

Utilización de parámetros químicos y microbiológicos como criterios de madurez durante el proceso de compostaje

Defrieri, R. L.; M. P. Jimenez, D. Efron y M. Palma.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar la evolución de algunos parámetros químicos (materia orgánica, relación C/N, CIC, C soluble, NH_4^+ soluble, relación $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$) y biológicos (respiración microbiana, actividad de las enzimas fosfatasa alcalina y proteasa) que constituyen herramientas analíticas aptas para la determinación del grado de madurez y estabilidad de un compost obtenido a partir de una mezcla de cama de caballo y gallina. Con la excepción de los valores de N-NO_3^- y CIC, los cuales tienden a aumentar con el tiempo de compostaje, los otros parámetros químicos y biológicos analizados presentan los mayores valores al comienzo del proceso. Estos parámetros disminuyen gradualmente mostrando variaciones significativas a lo largo del compostaje y alcanzan valores finales que son indicativos de un buen grado de estabilidad y madurez en el compost. La correlación positiva encontrada entre las actividades de las dos enzimas estudiadas y la liberación del CO_2 indica que las actividades de dichas enzimas pueden ser útiles para estudiar la madurez y estabilidad del producto final en un proceso de compostaje.

Palabras clave: compost, actividad proteasa, actividad fosfatasa alcalina, respiración microbiana, parámetros químicos.

Defrieri, R. L.; M. P. Jimenez, D. Efron y M. Palma, 2005. Utilization of chemical and microbiological parameters as maturity criteria during the composting process. Agriscientia XXII (1): 25-31

SUMMARY

The aim of this experiment was to study the evolution of some chemical (organic matter, C/N ratio, CEC, water soluble organic C, water soluble NH_4^+ and NH_4^+ -

Fecha de recepción: 26/07/04; Fecha de aceptación: 28/04/05

N/NO₃⁻-N ratio) and biological (microbial respiration, alkaline phosphatase and protease activities) parameters as reliable tools for monitoring maturity and stability of a compost of a mixture of horse manure and poultry manure. With the exception of the NO₃⁻-N content and CEC, which tend to increase with composting time, the other chemical and biological parameters examined exhibit the greatest values at the initial stage of composting. These parameters decreased gradually showing significant differences as the process proceeded and they reached values that indicate that an adequate degree of maturity and stability was achieved by the end-product. There was a close relationship between the activity of two enzymes and CO₂ evolution. This result suggests that both enzymes can be considered good indicators of the stability and maturity achieved by the organic material during and after its composting process.

Key words: compost, protease activity, alkaline phosphatase activity, microbial respiration, chemical parameters.

R. L. Defrieri; M. P. Jimenez, D. Efron y M. Palma. Facultad de Agronomía. UBA. Av. San Martín 4453. CP 1417. Buenos Aires, Argentina. (defrieri@agro.uba.ar)

INTRODUCCIÓN

El compostaje es un método biológico que transforma restos orgánicos de distintos materiales (paja, lodos cloacales, residuos domiciliarios, 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 (Claassen & Carey, 2004). Se trata de un proceso bio-oxidativo controlado, que requiere un grado de oxigenación y humedad adecuados y que implica el paso por un proceso de higienización a través de una etapa termófila (García, 1990). Durante el proceso de compostaje se produce una disminución en peso de los residuos orgánicos tratados, y en cada una de las etapas se producen cambios en numerosas propiedades químicas, físicas y biológicas de los materiales orgánicos (Iglesias-Jiménez & Pérez-García, 1989), hasta llegar a la formación de moléculas polimerizadas de naturaleza húmica. Este proceso va también acompañado de una disminución en la actividad biológica (Climent *et al.*, 1996). La medición de la evolución de los principales parámetros químicos y biológicos permite monitorear el grado de estabilidad alcanzado por los residuos orgánicos y determinar el tiempo óptimo de tratamiento. La inclusión de parámetros vinculados con la actividad microbiana está basada en la hipótesis inicial de que la madurez puede ser estimada a través de la estabilidad biológica del producto (Morel *et al.*, 1985). Dado que este proceso es una transformación bioquímica de materia orgánica llevada a cabo por acción de microorganismos, que se produce en fase acuosa con la participación de enzimas, los

cambios que ocurren en la materia orgánica soluble y las actividades de determinadas enzimas pueden ser útiles para estudiar la estabilidad/madurez del producto final (Bernal *et al.*, 1998; Tiquia *et al.*, 2002). Mondini *et al.* (2004) trabajando con restos de paja, de algodón y mezclas de ambos, encontraron que las actividades de la fosfatasa alcalina y la aril-sulfatasa constituyen índices confiables de estabilidad para el compost logrado a partir de esos materiales iniciales, y resaltan que, dada la complejidad de los procesos que ocurren durante el compostaje, habría que realizar numerosos estudios con distintos materiales originales para poder estimar cuáles son las enzimas más apropiadas para ser consideradas como índices de estabilidad y madurez. Así por ejemplo, Saviozzi *et al.* (2004) encontraron que la actividad de la ureasa permite el monitoreo de los cambios producidos durante el compostaje de residuos urbanos.

