

Aplicación de la lombriz roja de California en la transformación de lodos de depuradoras urbanas¹

M. Delgado*, M. Bigeriego*, I. Walter*, R. Calvo*

RESUMEN

La vermicultura ha experimentado un gran desarrollo en los últimos años. Su aplicación en la transformación de distintos tipos de residuos orgánicos permite la mejora de sus características agronómicas. En el INIA se ha estudiado la aplicación de la vermicultura en la transformación de lodos de depuradoras urbanas, evaluándose la capacidad de adaptación de la lombriz roja de California en distintas mezclas de lodos con otros residuos orgánicos, así como la calidad agronómica de los productos resultantes. Esta adaptación se comprobó con el estudio de su supervivencia en mezclas de estiércol de ganado equino en distintas proporciones de dos tipos de lodos de depuradoras de aguas residuales de Madrid. Hubo un descenso del número de lombrices en mezclas con lodo de la depuradora Sur, compuesto que no fue previamente compostado. En mezclas con 50% de lodo Nutror, la supervivencia de la lombriz roja fue similar al testigo con base de estiércol, descendiendo drásticamente cuando se sobrepasó esta proporción. Para el lodo Sur se obtuvieron idénticos resultados cuando había sido ya compostado; así se demuestra la necesidad de fermentación aeróbica previa en productos que serán tratados por vermicultura. En el control efectuado, para estudiar la evolución de metales pesados totales en el "vermicompost", no se observó una clara incidencia del proceso de vermicompostaje sobre el contenido de metales pesados en el medio.

Palabras clave: Vermicultura, lombriz roja de California, lodo de depuradora.

ABSTRACT

Vermiculture is a process that has undergone a great development in recent years because its application in the transformation of different residues allows to improve their agronomic characteristics. INIA has studied the application of vermiculture for the transformation of sewage sludge, assessing the adaptation capacity of the California red worm on different mixtures of sewage sludges. Results showed that the survival of earthworms under soil decreased when mixed with Sur sewage sludge because it was not composted. In Nutror sewage sludge, the survival of earthworms decreased when the sewage sludge contained about 50% horse dung, and was equal to the pattern of dung when the mix was lower than 50%. The Sur sewage sludge was similar to the Nutror sludge when it was composted. The evolution of total heavy metals in the vermicompost was also studied, and no effect of the worm treatment on heavy metals content in the substrate was observed.

Key words: Vermiculture, red worm of California, sewage sludge.

INTRODUCCIÓN

El rápido desarrollo tecnológico ha hecho perder de vista ciertos conocimientos tan antiguos como la misma naturaleza. Ese es el caso de la vermicultura, una actividad agraria que consiste en transformar todo tipo de residuos orgánicos por medio de las lombrices de tierra, obteniéndose un fertilizante biorgánico de alto valor agronómico (Edwards *et al.* 1988; Haimi y Hutha 1990).

Aristóteles definió a las lombrices como el intestino de la tierra, y no fue hasta finales del pasado siglo cuando apareció la primera edición del libro "La formación del humus vegetal" donde

Darwin explica sus estudios y observaciones sobre el papel que desempeñan las lombrices en la transformación del suelo (1981).

Conscientes de ello, algunos agricultores estadounidenses seguidores de Darwin (1981) empezaron a utilizar las lombrices para la mejora de terrenos agrícolas directamente o por medio de fertilizantes biorgánicos que se producen al transformar los variados productos orgánicos de las fincas agrícolas, convirtiéndose así en los pioneros de la técnica agrícola biológica que se está utilizando de nuevo (Lavelle 1988; Simek y Pizl 1989).

Posteriormente, a causa de la aceptación general de que los recursos naturales no son infinitos, sino limitados, y que es necesario reciclarlos, la vermicultura, es decir, el cultivo o cría intensiva de

¹ Recibido el 18 de enero de 1994

* Área de Conservación del Medio Natural, Centro de Cálculo, INIA, Apdo 8111, Madrid 28080, España.

lombrices para la producción de abono ha experimentado un auge y difusión enorme (Rafats 1988).

