

VARIACIONES DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN DIFERENTES ESPECIES DE LOMBRICES DE TIERRA EN CINCO MINAS EN GALICIA (NO ESPAÑA)

F. MARIÑO, A. LIGERO & D. J. DÍAZ COSÍN

Mariño, F., Ligeró, A. & Díaz Cosín, D. J., 1993-1994. Variaciones de la concentración de metales pesados en diferentes especies de lombrices de tierra en cinco minas en Galicia (NO España). *Misc. Zool.*, 17: 75-85.

Variations of the concentration of heavy metals in some earthworm species in five mines in Galicia (NW Spain).— Some earthworm species and soil samples were collected in five mines, at the waste heaps and adjacent zones, following a slope or a stream from the waste heaps. Heavy metals Cd, Pb, Cu, Ni and Zn were measured in earthworms and soil samples (0-5 cm and 5-15 cm depth). Soil results are very variable and show the influence of the dynamic of mines and their spatial variation. Earthworm species show differences among them, but when grouping species in ecological categories there are not clear differences. A concomitant variation in metal concentration in soils and earthworms can be observed.

Key words: Heavy metals, Earthworms, Mines.

(*Rebut: 24 XII 92; Acceptació condicional: 28 III 93; Acc. definitiva: 31 V 94*)

F. Mariño, Depto. de Biología Animal, Fac. de Biología, Univ. de Santiago de Compostela, 15706 Santiago de Compostela, España (Spain).— *A. Ligeró, Consellería de Agricultura, Xunta de Galicia, 15704 Santiago de Compostela, España (Spain).*— *D. J. Díaz Cosín, Depto. de Biología Animal I, Fac. de Biología, Univ. Complutense, 28040 Madrid, España (Spain).*

INTRODUCCIÓN

Las lombrices de tierra acumulan metales en diferentes medios contaminados, como bordes de carretera (GISH & CHRISTENSEN, 1973; ASH & LEE, 1980), zonas mineras (IRELAND, 1975, 1979; MORGAN & MORGAN, 1988), suelos tratados con lodos residuales (BEYER et al., 1982) o suelos cercanos a fundiciones (MA et al., 1983). Los autores citados describen algunos aspectos del comportamiento de diferentes especies de lombrices de tierra, la tolerancia de este grupo a altas

concentraciones de metales en suelos, la influencia de distintos factores edáficos sobre la concentración de metales en estos organismos, etc.

Los objetivos de este trabajo son detectar si existen diferencias en la concentración de metales en distintas especies de lombrices de tierra o dentro de una misma especie, en diferentes localidades con contaminación externa. Para ello se han seleccionado varias explotaciones mineras, en cuyas escombreras y zonas de influencia existen aportes de metales pesados.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras de lombrices de tierra y suelos fueron recogidas en cinco minas (tabla 1) en el mes de mayo de 1989. En cada caso se tomaron muestras en las escombreras de las minas y en una zona adyacente siguiendo, siempre que fue posible, algún regato o alguna fuerte pendiente a partir de la escombrera. La metodología aplicada consistió en muestrear unidades elementales de 100 x 50 cm hasta obtener la cantidad de lombrices necesaria para la realización de los análisis, esto es, 1 g de peso seco de cada especie capturada.

Las lombrices fueron capturadas mediante excavación-separación manual y llevadas al laboratorio en cajas con su correspondiente suelo; posteriormente se llevó a cabo su identificación en vivo y se separaron los ejemplares maduros e inmaduros de cada especie. Una vez identificadas fueron lavadas con agua destilada y colocadas durante varios días en placas de Petri con papel de filtro humedecido, en oscuridad y a temperatura entre 12 y 15°C, para el vaciado del tubo digestivo. El papel de filtro fue renovado diariamente para evitar coprofagia. Posteriormente las lombrices fueron disecadas para

asegurar la total limpieza del tubo digestivo. A continuación fueron secadas en una estufa a 80°C durante 48 horas hasta obtener un peso constante.

El suelo fue recogido a dos niveles de profundidad, 0-5 cm y 5-15 cm para contemplar las posibles variaciones en el perfil, y llevado al laboratorio en bolsas de plástico. Fue secado al aire y tamizado en un tamiz con luz de malla de 2 mm, usándose la fracción menor de 2 mm para realizar los análisis.

El tejido seco de lombriz, una vez pesado, fue solubilizado en un volumen apropiado de $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ (4:1) en vasos de precipitado sobre una placa caliente. Los vasos fueron tapados con vidrios de reloj para asegurar un ataque lento. Las muestras fueron llevadas prácticamente a sequedad, vigilando que la oxidación fuese completa. Una vez enfriadas fueron redisueltas con HCl 0,1M y se filtraron con filtros Whatman nº 42 en matraces de 10 ml enrasando con HCl 0,1M. Se prepararon blancos simultáneamente. Las muestras fueron procesadas por duplicado y además se repitieron un 20% de ellas.

