



## Eficiencia de acumulación de Fe, Cu, Zn y Se en lombriz de tierra (*Eisenia fetida*) como base para la elaboración de un suplemento nutricional con oligoelementos.

Lué-Merú Marcó P<sup>1</sup>, Lisbeth Materano<sup>2</sup>, Danbel Verde<sup>2</sup>, José Adolfo Moreno \*<sup>3</sup> Yolmar Ríos<sup>1</sup>, Gosmyr Torres<sup>1</sup>.

- 1) Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA), Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- 2) Universidad Nacional Experimental Politécnica (UNEXPO), Dpto. Ingeniería Química, Barquisimeto, Lara, Venezuela.
- 3) Decanato de Ciencias de la Salud, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA), Barquisimeto, Lara. Venezuela.

(\*) [jvalero@ucla.edu.ve](mailto:jvalero@ucla.edu.ve).

Recibido: 17/10/2011

Revisado: 22/02/2012

Aceptado: 23/02/2012

### Resumen

Se determinó la bioacumulación de Cu, Fe, Zn y Se, en el tejido de la lombriz de tierra para evaluar la factibilidad de uso como suplemento nutricional. Se utilizó un sustrato de vermicompost enriquecido (control y tres dosis de cada elemento). Se evaluó el efecto sobre el crecimiento, mortalidad y las concentraciones en el tejido. Sólo se encontraron diferencias significativas respecto al control para el cobre. Sin embargo, las concentraciones en el tejido para todos los grupos son altas comparadas con algunos alimentos de la dieta diaria constituyendo una alternativa para suplir y compensar la deficiencia de estos microelementos.

**Palabras clave:** Micronutrientes, suplemento, bioacumulación, *Eisenia fetida*, espectrofotometría.

### Abstract

It has been determined the bioaccumulation of Cu, Fe, Zn and Se, in the tissue of earthworms to evaluate the possibility of use as a nutritional supplement. Was analyzed a vermicompost enriched substrate (control and three doses of each element). We studied the effect on growth, mortality and tissue concentrations. Significant differences were found for copper control. However, tissue concentrations for all groups are high compared to some foods from the diet is an alternative to replace and compensate for the deficiency of these trace elements.

**Keywords:** Micronutrients, supplement, bioaccumulation, *Eisenia fetida*, spectrophotometry.

### Introducción

Los organismos vivos demandan una cantidad de nutrientes esenciales para llevar a cabo procesos químicos y eléctricos, que les mantiene en funcionamiento normal. Estos elementos se clasifican, según la cantidad requerida por el organismo, en macrominerales (Ca, P, Mg, K y Na, por ejemplo) y oligoelementos (Zn, Cu, Se, Fe, I, entre otros), los cuales se necesitan en proporciones de microgramos ( $\mu\text{g}$ ). Todos deben estar presentes en la alimentación y su deficiencia es causa de enfermedades. Los oligoelementos deberían ser suministrados en la dieta diaria, debido a que muchos alimentos son pobres en el contenido de los mismos. Una alternativa para solventar la carencia de oligoelementos es el suministro de productos ricos en estos minerales, garantizando eficiencia en la asimilación y competitividad económica.

La lombricultura es una biotecnología que permite la obtención de proteínas a bajo costo con gran interés nutricional y ecológico y, adicionalmente, bioacumulación de oligoelementos en el tejido, de forma simple y barata<sup>1</sup>. Su carne puede ser utilizada en la alimentación animal como parte de dietas no convencionales en roedores, peces, mascotas domésticas y pequeños rumiantes. La harina deshidratada de *Eisenia spp.*, presenta una elevada concentración de proteínas (> 60% en base seca) y de aminoácidos esenciales para la dieta.