El objetivo de este trabajo fue estudiar la evolución de algunos parámetros químicos (materia orgánica, relación C/N, CIC, C soluble, NH₄⁺ soluble, relación N-NH₄⁺/N-NO₃⁻) y biológicos (respiración microbiana, actividad de las enzimas fosfatasa alcalina y proteasa) que constituyen herramientas analíticas aptas para la determinación del grado de madurez y estabilidad del compost obtenido a partir de una mezcla de cama de caballo y gallina.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó al aire libre, durante 18 semanas, en la localidad de Francisco Alvarez (Buenos Aires, Argentina). El material a compostar fue

una mezcla de cama de caballo (preparada con paja de trigo y viruta de salicáceas) y cama de gallina (preparada con cáscara de arroz). La pila tuvo las siguientes dimensiones: 2,50 m de ancho, 7 m de largo y 1,5 m de alto, y se volteó cada semana a fin de garantizar las condiciones de aerobiosis necesarias. Se regó para mantener el 60% de humedad en la pila. Se midió semanalmente la temperatura en forma manual a una profundidad de 40 cm desde la cima de la pila. Cada semana se extrajeron 3 muestras (aproximadamente 1 kg) simétricamente a lo largo de la pila, dentro de las 6 horas después del volteo. Cada muestra estuvo constituida por seis submuestras tomadas en seis lugares a lo largo de todo el perfil, desde el tope hasta la base de la pila. Las muestras primeramente se tamizaron por un tamiz grueso de 9,5 mm, que es el tamaño del tamiz requerido para la determinación del CO₂ de acuerdo a la técnica que se empleó (Ianotti *et al.*, 1994). Luego, se volvieron a tamizar de acuerdo a lo indicado en cada técnica empleada para las determinaciones de los otros parámetros. Una parte se guardó húmeda a 4 °C para efectuar el análisis del

desprendimiento de CO₂ y de las actividades enzimáticas. Los análisis se realizaron dentro de las dos semanas y todas las determinaciones se hicieron por triplicado.

Sobre las muestras se realizaron las siguientes determinaciones. Materia seca (MS): secado a 105 °C hasta peso constante; cenizas: calcinación a 540 °C durante 16 horas; nitrógeno total (Nt): digestión oxidativa (método de Kjeldahl); carbono orgánico total (COT): medido con analizador Carlo Erba (modelo 1106); contenido de materia orgánica (MO): se calculó MO% = 100 - % cenizas; capacidad de intercambio catiónico (CIC_{MO}): método de Harada & Inoko (1980) y calculado sobre el contenido de MO; carbono orgánico soluble (COS), amonio (N-NH₄⁺) y nitrato (N-NO₃⁻) solubles: extracción según Avnimelech *et al.* (1996) y en el extracto se midió la concentración de COS por técnica de Nelson & Sommers (1982) y las concentraciones de N-NH₄⁺ y N-NO₃⁻ según método de Bremner & Keeney (1965); fósforo disponible: extracción por el método de Bray-Kurtz y colorimetría por azul de molibdeno; respiración microbiana: medición del CO₂ liberado (Ianot-

Tabla 1: Evolución de algunos parámetros químicos durante el proceso de compostaje