Para la mineralización del suelo se usó la misma mezcla ácida que para lombrices, ya que según LOON (1985) ésta es la mezcla más utilizada para atacar suelos con fines biológicos y ambientales. Para el análisis se pesaron 0,5 g de suelo y primero se sometieron a un ataque ácido en frío durante toda la noche, para luego seguir sobre una placa caliente siguiendo el mismo protocolo que para las lombrices, pero enrasando finalmente en matraces de 25 ml. Al igual que para las lombrices, se procesaron por duplicado y se repitió el 20% de ellas. También se hicieron varios blancos.

En todas las muestras se midió la concentración de Cd, Pb, Cu, Ni y Zn (expresado en $\mu\text{g g}^{-1}$, peso seco) mediante espectrofotometría de absorción atómica, tanto en llama en un espectrofotómetro Perkin-Elmer 1100-B,

Tabla 1. Localidades muestreadas.
Sites sampled.

| Localidad | Biotopo | U.T.M. | Metal principal explotado |
|-----------|-------------------|---------|---------------------------|
| Piquitos | Escombrera Prado | 29TNJ82 | Cu |
| Rubiales | Escombrera Prado | 29TPH25 | Zn, Pb |
| Oulego | Escombrera Regato | 29TPH60 | Cu |
| San Tirso | Escombrera Prado | 29TPH71 | Zn |
| Friera | Escombrera Prado | 29TPH70 | Cu, Zn |

como en horno de grafito, modelo HGA 700 con automuestreador A-570 (en función del metal y del tamaño de la muestra).

RESULTADOS

Se capturaron siete especies de lombrices de tierra: las endogeas *Allolobophora caliginosa* (Savigny, 1826), *A. rosea* (Savigny, 1826), *Dendrobaena madeirensis* Michaelsen,

1891; las epigeas *D. octaedra* (Savigny, 1826), *Eiseniella tetraedra* (Savigny, 1826), *Lumbricus rubellus* Hoffmeister, 1843; y la anécica *Lumbricus friendi* Cognetti, 1904. De todas las especies excepto *D. octaedra* se capturaron individuos maduros e inmaduros. En la tabla 2 se indican las especies capturadas en cada una de las minas, así como la concentración de Cd, Pb, Cu, Ni y Zn en dichas especies y en los suelos. Los resultados son bastante variables, pero en la mayoría

Tabla 2. Concentración de Cd, Pb, Cu, Ni y Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$, peso seco) en suelos y lombrices: Ac. *A. caliginosa*; Ar. *A. rosea*; Dmd. *D. madeirensis*; Do. *D. octaedra*; Et. *E. tetraedra*; Lf. *L. friendi*; Lr. *L. rubellus*; M. Maduros; I. Inmaduros; n.d. No detectado.

Cd, Pb, Cu, Ni and Zn concentration ($\mu\text{g g}^{-1}$, dry weight) in soils and earthworms. n.d. Non detected. (For abbreviations see above).

| Localidad (Biotopo) | Nivel | Especie | Cd | Pb | Cu | Ni | Zn | |
|-----------------------|---------|---------|-------|-------|---------|--------|--------|--------|
| Piquitos (escombrera) | 0-5cm | | 1,33 | 19,00 | 415,51 | 67,55 | 156,5 | |
| | 5-15cm | | 0,38 | 16,00 | 530,06 | 87,45 | 160,5 | |
| | | Ac (M) | 4,89 | 0,66 | 20,66 | 3,98 | 209,4 | |
| | | (I) | 2,66 | 1,04 | 11,48 | 3,93 | 187,9 | |
| | | Dmd (M) | 4,66 | 0,11 | 16,81 | 1,47 | 136,7 | |
| | | (I) | 3,64 | 5,70 | 6,57 | 3,71 | 132,6 | |
| | | Do (M) | 7,78 | n.d. | 14,24 | 59,04 | 176,1 | |
| | | Et (I) | 8,25 | 7,88 | n.d. | n.d. | 132,0 | |
| | | Lf (M) | 4,79 | 0,78 | 41,39 | 2,65 | 333,5 | |
| | | (I) | 4,67 | 0,52 | 17,85 | 1,90 | 425,9 | |
| | | Lr (M) | 4,16 | 0,58 | 23,91 | 1,27 | 217,1 | |
| | (prado) | 0-5cm | | 1,03 | 7,00 | 98,40 | 124,30 | 115,5 |
| 5-15cm | | | 0,43 | 8,00 | 126,10 | 126,52 | 123,5 | |
| | | Ac (M) | 4,25 | 0,03 | 2,69 | 2,44 | 247,0 | |
| | | (I) | 1,72 | 0,39 | 2,65 | 1,41 | 320,7 | |
| | | Ar (I) | 6,08 | 1,97 | 11,93 | 11,45 | 200,4 | |
| | | Et (M) | 3,05 | 1,92 | 2,75 | 4,66 | 240,7 | |
| | | Lr (M) | 2,99 | 0,67 | 3,69 | 1,59 | 326,1 | |
| | | (I) | 9,06 | 0,79 | 9,02 | 9,41 | 510,5 | |
| Rubiales (escombrera) | | 0-5cm | | 3,63 | 1038,00 | 97,30 | 29,85 | 2000,5 |
| | | 5-15cm | | 1,78 | 574,00 | 52,20 | 20,55 | 1196,5 |
| | | Dmd (M) | 14,70 | 59,65 | 17,26 | 1,56 | 246,4 | |
| | | (I) | 7,33 | 45,61 | 7,20 | 0,32 | 215,7 | |
| | | Lf (M) | 6,21 | 74,70 | 9,33 | 3,11 | 1023,2 | |
| | | (I) | 4,37 | 24,78 | 7,36 | 3,34 | 782,9 | |