En este sentido, García et al.<sup>2</sup>, evaluaron la composición química y el valor nutritivo de la harina utilizando cuatro tipos de sustrato, en condiciones cálidas, encontrando que todas las harinas obtenidas presentaron niveles proteicos superiores al 53% en base seca, elevada fracción energética de aminoácidos y minerales. Los sustratos ensayados no

causan variaciones importantes en la composición química y el valor nutritivo de la harina de *Eisenia spp.*, a excepción de los contenidos de algunos microelementos. Esta fuente de nutrimentos pudiera utilizarse satisfactoriamente como suplemento esencialmente proteico en la alimentación animal, y de oligoelementos debido a que la lombriz de tierra acumula metales pesados en su tejido corporal<sup>3</sup> en dependencia del tiempo de exposición y del tipo de especie<sup>4</sup>, la salinidad del suelo o sustrato<sup>5</sup>. Los mecanismos dependen de cada elemento y especie, sin embargo los anélidos modifican las condiciones del sustrato y pueden modificar la biodisponibilidad y movilidad de los metales contenidos, tanto esenciales como no esenciales<sup>6</sup>. Los mecanismos no son muy claros, pero se relacionan con la estimulación de la actividad microbiana y la alteración del pH o el carbono orgánico disuelto, y principalmente con la concentración del elemento en el sustrato. Pueden diferir para los elementos esenciales respecto de los elementos tóxicos<sup>7</sup>, debido especialmente a la regulación del consumo y eliminación de los elementos esenciales como Cu y Zn. Las lombrices secuestran los metales en su tejido chloragogenous en dos estructuras distintas y tienen una alta resistencia a los ambientes contaminados<sup>8</sup>.

Por otra parte, Vielma y Rondón<sup>9</sup> determinaron la composición química de la harina de lombriz y a la vez estudiaron su solubilidad, como una propiedad funcional importante para la formulación de alimentos. El contenido de proteínas, grasas y cenizas se determinó por el método de la AOAC, mientras que fibra y humedad se determinó por digestión in vitro (ácida-básica) y Karl-Fisher respectivamente. El índice de solubilidad se ensayó en un rango de pH de 3,0 hasta 8,0. La composición química de la harina de lombriz en términos porcentuales fue satisfactoria, debido a que algunos de estos valores fueron superiores a los reportados en la Tabla de Composición del INN para algunos alimentos tradicionales y a los reportados por investigadores que han trabajado con este tipo de lombriz. Por lo tanto se puede decir, que este recurso no convencional provee una excelente fuente de nutrientes en la alimentación humana y animal<sup>10</sup>.

Por lo antes expuesto, en la presente investigación se plantea evaluar la capacidad de bioacumulación de los microelementos Cu, Fe, Zn y Se por parte de la lombriz californiana (*E. fetida*), con el fin de evaluar su potencial como base para la elaboración de un suplemento nutricional de estos elementos.

## Parte experimental

### Materiales

Abono orgánico de lombriz, marca Sauce, vasos desechables de 500mL de capacidad, Organza y gomas para fijar las tapa

de los vasos contentivos del sustrato con lombrices. Se utilizó agua destilada para el riego y mantenimiento de la humedad.

### Reactivos

Patrones comerciales de Fe, Cu, Zn y Se de 1000mgL<sup>-1</sup> marca CIBA-CORNING (Alemania). Sulfato de hierro (II) al 99,5% de pureza, marca Merk. Borohidruro de sodio (NaBH<sub>4</sub>) al 99% de pureza, Riedel de Haen (Alemania). Hidróxido de sodio (NaOH) al 99% marca AKSO CHEMICAL (Alemania). Acido clorhídrico (HCl) al 37% , Riedel de Haen. Acido nítrico (HNO<sub>3</sub>) al 65% Riedel de Haen (Alemania). Peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al 30%, Riedel de Haen (Alemania). Las diluciones se realizaron con agua destilada y desionizada.

### Equipos

Estufa eléctrica Schutzart FRG, modelo D-91126), pH-metro marca Orión modelo 230<sup>o</sup>, balanza analítica modelo 3000, marca Adventis, capacidad 210 ±0,0001g. Espectrómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer, modelo 3110 con acople de generador de hidruros modelo MHS-10.