En los últimos treinta años, el cultivo de lombriz ha llegado a ser una actividad industrial ampliamente difundida en Japón, Canadá, Estados Unidos de América y en diversos países de Europa.

En España, con el objeto de ofrecer una solución al problema de los residuos, se han desarrollado desde 1980 estudios de investigación en el campo de la vermicultura, orientados a la obtención de productos orgánicos de mayor valor agronómico.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la utilización de la lombriz roja de California (*Lumbricus rubellus*) en la transformación de residuos urbanos, evaluando su capacidad de adaptación en distintas mezclas de lodo con estiércol y comprobando las características agronómicas del producto, resultante de dicha transformación, para reutilizarlo como abono orgánico-mineral.

MATERIALES Y MÉTODOS

El primer estudio sobre la supervivencia de la lombriz roja de California en distintas mezclas de subproductos orgánicos se realizó en invernadero, utilizando pequeños contenedores (recipientes de plástico de 40 cm x 40 cm x 20 cm) en los que se incorporó primeramente un lecho de humus de lombriz que sirve de cama, añadiéndose 200 lombrices en cada recipiente y, por último, 1 kg de mezclas de estiércol de ganado equino con distintas proporciones de dos tipos de lodos: uno, compostado, lodo Nutror, y otro, solamente desecado, lodo Sur, en los porcentajes siguientes:

Cuadro 1. Porcentaje de lodo y estiércol en cada muestra.

Muestra	Lodo (%)	Estiércol (%)
1	100	0
2	90	10
3	80	20
4	70	30
5	60	40
6	50	50
7	40	60
8	30	70
9	20	80
10	10	90
11	0	100

El diseño experimental anterior fue repetido pero a escala semiindustrial, utilizando literas de 2 m de ancho por 16.5 m de largo divididas en once partes iguales de 2 m x 1.5 m en el sentido longitudinal de las "camas de lombrices". La altura de los lechos estaba comprendida entre 20 cm y 25 cm dependiendo de las mezclas efectuadas.

Se usó el sistema de riego por aspersión, dotado de miniaspersores que permiten conseguir un riego homo-géneo. El número de riegos fue muy variable según la época del año. Se efectuaron análisis del estiércol, lodo-Nutror (*compost* procedente de la mezcla de cuatro estaciones depuradoras de Madrid: Butarque, Rejas, Sur y Sur Oriental, cuyo proceso de fabricación ha sido: secado de lodos, fermentación aerobia termófila por volteos, maduración y, por último, molturación y refinado) y lodo de la depuradora de aguas residuales Sur (Madrid).

Determinándose al iniciar y al finalizar el experimento los siguientes parámetros: humedad, materia orgánica total, carbono orgánico oxidable, calcio, sodio, potasio, magnesio y pH según métodos estándar (American Public Health Association 1975). El N-NH⁺₄ y el N-NO₃ se midieron con la técnica de Bremner (1965). El fósforo se determinó según Olsen (1954) y, por último, el nitrógeno total se analizó con el método Kjeldahl (Hesse 1971).

Para estudiar la población de lombrices se realizó un muestreo al azar utilizando un marco de 0.5 m x 0.5 m de lado y una profundidad de 20 centímetros. El marco se situó en el centro del lecho para eliminar el efecto "borde" (Atlavinyte 1968; Allen 1990).

Asimismo, en el desarrollo de este experimento a escala semiindustrial se efectuó un control de la evolución de los metales pesados en el "vermicompost" a lo largo del tiempo, utilizando el método de digestión ácida (HNO₃ - HClO₄) y analizando los metales pesados por espectrometría de plasma (Espectrapan IV) (AOAC 1984).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en un primer estudio basado principalmente en comprobar la supervivencia de la lombriz en distintas mezclas de estiércol con lodos Nutror y Sur, se recogen en las Figs. 1, 2, y 3, en que se observa un rápido descenso del número de lombrices en el caso de las mezclas con lodo Sur, debido a que este compuesto no estaba previamente compostado (Bouwman y Reinecke 1991).