Tabla 2 (cont.)

| Localidad (Biotopo) | Nivel | Especie | Cd | Pb | Cu | Ni | Zn |
|---------------------------|--------|---------|-------|---------|--------|--------|--------|
| (prado) | 0-5cm | | 0,98 | 113,00 | 59,15 | 52,15 | 620,5 |
| | 5-15cm | | 2,30 | 70,50 | 51,21 | 62,85 | 612,5 |
| | | Ac (M) | 4,03 | 17,85 | 3,82 | 2,55 | 969,3 |
| | | (I) | 3,80 | 11,92 | 5,96 | 2,55 | 594,5 |
| | | Et (I) | 8,17 | 126,31 | n.d. | 10,32 | 578,9 |
| Oulego (escombrera) | 0-5cm | | 0,25 | 22,40 | 31,00 | 46,95 | 111,5 |
| | 5-15cm | | 0,42 | 14,00 | 26,40 | 46,05 | 93,5 |
| | | Ac (M) | 0,67 | 3,88 | 4,66 | 3,49 | 137,2 |
| | | (I) | 0,68 | 2,06 | 7,23 | 2,41 | 202,6 |
| | | Ar (M) | 0,30 | 20,45 | 7,81 | 0,19 | 221,3 |
| | | (I) | 0,28 | 22,65 | 4,69 | 0,46 | 239,4 |
| | | Lf (M) | 2,34 | 9,40 | 8,05 | 5,81 | 494,6 |
| | | (I) | 1,23 | 12,15 | 6,62 | 7,73 | 298,3 |
| (regato) | 0-5cm | | 0,63 | 13,00 | 64,60 | 114,30 | 194,5 |
| | 5-15cm | | 0,98 | 13,50 | 58,60 | 97,30 | 195,0 |
| | | Ac (M) | 2,10 | 5,71 | 7,61 | 7,61 | 375,0 |
| | | (I) | ,58 | 2,27 | 5,11 | 3,97 | 342,0 |
| | | Et (M) | 2,72 | 8,90 | 10,92 | 49,18 | 202,1 |
| | | (I) | 2,42 | 2,87 | n.d. | 121,21 | 151,5 |
| | | Lf (I) | 3,46 | 1,97 | 9,87 | 7,89 | 345,6 |
| San Tirso (escombrera) | 0-5cm | | 0,43 | 150,50 | 59,10 | 65,30 | 459,0 |
| | 5-15cm | | 0,38 | 160,50 | 63,40 | 66,60 | 466,0 |
| | | Ac (M) | 2,78 | 15,84 | 8,23 | 2,53 | 686,9 |
| | | (I) | 4,02 | 26,38 | 4,54 | 2,30 | 689,7 |
| | | Ar (M) | 1,80 | 13,47 | 9,32 | 1,70 | 340,9 |
| | | (I) | 1,00 | 15,32 | 6,32 | 1,49 | 734,1 |
| | | Lf (I) | 1,47 | 13,65 | 5,93 | 0,59 | 728,6 |
| (prado) | 0-5cm | | 0,23 | 16,50 | 46,45 | 61,00 | 103,5 |
| | 5-15cm | | 0,53 | 15,50 | 44,75 | 61,10 | 100,5 |
| | | Ac (M) | 0,89 | 5,88 | 4,41 | 1,96 | 256,1 |
| | | (I) | 0,77 | 7,01 | 4,46 | 1,91 | 372,6 |
| | | Lf (M) | 1,46 | 7,68 | 12,16 | 2,56 | 494,8 |
| | | (I) | 0,52 | 7,30 | 4,17 | 5,21 | 302,7 |
| Friera (escombrera) | 0-5cm | | 9,45 | 1888,00 | 221,45 | 40,75 | 798,4 |
| | 5-15cm | | 9,65 | 2066,50 | 333,40 | 44,80 | 820,2 |
| | | Lf (I) | 5,76 | 67,09 | 25,97 | 6,49 | 2155,8 |
| (prado) | 0-5cm | | 6,62 | 5015,80 | 572,70 | 24,75 | 860,4 |
| | 5-15cm | | 7,44 | 4728,15 | 502,03 | 19,85 | 864,2 |
| | | Lf (I) | 10,13 | 158,60 | 36,05 | 4,75 | 1677,8 |

de los casos la concentración en los suelos de la escombrera fue mayor que en la zona adyacente, siendo excepción Oulego (Cd, Cu, Ni y Zn), Frieria (Pb, Cu y Zn), Piquitos y Rubiales (Ni).