### Métodos

Se planteó un diseño experimental para evaluar la eficiencia de bioacumulación de Fe, Cu, Zn y Se, por la lombriz de tierra, a tres dosis de los microelementos. (Ver tabla 1) en un sustrato de vermicompost comercial enriquecido, previamente caracterizado (ver tabla 2).

### Población y muestra

La población estuvo conformada por lombrices de la especie *Eisenia fetida*, originarias de una producción comercial ubicada en Sanare, Edo. Lara, Venezuela. La muestra se constituyó con trescientos cincuenta individuos seleccionados al azar. Como medio o sustrato se utilizó abono de lombriz (vermicompost) comercial.

### Ensayo

**Fase 1:** durante esta fase se realizó la caracterización del vermicompost en función del pH, % de humedad, % de cenizas y concentraciones de Fe, Cu, Zn, y Se. Posteriormente se preparó el sustrato con tres dosis de enriquecimiento de cada elemento.

**Tabla 1:** Dosis empleadas de hierro, cobre, zinc y selenio en sustrato de vermicompost comercial.

Elemento	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3
Hierro (Fe) (mgKg-1)	22.000	23.000	24.000
Cobre (Cu) (mgKg-1)	93	123	185
Zinc (Zn) (mgKg-1)	210	245	280
Selenio (Se) (mgKg-1)	8,00	8,50	9,00

**Tabla 2.** Caracterización química del vermicompost. n=5.

Parámetro	
pH	7,0 (0,1)
Humedad (%)	50 (1)
% Cenizas	38 (1)
Fe (mg/Kg)	21267 (8)
Cu(mg/Kg)	62 (6)
Zn(mg/Kg)	140 (9)
Se(mg/Kg)	7,5 (1)

Valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar, n=5.

**Determinación del pH:** se midió utilizando un pHmetro, previamente calibrado en muestras preparadas con 10g de vermicompost en 25mL de agua desionizada, por quintuplicado.

**Determinación del porcentaje de humedad:** las muestras de vermicompost se secaron en la estufa en crisoles por 24 horas a una temperatura de 100°C. Se enfriaron en desecador y se pesaron en la balanza analítica hasta peso constante. El porcentaje de humedad se calculó a partir de la fórmula:

$$\% \text{ de humedad} = ((\text{Peso de muestra húmeda} - \text{Peso de muestra seca}) / \text{Peso de muestra húmeda}) * 100$$

**Determinación del porcentaje de ceniza:** se colocó un gramo de muestra completamente seca (peso constante) en un crisol tarado y se calcinó hasta cenizas en mecheros. Posteriormente, las muestras se enfriaron en desecador y se pesaron. El porcentaje de ceniza se obtiene a partir de la ecuación:

$$\% \text{ ceniza} = ((\text{Peso crisol} + \text{ceniza} - \text{Peso del crisol}) / \text{Masa seca}) * 100$$

**Determinación de la concentración inicial de Fe, Cu, Zn y Se en vermicompost:** se pesó 1g del material seco y se sometió a un proceso de digestión húmeda con HNO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Las muestras digeridas fueron filtradas por gravedad y aforadas a 50mL. Las muestras así obtenidas se analizaron en el espectrómetro de absorción atómica en llama, para cuantificar los elementos Fe, Cu y Zn directamente<sup>2,3</sup>. La determinación de selenio se realizó por el método de generación de hidruros. Una alícuota de 1mL de muestra digerida junto a 1mL de HCl 5M fue colocada en un baño térmico a 150°C por 60 minutos para asegurar la pre-reducción del selenio a Se (IV). Posteriormente la muestra se transfiere cuantitativamente a un balón aforado de 10mL y se afora con una solución de HCl 0,5M. La muestra es llevada al generador de hidruros para la conversión del Se (IV) a SeH<sub>4</sub>, utilizando una solución de borohidruro de sodio (3% m/V) en hidróxido de sodio (3% m/V), como se detallará posteriormente en el procedimiento para la preparación de las muestras de tejido de lombriz (determinación de selenio).

