

COMPOSTAJE DE LA FRACCION ORGANICA DE UN RESIDUO SOLIDO URBANO. EVOLUCION DE SU CONTENIDO EN DIVERSAS FRACCIONES DE METALES PESADOS

C. García, T. Hernandez, F. Costa y M. Ayuso

*Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura.
(C.S.I.C.). Apartado 4195, MURCIA*

RESUMEN

La fracción orgánica de un residuo sólido urbano se compostó durante 91 días mediante un sistema de pila al aire libre con volteos periódicos. A continuación se dejó madurar el compost durante cuatro meses. Tanto al inicio del compostaje como después de cada volteo y del periodo de maduración, se tomaron muestras de la pila de compostaje a fin de determinar en ellas el contenido en metales pesados (Fe, Cu, Mn, Zn, Ni, Cr, Cd y Pb) tanto totales como extraíbles con DTPA, con CaCl_2 y con H_2O .

La concentración de metales pesados aumentaba durante los procesos de compostaje y maduración debido a la pérdida de peso ocasionada por la mineralización de la materia orgánica. El Fe era el elemento extraído en mayor proporción por el DTPA seguido por el Zn, Mn, Pb, Ni, Cu y Cd. Con los procesos en estudio disminuía la extractabilidad del Fe, Mn, Cr y Ni aumentando la del Zn. El Cd sólo se extraía a nivel de trazas. Las cantidades de metales extraídas con CaCl_2 y con H_2O eran inferiores a las extraídas con DTPA y en general, descendían con los procesos de compostaje y maduración.

Palabras clave: Compostaje, residuo sólido urbano, metales pesados, metales de cambio, metales hidrosolubles.

SUMMARY

COMPOSTING OF THE ORGANIC FRACCTION OF MUNICIPAL WASTE. CHANGES IN TOTAL AND AVAILABLE HEAVY METAL CONTENTS

The organic fraction from a municipal waste was composted in an outdoor facility. It was piled and turned each thirteen days during three months. The composting heap was sampled at the beginning of composting, after each overturn and after a maturation period of four months. Total heavy metal contents (Fe, Cu, Mn, Zn, Ni, Cr, Cd y Pb) in these samples and the quantity of metals extracted by DTPA, CaCl_2 or H_2O were determined.

Heavy metal contents increased during composting and maturation due to the loss of weight originated by organic matter mineralization. Fe was the most DTPA-extractable metal followed by Zn, Mn, Pb, Ni, Cu, Cr and Cd. During the composting and maturation processes the amounts of Fe, Mn, Cr and Ni extracted by DTPA decreased and those of Zn, Cu and Pb increased. Only traces of Cd were extracted. The quantities of metals extracted by CaCl_2 and by H_2O were lower than those extracted by DTPA. Their quan-

tities expressed as percentages of total metal content were very small and decreased during composting and maturation.

Key words: Composting, solid municipal waste, heavy metals, exchanges metals, water-soluble metals.

INTRODUCCION

El empleo de composts como enmienda orgánica en agricultura presenta ventajas e inconvenientes; entre estos últimos el contenido en metales pesados provenientes de los residuos que lo integran, puede constituir uno de los principales reparos a su aplicación incontrolada. Este tema ha sido y es motivo de numerosos trabajos (Chu y Wong, 1987; Cabrera *et al.*, 1988; Adams y Kissel, 1989).

La contaminación originada por metales pesados puede llevar implícito la difusión de éstos en el medio ambiente y su incorporación en la cadena alimentaria, pudiendo sus aspectos negativos afectar incluso a los seres vivos (Weber y Reid, 1969; Lagerweff, 1972).

Si bien es muy útil el conocer el contenido total de metales de un compost, hemos de indicar que con objeto de evaluar la asimilabilidad de los mismos por las plantas cuando son añadidos al suelo, se emplean a

menudo diferentes tipos de extractantes (Hecman *et al.*, 1987; Duley *et al.*, 1988; Mathur, 1988): unos son agentes quelatantes (EDTA, DTPA o EDDHA); otros extraen los elementos presentes en la solución del suelo (agua) o en el complejo de cambio (soluciones de sales neutras).