En lo que respecta a los niveles 0-5 cm y 5-15 cm, la concentración de los cinco metales a veces es mayor en el primero y otras en el segundo.

La concentración de Cd y Zn es mayor en las lombrices que en el suelo, salvo alguna excepción, como la de *D. madeirensis* para el Zn, en la que tanto en individuos maduros como en inmaduros fue menor que la del suelo. En el caso del Pb, Cu y Ni su concentración en las lombrices es menor que la de los suelos.

Existen diferencias en la concentración de metales entre las distintas especies consideradas individualmente, pero si se agrupan por categorías ecológicas las diferencias son variables y no siguen una pauta clara.

Sólo tres especies, *A. caliginosa* (maduros e inmaduros), *L. friendi* (inmaduros) y *L. rubellus* (maduros), aparecieron tanto en la escombrera como en la zona adyacente en alguna de las minas: *A. caliginosa* en Piquitos, Oulego y San Tirso, *L. friendi* en

Piquitos, Oulego, San Tirso y Frieria y *L. rubellus* en Piquitos.

Al comparar los resultados de estas especies, se aprecia que, si la concentración de metal es mayor en la escombrera que en la zona adyacente se sigue la misma pauta en los individuos capturados en la escombrera o en la zona adyacente (figs. 1-5).

A. caliginosa (maduros e inmaduros) y *L. friendi* (inmaduros) son las que aparecieron el mayor número de veces, siete en el caso de la primera especie y ocho la segunda, por lo que sus datos en los cinco metales se utilizaron para un conjunto de análisis de regresión lineal (transformando los datos logarítmicamente) entre la concentración en el suelo y en la lombriz. En concreto se han realizado análisis con los datos de los niveles 0-5 cm y 5-15 cm, con el valor medio de ambos y globalmente considerando cada dato como una submuestra. Como todos los análisis han producido resultados similares, sólo se indican los correspondientes a los niveles 0-5 cm y 5-15 cm. Los resultados obtenidos (R^2) se indican en la tabla 3. Se observa que no existe ninguna relación significativa para el Ni, mientras que el Zn ha resultado significativo en todos los casos.

Tabla 3. Valores de R^2 del análisis de regresión lineal entre la concentración de metales en el suelo y en las lombrices: ns. No significativo; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. (Para abreviaturas ver tabla 2).

R^2 values of the linear regression analysis between concentration of metals in the soil and in the earthworms: ns. Non significant; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$. (For abbreviations see table 2).

| Especie | Nivel | R^2 | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|------|----------|
| | | Cd | Pb | Cu | Ni | Zn |
| Ac (M) | 0-5 cm | 0,887** | n.s. | n.s. | n.s. | 0,873** |
| | 5-15 cm | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | 0,902*** |
| Ac (I) | 0-5 cm | n.s. | 0,760** | n.s. | n.s. | 0,603* |
| | 5-15 cm | n.s. | 0,771** | n.s. | n.s. | 0,623* |
| Lf (I) | 0-5 cm | 0,782** | 0,740** | 0,809** | n.s. | 0,642* |
| | 5-15 cm | 0,500* | 0,731** | 0,810** | n.s. | 0,759** |

