

VARIACIONES DE LA FRACCION ORGANICA DURANTE EL COMPOSTAJE DE LODOS DE DEPURADORAS

M. A. Díaz-Burgos y A. Polo

*Centro de Ciencias Medioambientales. CSIC.
Serrano, 115 dpdo. 28006-Madrid*

RESUMEN

Partiendo de la necesidad de reutilización de los lodos de estaciones de depuración de aguas residuales se seleccionaron dos productos de distinto origen (urbanos e industriales) de la ciudad de Madrid, que fueron mezclados con astillas de poda de los árboles de dicha ciudad o con sarmiento para favorecer así el desarrollo del proceso de compostaje.

Se centró el estudio en el seguimiento de los cambios de la fracción orgánica observándose un claro aumento de los contenidos en ácidos húmicos. El análisis físico químico de estos compuestos mediante filtración a través de gel Sephadex, análisis elemental y espectroscopía visible, pone de manifiesto un aumento de su tamaño molecular, sobre todo en las mezclas realizadas con el lodo industrial observándose, además, un mayor grado de oxidación y un carácter más condensado en los compost correspondientes a este último tipo de lodo.

Palabras clave: Compostaje. Lodos residuales. Ácidos húmicos.

SUMMARY

CHANGES IN THE ORGANIC FRACTION DURING SEWAGE SLUDGE COMPOSTING

Starting with the need to reuse waste treatment plant sewage sludge, two products from a different origin (urban and industrial) were selected from the Madrid sewage sludge plant and mixed with chips from tree pruning in this city or wine shoots to thus favour the composting development process.

The study concentrated on monitoring organic fraction changes and a clear increase in humic acid contents was observed. The physical chemical analysis of these compounds by gel permeation chromatography, elementary analysis and visible spectroscopy, demonstrate an increase in molecular size, particularly in the mixtures made with industrial sewage sludge. In addition, a higher degree of oxidation and a more condensed character in the compost relating to the latter type of sewage sludge were observed.

Key words: Composting. Sewage sludges. Humic acids.

INTRODUCCION

La descomposición biológica aerobia de residuos orgánicos en condiciones controladas, es decir, el proceso de compostaje, es una de las alternativas utilizadas en la recuperación de los residuos urbanos. Esta descomposición tiene como objetivo la obtención de un material "estabilizado" que no comporte efectos negativos en su aplicación agronómica.

La fracción orgánica (que en los lodos residuales puede suponer alrededor de un 50% de su peso seco) es la que mayores modificaciones va a experimentar, dado que su composición hace que sea más fácilmente atacable por los microorganismos, que son la base de las transformaciones que tienen lugar durante el proceso de compostaje.

Aunque las llamadas sustancias húmicas de los compost presentan claras diferencias con las así consideradas tradicionalmente para suelos (Lejeune, 1985; Dorado *et al.*,

1984) los cambios que esta fracción experimenta a lo largo del proceso implican, como en el caso de los suelos, un aumento de la concentración, grado de polimerización, ... etc. (Sugahara, 1981; Binlingmaier, 1984). Por ello, un estudio de la evolución de las sustancias húmicas durante el proceso de compostaje aporta información sobre el estado y grado de evolución de los materiales, es decir, sobre el grado de madurez de los compost que en definitiva es el objetivo primordial para una buena utilización agrícola de los abonos orgánicos procedentes de residuos urbanos.

El presente trabajo realiza un estudio pormenorizado de la evolución de las sustancias húmicas de cuatro compost distintos preparados con lodos residuales de estaciones de depuración de aguas que han sido mezclados con distintos aditivos para favorecer su aireación durante el proceso de compostaje.

MATERIAL Y METODOS

Los lodos seleccionados proceden de estaciones de depuración de aguas residuales de la ciudad de Madrid. Se eligieron dos tipos, Valdebebas (V) y Butarque (B), cuya composición difiere fundamentalmente en cuanto a su contenido en metales pesados, ya que la primera recoge vertidos en su mayoría de tipo doméstico, mientras que la segunda está clasificada como de industrial. Estos lodos fueron mezclados (proporción 2/1 lodo-aditivo en peso) con sarmiento de vid (S) o

con restos de astillas (A) procedentes de la poda de los árboles urbanos de la citada ciudad, con el fin de aumentar la porosidad y favorecer así el proceso de compostaje.