En este trabajo se han estudiado las variaciones que con los procesos de compostaje y maduración experimentan los contenidos de metales pesados, tanto totales como extraíbles, de la fracción orgánica de un residuo sólido urbano (RSU). Para ello, se han empleado como extractantes el DTPA 0.005M, que permitirá conocer la cantidad de metal que potencialmente podría ser absorbido por la planta; una sal neutra (CaCl_2 0.05M) que dará una idea sobre las cantidades de metales que de forma casi inmediata pasan a la solución del suelo y pueden ser asimilados por aquella y el H_2O a temperatura ambiente.

MATERIALES Y METODOS

En el presente trabajo se ha utilizado para compostar la fracción orgánica de un residuo sólido urbano, la cual procede de una planta de tratamiento de Ingeniería Urbana, S. A. existente en Murcia. Para llevar a cabo el proceso se colocaron 700 Kg de la misma en una planta piloto de compostaje. El procedimiento se-

guido fué el abierto, volteando la pila periódicamente. Se efectuó un volteo cada 13 días, hasta un total de 3 meses (siete volteos). La evolución de la temperatura se siguió a 10 cm (superficie) y a 50 cm (centro de la pila). Cada lectura era la media de seis medidas tomadas cada tres días en puntos simétricos de la pila con una

sonda termométrica digital. Se muestreó al inicio de la experiencia (día 1) y en cada volteo (días 13, 26, 39, 52, 65, 78 y 91). Después de los 91 días, la pila se mantuvo estática durante un periodo de cuatro meses (maduración), con objeto de estabilizar la materia orgánica del producto final (compost). Se muestreó también al final de estos cuatro meses (210 días).

Las muestras se molieron (< 2 mm), determinando en ellas los contenidos en metales pesados mediante digestión previa nítrico-perclórico y cuantificación por absorción atómi-

ca; asimismo, se realizaron extracciones de la muestra sólida con:

- una disolución 0.005M en DTPA, 0.01M en CaCl_2 y 0.01M en trietanolamina, ajustada a pH 7.3 (relación sólido/líquido 1:20) (Lindsay y Norwell, 1978);
- CaCl_2 0.05M (relación sólido/líquido 1:5); y
- H_2O destilada a temperatura ambiente (relación sólido/líquido 1:5), midiendo el contenido metálico de los extractos también por absorción atómica.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se muestran las características del material (fracción orgánica de RSU) empleado en la experiencia. El residuo tiene unas aceptables condiciones para ser em-

pleado en la obtención de un compost, pues contiene un buen porcentaje de carbono y un contenido de nitrógeno acorde con la naturaleza de estos residuos.

TABLA 1

Análisis químico de la fracción orgánica del residuo sólido urbano.

% Humedad	28.7	Metales pesados (mg kg^{-1})	
% Cenizas	44.10	Hierro	8500
pH (extracto acuoso 1:10)	5.90	Manganeso	477
Conductividad eléctrica S m^{-1}	0.88	Cobre	250
% Ca CO_3	13.20	Cinc	619
% C orgánico total	26.30	Niquel	205
% C extraíble	8.69	Plomo	134
% C no precipitado a pH = 2	5.21	Cromo	366
% C precipitado a pH = 2	3.48	Cadmio	6
% C hidrosoluble	4.76		
C no precipitado/			
C precipitado a pH = 2	1.50		
% N total	1.33		
C/N	19.72		

Evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje

Como se observa en la Figura 1, la temperatura durante el proceso de compostaje presentó una etapa mesofílica muy corta, alcanzando los 67 °C al segundo día de iniciarse el proceso, manteniéndose esta temperatura durante 25 días con pequeños altibajos. A partir de este momento se inició un descenso muy poco pronunciado, si bien a los 68 días (después del 5.º volteo) todavía se mantuvo cercana a los 60 °C. Posteriormente descendió hasta situarse de nuevo al cabo de los 91 días en las cercanías de la etapa mesofílica.

Prácticamente durante todo el proceso, la temperatura en el exterior de la pila (a 10 cm) fue alrededor de 5 °C superior a la medida en el interior. Este hecho está de acuerdo con el resultado encontrado por Clairon *et al.*, (1982), y se explica

por una aireación más intensa de las capas superiores de la pila.

Por último, hemos de indicar que el nivel de temperatura alcanzado, 60-70 °C, y mantenido durante bastantes días, lo consideramos suficiente para originar la destrucción en algunas horas de todos los microorganismos patógenos (Cárdenas y Wang, 1980) y eliminar el poder germinativo de las semillas que estos residuos llevan consigo. También creemos que la temperatura lograda no debe haber inactivado a los microorganismos desarrollados durante la etapa termofílica, pues no se llegan a superar los 70 °C.