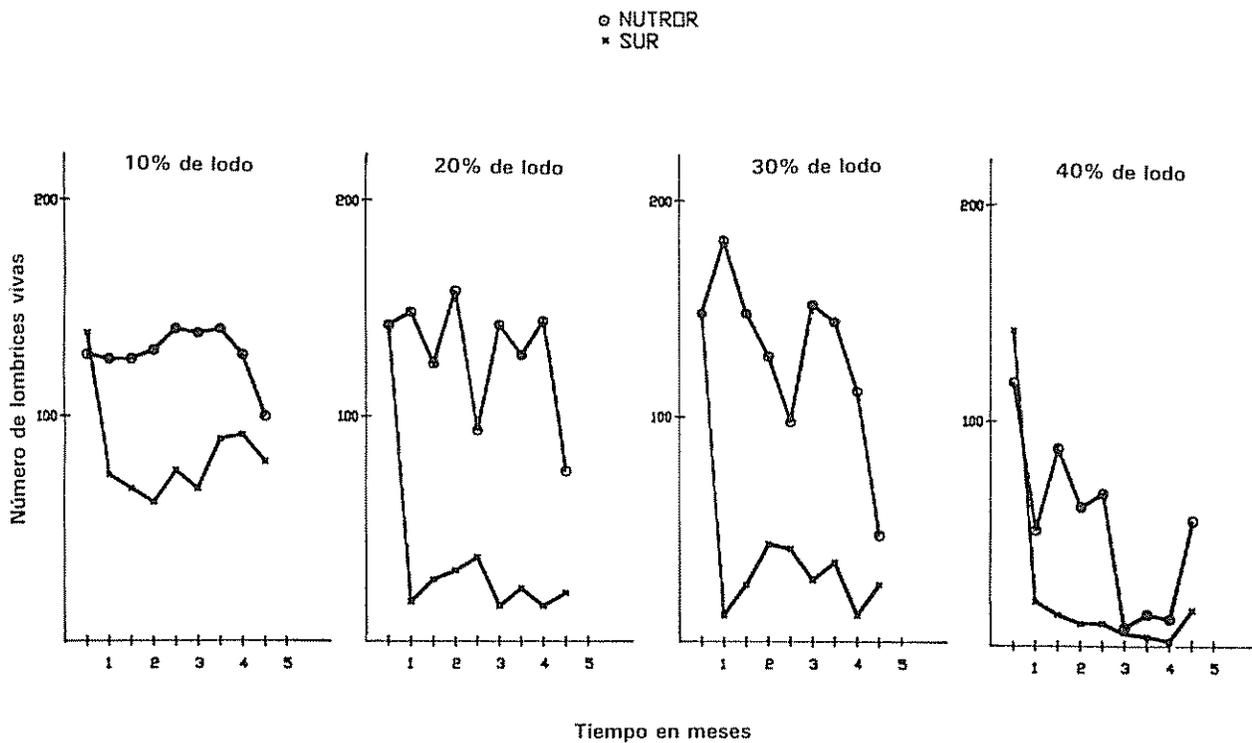


Fig. 1. Número de lombrices en función del tiempo para las mezclas lodos-estiércol, correspondientes a las proporciones de lodos de 10, 20, 30 y 40 por ciento.