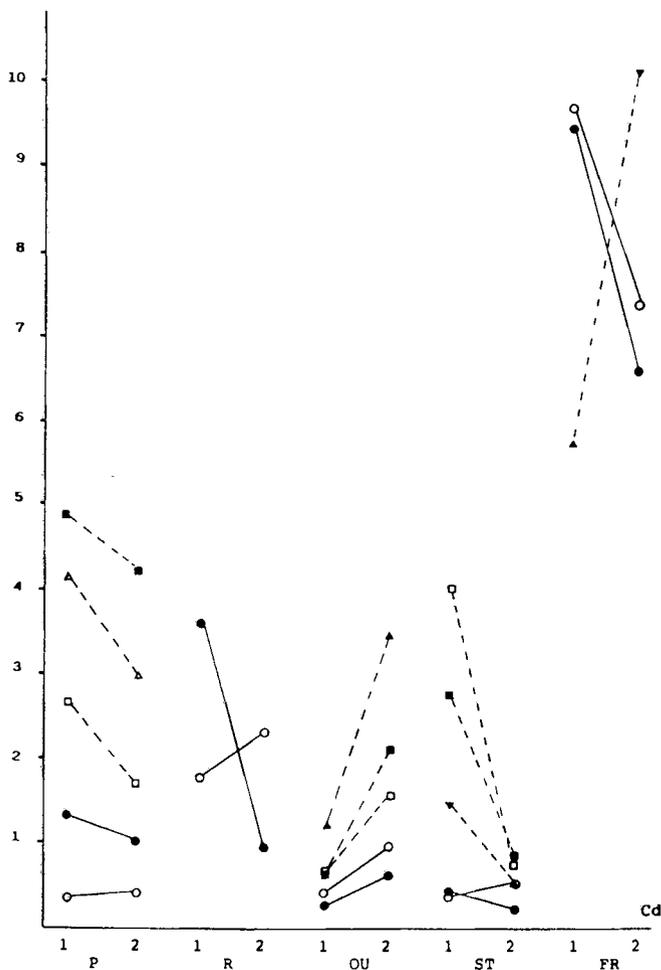


Fig. 1. Concentración de Cd en suelos y lombrices de las cinco minas muestreadas ($\mu\text{g g}^{-1}$, peso seco): 1. Escombrera; 2. Zona adyacente; P. Piquitos; R. Rubiales; OU. Oulego; ST. San Tirso; FR. Frieria; ●—● nivel 0-5 cm; ○—○ nivel 5-15 cm; ■—■ *A. caliginosa* (maduros); □—□ *A. caliginosa* (inmaduros); ▲—▲ *L. friendi* (inmaduros); △—△ *L. rubellus* (maduros).

Cd concentration ($\mu\text{g g}^{-1}$, dry weight) in soils and earthworms at the five mines: 1. Waste heap; 2. Adjacent zone. (For abbreviations see above).

DISCUSIÓN

La concentración más alta de algunos metales en la zona adyacente que en la escombrera en varias de las minas estudiadas (Cd, Cu, Ni y Zn en Oulego; Pb, Cu y Zn en Frieria) puede ser debida a un arrastre de material desde la escombrera, ya que tanto en Frieria como en Oulego la muestra de la zona adyacente se tomó aguas abajo de un regato o debajo de una fuerte pendiente a partir de la escombrera. Valores anormales en suelos cercanos a

minas debidos a inundaciones o pendientes fueron también encontrados por ALLOWAY & DAVIES (1971) y DAVIES (1971).

La gran variabilidad en la concentración de metales en los dos niveles de profundidad se explica porque el suelo es muy heterogéneo debido a la dinámica de explotación de las minas y consiguiente mezcla de materiales, por lo que los valores de concentración de metales varían de forma amplia, tanto espacialmente como en profundidad. Esto concuerda con los datos de MARTIN &

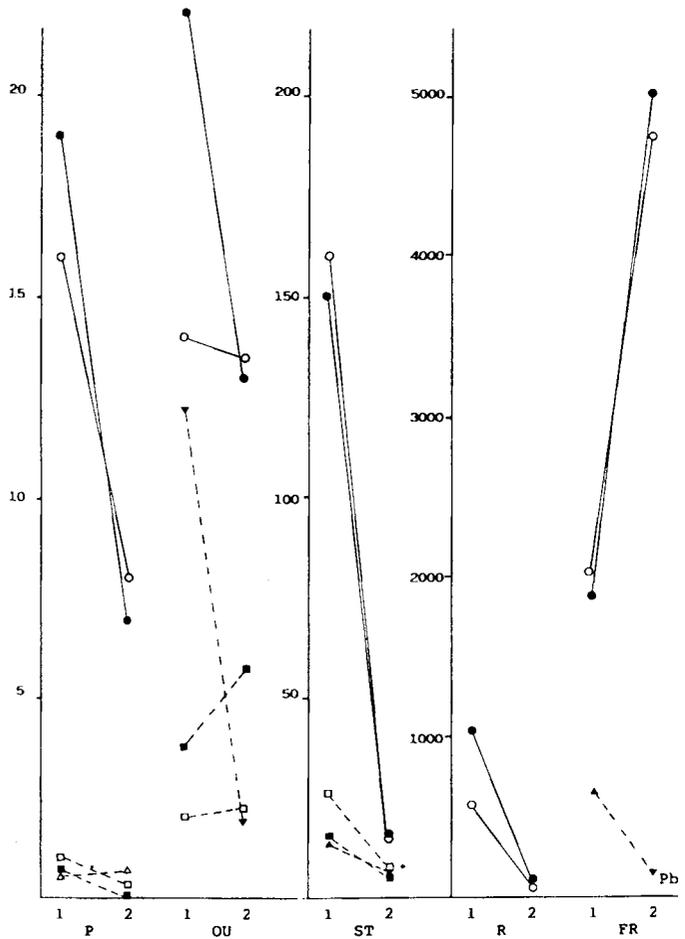


Fig. 2. Concentración de Pb en suelos y lombrices de las cinco minas muestreadas ($\mu\text{g g}^{-1}$, peso seco). (Para abreviaturas ver la figura 1).