Las mezclas, realizadas en recipientes de 20 L de capacidad, se mantuvieron durante 14 semanas en condiciones ambientales controladas de humedad y temperatura en cámara termostataada (80% y 28 °C respectivamente) controlando, además, las condiciones de humedad

de las propias mezclas (70% de la capacidad de retención de agua) y realizando volteos periódicos para

evitar procesos locales de anaerobiosis. La nomenclatura utilizada para cada una de ellas fué:

LODO	ORIGEN	ADITIVO	NOMENCLATURA
VALDEBEBAS	Urbano	Astillas	VA
VALDEBEBAS	Urbano	Sarmiento	VS
BUTARQUE	Industrial	Astillas	BA
BUTARQUE	Industrial	Sarmiento	BS

Se tomaron muestras para su análisis a las 1, 2, 5, 10, 12 y 14 semanas del inicio del experimento. Las características generales de los materiales de partida utilizados se indican en la Tabla 1. El C total se determinó mediante Carmhogrph-12 en combustión seca a 1000 °C. El método Kjeldahl fué el utilizado para la determinación del contenido de N, utilizando para la valoración del ión amonio un equipo "Technicon" (Hinds y Lowe, 1980).

La extracción de los compuestos húmicos se realizó siguiendo la técnica propuesta por Dabin (1971). Se llevó a cabo una purificación de

los ácidos húmicos redisolviendo en NaOH 0.1N y ultracentrifugando para eliminar los sólidos en suspensión, con posterior diálisis y desecación con liofilizador.

El análisis elemental se realizó mediante un microanalyzer Hewlett-Packard 185 CHN. La densidad óptica del extracto alcalino se determinó en un espectrofotómetro Shimadzu UV 240, que también fué utilizado para cuantificar las distintas fracciones recogidas al realizar la filtración a través de Sephadex G-100 siguiendo el método de Dorado *et al.* (1972).

RESULTADOS Y DISCUSION

Pérdida de peso

Considerando que el peso total de cenizas permanece invariable durante todo el proceso, ya que las transformaciones se experimentan en la fracción orgánica, se puede conocer a partir de este parámetro el desarrollo de la mineralización, así como el grado de transformación del producto. Dado que el proceso de compostaje es una oxidación mi-

crobiana, las pérdidas de peso deben ser producidas por la mineralización de la materia orgánica.

A la vista de los resultados (Fig. 1) se observa un incremento de este parámetro a lo largo del tiempo de compostaje, aunque comparativamente este aumento es menor que el experimentado por otros tipos de residuos (Lobo, 1985; Lobo *et al.*, 1987), ya que sólo alcanza valores

TABLA 1

Características físico químicas de los lodos.

PROPIEDAD	UNIDAD	VALDEBEBAS	BUTARQUE
Densidad Real.	g cm ⁻³	1.4	1.4
Densidad aparente	g cm ⁻³	0.6	0.5
Porosidad.	%	62.3	62.8
Cap. Retenc. Agua.	%	270.0	261.8
pH (H ₂ O)	—	6.9	6.8
Cond. Eléc. (25 °C)	S cm ⁻¹	670	720
C. I. C. (*)	cmol _c kg ⁻¹	57.8	71.8
Carbono	%	21.3	23.7
Nitrógeno	%	2.1	1.9
Materia Orgánica	%	37.6	48.3
Sodio	%	1.3	1.8
Potasio	%	0.5	0.3
Calcio	%	3.5	3.0
Magnesio	%	0.6	0.5
Fósforo	%	1.1	0.9
Hierro	%	2.3	2.8
Aluminio	%	4.2	2.5
Cadmio	mg kg ⁻¹	14	22
Zinc	mg kg ⁻¹	939	3567
Cobre	mg kg ⁻¹	253	307
Niquel.	mg kg ⁻¹	46	68
Plomo	mg kg ⁻¹	575	810
Cromo.	mg kg ⁻¹	109	1239

(*) Capacidad de Intercambio Catiónico.

máximos alrededor del 25% en el caso más favorable; este resultado es lógico si consideramos que los lodos pueden haber perdido la fracción de su carbono más mineralizable en los procesos realizados en las depuradoras de origen. Por ello, se puede preveer que el proceso de mineralización no es demasiado intenso.

Cabe señalar, por otra parte, la distinta forma de las curvas en función del tipo de mezcla realizada, lo

que hace suponer una diferente cinética de mineralización en el caso de la mezcla del lodo urbano con sarmiento (VS).