#### *Preparación de los sustratos*

Tomando en cuenta las concentraciones iniciales de los elementos Fe, Cu, Zn y Se en el vermicompost, se procedió a

calcular las tres dosis para el enriquecimiento sobre la base de 40g de vermicompost en cada réplica.

Para el hierro se preparó una solución de 70000mg/L de sulfato de hierro (II). Para los restantes elementos el enriquecimiento se realizó con los patrones de 1000mg/L. El pH final de los sustratos en cada envase se ajustó con una solución de NaOH (1M). En cada caso se calculó la alícuota de solución con el elemento que debía ser añadida a 40g de sustrato en cada envase, para obtener las concentraciones o dosis que se muestran en la tabla 1.

**Fase 2:** cultivo de lombrices de tierra. El experimento se desarrolló en el Laboratorio de Análisis Instrumental del Decanato de Ingeniería Agronómica de la Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA), en la localidad de Cabudare del municipio Palavecino, estado Lara. En primer lugar se elaboraron 70 réplicas, cada una formada por un recipiente plástico contentivo de 40g del vermicompost previamente analizado.

A continuación se determinó la talla de cada lombriz colocándola sobre una superficie plana con una regla graduada al observar una posición de reposo, luego se procedió a pesarla sobre un vidrio de reloj en una balanza analítica con una precisión de 0,0001g. Cada vez que se tenía una lombriz medida y pesada se procedía a colocarla en una réplica hasta completar 5 lombrices. Así sucesivamente hasta obtener 70 réplicas.

Los envases con vermicompost y las 5 lombrices fueron separados en grupos, de acuerdo a la tabla 3. La adición de los elementos se realizó agregando un volumen de solución del elemento calculado para obtener una concentración final del mismo como se señala en la tabla 3.

Los individuos fueron observados y cultivados por un periodo de 15 días. Se añadió agua destilada diariamente en los envases para mantener la humedad en los sustratos. Se pasó luego a la fase tres del experimento.

**Fase 3:** limpieza purga de lombrices. Una vez transcurridos los 15 días del experimento se procedió a retirar las lombrices de los cultivos y se efectuó la operación de limpieza, la cual consiste en exponer las lombrices a una mezcla preparada con harina de maíz y agua desionizada de consistencia similar a la del vermicompost, con el fin de retirar el mismo de su organismo, conservando la distribución de bloques.

**Fase 4:** medición de variables de las lombrices. Luego de la limpieza se determinó la talla y el peso de cada una de las lombrices tal como se hizo al principio del experimento. Cabe destacar que no se observaron fugas, ni decesos en ninguno de los grupos estudiados. Finalmente, se procedió a la determinación del peso seco o porcentaje de humedad y el porcentaje de cenizas. La digestión se realizó a la muestra seca, como se describe posteriormente.

*Procedimiento para la preparación de las muestras de tejido de lombriz:*

Proceso de digestión por vía húmeda: se tomaron muestras de lombrices de los diferentes bloques por separado y se sometieron al proceso de digestión por vía húmeda con  $\text{HNO}_3$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Para ello se colocaron todas las lombrices de cada réplica, previamente secadas en la estufa y pesadas, en una fiola. A continuación se añadieron 5mL de  $\text{HNO}_3$  concentrado a cada muestra contenida en los vasos de precipitado y se colocaron en una plancha de calentamiento

manteniendo una temperatura de  $80^\circ\text{C}$  bajo campana extractora hasta casi sequedad; se le añadió nuevamente 5mL de  $\text{HNO}_3$  y se continuó el calentamiento hasta notar ausencia de vapores marrones lo cual es indicativo que la materia orgánica presente en las muestras ha sido eliminada, en cuyo caso termina el proceso de digestión. Seguidamente se retiró la muestra de la plancha y se le adicionó 4 gotas de peróxido de hidrógeno al 30%, se dejó enfriar a temperatura ambiente, para filtrar y enrasar en balón de 50mL.