Pb concentration ($\mu\text{g g}^{-1}$, dry weight) in soils and earthworms at the five mines. (For abbreviations see figure 1).

COUGHTREY (1982), que señalan que en lugares con entrada de metales por deposición aérea, la concentración es generalmente muy elevada en superficie, mientras que en lugares asociados a actividades mineras puede esperarse una distribución muy variable en profundidad por la perturbación que ocurre en estos suelos durante su explotación.

Los resultados de concentración obtenidos en lombrices de tierra, mayor concentración de Cd y Zn en lombrices que en el suelo y menor concentración de Cu, Pb y Ni responden, en

líneas generales, a la pauta observada por otros autores (BEYER & CROMARTIE, 1987; IRELAND, 1979; MORGAN & MORGAN, 1988; PIETZ et al., 1984), aunque en este trabajo se aportan datos sobre especies poco o nada estudiadas como *D. madeirensis*.

En lo que se refiere a las categorías ecológicas, MARIÑO et al. (1992) observan en el borde de una carretera que las mayores concentraciones de Cd, Pb y Cu las presentan las especies epigeas o las endogreas más superficiales, seguidas de las endogreas, y las menores

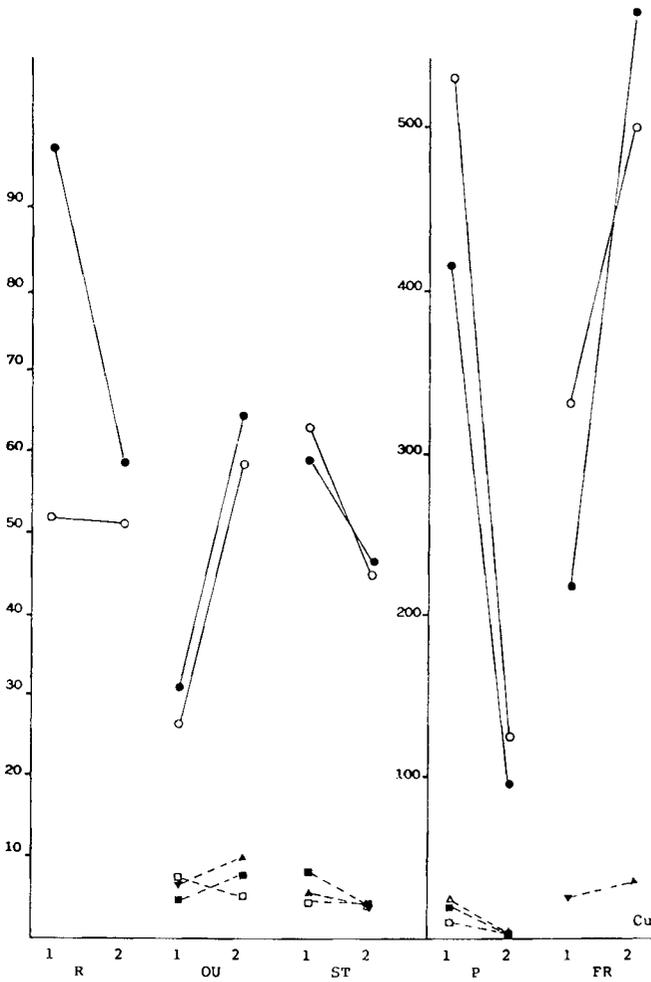


Fig. 3. Concentración de Cu en suelos y lombrices de las cinco minas muestreadas ($\mu\text{g g}^{-1}$, peso seco). (Para abreviaturas ver la figura 1).

Cu concentration ($\mu\text{g g}^{-1}$, dry weight) in soil and earthworms at the five mines. (For abbreviations see figure 1).

la especie anécica *L. friendi*; para el Zn, el comportamiento fue el inverso. En este trabajo no se observa esta pauta, lo que puede ser debido a la variabilidad de la concentración de metales en el perfil como consecuencia de la mezcla de materiales, que impide también un estudio en función de la profundidad preferencial de las especies.

Los resultados obtenidos con las especies presentes simultáneamente en las escombreras y zonas adyacentes permiten observar que generalmente existe una variación concomi-

tante de la concentración del metal en el suelo y en las lombrices, ya que si ésta es mayor en el suelo de la escombrera que en el de la zona adyacente, ocurre lo mismo en las lombrices, y al contrario. Varios autores han encontrado esta misma pauta analizando puntos a distintas distancias de algunas fuentes de contaminación como carreteras (ANDERSEN, 1980; CZARNOWSKA & JOPKIEWICZ, 1978; GISH & CHRISTENSEN, 1973), pero no ha sido mencionada en la bibliografía disponible sobre estudios en lombrices y minas.