Contenido en Carbono, Nitrógeno y razón C/N

Los contenidos en carbono presentan una clara tendencia a la disminución; sin embargo, por la misma razón que se exponía en el apartado anterior, esta disminución es menor ya que los lodos se encuentran enri-

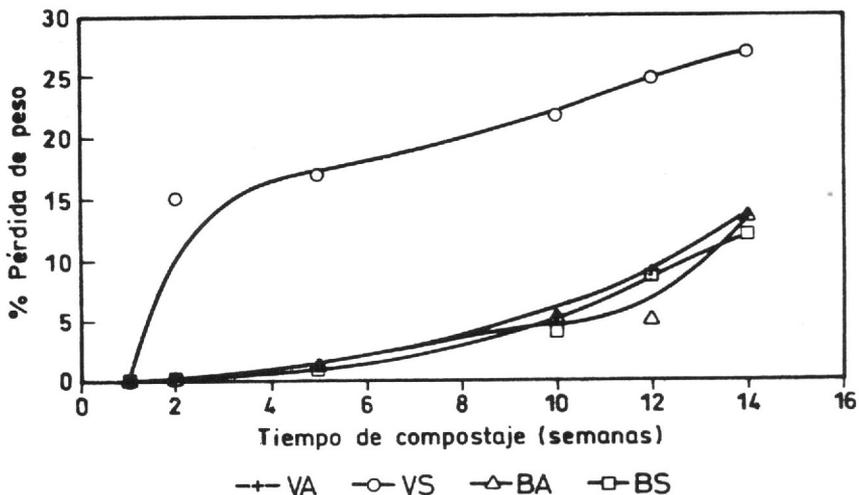


FIG. 1.—Pérdida de Peso de los compost.

quecidos en su fracción menos biodegradable por efecto de los procesos experimentados en su producción.

La fracción nitrogenada, evaluada como N total, no presenta cambios muy representativos, aunque puede apreciarse una cierta tendencia a la disminución. El lodo de Butarque es el que presenta mayores diferencias, probablemente debido a un mayor contenido en compuestos biodegradables.

Sin embargo, esta fracción se ve más influenciada por el proceso de compostaje en cuanto a la proporción de las distintas formas químicas, por lo que su variación va a ser más cualitativa que cuantitativa como ponen de manifiesto trabajos específicos de la evolución de la fracción nitrogenada realizados simultáneamente (Díaz-Burgos, 1990; Díaz-Burgos *et al.*, 1990).

La relación C/N (Fig. 2), tradicionalmente utilizada como parámetro de madurez en procesos de compostaje, presenta una tendencia

a la disminución que es más acusada en las primeras etapas debido, sin duda, a las variaciones producidas en la fracción orgánica, ya que en este periodo el contenido en N apenas varía.

Se recomienda una relación C/N inferior a 20 en el producto final del compostaje (Clairon *et al.*, 1962), pero este criterio no puede ser utilizado en el caso de los lodos residuales, ya que se parte de relaciones muy bajas debido a su alto contenido en N. Por ello, es más recomendable realizar un seguimiento de la relación a lo largo del tiempo para ver cual va siendo la transformación, sin tener en cuenta valores fijos.

Fraccionamiento de la Materia Orgánica

Utilizando como criterio el porcentaje de carbono extraíble respecto del carbono total, que tradicionalmente se ha correlacionado con el grado de madurez, se observa que

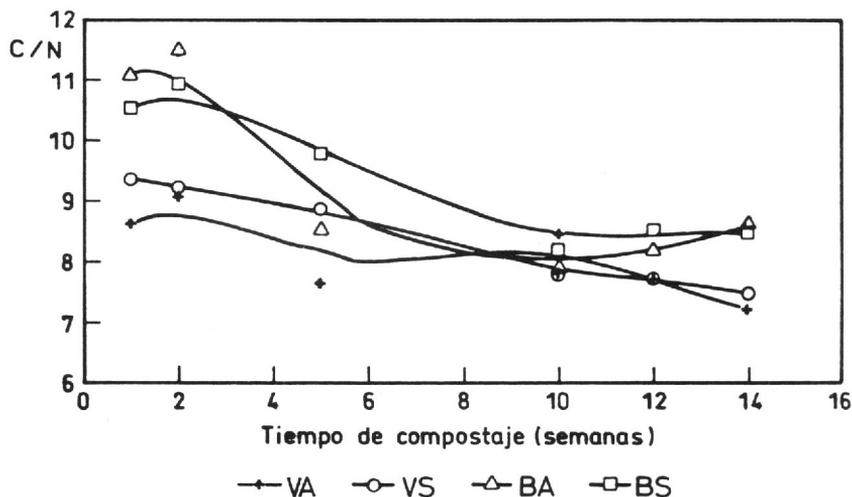


FIG. 2.—Evolución de la razón C/N durante el compostaje.