Evolución del contenido en metales pesados

En las Figuras 2 y 3, se representan las cantidades de metales pesados, tanto totales como extraíbles con DTPA y CaCl₂, y su evolución

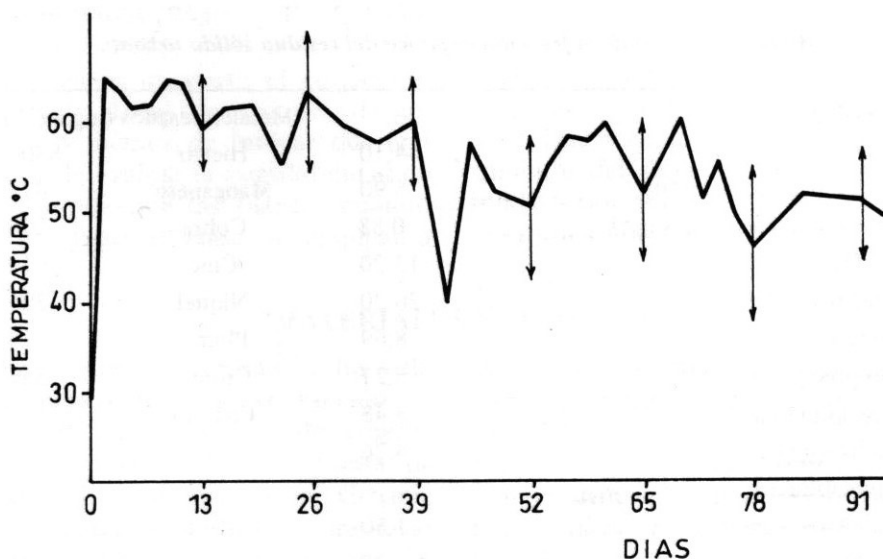


FIG. 1.—Evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje.
 † Días de volteo.

a lo largo de los procesos de compostaje y maduración en estudio; en aquellas correspondientes a los metales pesados considerados como

tóxicos "per se", o por su alta concentración, se ha indicado el nivel máximo permitido por la legislación española recientemente establecida