Semana	Temp °C	MO (%)	COT (%)	COT/Nt	COS (%)	P Bray-Kurtz (1)	N-NH ₄ ⁺ (2)	N-NO ₃ ⁻ (3)	N-NH ₄ ⁺ /N-NO ₃ ⁻ > 850	CIC (4)
1	66	71,9 a ± 6,1	39,1a ± 3,6	32,1 a	2,0 a ± 0,15	600 a	850 a ± 75	< 1	> 800	25 a ± 2
2	48	69,7 a ± 5,2	35,2 ab ± 3,3	24,4 b	1,8 ab ± 0,14	630 a	800 a ± 78	< 1	> 720	35 b ± 2
3	52	68,7 a ± 5,7	30,4 b ± 3,1	23,2 b	1,7 ab ± 0,13	670 a	720 a ± 65	< 1	> 550	34 b ± 2
4	55	65,8 b ± 5,1	27,5 b ± 2,8	19,2 b	1,5 b ± 0,11	730 ab	550 b ± 68	< 1	48 a	41 bc ± 3
6	60	58,5 c ± 4,7	28,2 b ± 2,6	20,1b	1,3 bc ± 0,09	750 b	420 b ± 59	8,8 a ± 0,2	19 b	51 c ± 3
8	40	54,6 c ± 4,6	26,4 b ± 2,5	17,3c	1,0 c ± 0,09	740 b	290 c ± 38	15,3 a ± 0,2	5,0 c	57 c ± 3
10	45	50,4 c ± 3,9	24,6 bc ± 2,3	15,9cd	0,6 c ± 0,08	810 b	270 c ± 29	54 ab ± 4	0,32 d	58 c ± 3
12	46	41,8 d ± 3,8	21,2 c ± 2,2	14,0 d	0,4 d ± 0,05	914 c	178 c ± 15	556 b ± 45	0,34 d	71 d ± 5
15	36	37,9 d ± 3,2	22,1 c ± 2,2	13,8 d	0,5 d ± 0,03	950 c	130 cd ± 15	382 b ± 22	0,17 d	82 d ± 5
18	32	40,0 d ± 3,6	21,2 c ± 2,1	12,9 d	0,5 d ± 0,06	960 c	120 d ± 15	706 c ± 58		85 d ± 6

± representan desvíos standard para n = 3

(1) mg kgMS⁻¹

(2) mg kgMS⁻¹

(3) mg kgMS⁻¹

(4) cmolc.kgMO⁻¹

ti *et al.*, 1994); actividad de fosfatasa alcalina: método de Tabatabai & Bremner (1969); actividad de proteasa: método de Ladd & Butler (1972) y colorimetría de Dilly & Munch (1996).

Todas las determinaciones se efectuaron por triplicado y los resultados fueron expresados sobre materia seca. Los datos obtenidos fueron analizados por un análisis de varianza de una vía; se aplicó el test de Tukey de comparación de medias ($p < 0,01$) y se determinaron los coeficientes de correlación de Pearson entre algunas de las variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura

La temperatura es uno de los factores más importantes que gobiernan la velocidad de las reacciones bioquímicas. En este trabajo, al concluir la primera semana del proceso de compostaje la temperatura alcanzó los 66 °C. A este rápido aumento le sucedió una caída importante en la segunda semana hasta los 48 °C. En las cuatro semanas siguientes las temperaturas se incrementaron hasta 60 °C. Luego de la sexta se observó, en general, una disminución, llegando a un valor medio de 34 °C al final del ensayo. De acuerdo a McGregor *et al.* (1981) las temperaturas de 52 a 60 °C están asociadas a la etapa termofílica, por lo que durante el ensayo se realizó una buena higienización de los materiales, con la consecuente eliminación de posibles patógenos.

Materia orgánica y relación C/N

Como era de esperar, la materia orgánica dismi-

nuyó a medida que avanzó el proceso, alcanzando un valor de 40% al final del compostaje, lo que supone un descenso del 55,6% y está dentro de los límites normales para estas enmiendas. La relación C/N proporciona una estimación directa de las fracciones biológicamente degradables de C y N en el compost (Hughes, 1980). Durante el proceso de compostaje esta relación disminuyó un 61%, llegando a un valor de 13 al final del ensayo (Tabla 1). Esta relación ha sido usada por distintos investigadores como índice de estabilidad/madurez. Así, Bernal *et al.* (1998) proponen un valor inferior a 20 para esta relación, mientras que Iglesias-Jiménez & Pérez-García (1989) consideran que dicha relación debe ser inferior a 12 en un compost maduro. Por lo general, un compost se considera maduro cuando la relación C/N es menor de 25 o más cercana a 15 (Pascual *et al.*, 1997). Este valor de referencia tiene el gran inconveniente de la variabilidad de los materiales originales que forman los composts. Además, su determinación analítica puede tener errores debido al proceso de secado y tamizado de las muestras en el laboratorio, que puede conducir a pérdidas por volatilización de N, en forma amoniacal, en los composts inmaduros. Estas consideraciones hacen que el grado de madurez de estos materiales no se pueda describir en base a un solo parámetro, como la relación C/N, sino que la caracterización final del producto requiere de la combinación de este parámetro con otros tests analíticos complementarios.