el contenido en ácidos húmicos (por analogía con la materia orgánica de los suelos se consideran los compuestos extraíbles insolubles a pH 2) tienen una clara tendencia a aumentar a lo largo del proceso de compostaje pasando a contenidos dobles de los iniciales. Los ácidos fúlvicos (fracción soluble a pH 2), presentan un contenido relativamente constante, aunque con un ligero decrecimiento al final del proceso (Fig. 3).

El aumento de los compuestos húmicos a lo largo del compostaje indica un enriquecimiento progresivo en sustancias policondensadas debido al aporte de celulosas y lignina procedentes del sarmiento y de las astillas, más resistentes a la biodegradación.

El mayor aumento se produce en los compost de los lodos que contienen sarmiento, por lo que se puede afirmar que la evolución con las astillas es más lenta. Por otro lado, en el compost con astillas se acentúa la disminución de los ácidos fúlvicos, mientras que con el sarmiento se

mantiene más constantes, aunque las variaciones son menores en las etapas intermedias.

En consecuencia, se observa al comienzo del compostaje un predominio de las sustancias fúlvicas sobre las húmicas, que sin embargo, se invierte en todos los casos al final del proceso. El punto de inversión se sitúa siempre entre las 10 y las 14 semanas. Esta disminución de los ácidos fúlvicos puede explicarse por la mayor facilidad de biodegradación de estos compuestos que son más fácilmente atacados por los microorganismos.

Aunque el fraccionamiento de las sustancias húmicas suministra una valiosa información sobre el desarrollo de las transformaciones que tienen lugar durante el compostaje, es necesario realizar una caracterización físico-química de los compuestos húmicos con el fin de evaluar los cambios cualitativos que en ellos se produzcan.

Los resultados de la Tabla 2, indican que los ácidos húmicos proce-

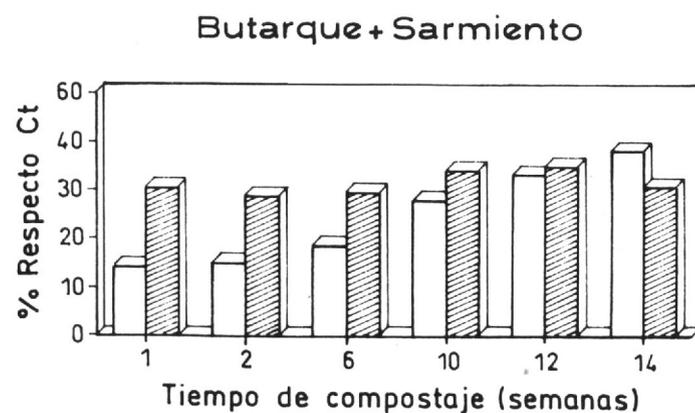
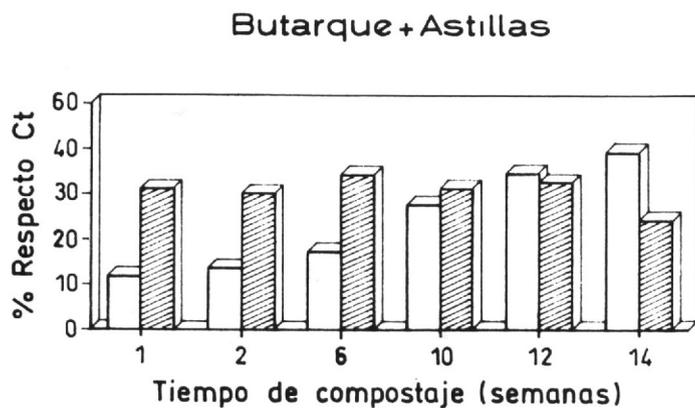
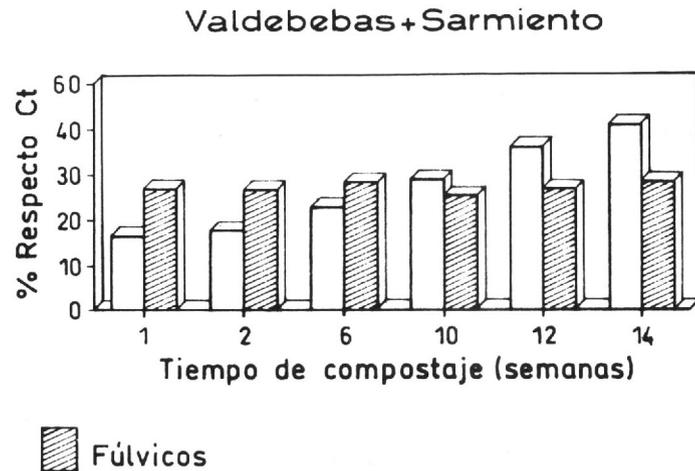
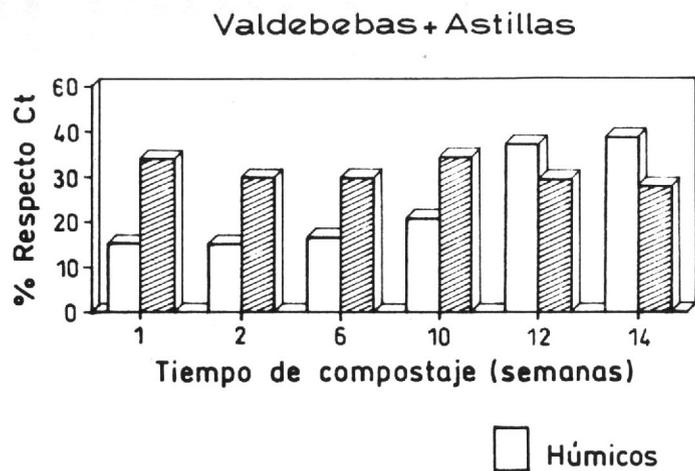