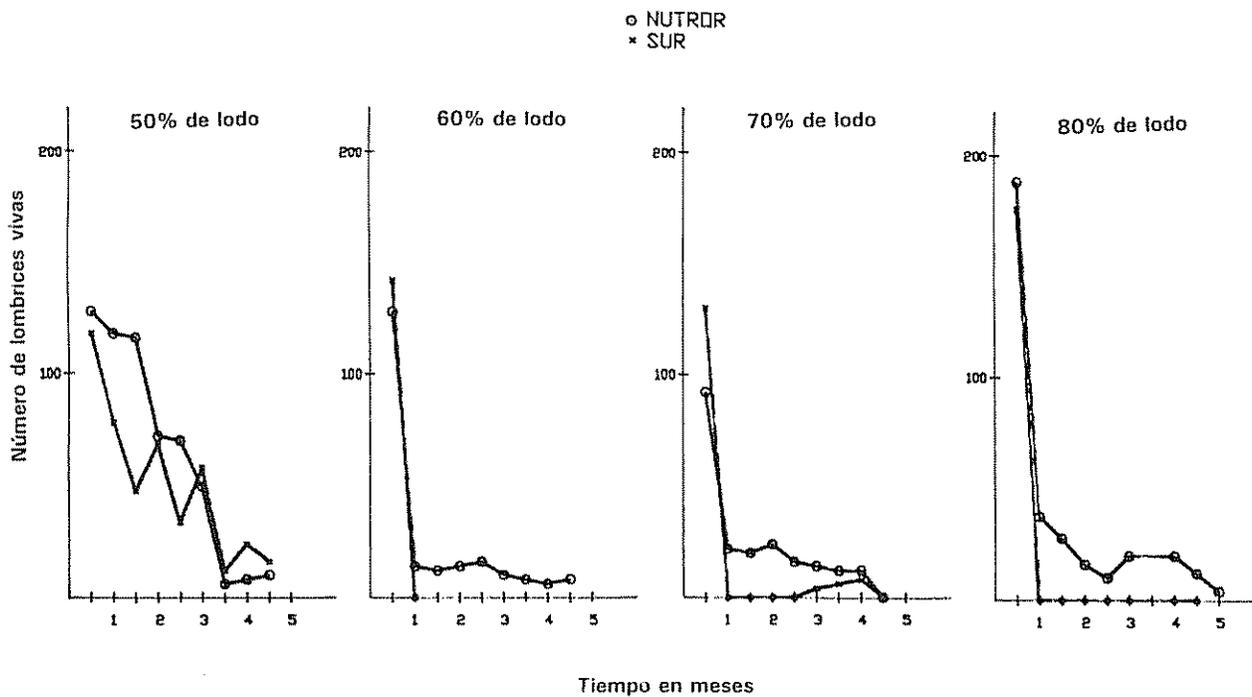


Fig. 2. Número de lombrices en función del tiempo para las mezclas lodos-estiércol, correspondientes a las proporciones de lodos de 50, 60, 70 y 80 por ciento.