Carbono, nitrato y amonio solubles

La concentración del carbono orgánico soluble (COS) disminuyó gradualmente un 80% hasta la

Tabla 2: Evolución de algunos parámetros biológicos durante el proceso de compostaje

Semana	Respiración (1)	C-CO ₂ /COT	Actividad fosfatasa (2)	Actividad proteasa (3)
1	2572 ± 222 a	65,8 a	1200 ± 116 a	1132 ± 89 b
2	2029 ± 189 ab	57,6 a	1121 ± 115 a	1816 ± 198 a
3	1345 ± 99 b	44,2 a	1226 ± 119 a	1538 ± 160 a
4	402 ± 34 c	14,6 b	1100 ± 99 a	810 ± 78 b
6	350 ± 26 c	12,4 b	950 ± 98 a	800 ± 76 b
8	317 ± 30 c	12,0 b	900 ± 95 a	572 ± 61 c
10	168 ± 18 c	6,8 c	870 ± 90 ab	609 ± 65 c
12	168 ± 21 c	7,9 c	920 ± 85 a	710 ± 76 c
15	157 ± 14 c	7,1 c	772 ± 75 b	670 ± 70 c
18	135 ± 14 c	6,4 c	600 ± 67 b	691 ± 70 c

± representan desvíos standard para n = 3

(1) mgC-CO₂·100g MS⁻¹·3d⁻¹

(2) µg p-nitrofenol g MS⁻¹·h⁻¹

(3) µg tirosina g MS⁻¹·h⁻¹

duodécima semana y luego los valores no presentaron diferencias significativas hasta el final del ensayo, cuando alcanzaron un valor de 0,5% (Tabla 1). El contenido de COS ha sido considerado por algunos investigadores como indicador de madurez/estabilidad de un compost (Iannotti *et al.*, 1994). En este sentido, García *et al.* (1992), Hue & Liu (1995) y Bernal *et al.* (1998) sugieren valores menores a 0,5%, 1% y 1,7%, respectivamente. Iannotti *et al.* (1994) consideran que la fracción de carbono soluble en agua en un compost inmaduro consiste en azúcares, sustancias fenólicas, ácidos orgánicos, péptidos y otros compuestos fácilmente biodegradables. En un compost maduro la mayoría de las sustancias mencionadas pasan a formar parte de los componentes húmicos que son más resistentes a la degradación.

El contenido de $N-NH_4^+$ varió significativamente a lo largo del proceso de compostaje descendiendo desde un valor de 850 mg kg^{-1} en el inicio hasta 120 mg kg^{-1} en el producto final (Tabla 1). Este último valor es inferior al propuesto para un compost maduro por Zucconi & De Bertoldi (1987), quienes sugieren un valor máximo de 400 mg kg^{-1} . La concentración de $N-NO_3^-$ fue despreciable al comienzo

Tabla 3: Matriz de correlaciones entre algunas variables

	COS	Respiración	Act. fosfatasa alcalina
Respiración	0,8466		
Act. fosfatasa alcalina	0,8773	0,7488	
Act. proteasa	0,7481	0,7968	0,7012

del proceso de compostaje, aunque se pudieron medir cantidades apreciables a partir de la sexta semana (Tabla 1). Una relación $N-NH_4^+/N-NO_3^-$ a favor de las formas oxidadas se considera deseable para un compost maduro, ya que dicho cambio implica un proceso de nitrificación. Para esta relación, Bernal *et al.* (1998) proponen valores menores a 0,16 como un índice de madurez, valor que prácticamente fue alcanzado por el material al final del experimento (Tabla 1).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La evolución en la CIC fue referida a la materia orgánica (CIC_{MO}) debido a que el compostaje es un proceso biológico que afecta principalmente a la matriz orgánica. Este parámetro aumentó progresivamente a lo largo del ensayo, desde $25 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ en el inicio hasta $85 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ en el compost final (Tabla 1). Harada & Inoko (1980) sugirieron un valor

mínimo de $60 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para que un compost pueda considerarse maduro. En el presente estudio este valor fue alcanzado a la octava semana.