FIG. 3.—Variación de las fracciones húmicas durante el proceso de compostaje

TABLA 2

Análisis elemental de los ácidos húmicos (Valores libres de cenizas).

MUESTRA	SEMANAS	% C	% H	% O	% N
VA	1	62.4	8.1	25.3	4.2
VA	2	63.3	7.4	25.0	4.3
VA	5	62.5	7.3	25.9	4.3
VA	10	63.0	5.4	25.8	5.8
VA	12	63.2	6.9	25.4	4.5
VA	14	62.0	6.4	26.2	5.4
VS	1	55.3	7.7	30.9	6.1
VS	2	56.9	7.3	29.9	5.9
VS	5	54.1	7.1	32.9	5.9
VS	10	54.9	5.9	33.6	5.6
VS	12	55.2	6.8	30.0	6.0
VS	14	55.1	7.0	32.2	5.7
BA	1	47.5	7.0	40.4	5.1
BA	2	48.5	6.9	39.9	4.7
BA	5	50.8	7.1	36.7	5.4
BA	10	50.2	7.2	37.7	4.9
BA	12	51.4	7.4	36.4	4.8
BA	14	51.8	7.5	35.1	5.6
BS	1	50.1	7.1	37.2	5.6
BS	2	49.8	7.0	37.9	5.3
BS	5	51.0	6.9	36.9	5.2
BS	10	52.1	7.1	35.6	5.2
BS	12	51.3	7.4	35.6	5.7
BS	14	51.4	7.7	35.2	5.7

dentes de las mezclas estudiadas presentan un mayor contenido en H y N, si los comparamos con los correspondientes a los suelos, mientras que los valores de C y O están entre los niveles normales.

La evolución en el compostaje no presenta grandes variaciones en los contenidos, aunque, en general, se aprecia en los primeros estadios (2^a semana) un mínimo en los contenidos en O en el lodo de Valdebe-

bas, mientras que en Butarque se produce en la 5.^a semana.

El H oscila entre el 5 y el 8% en el lodo urbano, mientras que en el industrial se sitúa alrededor del 7%. A medida que transcurre el tiempo de compostaje, aumenta el grado de aromaticidad, lo que se traduce en una disminución de los contenidos en H.

El desarrollo del proceso implica, además, un enriquecimiento en cons-

tituyentes nitrogenados, por lo que, consecuentemente disminuye la razón C/N.