**Tabla 3.** Distribución del experimento

BLOQUE	DESCRIPCIÓN
1	Formado por 10 recipientes, contentivos de 40g de abono sin enriquecer y 5 lombrices, que servirán como grupo control
2	Formado por 5 recipientes, contentivos de 40g de abono, enriquecido con 22000ppm de hierro y 5 lombrices
3	Formado por 5 recipientes, contentivos de 40g de abono, enriquecido con 23000ppm de hierro y 5 lombrices
4	Formado por 5 recipientes, contentivos de 40g de abono, enriquecido con 24000ppm de hierro y 5 lombrices
5	Formado por 5 recipientes, contentivos de 40g de abono, enriquecido con 92ppm de cobre y 5 lombrices
6	Formado por 5 recipientes, contentivos de 40g de abono, enriquecido con 123ppm de cobre y 5 lombrices
7	Formado por 5 recipientes, contentivos de 40g de abono, enriquecido con 185ppm de cobre y 5 lombrices
8	Formado por 5 recipientes, contentivos de 40g de abono, enriquecido con 210ppm de zinc y 5 lombrices
9	Formado por 5 recipientes, contentivos de 40g de abono, enriquecido con 245ppm de zinc y 5 lombrices
10	Formado por 5 recipientes, contentivos de 40g de abono, enriquecido con 280ppm de zinc y 5 lombrices
11	Formado por 5 recipientes, contentivos de 40g de abono, enriquecido con 8ppm de selenio y 5 lombrices
12	Formado por 5 recipientes, contentivos de 40g de abono, enriquecido con 8,5ppm de selenio y 5 lombrices
13	Formado por 5 recipientes, contentivos de 40g de abono, enriquecido con 9ppm de selenio y 5 lombrices

*Preparación de las soluciones patrón y muestras*

Para el selenio, se prepararon patrones de concentraciones 0,002; 0,005; 0,01  $\mu\text{g/mL}$  de selenio, a partir de una solución de 1mg/L, enrasando con HCl 0,5N y se tomaron alícuotas de 1mL de muestras digeridas; 1mL tanto de los patrones como las muestras fue colocado previamente en baño de maría por un lapso de una hora junto a 1mL de HCl 5M como se detalla en la fase 1 del experimento para la pre-reducción del selenio. Posteriormente se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente, se aforaron a 10mL con HCl 0,5M y se llevaron al generador de hidruros para la conversión del Se (IV) a  $\text{SeH}_4$ , para finalmente medir la absorbancia.

Para los elementos hierro, cobre y zinc, se prepararon patrones de concentración conocida de estos analitos y se procedió a medir su absorbancia al igual que las muestras digeridas (Tabla 4).

*Determinación de Selenio*

Se preparó la solución de borohidruro de sodio al 3% m/v en NaOH al 3% m/V y se agregó al reservorio destinado para tal fin; debido a que el reactivo tiende a descomponerse al cabo

de 12 horas, fue preparado al momento de las cuantificaciones de las muestras.

**Tabla 4.** Condiciones de operación del Espectrofotómetro de Absorción Atómica

Parámetro	Fe	Cu	Zn	Se
Longitud de onda (nm)	248,3	324,8	213,9	204,0
Llama	Aire/Acetileno			
Gas de arrastre, Psig	--	--	--	Nitrógeno
Slit, nm	0,7	0,2	0,7	0,7
Tiempo de pulsación, s	5	5	5	5
Intensidad de corriente, mA	30	15	15	20

Fuente: propia

Al vaso de reacción, se le añade una alícuota de 1mL de muestra digerida y pre-reducida en 10mL de ácido clorhídrico (0,5M). Se procede a colocar el vaso de reacción que contiene la muestra en el sistema neumático. Se pulsa el botón accionando el mismo y se hace circular el nitrógeno al reservorio del borohidruro de sodio, siendo transportado al vaso de reacción que contiene la muestra produciéndose hidruro de selenio, el cual es arrastrado por el gas a la celda previamente para medir finalmente su absorbancia.

### Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) de acuerdo al procedimiento del programa SPSS 13.0 realizando un análisis de varianza con el propósito de comprobar si presentaron variación significativa durante todo el experimento, para ello se aplicaron pruebas post hoc, para un nivel de significancia del 0,05 en HSD de Tukey y el test de Sheffé de homogeneidad de varianza<sup>11</sup>.

### Resultados y discusión

Para evaluar el efecto de las diferentes dosis de los elementos Fe, Cu, Zn y Se, sobre el crecimiento y mortalidad de las lombrices, se determinaron la talla y peso fresco al inicio y al final del experimento, contándose los individuos (Tablas 5 y

**Tabla 5:** Peso fresco de las lombrices en diferentes estadios del experimento. n=25.

Elemento	Peso Inicial (mg)			Peso Final (mg)		
	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3
Fe	0,14±0,05	0,14±0,05	0,13±0,04	0,18±0,08	0,17±0,06	0,17±0,06
Cu	0,16±0,07	0,15±0,05	0,18±0,05	0,24±0,09	0,21±0,06	0,24±0,07
Zn	0,15±0,04	0,16±0,04	0,17±0,07	0,21±0,07	0,21±0,06	0,20±0,07
Se	0,13 ±0,05	0,15±0,04	0,15±0,04	0,21±0,06	0,23±0,06	0,29±0,06

Control: Inicio 0,16 ± 0,05; Final: 0,27 ± 0,06

En relación a la talla, se observa que tanto para el hierro como el cobre, las lombrices expuestas a la dosis 1 presentaron mayor porcentaje de variación mientras que se observó la menor variación con la dosis 2. En cuanto al zinc, se encontró el mayor porcentaje de variación de peso en la segunda dosis. Las lombrices pertenecientes a los grupos experimentales enriquecidos con hierro, cobre y zinc presentaron un menor porcentaje de variación de talla con respecto al grupo control, por ende las dosis aplicadas de estos elementos no contribuyen al incremento y suficientes para el desarrollo. Las lombrices expuestas a la segunda dosis de selenio presentaron el mayor porcentaje de variación de talla con respecto al grupo control, indicando que este aumento favorece el aumento de la variable (Tabla 6).

Las lombrices expuestas en los grupos experimentales sufrieron cambios en cuanto a peso y talla con respecto al grupo control, lo cual indica que estos organismos no pudieron desarrollarse normalmente, sin embargo se adaptaron al medio puesto que no hubo ni fugas ni decesos durante el tiempo del experimento.

En la tabla 7, se observan diferencias significativas para el hierro y un aumento en la concentración en tejido para la dosis mayor (tercera dosis), con respecto al control. En relación con el cobre para las tres dosis se observan diferencias significativas respecto al control, y aumento en las concentraciones del elemento en el tejido.

6). Durante el experimento no se observaron fugas ni decesos de los individuos.

Las pruebas post hoc para un nivel de significancia de 0,05 en HSD de Tukey y el Test de Sheffe de homogeneidad de varianza indican que no hay diferencias significativas entre los grupos experimentales hierro, cobre y zinc con respecto al grupo control para la primera dosis de cada elemento. Para la segunda y la tercera dosis se encuentran diferencias significativas respecto al control, encontrándose pesos menores en los grupos experimentales, mientras que los grupos con selenio no representan diferencias significativas respecto al control en las dosis 2 y 3, aunque sí para la primera dosis.

**Tabla 6:** Talla de las lombrices en diferentes estadios del experimento. n=25

Elemento	Talla Inicial (cm)			Talla Final (cm)		
	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3
Fe	6±1	7±1	6±1	7±1	7±1	7±2
Cu	6±1	6±1	7±1	6±2	7±2	7±2
Zn	6±1	7±1	6±1	7±2	7±2	7±1
Se	6±1	6±1	7±1	7±2	8±1	8±1