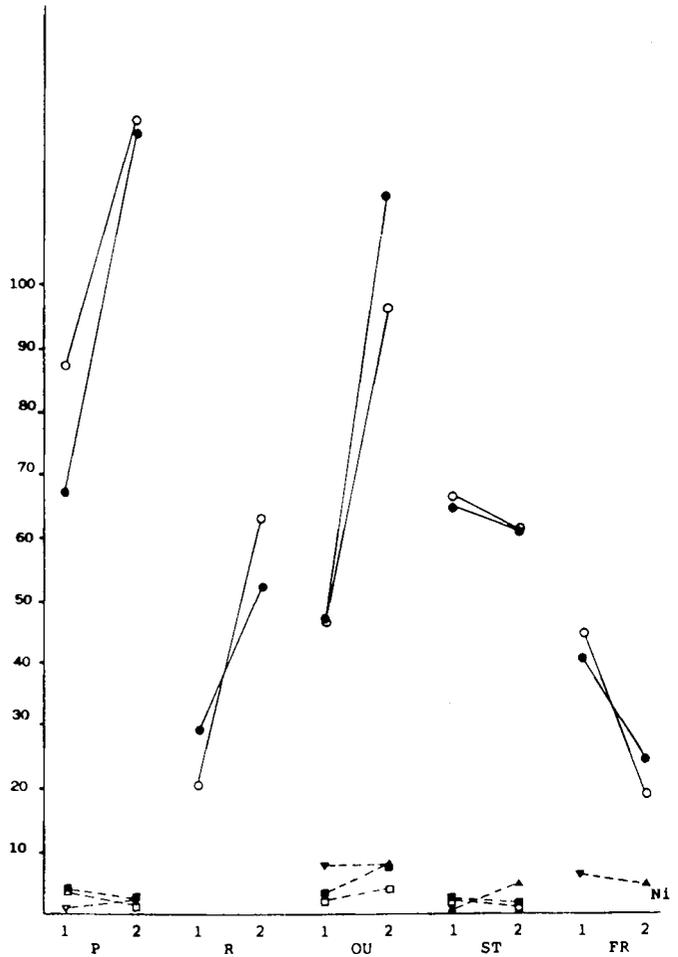


Fig. 4. Concentración de Ni en suelos y lombrices de las cinco minas muestreadas ($\mu\text{g g}^{-1}$, peso seco). (Para abreviaturas ver la figura 1).

Ni concentration ($\mu\text{g g}^{-1}$, dry weight) in soils and earthworms at the five mines. (For abbreviations see figure 1).

El análisis de regresión realizado con las especies más frecuentes muestra que la concentración de alguno de los metales en el suelo explicaría en cierta medida la variación de la concentración de esos mismos metales en las lombrices. Algunos autores han encontrado correlaciones significativas entre algunos metales en lombrices y en suelos. Así, MORGAN & MORGAN (1988) indican que la concentración total en el suelo es un factor muy importante para la concentración de Pb, Zn y sobre todo de Cd en *L. rubellus*

y *Dendrodrilus rubidus* (Savigny, 1826) procedentes de varias minas. GISH & CHRISTENSEN (1973) también encuentran una buena correlación para el Pb, Zn y Cd, pero no para el Ni. Por el contrario BEYER & CROMARTIE (1987) encuentran coeficientes de correlación muy bajos en zonas naturales, minas e industrias, lo que sugiere que la concentración en el suelo no es el único factor importante.

MARIÑO (1992), en un estudio realizado en varias zonas con diferentes entradas de