La representación gráfica de las razones atómicas H/C frente a las O/C en los diagramas de Van Krevelen (1950), concretan los procesos que tienen lugar en los compuestos húmicos a lo largo del tiempo. Así, se observa (Fig. 4) en la colocación relativa de las cuatro mezclas que el lodo de Valdebebas se sitúa en zonas que implican un mayor grado de oxidación y un carácter más condensado de sus ácidos húmicos, sobre todo en la mezcla con astillas. El lodo de Butarque no presenta una clara diferenciación, en cuanto a la variación de la composición elemental de sus ácidos húmicos en función del material añadido, ya que sus puntos se encuentran entremezclados.

La interpretación específica del efecto tiempo sobre la composición pone de manifiesto que existe una

traslación de los puntos a niveles con menor grado de oxidación a medida que transcurre el proceso, lo que queda sobre todo patente en el caso del lodo industrial con astillas, en el que los puntos se alinean paralelamente al eje de las X. El hecho de que los llamados "ácidos húmicos" de los lodos presenten claras diferencias cualitativas con los correspondientes a los suelos, supone un distinto comportamiento. Así, el aumento del grado de oxidación de los tradicionales ácidos húmicos de los suelos, se transforma aquí en una pérdida, debido a que estos compuestos no experimentan, como en el caso de los suelos, procesos diagenéticos. Esta disminución debe ser explicada, por lo tanto, centrando los procesos mayoritariamente en la degradación de los carbohidratos, y admitiendo que otras reacciones quedan inhibidas o son menos intensas que dicha degradación.

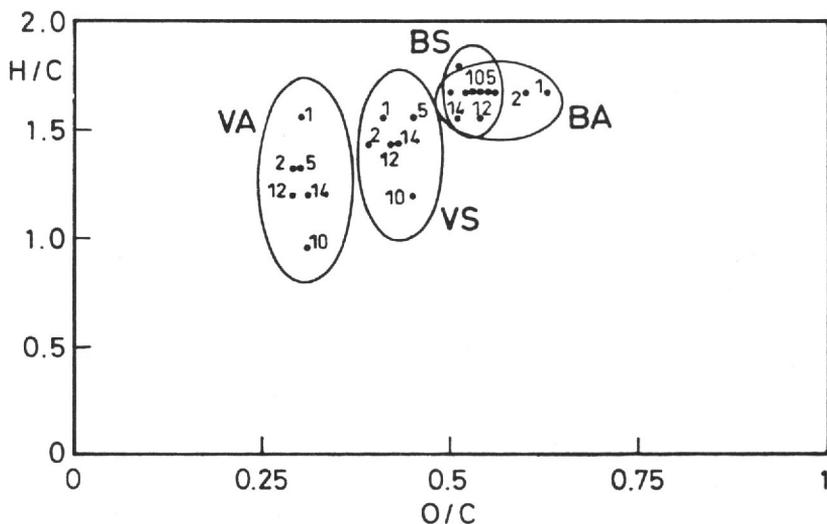


FIG. 4. - Situación relativa de los compost en el Diagrama de Van Krevelen.

TABLA 3

Filtración a través de Sephadex G-100 de los ácidos húmicos de los compost de lodos residuales.

MUESTRA	VA1	VA2	VA5	VA10	VA12	VA14
0.0	80.15	81.03	78.16	82.13	85.03	86.09
0.2						
Kav 0.4						
0.6						
0.8						
1.0	19.85	18.97	21.84	17.87	14.97	13.91
MUESTRA	VS1	VS2	VS5	VS10	VS12	VS14
0.0	79.02	80.38	81.15	83.06	81.05	89.13
0.2						
Kav 0.4						
0.6						
0.8						
1.0	20.98	19.62	18.85	19.91	18.95	10.87
MUESTRA	BA1	BA2	BA5	BA10	BA12	BA14
0.0	45.12	72.76	74.94	65.30	68.90	70.29
0.1			19.84			
0.2						
0.3				28.45		
Kav 0.4					19.18	
0.5						24.61
0.6						
0.7						
0.8						
0.9						
1.0	12.37	6.9	5.22	6.18	7.81	5.9
MUESTRA	BS1	BS2	BS5	BS10	BS12	BS14
0.0	47.13	69.80	72.16	72.80	67.37	66.29
0.1						
0.2						
0.3						
Kav 0.4				17.13		
0.5		21.0	25.15			
0.6					19.83	
0.7	40.03					23.01
0.8						
0.9						
1.0	12.84	9.20	2.69	10.07	12.80	10.70

El tiempo de compostaje se expresa en semanas.