Control: Inicio 6 ± 1; Final: 8 ± 1

Con el elemento zinc no se encontraron diferencias significativas entre las tres dosis ensayadas y el grupo control, por lo que no hay acumulación efectiva respecto a una alimentación con vermicompost enriquecido. El selenio tampoco es acumulado en los grupos experimentales al comparar con el control, el cual presenta una concentración del elemento significativamente mayor respecto al grupo experimental con la dosis más alta de selenio añadida al sustrato. No se encontraron diferencias significativas respecto a la primera y segunda dosis, según lo demostrado por las pruebas estadísticas aplicadas. De lo anteriormente expuesto se puede inferir que para los elementos esenciales existe un control fisiológico y una posible excreción de los mismos. De forma general se puede observar que el zinc y el hierro no presentan diferencias respecto al control para ninguna de las dosis, debido a que las lombrices son capaces de regular los niveles de estos elementos esenciales<sup>4</sup>; el selenio es excretado

cuando se utiliza la dosis mayor del elemento en el sustrato, y el cobre es acumulado por las lombrices al comparar respecto al grupo control, aunque no se presenta diferencias significativas entre los niveles en los sustratos contaminados. El comportamiento no difiere significativamente del observado por Carvajal *et al.*<sup>12</sup> en un estudio similar realizado para evaluar la bioasimilación de estos elementos por el

camarón de río (*Macrobrachium amazonicum*). Los niveles de estos oligoelementos son superiores a los aportados por un grupo importante de alimentos y posibles sustitutos como serían la *Lemna minor* y el camarón de río, como se muestra en la tabla 8. Los valores son adecuados para enriquecer suplementos alimenticios en nutrición animal, principalmente para el selenio<sup>13</sup>.

**Tabla 7:** Cuantificación de los niveles de hierro, cobre, zinc selenio. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas. n=5.

Elemento	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3	Grupo control
Hierro (mgKg-1)	640±142(a)	590±147(a)	760±113(b)	460±141(a)
Cobre (mgKg-1)	99±29(a)	68±15(a)	87±21(a)	42±9(b)
Zinc (mgKg-1)	170±71(a)	125±13(a)	138±14(a)	132±26 (a)
Selenio(mgKg-1)	11±1(a)	12±1(a)	8,0±0,5(b)	14±1(a)

**Tabla 8.** Composición de los alimentos en miligramos por cada 1000g<sup>14-16</sup>.

Alimento	Fe	Cu	Zn	Se
Carnes	9	1,5 a 4	15 a 50	0,01 a 0,04
Cereales y granos	16	2 a 3,7	1 a 8	0,01 a 0,08
Productos lácteos	1 a 2	0,2 a 3	1 a 5	0,01 a 0,03
Frutas y vegetales	1 a 3	0,7 a 1,6	1 a 8	Menos de 0,01
Leguminosas		13,4	17	
Gramíneas, maíz, cebada		5; 3,6; 9,1	17;21;17	
Camarón <i>M. amazonicum</i>	22,5	185,0	92,3	0,13
<i>Lemna minor</i>		14,5	330	
Lombriz de tierra ( <i>E.fetida</i> )	590-764	68-99	125-168	8-12

## Conclusiones

La lombriz de tierra (*Eisenia fetida*) a las concentraciones de enriquecimiento de sustrato empleadas en este estudio sólo muestra diferencias significativas respecto al control para el elemento cobre, debido a la autoregulación de los niveles.

Un enriquecimiento del sustrato no se traduce en un aumento en las concentraciones de los elementos. Sin embargo, las concentraciones de los oligoelementos Fe, Cu, Zn y Se en el tejido de la lombriz para todos los grupos son altas en comparación con algunos alimentos de la dieta diaria, por lo que se puede afirmar que la harina de lombriz es un alimento de alto valor nutricional en lo que respecta al contenido de oligoelementos, que está aunado a su alto valor proteico de excelente calidad.

En este sentido es una alternativa para suplir y compensar la deficiencia de microelementos con productos naturales y de más alta capacidad para la bioasimilación en comparación con los suplementos minerales.

