

ARTÍCULO CIENTÍFICO

La macrofauna edáfica, indicadora de contaminación por metales pesados en suelos ganaderos de Mayabeque, Cuba

Edaphic macrofauna, indicator of contamination by heavy metals in livestock production soils of Mayabeque, Cuba

María Aurora Mesa-Pérez, Mayra Echemendía-Pérez, Ramiro Valdés-Carmenate, Sael Sánchez-Elías y Fernando Guridi-Izquierdo

Universidad Agraria de La Habana, carretera de Tapaste km 3½ y Autopista Nacional, Mayabeque, Cuba
Correo electrónico: mariaa@unah.edu.cu

RESUMEN: Se realizó un estudio con el objetivo de evaluar el comportamiento de la macrofauna edáfica en suelos ganaderos de la provincia Mayabeque, Cuba, con diferentes grados de contaminación por metales pesados. En 2012 se muestrearon tres parcelas dedicadas al cultivo de pastos (*Cyperus gigantus* L. y *Cynodon dactylon* L. Pers.), con un gradiente de concentración de Zn inferior al límite de intervención y de Pb biodisponible de hasta 3,5 veces superior al límite de intervención; y una parcela no contaminada, como control. La época de lluvia y la profundidad de 0-10 cm resultaron las más favorables para el muestreo en ecosistemas prateros; y se determinaron las variaciones en la riqueza taxonómica, el total de organismos, la abundancia relativa de cada taxón, la densidad de las poblaciones y los grupos tróficos funcionales para los ecosistemas contaminados, mediante un muestreo en bandera inglesa. La riqueza taxonómica y el total de organismos disminuyeron significativamente al aumentar la concentración de Pb y Zn biodisponible, según el orden Pastizal > Parcela 2 > Parcela 1 > Cerámica. Todos los taxones evaluados mostraron disminuciones en la abundancia relativa, y la densidad de sus poblaciones disminuyó significativamente con el aumento de la concentración del metal, en el orden Pastizal > Parcela 1 > Parcela 2 = Cerámica. Los grupos tróficos predominantes fueron los depredadores, y disminuyó la presencia de descomponedores. El muestreo relativo de poblaciones de la clase Diplopoda, fitófagos de los órdenes Coleoptera e Hymenoptera y lombrices de tierra (Oligochaeta) puede ser suficiente para indicar el estado ecológico de los suelos.

Palabras clave: *Cynodon dactylon* L. Pers., *Cyperus gigantus* L., organismos del suelo, plomo, zinc.

ABSTRACT: A study was conducted in order to evaluate the performance of the edaphic macrofauna in livestock production soils of the Mayabeque province, Cuba, with different degrees of contamination by heavy metals. In 2012 three plots were sampled dedicated to the cultivation of pasture (*Cyperus gigantus* L. and *Cynodon dactylon* L. Pers.), with a concentration gradient of Zn lower than the intervention limit and of available Pb up to 3,5 times higher than the intervention limit; and a non-contaminated plot as control. The rainy season and the 0-10 cm depth were the most favorable for sampling in pastureland ecosystems; and the variations in taxonomic richness, total organisms, relative abundance of each taxon, population density and functional trophic groups for the contaminated ecosystems, were determined through a Union Jack sampling. The taxonomic richness and total organisms significantly decreased when increasing the concentration of bioavailable Pb and Zn, according to the order Pastureland > Plot 2 > Plot 1 > Ceramic. All the evaluated taxa showed decreases in the relative abundance, and the density of their populations significantly decreased with the increase of the metal concentration, in the order Pastureland > Plot 1 > Plot 2 = Ceramic. The prevailing trophic groups were the predators, and the presence of decomposers diminished. The relative sampling of populations of the Diplopoda class, phytophagous insects of the Coleoptera and Hymenoptera orders and earthworms (Oligochaeta) can be sufficient to indicate the ecological status of the soils.

Keywords: *Cynodon dactylon* L. Pers., *Cyperus gigantus* L., soil organisms, lead, zinc

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son uno de los contaminantes que con mayor frecuencia se encuentran en los agroecosistemas aledaños a regiones industrializadas; estos ocasionan pérdidas importantes en la productividad, debido al efecto tóxico que generan sobre los organismos vivos que habitan en la zona o sobre los que son cultivados o pastoreados en estas (Socarrás, 2013).