Los valores de cada fracción corresponden a los porcentajes.

La utilización de la filtración a través de Sephadex permite diferenciar fracciones de distinto peso molecular dentro de los compuestos húmicos. En la Tabla 3 se indican los resultados, que ponen de manifiesto una clara diferenciación entre los dos tipos de lodos, ya que el de origen urbano se separa en dos únicas fracciones, mientras que en el industrial aparece una fracción intermedia que varía su proporción a medida que avanza el proceso de compostaje.

La fracción excluida ($K_{av} = 0$, $P_M \approx 100.000$) aumenta considerablemente en las dos mezclas del lodo de Butarque, por lo que los tamaños moleculares de los ácidos húmicos de estos compost tienden a aumentar a lo largo del tiempo. En las mezclas de Valdebebas estas variaciones son mucho más pequeñas, aunque presentan la misma tendencia.

La fracción retenida ($K_{av} = 1$, $P_M \approx 1.000$) disminuye con el compostaje en los cuatro casos estudiados. En los compost BA y B1 alcanza valores excepcionalmente bajos a las 5 semanas, mientras que en VA y VS en este mismo tiempo se alcanza un máximo.

Las fracciones intermedias, que no están presentes en las mezclas de Valdebebas, aumentan su tamaño molecular a medida que transcurre el tiempo hasta la 10ª semana; a partir de este momento comienzan a disminuir.

Tradicionalmente los valores de la extinción específica se han asociado en el caso de las fracciones húmicas de los suelos, al grado de evolución (Kononova, 1966).

En general, se observan valores más elevados en las mezclas con astillas (Tabla 4), lo que sería indicativo de un mayor grado de madurez debido a que la extinción

TABLA 4

Relaciones E_4/E_6 durante el proceso de compostaje.

MUESTRA	SEMANAS	E_4/E_6	MUESTRA	SEMANAS	E_4/E_6
VA	1	23.45	BA	1	24.67
VA	2	29.40	BA	2	24.50
VA	5	39.30	BA	5	23.19
VA	10	80.20	BA	10	42.55
VA	12	146.80	BA	12	76.80
VA	14	132.00	BA	14	142.80
VS	1	21.42	BS	1	24.00
VS	2	23.16	BS	2	22.57
VS	5	21.70	BS	5	30.32
VS	10	38.75	BS	10	46.80
VS	12	108.00	BS	12	65.90
VS	14	102.00	BS	14	213.00

aumenta cuando lo hace el grado de condensación de los anillos aromáticos, el carbono total o el peso molecular de las sustancias húmicas (Schnitzer y Khan, 1972).

La relación E_4/E_6 presenta valores mucho más elevados que los encontrados para los ácidos húmicos de los suelos, e incluso de los que presentan otros tipos de residuos orgánicos. A lo largo del compostaje se incrementa notablemente, llegando a la 14 semanas a superar el índice 200 en algún caso.

Tradicionalmente se venía considerando esta relación como un parámetro inversamente relacionado con el grado de condensación de las sustancias húmicas (Kononova, 1969), sin embargo, más recientemente se ha puesto de manifiesto que esta relación determinada, fundamental-

mente, por el peso molecular de las sustancias húmicas, y secundariamente con los contenidos en O, C, y $-\text{COOH}$, pero no directamente con el grado de condensación de sus estructuras (Chen *et al.*, 1977).

Estos resultados concuerdan con los obtenidos para otros tipos de residuos (Lobo, 1985; Hernando, 1987). En estos estudios se propone que la interpretación clásica que se venía haciendo de la relación E_4/E_6 de los ácidos húmicos de los suelos no puede ser extrapolable a la fracción húmica de los compost extraída en las mismas condiciones, ya que ésta presenta un comportamiento totalmente diferente. Así, se ha de considerar que bajo las condiciones de compostaje los lodos residuales tienden a aumentar la razón E_4/E_6 a medida que transcurre el tiempo.

CONCLUSIONES

Se observa un aumento de la pérdida de peso a lo largo del compostaje, aunque comparativamente es menor que la de otros tipos de residuos. La relación C/N presenta una tendencia a la disminución que es más acusada en las primeras etapas. Sin embargo, dado que la composición de los lodos residuales hace que se parta de valores muy bajos este parámetro no puede ser utilizado como criterio de madurez, aunque sí como dato de la evolución del proceso considerado.