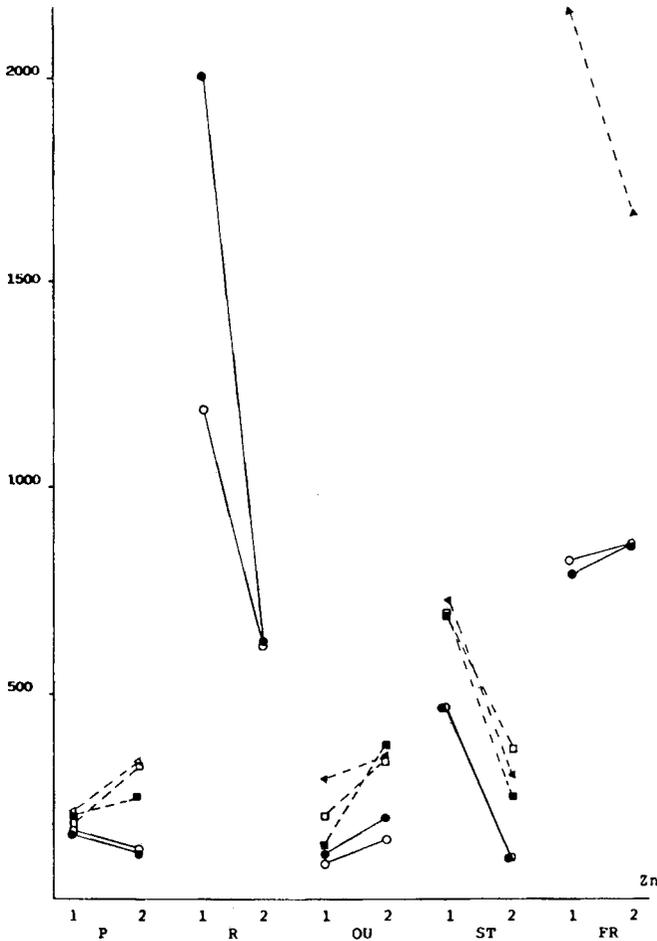


Fig. 5. Concentración de Zn en suelos y lombrices de las cinco minas muestreadas ($\mu\text{g g}^{-1}$, peso seco). (Para abreviaturas ver la figura 1).

Zn concentration ($\mu\text{g g}^{-1}$, dry weight) in soil and earthworms at the five mines. (For abbreviations see figure 1).

metal, encuentra correlaciones de Cd, Pb, Cu, Ni y Zn intermedias entre las citadas por diferentes autores, y señala que la concentración de metal en el suelo sólo explicaría una parte de la variación de la concentración en las lombrices, que sería variable en función de las especies y las zonas estudiadas.

REFERENCIAS

- ALLOWAY, B. J. & DAVIES, B. E., 1971. Trace element content of soils affected by base metal mining in Wales. *Geoderma*, 5: 197-208.
- ANDERSEN, C., 1980. Lead and cadmium content in earthworms (Lumbricidae) from sewage sludge amended arable soil. In: *Soil Biology as related to land use practices*: 148-156 (D. L. Dindal, Ed.). E. P. A., New York.
- ASH, C. P. J. & LEE, D. L., 1980. Lead, cadmium, copper and iron in earthworms from roadside sites. *Environ. Pollut. (Serie A)*, 22: 59-67.
- BEYER, W. N., CHANEY, R. L. & MULHERN, B. M., 1982. Heavy metal concentration in earthworms from soil amended with sewage sludge. *J. Environ. Qual.*, 11(3): 381-385.
- BEYER, W. N. & CROMARTIE, E. J., 1987. A survey of Pb, Cu, Zn, Cd, Cr, As & Se in earthworms and soil from diverse sites. *Environ. Monitor. Ass.*, 8: 27-36.

- CZARNOWSKA, K. & JOPKIEWICZ, K., 1978. Heavy metals in earthworms as an index of soil contamination. *Pol. J. Soil Sci.*, 11(1): 57-62.
- DAVIES, B. E., 1971. Trace metal content of soils affected by base mining in the West of England. *Oikos*, 22(3): 366-372.
- GISH, CH. D. & CHRISTENSEN, R. E., 1973. Cadmium, nickel, lead and zinc in earthworms from roadside soil. *Environ. Sci. Technol.*, 7(11): 1060-1062.
- IRELAND, M. P., 1975. Metal content of *Dendrobaena rubida* (Oligochaeta) in a base metal mining area. *Oikos*, 26: 74-79.
- 1979. Metal accumulation by the earthworms *Lumbricus rubellus*, *Dendrobaena veneta* and *Eiseniella tetraedra* living in heavy metal polluted sites. *Environ. Pollut.*, 19: 201-206.
- LOON, J. C. VAN, 1985. *Selected methods of trace metal analysis. Biological and environmental samples*. Chemical analysis, 80. John Wiley & Sons, New York.
- MA, W. CH., EDELMAN, TH., BEERSUM, I. & JANS, TH., 1983. Uptake of cadmium, zinc, lead and copper by earthworms near a zinc-smelting complex: influence of soil pH and organic matter. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 30: 424-427.
- MARIÑO, F., 1992. Lombrices de tierra y metales pesados. Tesis doctoral, Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico, Universidad de Santiago de Compostela.
- MARIÑO, F., LIGERO, A. & DÍAZ COSÍN, D. J., 1992. Heavy metals and earthworms at the border of a road next to Santiago (Galicia, NW of Spain). Initial results. *Soil Biol. Biochem.*, 24(12): 1705-1709.
- MARTIN, M. H. & COUGHTREY, P. J., 1982. *Biological monitoring of heavy metal pollution*. Applied Science Publishers, London and New York.
- MORGAN, J. E. & MORGAN, A. J., 1988. Earthworms as ecological monitors of cadmium, copper, lead and zinc in metalliferous soils. *Environ. Pollut.*, 54: 1234-138.
- PIETZ, R. I., PETERSON, J. R., PRATER, J. E. & ZENZ, D. R., 1984. Metal concentrations in earthworms from sewage sludge amended soils at a strip mine reclamation site. *J. Environ. Qual.*, 13(4): 651-654.