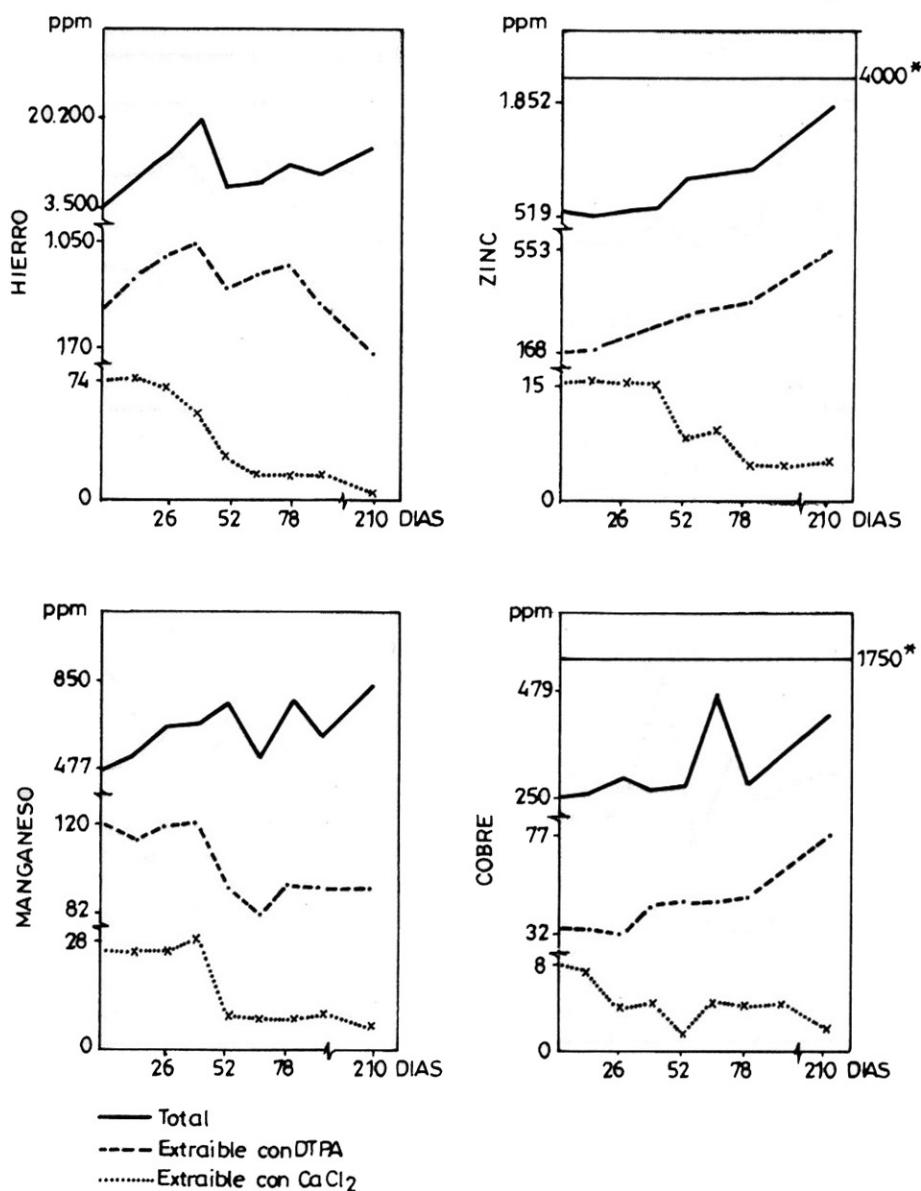


FIG. 2.—Evolución del contenido de metales pesados durante el compostaje y maduración. (*) Valores máximos permitidos por la legislación española.

(B.O.E. Real Decreto 72/1988 del 5 de febrero sobre Fertilizantes y Afines).

Las Tablas 2 y 3 contienen los coeficientes de variación y de corre-

lación de los metales pesados con el tiempo durante los procesos en estudio y los porcentajes de extracción con DTPA, CaCl_2 y H_2O sobre los contenidos totales, respectivamente.