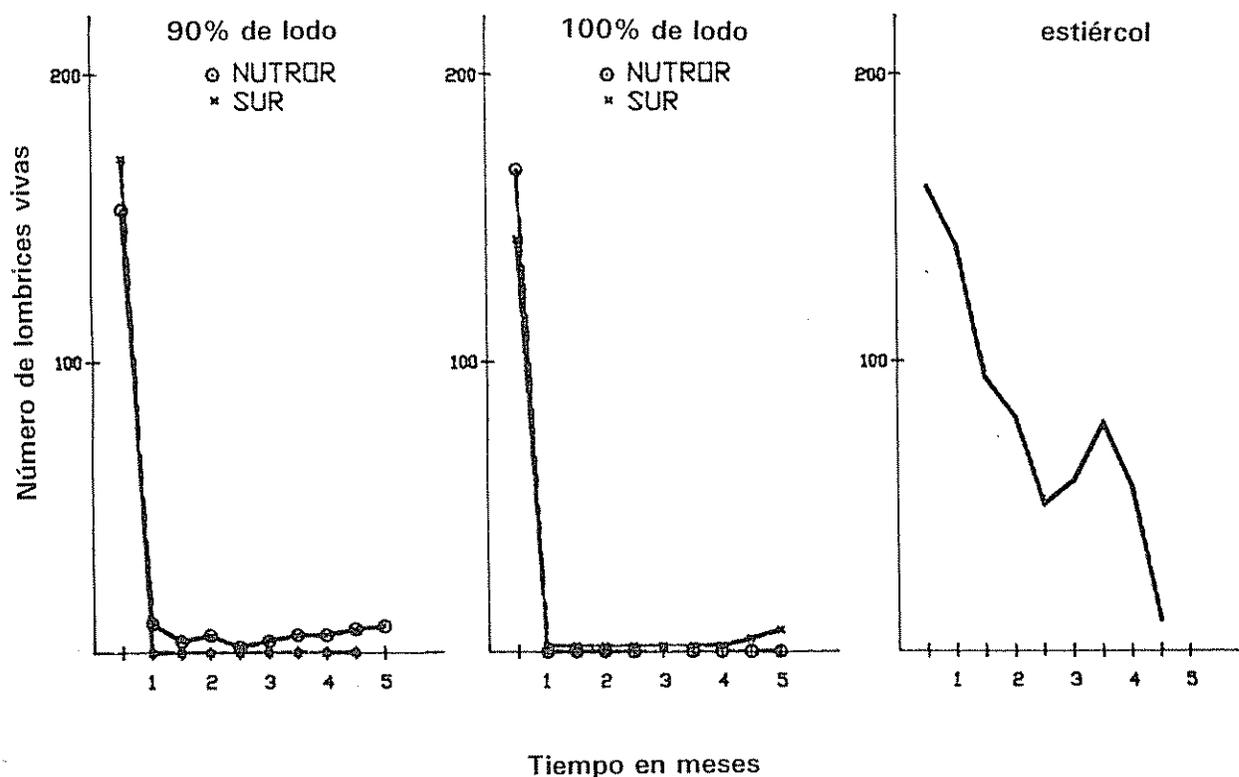


Fig. 3. Número de lombrices en función del tiempo para las mezclas lodos-estiércol, correspondientes a las proporciones de lodos de 90 y 100% y estiércol.

Asimismo se aprecia que, hasta en mezclas con el 50% de lodo compostado, la supervivencia de la lombriz es similar al testigo de estiércol y que cuando se sobrepasa esta proporción de lodo la supervivencia desciende drásticamente, presumiblemente debido a una falta de aireación del medio (Haines y Uren 1990).

El descenso del número de lombrices en el testigo, a base de estiércol, se explica por la imposibilidad para mantener las condiciones óptimas de crecimiento en pequeños contenedores.

En el Cuadro 2 se muestra la regresión lineal obtenida de las ecuaciones: $Y = A + BX$ para las mezclas de 20 y 30 por 100 de estiércol con lodo Nutror e $Y = A + Bex(-KX)$ para las demás mezclas de estiércol con lodo Nutror y Sur. A partir de las mezclas del 50% no se ha realizado el análisis estadístico, ya que hubo problemas de aireación del medio en el que se realizó el experimento.

Cuadro 2. Regresión lineal.

	A	B	K	R ²
10% Nutror	133.04	66.95	0.18	0.606
Sur	79.25	124.79	0.06	0.899
20% Nutror	179.86	0.61	-	-
Sur	18.81	189.42	0.05	0.920
30% Nutror	193.68	-0.81	-	-
Sur	23.56	185.99	0.05	0.881
40% Nutror	13.99	176.53	0.03	0.860
Sur	-2.32	215.02	0.05	0.920
50% Nutror	-72.59	263.94	0.01	0.950
Sur	13.04	182.35	0.03	0.940

Teniendo en cuenta los resultados de este primer experimento, se repitió el mismo diseño a escala semiindustrial utilizando los mismos lodos pero, en este caso, se compostó previamente el de Sur, desecándolo durante tres meses y procediendo a una

fermentación aeróbica termófila (62°C - 72°C) por volteos periódicos sin agente estructurante.

Los parámetros que sufrieron cambios principalmente fueron:

Temperatura

La temperatura media a 50 cm ascendió paulatinamente durante la primera semana hasta alcanzar 49°C, para descender ligeramente a continuación como consecuencia del volteo. Nuevamente tuvo lugar una serie de pequeñas elevaciones y descensos, siempre por encima de los 50°C hasta el último mes en que se alcanzaron 68°C, su máximo valor.

Carbono orgánico

En el sistema de volteo se observó una disminución muy lenta del contenido de materia orgánica, con fluctuaciones, debido al propio sistema de volteo, ya que después las condiciones de la pila experimentan un cambio apreciable, reflejándose en los valores de los parámetros.