El mayor incremento de sustancias húmicas se produce en el compost de sarmiento, mientras que en los que contienen astillas se acentúa la disminución del contenido

de ácidos fúlvicos con el tiempo de compostaje. Al comienzo del compostaje se observa un predominio de la fracción ácidos húmicos sobre la de los ácidos fúlvicos, que se invierte al finalizar el proceso.

Los ácidos húmicos de los compost del lodo urbano presentan un mayor grado de oxidación y un carácter más condensado que los correspondientes al lodo industrial, según pone de manifiesto el estudio de diagramas de Van Krevelen.

Los tamaños moleculares de los ácidos húmicos de los compost considerados tienden a aumentar con el tiempo de compostaje como pone de manifiesto el crecimiento de la fracción excluida en la filtra-

ción a través del gel. Este efecto es menor en el lodo de tipo urbano.

La extinción específica (E_4/E_6) presenta un comportamiento similar a otros tipos de residuos citados en la bibliografía pero tiende a aumen-

tar en cotraposición al comportamiento generalizado en distintos tipos de suelos. Al final del tiempo de compostaje los valores son extraordinariamente elevados.

BIBLIOGRAFIA

- BILINGMAIER, W., 1984. Quality testing of waste sewage sludge compost. E. E. C. Seminar of composting agricultural and other wastes. Oxford.
- CLAIRON, M., ZINSOU, C. et NAGOU, D., 1962. Etude des possibilités d'utilisation agronomique des compost d'ordures ménagères en milieu tropical. I. Compostage d'ordures ménagères. *Agronomie*, 2: 295-300.
- CHEN, Y., SENESI, N. and SCHNITZER, M., 1977. The funghi of wheat straw compost. *Ecological Studies. Trans. Br. Mycol. Soc.*, 50: 649-666.
- DABIN, B., 1971. Etude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. *Sci. du Sol*, 1: 47-48.
- DIAZ-BURGOS, M. A., 1990. Compostaje de lodos residuales: aplicación agronómica y criterios de madurez. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid.
- DIAZ-BURGOS, M. A., DIEZ, J. A. y POLO, A., 1990. Dinámica del Nitrógeno en el compostaje de lodos residuales con diferentes aditivos. I Congreso Internacional de Química de la ANQUE. "Residuos sólidos y líquidos: su mejor destino". (En prensa)
- DORADO, E., ALMENDROS, G. y POLO, A., 1984. Aspectos generales sobre la naturaleza y formación de las sustancias de tipo húmico por compostaje de residuos urbanos. II Congreso Nacional sobre Recuperación de Recursos de los Residuos-Tecnologías. Soria. 405-416.
- DORADO, E., POLO, A. y del RIO, J., 1972. Caracterización de los ácidos húmicos por electroforesis y gelfiltración. *An. Edafol. Agrobiol.*, 31: 693-718.
- HERNANDO, S., 1987. Aprovechamiento de residuos sólidos urbanos como fuente de materia orgánica y sus efectos sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid.
- HINDS, A. and LOWE, L. E., 1980. Ammonium-N determination. Soil nitrogen. Berthelot reaction. *Soil Sci. Plant Analysis*, 11: 469-475.
- KONONOVA, M. M., 1966. *Soil Organic Matter*. Pergamon Press. (2.^a Ed.). London
- LEJEUNE, C., 1985. Etude des acides humiques extraits de compost d'ordures ménagères. *Memoire de D. E. A., INRA. Bordeaux. INPL. ENSAIA. Nancy.*
- LOBO, M. C., 1985. Biodegradación y humificación del sarmiento de vid. Caracterización agrobiológica de los compost obtenidos. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid.
- LOBO, M. C., DIAZ-BURGOS, M. A. y POLO, A., 1987. Evolución del grado de madurez de diferentes compost mediante el estudio electroforético de la fracción hidrosoluble. VII Congreso Nacional de Química. Química Agrícola y Alimentaria-2. Sevilla. II: 111-118.

- SCHNITZER, M. and KHAN, S. U., 1972. Humic substances in the environment. Marcel Decker (Ed). Inc. New York.
- SUGAHARA, K. and INOKO, A., 1981. Composition analysis of humus and characterization of humic acid obtained from city refuse compost. Soil Sci. Plant Nutr., 27: 213-224.
- Van KREVELEN, D. W., 1950. Graphical-statistical method for the study of structure and reaction process of coal. Fuel, 29: 269-284.

Recibido: 26-2-91.

Aceptado: 18-5-91.