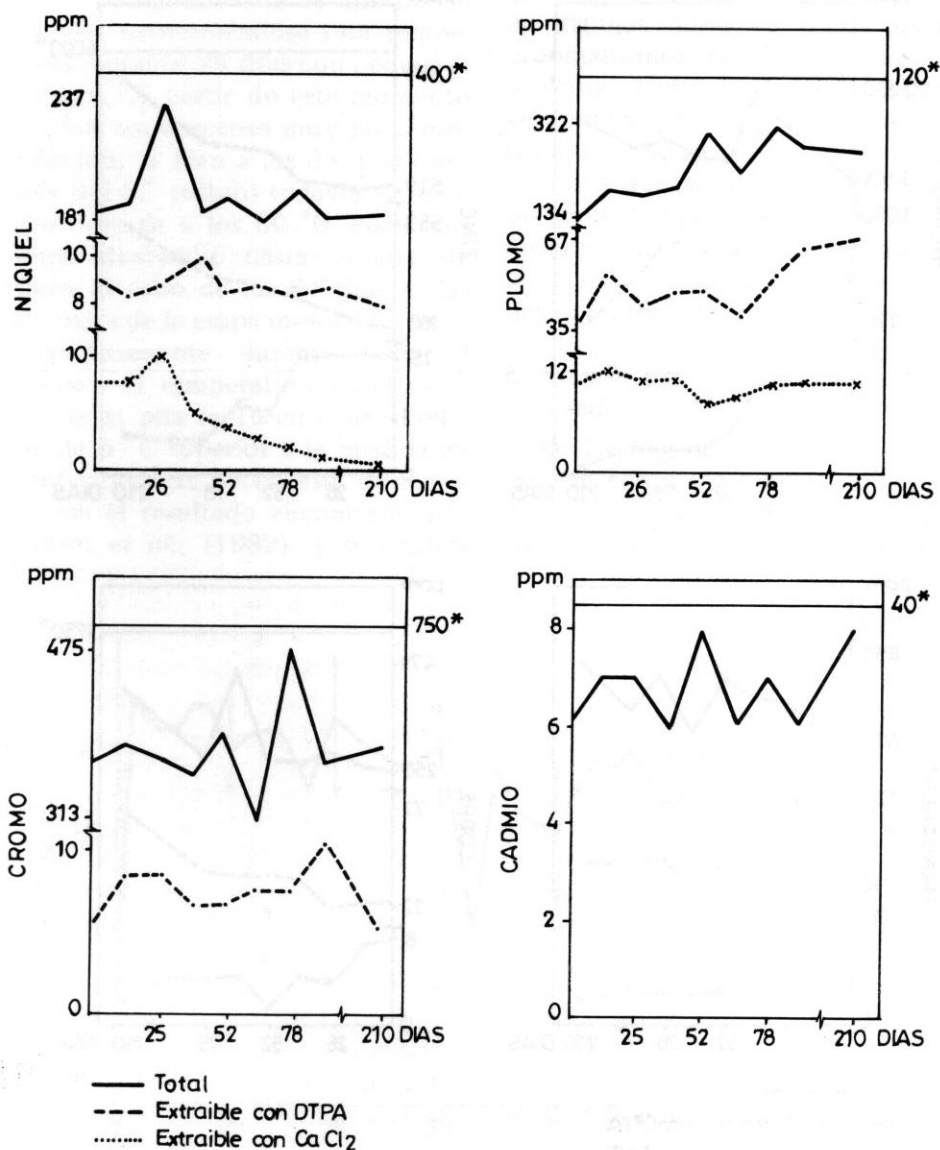


FIG. 3.—Evolución del contenido de metales pesados durante el compostaje y maduración. (*) Valores máximos permitidos por la legislación española.

TABLA 2

Coefficientes de variación y de correlación de los metales pesados con el tiempo de duración de los procesos de compostaje y maduración.

	A		B		C	
	CV	r	CV	r	CV	r
Fe	25.2	0.3052	37.5	-0.7275	80.0	-0.7675
Cu	25.4	0.6368	29.0	0.9758	42.8	-0.6718
Mn	18.2	0.7957	18.8	-0.5262	62.8	-0.6751
Zn	40.6	0.9597	49.1	0.9264	48.5	-0.6916
Ni	35.0	-0.2381	11.6	-0.5266	78.7	-0.7869
Pb	30.1	0.6791	21.5	0.6750	11.8	0.0511
Cr	11.6	0.1278	23.5	-0.1703	-	-
Cd	12.3	0.4668	-	-	-	-

A: Datos referidos al contenido total de metales pesados.

B: Datos referidos al contenido de metales pesados extraídos con DTPA.

C: Datos referidos al contenido de metales pesados extraídos con CaCl₂.

En cuanto a los contenidos totales, el Fe es el elemento más abundante, seguido en orden decreciente por el Zn, Mn, Cu, Pb, Ni y Cd. La concentración de todos ellos aumenta con los procesos de compostaje y maduración, debido a la pérdida de peso que se produce durante los mismos por mineralización de la materia orgánica, quedando por tanto ésta enriquecida en su fracción mineral.

Los coeficientes de variación son relativamente altos (desde 40.6 para Zn hasta 11.6 para Cr) tal y como corresponde a un producto fácilmente biodegradable.

Observando las Figuras 2 y 3, se aprecia que ningún contenido de los metales analizados sobrepasa los límites establecidos en la legislación española, quedando a veces muy

por debajo, si bien habría que indicar que existen países en la C.E.E. con normativas mucho más estrictas que la nuestra, según las cuales, algunos de los contenidos de metales serían excesivamente elevados.

Respecto a la fracción extraída con DTPA, considerada como potencialmente utilizable por la planta a medio plazo, sigue siendo el Fe el que se extrae en mayor cantidad, seguido por el Zn, Mn, Pb, Ni, Cu, Cr y Cd. Pero conforme avanzan los procesos en estudio, los contenidos en Fe, Mn, Ni y Cr descienden (contrariamente a lo que sucedía en los totales), reflejándose este hecho en los porcentajes de extracción respecto al contenido total, los cuales, como es lógico, experimentan un descenso.

Asimismo, los coeficientes de co-

TABLA 3

Porcentaje de metales pesados extraídos con DTPA, con CaCl₂ y con H₂O respecto a los contenidos totales.