Nitrógeno total

El contenido de nitrógeno en los primeros días del compostaje mantiene valores aceptables durante el primer mes, disminuyendo bruscamente a partir del segundo mes. Esta disminución coincide con un aumento de la temperatura de la pila, lo que indica una volatilización de los grupos amoniacales.

pH

Existe una evolución del pH de 5.6 a 7.2 como consecuencia de la degradación de ácidos orgánicos y el efecto tampón de la materia orgánica.

Humedad

La humedad descendió de forma ligera pero continua desde un valor de 54% hasta alcanzar valores mucho más bajos al finalizar el compostaje.

Los resultados demuestran (Cuadro 3) que en mezclas de estiércol y lodo, en que este último supera el 50%, se produce un descenso drástico del número de lombrices del medio, no existiendo diferencias en la supervivencia debido al lodo, pues ambos habían sido compostados (Shipitalo *et al.* 1988).

Cuadro 3. Supervivencia de la lombriz (número de lombrices) y desviación estándar (\pm).

Tratamiento (porcentaje de lodo)	Lombrices en <i>compost</i> Sur	Lombrices en <i>compost</i> Nutror	Media
0	1 044(6.0)	1 044(6.0)	1 044
15	891(161.4)	830(254.3)	860
30	806(284.0)	960(369.6)	880
50	664(180.5)	757(81.9)	710
75	500(132.3)	465(234.5)	483
100	450(56.8)	495(169.3)	472

Nota: Porcentaje de lodo (A):*; Tipos de lodo (B):NS; Interacción (AB):NS; *: Significativo al 5%; NS: No significativo.

Se realizó el análisis estadístico de la variancia, comprobándose que solamente es significativo ($P < 0.05$) el efecto del porcentaje de lodo y no significativo ($P > 0.05$) los distintos tipos de lodos y la interacción porcentaje de lodo y tipo de lodo.

Durante este experimento a escala semiindustrial se efectuó un control de la evolución de los metales pesados totales en el "vermicompost" a lo largo del tiempo y los resultados medios de las distintas mezclas de lodos con otros residuos orgánicos se recogen en el Cuadro 4. Se aprecian ligeras variaciones en uno y otro sentido entre los valores iniciales y finales después de seis meses de

tratamiento, no observándose una clara incidencia del proceso de vermicultura sobre el contenido de metales pesados en el medio (Edwards 1980; Morgan y Morgan 1990, 1991).

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de covariancia -considerando covariable el valor inicial de cada metal pesado. Los resultados muestran que solamente es significativo ($P < 0.05$) el efecto de los lodos para los metales pesados Zn y Cd con una probabilidad de 0.0202 y 0.0013, respectivamente. El efecto de los metales pesados solamente es significativo para el metal pesado Cu con una probabilidad de 0.0021.

Cuadro 4. Evolución de los metales pesados totales en el "vermicompost" con el tiempo (seis meses) y desviación estándar(\pm).

Metales Pesados	Valores medios de mezclas con lodo Nutror (ppm)		Valores medios de mezclas con lodo Sur (ppm)	
	Inicial (ppm)	Final (ppm)	Inicial (ppm)	Final (ppm)
Ni	72(24.2)	63(11.5)	69(13.0)	59(5.3)
Cu	649(23.3)	579(22.5)	2 141(169)	1 671(130)
Cr	517(38.3)	537(172)	200(47.7)	226(50.0)
Zn	1 070(81.8)	1 149(52.0)	1 934(105)	1 788(118)
Pb	620(85.4)	717(61.2)	1 062(60.5)	1 012(251)
Cd	25(8.9)	18(4.0)	115(44.2)	93(2.6)

En el Cuadro 5, se recogen los resultados sobre composición del estiércol y de los dos lodos utilizados en el experimento al inicio y al final del compostaje. Como se puede observar, las características agrónomicas han mejorado en el humus obtenido de la transformación de residuos orgánicos por medio de la lombriz roja de California, aumentando la riqueza en potasio y en fósforo.

El "vermicompost" es un fertilizante de liberación lenta de los elementos nutritivos y tiene la

capacidad de suministrar gradualmente los elementos químicos en el suelo, haciendo durar los efectos a lo largo del tiempo. También tiene una elevada presencia de flora bacteriana y, como puede contener metales pesados tóxicos, no es aconsejable en cultivos destinados a la alimentación humana, y su utilización es más frecuente en floricultura.