Respiración microbiana

Debido a que el proceso de compostaje en condiciones aeróbicas produce la descomposición microbiana de la materia orgánica fresca en una más estabilizada, con el consecuente consumo de O_2 y liberación de CO_2 , la medición de la evolución de estas variables puede ser utilizada como índice de la tasa de compostaje. Los resultados obtenidos muestran una producción alta de CO_2 al comienzo del proceso ($2572 \text{ mg C-CO}_2 \text{ } 100 \text{ g}^{-1} \text{ } 3 \text{ d}^{-1}$) que corresponde a un desarrollo muy intenso de la actividad metabólica de los microorganismos, debido a la abundancia de compuestos fácilmente degradables en el material fresco. A medida que el proceso progresa, este valor disminuye significativamente (Tabla 2). Durante el transcurso de las primeras cuatro semanas se observó la mayor disminución de la actividad respiratoria, lo que indica que las sustancias más fácilmente biodegradables fueron utilizadas por la biomasa microbiana del sistema en ese tiempo, corroborado por la alta correlación positiva ($r = 0,8466$) encontrada entre la evolución de la respiración microbiana y la dinámica seguida por las fracciones lábiles de carbono (COS) (Tabla 3).

El valor relativo de la producción de CO_2 referido al C orgánico total ($C-CO_2/COT$) también disminuyó durante el compostaje, alcanzando un valor de $6,8 \text{ mg C-CO}_2$ por gramo de COT en la décima semana (Tabla 2). García *et al.* (1992) proponen un valor de 5 mg C-CO_2 por gramo de COT como un índice de madurez de un compost. Esta forma relativa de expresar la respiración se considera más adecuada que su expresión en forma absoluta, debido a que los procesos microbiológicos están fuertemente vinculados con el contenido de materia orgánica (Foster *et al.*, 1993).

Actividades enzimáticas

Las fosfatasa son enzimas que catalizan la hidrólisis de ésteres orgánicos de fósforo a fosfato inorgánico. Godden *et al.* (1986) encontraron que la actividad de la fosfatasa alcalina aumentaba durante el período mesofílico y permanecía sin cambios en las etapas posteriores. En el presente trabajo la actividad de esa enzima decreció gradualmente durante el compostaje desde 1200 hasta $600 \mu\text{g}$ de p-nitrofenol $\text{g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Tabla 2). Esta disminución puede atribuirse a un fenómeno de inhibición por retroalimentación (Nannipieri *et al.*, 1979), provocado por el fósforo inorgánico que aumentó desde 680 ppm

hasta 960 ppm durante el compostaje a partir de la mineralización del fósforo orgánico (Tabla 1).

La actividad enzimática de las proteasas regula los procesos de mineralización del nitrógeno catalizando la hidrólisis de proteínas a polipéptidos y de oligopéptidos a aminoácidos. En este estudio la actividad de estas enzimas se incrementó considerablemente durante la segunda semana y alcanzó un valor máximo de 1816 μg tirosina $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ (Tabla 2). Posteriormente los valores disminuyeron hasta 810 μg tirosina $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ en la cuarta semana, permaneciendo después sin diferencias significativas. Los altos valores iniciales probablemente sean debidos a una elevada actividad microbiana, que se manifiesta en la alta tasa de liberación de CO_2 en esta etapa de compostaje, y a la alta concentración de proteínas y péptidos liberados por la muerte de microorganismos provocada por las altas temperaturas alcanzadas durante la fase termófila del proceso de compostaje.

La actividad de la fosfatasa alcalina y de la proteasa se correlacionaron positivamente con la evolución del CO_2 ($r = 0,7488$ y $r = 0,7968$, Tabla 3), lo que indica que las actividades de dichas enzimas pueden ser útiles para estudiar la estabilidad y madurez del producto final en un proceso de compostaje. A pesar de que estas enzimas principalmente presentan actividad en el medio extracelular, estos coeficientes de correlación sugieren que la síntesis de estas enzimas está relacionada con la demanda metabólica de la biomasa microbiana.