		D I A S								
		1	13	26	39	52	65	78	91	210
Fe	Extr. con DTPA	5.90	6.70	6.90	5.20	6.10	7.20	6.80	5.00	1.10
	Extr. con CaCl ₂	0.80	0.70	0.50	0.20	0.20	0.10	0.10	0.10	0.03
	Extr. con H ₂ O	0.82	—	—	—	—	—	—	0.24	0.08
Cu	Extr. con DTPA	14.00	10.70	0.90	16.50	6.10	9.60	17.10	8.10	18.00
	Extr. con CaCl ₂	3.40	2.10	1.30	2.00	0.30	1.10	1.30	0.50	0.50
	Extr. con H ₂ O	6.00	—	—	—	—	—	—	1.20	1.10
Mn	Extr. con DTPA	22.60	18.90	18.40	18.50	11.50	13.00	11.80	13.80	9.80
	Extr. con CaCl ₂	5.10	4.90	3.90	4.30	0.90	1.30	1.00	1.50	0.80
	Extr. con H ₂ O	2.70	—	—	—	—	—	—	0.50	0.20
Zn	Extr. con DTPA	27.90	30.10	—	29.50	33.70	—	34.90	—	35.30
	Extr. con CaCl ₂	2.50	2.40	—	2.00	0.90	0.50	0.40	—	0.30
	Extr. con H ₂ O	2.50	—	—	—	—	—	—	—	0.26
Ni	Extr. con DTPA	4.90	3.90	2.30	6.00	3.80	5.50	3.50	5.20	3.80
	Extr. con CaCl ₂	3.90	3.30	2.50	2.40	1.80	1.70	0.90	0.80	0.20
	Extr. con H ₂ O	4.30	—	—	—	—	—	—	1.50	0.95
Pb	Extr. con DTPA	26.10	26.10	21.90	23.00	15.60	17.30	15.00	19.60	21.10
	Extr. con CaCl ₂	7.50	6.10	5.40	5.30	2.80	3.50	2.80	3.40	3.40
	Extr. con H ₂ O	4.50	—	—	—	—	—	—	0.60	0.60
Cr	Extr. con DTPA	1.40	2.10	1.10	—	1.50	—	—	2.70	1.30

relación entre la cantidad de los metales anteriormente indicados, extraídos con DTPA, y el tiempo de duración de los procesos en estudio, son negativos (aunque no son significativos).

Estos hechos presuponen una insolubilización de estos elementos, debido quizás a reacciones de oxidación que se dan en los procesos, que juntamente con el pH del medio hacen que se formen óxidos, hidróxidos y carbonatos poco solubles, y posiblemente, alguna pequeña fracción forme complejos o quelatos con la fracción orgánica, más polimerizada al final de los procesos en estudio. Hay que resaltar que en todo lo expuesto influirán en gran medida las peculiaridades químicas de cada elemento.

Al Zn, que es el elemento que se extrae en mayor cantidad con DTPA después del Fe, le ocurre lo contrario que a éste: conforme transcurren los procesos de compostaje y maduración, aumenta su extractabilidad, lo cual se refleja en los signos positivos de los coeficientes de correlación de este parámetro frente al tiempo.

Los porcentajes de Zn extraído con DTPA respecto a los totales, son los mayores de los estudiados y, además, aumentan con el tiempo, lo que indica que los procesos en estudio transforman los compuestos originarios de Zn en otros más accesibles al extractante y por tanto, potencialmente inciden en una mayor disponibilidad para las plantas. Esta misma tendencia, pero más atenuada, como indican sus coeficientes de variación menores, la muestran el Cu y el Pb.

La cantidad de Cd extraída con el agente quelante es a nivel de

trazas por lo que no se puede considerar que su contenido en el compost sea peligroso.

Las cantidades de metales pesados de cambio extraídas con CaCl_2 , consideradas como más directamente asimilables por las plantas, son en valores absolutos bastante menores que las que extrae el DTPA. Excepto el Pb, cuyos valores permanecen constantes, todos los demás descienden con el tiempo (coeficientes de correlación negativos). Los porcentajes de extracción sobre el total disminuyen con los procesos en estudio, lo que indica que el compostaje provoca una insolubilización de los metales que de forma inmediata pueden ser asimilados por las plantas.

En valor absoluto, la fracción de Fe de cambio (extraída con CaCl_2) es la mayor, mientras que las de Cr y Cd se encuentran sólo a nivel de trazas. Los porcentajes de extracción de esta fracción, que en un principio oscilaban entre el 2.5 y 7.5 % del contenido total, se ven reducidos al final de la maduración a valores por debajo del 1% (excepto el Pb, que es el que menos se reduce, y aún así, lo hace en más de la mitad: de 7.5 a 3.4%). Este hecho pone de manifiesto la acción positiva de los procesos en estudio, disminuyendo la translocación e introducción de metales pesados en la cadena alimentaria.