Por otra parte, el "vermicompost" es rico en enzimas y microorganismos procedentes del intestino de la lombriz y en auxinas, que favorecen el crecimiento de las plantas (Shipitalo *et al.* 1988).

Cuadro 5. Análisis del estiércol, lodos Nutror y Sur al inicio y al final del compostaje (seis meses).

	Estiércol		Lodo Sur		Lodo Nutror	
	I	F	I	F	I	F
Humedad(%)	19.5	39.4	14.7	51.5	12.5	56.1
Materia orgánica total(%)	51.0	44.9	50.5	37.5	43.6	30.2
Carbono oxidable(%)	18.0	9.5	20.5	17.3	19.5	13.5
N-NH ₄ (ppm)	511.0	73.3	19.0	195.1	660.0	178.6
N-NO ₃ (ppm)	1688.0	601.3	866.0	233.9	973.0	688.7
N-total(%)	1.5	0.8	2.1	1.7	2.9	1.9
pH	7.7	7.2	7.2	6.5	7.1	6.2
Peso E. (g/l)	493.0	-	743.0	-	716.0	-
P ₂ O ₅ (%)	1.0	2.1	2.7	3.0	4.0	5.5
Na(%)	0.015	0.1	0.08	0.16	0.01	0.14
K ₂ O(%)	0.5	1.9	0.04	0.64	0.06	0.8
CaO(%)	0.76	4.9	0.69	6.4	0.74	6.8
MgO(%)	0.14	0.9	0.12	1.6	0.12	1.0

I Inicial

F Final vermicompostado

Se ha estudiado la desviación estándar (Cuadro 6) y el análisis de covariancia -considerando covariable el valor inicial de cada parámetro. Los resultados demuestran en los lodos el efecto significativo ($P < 0.05$) para la humedad, materia orgánica total, carbono oxidable, N-NO₃, P₂O₅,

Na, CaO y MgO con una probabilidad de 0.005, 0.0503, 0.0011, 0.0002, 0.000, 0.0483, 0.0014 y 0.0507, respectivamente. El efecto de los parámetros solamente es significativo en el Carbono oxidable y N-NO₃, con una probabilidad de 0.0126 y 0.0452, respectivamente.

Cuadro 6. Desviación estándar del análisis de estiércol, lodos Nutror y Sur al inicio y al final del compostaje (\pm).

	Estiércol		Lodo Sur		Lodo Nutror	
	I	F	I	F	I	F
Humedad(%)	3.0	4.6	0.9	3.9	2.0	2.3
Materia orgánica Total (%)	1.0	5.2	5.7	5.7	3.0	3.0
Carbono oxidable (%)	3.1	1.6	5.0	2.2	2.1	1.0
N-NH ₄ (ppm)	18.5	2.8	378	15.0	975	24.2
N-NO ₃ (ppm)	151	92	119	48.7	71.9	13.6
N-total(%)	1.2	0.7	1.6	0.8	0.4	1.1
pH	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.2
C.E (mmhos/cm)	0.4	0.3	0.1	0.3	0.3	0.1
P ₂ O ₅ (%)	0.1	0.3	0.1	0.3	0.2	0.2
Na (%)	0.01	0.06	0.03	0.02	0.01	0.02
K ₂ O(%)	0.1	0.3	0.02	0.07	0.04	0.3
CaO(%)	0.03	0.4	0.04	0.5	0.07	0.4
MgO(%)	0.04	0.3	0.02	0.3	0.02	0.2

Nota: I Inicial

F Final vermicompostado

CONCLUSIONES

Del estudio realizado sobre la supervivencia de la lombriz roja de California en la transformación de residuos sólidos proporcionados por dos depuradoras de Madrid, lodo Sur y lodo Nutror, se comprobó un rápido descenso del número de lombrices en las mezclas con lodo Sur, debido a que este residuo no estaba compostado. Por lo tanto es necesario utilizar siempre lodos compostados para su transformación en humus de lombriz y aprovechamiento agrícola.