## Referencias

1. R Vielma, A Usubillaga, A Medina. Estudio preliminar de los niveles de ácidos grasos de la harina de lombriz (*Eisenia foetida*) mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. **Rev. Fac. Farm.**, **45** (2), 39-44 (2003).
2. D García, J Cova, A Castro, M Medina, J Palma. Efecto del sustrato alimenticio en la composición química y el valor

nutritivo de la harina de la lombriz roja (*Eisenia* spp.). **Rev. Cien. FCV-LUZ**, **XIX**(1), 55-62 (2009).

3. M Shahmansouri, H Pourmoghadas, A Parvareh, H Alidadi. Heavy metals bioaccumulation by Iranian and Australian earth worms (*Eisenia foetida*) in the sewage sludge vermicomposting. **J. Env. Health Sci. Eng.**, **2**(1), 28-32 (2005).
4. J. Dai, T Becquer, J Rouiller, G Reversat, J Bernhard-Reversat, J Nahmani, P Lavelle. Heavy metal accumulation by two earthworm species and its relationship to total and DTPA-extractable metals in soils. **Soil Biol. & Biochem.**, **36**, 91-98 (2004).
5. J Olugbenga, A Owojori, J Reinecke, A Rozanov. Effects of salinity on partitioning, uptake and toxicity of zinc in the earthworm *Eisenia foetida*. **Soil Biol. & Biochem.**, **40**, 2385-2393 (2008).
6. T Sizmur, M Hodson. Do earthworms impact metal mobility and availability in soil? A review. **Env. Poll.**, **157**, 1981-1989 (2009).
7. K Veltman, A Mark, J Huijbregts, M Vijver, W Peijnenburg, P Hobbelen, J Koolhaas. Metal accumulation in the earthworm *Lumbricus rubellus*. Model predictions compared to field data. **Envi. Poll.**, **146**, 428-436 (2007).
8. A Josee E Van Gestel, P Van Vliet, A Hendriks. Metal accumulation in the earthworm *Lumbricus rubellus*. Model

- predictions compared to field data. **Env. Poll.**, **146**, 428-436 (2007).
9. R Vielma, A Medina. Determinación de la composición química y estudios de solubilidad en la harina de lombriz *Eisenia foetida*. **Rev. Fac. Farm.**, **48(1)**, 2-8 (2006).
  10. L Cova, D García, J Scorza, M Medina, T Clavero, F Perea, D González. Efecto de la estrategia de conservación en la calidad nutritiva de la harina de la lombriz roja (*Eisenia spp.*) a mediano plazo. **Rev. Fac. Agron.**, **26(1)**, 107-128 (2009).
  11. IBM. IBM SPSS statistics 19. Chicago: IBM, 2007. Disponible en: <<http://www.spss.com>>. Accedido: 20 mayo 2011.
  12. Y Carvajal, W Orozco, J Amaya, S Matute, L Marcó, G Poleo. Bioasimilación de oligoelementos en el camarón de río, *Macrobrachium amazonicum* (crustacea, palaemonidae). **Bioagro**, **21(3)**, 217-222 (2009).
  13. S Calsamiglia, C Bach A de Blas, C Fernandez, C García-Rebollar. Normas FEDNA: Rumiantes Leche. Necesidades nutricionales para rumiantes de leche. 4. Edita: Fundación Española para el Desarrollo de la Alimentación Animal. Ediciones Peninsular Madrid (2009).
  14. Tabla de Composición de Alimentos para uso práctico. Instituto Nacional de Nutrición. Publicación No 54, serie de cuadernos azules. Caracas, Venezuela (2001).
  15. Tabla de Composición de Alimentos de América Latina. Red Latinoamericana de Composición de Alimentos. FAO (2002). <http://www.inta.cl/latinfoods> (consulta 28/07/2008).
  16. L Marcó, G Torres, A Arenas, E Sánchez, K Rodríguez. Phytoremediation of Low Levels of Heavy Metals Using Duckweed (*Lemna minor*). En: Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability, P. Ahmad and M.N.V. Prasad (Eds.), Springer Science+Business Media, pp 451-463, Nueva York, (2012).