BIBLIOGRAFÍA

- Avnimelech, Y.; M. Bruner, I. Ezrony, R. Sela and M. Kochba, 1996. Stability Indexes for municipal solid waste compost. *Compost Sci & Util.* 4: 13-20.
- Bernal, M.P.; C. Paredes, M.A. Sanchez-Monedero and J. Cegarra, 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology* 63: 91-99.
- Bremner, J.M. and D.R. Keeney, 1965. Inorganics forms of Nitrogen. En: *Methods of Soil analyses. Part II. Agronomy N° 9: American Society of Agronomy. Madison. WI. C.A. Black et al (eds).* pp 1179- 1237.
- Claassen, V.P. and J.L.Carey, 2004. Regeneration of nitrogen fertility in disturbed soils using composts. *Compost Sci. & Util.* 12 (2): 145-152.
- Climent, M.D.; M. Abad y P. Aragón, 1996. El compost de residuos sólidos urbanos (RSU). Sus características y aprovechamiento en agricultura. Ediciones y Promociones LAV (Eds.). Diputación de Valencia y Universidad Politécnica de Valencia. 57 pp.
- Dilly, O. and J.C. Munch, 1996. Microbial biomass content, basal respiration and enzyme activities during the decomposition of leaf litter in a Black Alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn) Forest. *Soil Biol. Biochem.* 28: 1073-1081
- Foster, J.; W. Zech and E. Würdinger, 1992. Comparison of chemical and microbiological methods for the characterization of the maturity of composts from contrasting sources. *Biol. Fertil. Soils* 16: 93-99.
- García, C., 1990. Estudio del compostaje de residuos orgánicos. Valoración agronómica. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, España.
- García, C.; T. Hernandez, F. Costa and M. Ayuso, 1992. Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23: 1501-1512.
- Godden, B.; M. Penninck and C. Castille, 1986. On the use of biological and chemical indexes for determining agricultural compost maturity: Extension to the field scale. *Agricultural Wastes* 15: 169-178.
- Harada, Y. and A. Inoko, 1980. The measurement of the cation-exchange capacity of composts for the estimation of the degree of maturity. *Soil Sci. Plant Nutr.* 26: 127-134 .
- Hue, N.V. and J. Liu, 1995. Predicting compost stability. *Compost Sci. & Util.* 3: 8-15 .
- Hughes, E.G., 1980. The composting of municipal waste. In: *Handbook of Organic Waste Conversion.* Van Nostrand Reinhold (Ed.), pp. 65-67.
- Iannotti, D.A.; M.E. Grebus, B.L. Toth, L.V. Madden and H.A.J. Hoitink, 1994. Oxygen respirometry to asses stability and maturity of composted municipal solid waste. *J. Environ. Qual.* 23: 1177-1183 .
- Iglesias-Jimenez, E. and V. Perez-García, 1989. Evaluation of city refuse compost maturity: a review. *Biological Waste.* 27: 115-142 .
- Ladd, J.N. and J.H.A. Butler, 1972. Short term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates. *Soil Biol. Biochem.* 4:19-30 .
- MacGregor, S.T.; F.C. Miller, K.M. Psarianos and M.S. Feinstein, 1981. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature. *Appl. Environ. Microbiol.* 4 : 1321-1330 .
- Mondini, C.; F. Fornasier and T. Sinicco, 2004. enzymatic activity as a parameter for the characterization of the composting process. *Soil Biol. and Biochem.* 36 (10): 1587-1594.
- Morel, J. L.; F. Colin, J.C. Germon, P. Godin and C. Juste, 1985. Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost. En: J. K. R. Gasser (Eds) *Composting of Agricultural and other Wastes.* Elsevier Applied Science Publishers, London and New York, pp. 56-72.
- Nannipieri, P.; F. Pechozzini, P.G. Arcada and C. Pioranelli, 1979. Changes in amino acids, enzyme activities and biomass during soil microbial growth. *Soil Science* 127: 26-34.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers, 1982. Total Carbon, organic carbon and organic matter. En: A.L. Page, R.H.

- Miller and D.R. Keeny (eds) Methods of Soil analyses. Part II. 2nd. ed. Agronomy N° 9. American Society of Agronomy. Madison. WI, pp. 539-579.
- Pascual, J.A.; M. Ayuso, C. García, and T. Hernández, 1997. Characterization of urban waste according to fertility and phytotoxicity parameters, Waste Manag. Res. 15: 103-112.
- Saviozzi, A.; R. Cardelli, R. Levi-Minzi and R. Riffaldi, 2004. Evolution of biochemical parameters during composting of urban wastes. Compost Sci. and Utilization 12 (2): 153-160.
- Tabatabai, M.A. and J.M. Bremner, 1969. Use of *p*-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biol. Biochem. 1: 301-307.
- Tiquia, S.M.; J.H.C. Judy and N.F.Y. Tam, 2002. Microbial population dynamics and enzyme activities during composting. Compost Sci. and Utilization 2: 150-161.
- Zucconi, F. and M. de Bertoldi, 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. En: De Bertoldi M., Ferranti, M.P., L'Hermite P., Zucconi F. (eds). Compost: Production, quality and use. Elsevier. London. pp. 30-50 .