A la vista de los resultados expuestos hasta ahora, se consideró de interés estudiar la cantidad de metales presentes en la solución del suelo (solubles en agua) y así poder correlacionar todas las fracciones de dichos metales contenidos en el residuo sólido urbano.

En la Figura 4 se representan los contenidos de metales pesados solu-

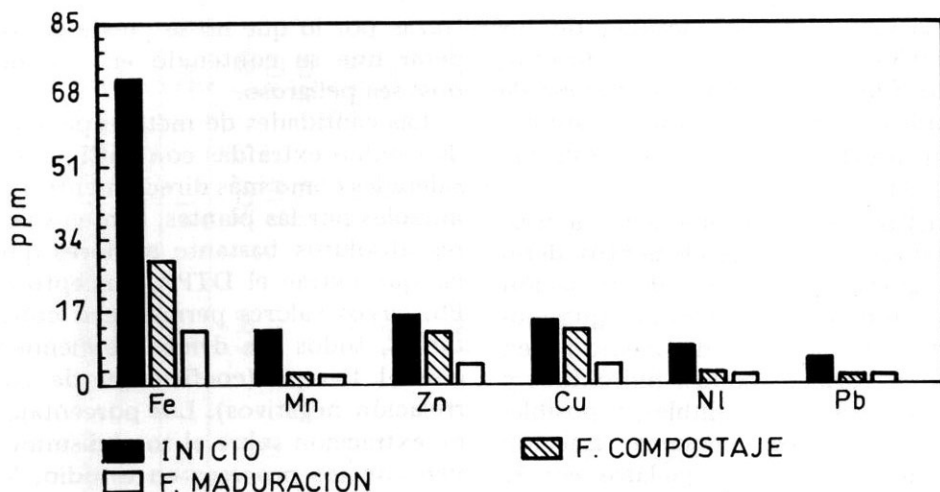


FIG. 4.—Contenido de metales pesados solubles en H_2O durante el compostaje y la maduración.

bles en agua del residuo sólido urbano durante los procesos de compostaje y maduración. El Fe es mayoritario, seguido de Zn y Cu; el Cd y Cr, por contra, sólo se encuentran a nivel de trazas.

Los procesos en estudio hacen disminuir la concentración de metales extraídos con H_2O en todos los casos. Este hecho se considera favorable puesto que un compost maduro va a producir una menor concentración de metales pesados en la solución del suelo al que se aplique con respecto a la adición de residuos orgánicos sin compostar.

En cuanto a los porcentajes de metales solubles en agua con respecto al total (Tabla 3), éstos son muy similares a los obtenidos con los de cambio (extraídos con $CaCl_2$); incluso algunos de los primeros superan a los segundos, debido posiblemente a las cantidades tan pequeñas que se manejan y a la propia heterogeneidad de las muestras.

Por último, en la Tabla 4, se muestran las variaciones que experimentan los contenidos de las diversas fracciones de metales con los procesos en estudio. Para el caso de la fracción soluble en agua, dichas variaciones son negativas (conforme avanzan ambos procesos, se solubilizan menos metales en la solución del suelo). El Cu y Zn disminuyen sobre todo en la madurez; en cambio, el Mn, Ni y Pb tienen su mayor variación durante el proceso de compostaje.

La fracción de metales de cambio también disminuye con el proceso de compostaje (excepto para el Pb), y en mayor proporción que la soluble en H_2O . Este hecho indica que los procesos de insolubilización que puedan producirse en el compostaje, afectan más a los metales del complejo de cambio. El Cu es el único que varía más durante la maduración; el Zn por el contrario, aumenta en esta fase con respecto al compostaje.

máximos reglamentados por la legislación española.

Las fracciones potencialmente utilizables (extraídas con DTPA) disminuyen conforme avanzan los procesos en estudio para el Fe, Mn, Cr y Ni; por contra, aumentan las de Zn, Cu y Pb. El Cd sólo se extrae a nivel de trazas.

Las cantidades de metales pesados de cambio (extraídas con CaCl_2) son bastante menores que las obtenidas con DTPA. Excepto para el Pb, que

permanece constante, todas las demás disminuyen a medida que transcurren los procesos indicados.

Los contenidos en metales solubles en H_2O disminuyen con los procesos en estudio en todos los casos.

El compostaje y maduración de los residuos estudiados se pueden considerar beneficiosos respecto a la transferencia de metales pesados, ya que se insolubilizan gran parte de los mismos, quedando en menor cantidad a disposición de las plantas.