Estudios realizados en diferentes partes del mundo aseguran que los animales de pastoreo que se alimentan de plantas cultivadas (especialmente de los pastos) en sitios contaminados acumulan importantes niveles de metales pesados en el músculo, el hígado y la leche, los cuales pueden llegar a ser tóxicos para el animal y para el hombre, último eslabón de la cadena trófica (Kodrik *et al.*, 2011). Dentro de los efectos reportados se encuentran neurotoxicidad, daños renales y hepáticos, genotoxicidad, cáncer y eventualmente la muerte, tanto en los animales como en el hombre (Fernández-Calliani, 2012; Cachada *et al.*, 2013).

Existe un gran número de trabajos publicados en los que se evalúan los efectos de la toxicidad por metales pesados en la diversidad, el comportamiento y la respuesta de los organismos del suelo, además de la acumulación de esos elementos en la biomasa animal, principalmente en especies de vida larga, y la posible bioacumulación en la cadena trófica partiendo de la que presenta hábitos herbívoros y omnívoros hacia los carnívoros (Tack y Vandecasteele, 2003; Santorufo *et al.*, 2012).

Debido a que existe una gran extensión de pastos cultivados en las inmediaciones de las áreas industriales y a la complejidad y el valor monetario que tienen las técnicas analíticas de detección de metales, es necesario buscar alternativas rentables que puedan indicar el estado del suelo y de los pastos antes de introducir el terreno en cuestión en un esquema de alimentación animal (Nahmani y Rossi, 2003). En este sentido, los zoólogos han estudiado el comportamiento de la macro- y la mesofauna edáficas ante estos contaminantes, y se ha demostrado que para determinadas condiciones edafoclimáticas existen especies y familias que pueden indicar, de forma temprana, la presencia de contaminantes en los agroecosistemas; lo que contribuye a prevenir daños mayores a la salud y al propio ecosistema (Nahmani y Lavelle, 2002). Conocer y describir el comportamiento de estos bioindicadores permitirá evaluar el riesgo de transferencia de los contaminantes en una determinada región y adoptar decisiones oportunas sobre su explotación.

En un país como Cuba, con limitaciones importantes de recursos materiales y amplias extensiones de tierra dedicadas a cultivos pratenses, la búsqueda de alternativas económicas que permitan identificar problemas de contaminación representa un aporte considerable a la seguridad alimentaria, el bienestar animal y la economía del país. La evaluación del comportamiento de las poblaciones de la macrofauna y sus principales indicadores puede ser una de estas alternativas.

Por lo antes expuesto, el objetivo del estudio realizado fue evaluar el comportamiento de la macrofauna edáfica en suelos ganaderos de la provincia Mayabeque, con diferentes grados de contaminación por metales pesados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se desarrolló en los meses de febrero (época de seca) y octubre (final de la época de lluvia) del año 2012, en cuatro parcelas de pastos de 1 ha, destinadas al consumo animal en la provincia Mayabeque, Cuba.

Las condiciones climáticas de ese año en el occidente de Cuba estuvieron dentro de los valores promedio de temperatura y precipitaciones históricas, que variaron de 21,7-27,3 °C y 76,4 mm de lluvia en febrero (época de seca) y de 25,9-31,5 °C y 237,5 mm de lluvia en octubre (época de lluvia), según los datos reportados por la estación meteorológica de Tapaste.

El área de estudio comprendió tres parcelas (tabla 1) que, según estudios anteriores (Mesa, 2009), presentaban contaminación metálica proveniente de la Empresa de Cerámica Blanca Adalberto Vidal, de San José de las Lajas, con 57 años de explotación ininterrumpida. La parcela control (finca La Asunción) se estableció teniendo en cuenta el tipo de suelo de las parcelas contaminadas que tenían relación físico-química con el suelo original y el tipo de pasto presente.

El área de vertimiento de la empresa y las parcelas 1 y 2 fueron explotadas para el pastoreo de ganado menor y ganado vacuno hasta el año 2010, cuando se determinó su grado de contaminación y se prohibió esta actividad. Existen reportes de animales enfermos y muertes en el área de vertimiento por consumo de agua contaminada proveniente de la empresa (Guzmán *et al.*, 2008). Por su parte, el área de la finca La Asunción es un área de pastoreo activo para el mismo tipo de ganado.