La supervivencia de la lombriz roja era similar al testigo de estiércol cuando las mezclas con lodos eran inferiores al 50%, ya que cuando se supera esta proporción de lodo, ésta desciende.

Existió un descenso del número de lombrices del testigo de estiércol por la imposibilidad de mantener las condiciones óptimas de crecimiento en pequeños contenedores.

En el segundo experimento a escala semi-industrial, en el que los lodos fueron previamente compostados, se estudió principalmente el grado de supervivencia de la lombriz roja en distintas mezclas de lodo con estiércol, comprobándose que no existían diferencias significativas.

Al evaluar la influencia de los metales pesados en el "vermicompost" a lo largo del tiempo, no se observó una clara incidencia del proceso de vermicultura sobre el contenido de metales pesados en el medio.

Por último, las características agrónomicas se ven mejoradas en el humus obtenido de la transformación de residuos orgánicos por medio de la lombriz roja de California, aumentando la riqueza en potasio y fósforo.

LITERATURA CITADA

- ALLEN, H P. 1990. Influence of cultivation system on earthworm populations. *Agric. Eng. Silsoe: Institution of Agricultural Engineers* 45(1):26-27
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION 1975. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington D C
- AOAC. 1984. Official methods of analysis of A O A C. Washington
- ATLAVINYTE, D. 1968. Mobility of nutritive substances in relation to earthworm numbers in the soil. *Pedobiología* 13:344-352
- BOUWMAN, H.; REINECKE, A J 1991. A defined medium for the study of growth and reproduction of the earthworm *Eisenia fetida*. *Biol. Fertil. Soils* 10(4):285-289.
- BREMNER, J M. 1965. Methods of soil analysis. II. Chemical and microbiological properties. *Agronomy* 9:1179-1237
- DARWIN, C R. 1981. The formation of vegetable mould through the action of worms. 1st ed. London, John Murray. 250 p.
- EDWARDS, C A. 1980. Effects of earthworm inoculation upon the root growth of direct drilled cereals. *Journal of Applied Ecology (Inglaterra)* 17:533-543.
- EDWARDS, C A; NEUHAUSER, ?; EDWARDS F. 1988. Earthworm in waste and environmental management. The Hague. SPB Academic v. 8, p. 391
- HAINES, P J; UREN, N C. 1990. Effects of conservation tillage farming on soil microbial biomass, organic matter and earthworm populations, in north-eastern Victoria. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 30(3):365-371
- HAIMI, J; HUTHA, V. 1990. Effects of earthworms on decomposition processes in raw humus forest soil: A microcosm study. *Biol. Fertil. Soils* 10(3):178-183
- HESSE, P R. 1971. Total nitrogen the Kjeldahl process a textbook of soil chemical analysis. Great Britain
- LAVELLE, P. 1988. Earthworm activities and the soil system. *Biol. Fertil. Soil* 6(3):237-251.
- MORGAN, J E; MORGAN, A J. 1990. The distribution of cadmium, copper, lead, zinc and calcium in the tissues of the earthworm *Lumbricus rubellus* sampled from one uncontaminated and four polluted soils. *Oecologia* 84(4):559-566.
- MORGAN J E; MORGAN, A J. 1991. Differences in the accumulated metal concentrations in two epigeic earthworm species (*Lumbricus rubellus* and *Dendrodrilus rubidus*) living in contaminated soils. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 47(2):296-301.
- OLSEN, S R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *Circular. USDA no. 939*
- RAFATS, J. 1988. Earthworms: Raising, uses, beneficial aspects 1979-1988. *Quick Bibliographic Services. USDA National Library. The library* 88-87:32.

SHIPITALO, M.J.; PROTZ, R.; TOMLIN, A.D. 1988. Effects of diet on the feeding and casting activity of *Lumbricus terrestris* and *Lumbricus rubellus* in laboratory culture. Soil Biol. Biochem. 20(2):233-237.

SIMEK, M.; PIZL, V. 1989. The effects of earthworms on nitrogenase activity in soil. Biol. Fertil. Soils 7(4):370-373.