AGRADECIMIENTOS: Agradecemos a la Caja de Ahorros del Mediterráneo de Murcia la beca concedida al Sr. Ayuso para colaborar en esta investigación.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, J. F. and KISSEL, D. E., 1989. Zinc, copper and nickel availabilities as determined by soil solution and DTPA extraction of sludge-amended soil. *Soil Sci. Plant Anal.*, 20: 139-158.
- CABRERA, D., YOUNG, S. A. and ROWELL, D. L., 1988. The toxicity of cadmium to barley plants as affected by complex formation with humic acid. *Plant and Soil*, 105: 195-204.
- CARDENAS, R. and WANG, L. K., 1980. Composting process. In: *Handbook of environmental Eng. The Human Press. N-Y.* 2: 269-327.
- CLAIRON, M., ZINSON, C. et NAGOU, D., 1982. Etude des possibilités d'utilisation agronomique des composts d'ordures ménagères. *Agronomie*, 2: 295-300.
- CHU, L. M. and WONG, M. H., 1987. Heavy metals contents of vegetable crops treated with refuse compost and sewage sludge. *Plant and Soil*, 103: 191-197.
- DULEY, L. M., MCLEAN, J. E., SIMS, R. C. and JURINAK, J. J., 1988. Sorption of copper and cadmium from the water-soluble fraction of an acid mine waste by two calcareous soils. *Soil Sci.*, 145: 207-214.
- HECMAN, J. R., ANGLE, J. S. and CHANEY, R. L., 1987. Residual effects of sewage sludge on soybean. I. Accumulation of heavy metals. *J. Environ. Qual.*, 16: 113-117.
- LAGERWEFF, J. V., 1972. Lead mercury and cadmium as environmental contaminants. In: *Micronutrients in Agriculture*. Mortvedt, J. J., Giordano, P. M., Lindsay, W. L. eds. *Soil Sci. Soc. of Amer. Inc. Madison, Wisconsin, USA.* 655-702.
- LINDSAY, W. and NORWELL, W., 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Amer. J.*, 42: 421-428.

TABLA 4

Variaciones producidas en los contenidos de las diversas fracciones de metales pesados durante los procesos de compostaje y maduración (%).

	Compostaje	Maduración
Total	42.1	23.2
Fe Extr. con DTPA	20.4	-66.0
Extr. con CaCl ₂	-79.1	-73.0
Extr. con H ₂ O	-66.0	-55.2
Total	51.6	12.9
Cu Extr. con DTPA	65.7	32.7
Extr. con CaCl ₂	-37.5	-60.0
Extr. con H ₂ O	-13.3	-61.5
Total	25.7	41.6
Mn Extr. con DTPA	-30.1	0.0
Extr. con CaCl ₂	-62.5	-33.3
Extr. con H ₂ O	-76.9	-33.3
Total	90.7	56.8
Zn Extr. con DTPA	145.0	58.5
Extr. con CaCl ₂	-73.3	50.0
Extr. con H ₂ O	-25.0	-58.3
Total	-6.3	2.4
Ni Extr. con DTPA	0.0	-20.0
Extr. con CaCl ₂	-87.5	0.0
Extr. con H ₂ O	-66.6	-33.3
Total	140.3	-1.5
Pb Extr. con DTPA	80.0	6.3
Extr. con CaCl ₂	10.0	0.0
Extr. con H ₂ O	-66.6	0.0

Para la fracción extraíble con DTPA, las mayores variaciones se producen durante el compostaje al igual que en los totales. Las variaciones negativas con DTPA pueden

indicar la predominancia del proceso bioxidativo durante el compostaje y maduración frente a la posible complejación de los metales por la materia orgánica.

CONCLUSIONES

Los contenidos totales de metales pesados aumentan durante los procesos de compostaje y maduración debido a la pérdida de peso que

sufre la materia orgánica por mineralización. A pesar de dicho incremento, estos contenidos totales no sobrepasan en ningún momento los

- MATHUR, S. P. and LEVESQUE, M., 1988. Soil test for copper, iron, manganese and zinc in histosols. 2. The ditributions of soil iron and manganese in sequentially extractable forms. Soil Sci., 145: 102-110.
- WEBER, C. W. and REID, B. L., 1969. Nickel toxicity in young growing mice. J. Asim. Sci., 28: 620-628.

Recibido: 19-2-90.

Aceptado: 18-4-90.