencia de aplicación del material.

Referencias Bibliográficas

- ACOSTA, Y. (2002). **Mineralización del Carbono, Actividad Enzimática y Biomasa Microbiana de un Suelo de la Región Semiárida de Venezuela Enmendado con Residuos Orgánicos**. Tesis Doctoral. IVIC. Venezuela.
- ACOSTA, Y.; PAOLINI, J.; FLORES S.; BENZO Z.; EL ZUAHRE M.; TOYO L. Y SENIOR, A. (2003). "Evaluación de metales pesados en tres residuos orgánicos de diferentes naturaleza". **Multiciencias**. 3(1):51-60.
- ALEXANDER, M. (1977). **Introduction to Soil Microbiology**. John Wiley and Sons, Inc., New York. 467 p.
- ANDERSON, J.; INGRAM, J. (1993). **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. Second edition. Cab international. Wallingford, UK. 62.
- ALBIACH, R.; CANET, R.; POMARES, F.; INGELMO, I. (2000). Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. **Biores. Tech.** 75: 43-48.
- AYUSO, M.; PASCUAL, J; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T. (1996). Evaluation of urban wastes for agricultural use. **Soil. Sci. Plant. Nutric.** 42: 105-111.
- CARAVACA, F; ROLDAN, A. (2003). Effect of *Eisenia foetida* earthworms on mineralization kinetics, microbial biomass, enzyme activities, respiration and labile C fractions of three soils treated with a composted organic residue. **Biol. Fertil. Soils.** 38: 45-51.
- 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. 181 p.
- DEBOSZ, K.; PETERSEN, S.; KURE, S.; AMBUS, P. (2002). Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties, **Appl. Soil Ecol.** 19: 237-248.
- DEMINKINA, T.; ANAN ´EVA, N. (1998). The influence of long-term fertilizer application on the respiration activity and resilience of soil microbial communities. **Eur. Soil Sci.** 31 (11): 1382-1263.
- FARIAS, D.; BALLESTEROS, M.; BENDICE, M. (1999). "Variación de parámetros físico-químico durante el proceso de compostaje". **Revista colombiana de Química**. 28 (1).
- FONDO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (FONAIAP). (1990). **Manual de métodos y pro-**

- cedimientos de referencia. (Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad).** Serie D. Nº. 26. Escuela de Agronomía. Ministerio de Agricultura y Cría. FONAIAP. UCLA, Maracay. 206 p.
- GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ T.; COSTA, F.; PASCUAL, J.; (1992). Phytotoxicity due to the agricultural use of urban wastes. Germination Experiments. **J. Sci. Food Agric.** 59: 313-319.
- HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C.; COSTA, F.; VALERO, J.; AYUSO, M. (1992). "Utilización de residuos urbanos como fertilizantes orgánicos". **Suelo y Planta.** 2: 373-383.
- IN BOG, L.; PIL JOO, K.; KI WOON, C. (2002). "Evaluation of stability of compost prepared with korean food wastes". **Soil Sci. Plant Nutr.** 48(1)1-8.
- JANZEN, H.; KUCEY, R. (1988). C, N and S mineralization of crop residues as influenced by crop species and nutrient regime. **Plant and Soil.** 106: 35-41.
- KIEFT, T.; ROSACKER, L. (1991). Application of respiration and adenylate based soil microbiological assay to deep sub-surface terrestrial sediments. **Soil. Biol. and Biochem.** 23: 563-568.
- LEIFELD, J.; SIEBERT, S.; KOGEL – KNABNER, I. (2001). "Stabilization of composted organic matter after application to a humus – free sandy mining soil. **J. Environ. Qual.** 30: 602-607.
- MANIOS, V.; TSICALAS, P.; SIMMINS, H. (1987). Phytotoxicity of olive tree leaf compost. p. 296-301. In: M. De Bertoldi, M. Ferranti, P. Hermite, and F. Zucchini (Eds). **Compost: production, quality and use.** Elsevier Applied Science. London, U.K.
- PASCUAL, J. (1995). **Efectividad de los residuos orgánicos en la mejora de la calidad de los suelos áridos: aspectos biológicos y bioquímicos.** Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. (España).
- PASCUAL, J.; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, M.T. (1999). Comparison of fresh and composted organic waste in their efficacy for the improvement of arid soil quality. **Bioresour Technol.** 68:255-264.
- PÉREZ-PIQUERES, A.; EDEL-HERMANN, V.; ALABOUVETTE, C.; STEINBERG, C. (2006). Response of soil microbial communities to compost amendments. **Soil Biol. Biochem.** 38 (3): 460 – 470.
- PERUCCI, P.; DUMONTET, S.; BUFO, S.; MAZZATURA, A.; CASUCCI, C. (2000). Effects of organic amendment and herbicide treatment on soil microbial biomass, **Biol. Fertil. Soils.** 32: 17–23.
- SHINNER, F.; OHLINGER, R.; KANDELER, E.; MARQUÉSIN, R. (1995). Soil respiration. pp. 93-110. In: **Methods in Soil Biology.** Springer Verlag, New York.
- ZUCCONI, F.; FORTE, M.; MÓNACO, A.; DE BERTOLDI, M. (1981a). Evaluating toxicity of in nature compost. **Biocycle.** 22: 54-57.
- ZUCCONI, F.; FORTE, M.; MÓNACO, A.; DE BERTOLDI, M. (1981b). Biological evaluation of compost maturity. **Biocycle.** 22: 27-29.
- ZUCCONI, F.; FORTE, M.; MÓNACO, A.; DE BERTOLDI, M. (1985). Phytotoxins during the stabilization of organic matter. p.73-86. In: J. Gasser (Ed.). **Composting of agricultural and other wastes.** Elsevier Applied Science Publishing. London, England.