El contenido biodisponible de Pb y Zn en el suelo se determinó según la técnica de Ma y Rao

(1997) en los cinco monolitos donde se extrajo la macrofauna; como agente extractante se utilizó EDTA 0,05 mol.L⁻¹. La cuantificación se realizó mediante espectrometría de absorción atómica SP9.

En cada área se seleccionaron 10 monolitos y se siguió un esquema de muestreo en bandera inglesa, desechando un metro de borde por cada lado del campo. Las dimensiones fueron de 25 x 25 x 30 cm para los cinco monolitos de la macrofauna y de 50 x 50 x 30 cm para los cinco monolitos de las lombrices, según la metodología de Anderson e Ingram (1993). Se realizó la remoción del suelo en cada monolito a las profundidades de 0-10 cm y 10-30 cm.

Se recolectaron la totalidad de organismos en cada monolito y se conservaron en alcohol 75 % (organismos con exoesqueleto quitinoso) y formol 4 % (lombrices). La identificación taxonómica, hasta el nivel de familia en los casos comprobables, se realizó mediante las claves citadas por Brusca y Brusca, (2003).

A partir de los datos se determinó la homogeneidad de varianza mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, para $p < 0,05$.

Los indicadores evaluados fueron:

- Riqueza taxonómica: tomada como el número de familias taxonómicas por ecosistema.

- Total de individuos: número total de ejemplares capturados por área.

Para determinar las variaciones en el perfil y la profundidad, independientes del estrés metálico, se realizó un análisis de varianza bifactorial y posterior dócima de Duncan, para un 95 % de confianza, con el programa estadístico Statgraphic plus 5.0.

Las diferencias entre las medias del total de individuos en los ecosistemas contaminados se evaluaron mediante un análisis de varianza de clasificación simple y posterior dócima de Duncan, para un 95 % de confianza (SPSS 9.0); en este caso se trabajó aparte la familia Formicidae para una mejor visualización de los resultados.

- Abundancia relativa: $R = \frac{n}{N} * 100$

Donde:

- n: número de individuos de cada taxón dentro de la categoría taxonómica de familia.
- N: total de individuos de todos los taxones correspondientes a la categoría taxonómica de familia.
- Densidad: Número de individuos por m²
- Grupos tróficos: para su definición se tuvo en cuenta lo propuesto por Brusca y Brusca (2003)

Tabla 1. Áreas escogidas para la realización de los muestreos.

Ecosistema (tratamiento)	Descripción	Ubicación (referencia)
Cerámica	Sustrato artificial de 200 cm de espesor, sin contacto químico-físico con el suelo original. Suelo original: Ferralítico Amarillento lixiviado éutrico. Pendiente del 10 %. Predominio de las especies <i>Cynodon dactylon</i> L. Pers. (67 %), <i>Cyperus giganteus</i> L. (24 %) y <i>Typha dominguensis</i> L. (9 %).	Área de vertimiento de residuales de la Empresa de Cerámica Blanca Adalberto Vidal (Guzmán <i>et al.</i> , 2008).
Parcela 1	Suelo original Ferralítico Rojo. A una profundidad de 70-80 cm se encuentra mezclado con residuos. Pendiente del 10 %. Predominio de las especies <i>Cynodon dactylon</i> L. Pers. (52 %) y <i>Cyperus giganteus</i> L. (48 %).	100 m aguas abajo del área de vertimiento de la Empresa de Cerámica Blanca (Mesa, 2009).
Parcela 2	Suelo original Ferralítico Rojo. A una profundidad de 120 cm se encuentra mezclado con residuos. Pendiente inferior al 3 %. Predominio de las especies <i>Cynodon dactylon</i> L. Pers. (65 %) y <i>Cyperus giganteus</i> L. (35 %).	300 m aguas abajo del área de vertimiento de la Empresa de Cerámica Blanca (Mesa, 2009)
Pastizal control (sin contaminación)	Finca La Asunción. Suelo Ferralítico Rojo. Sin sedimentos ni fuente de contaminación cercana. Predominan las especies <i>Cynodon dactylon</i> L. Pers. (71 %) y <i>Cyperus giganteus</i> L. (29 %).	3 km SO de la Empresa de Cerámica Blanca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las concentraciones biodisponibles de Pb^{2+} (tabla 2) en las parcelas que recibían la influencia de los residuales de la Empresa de Cerámica superaron los valores totales de intervención para suelos en explotación agrícola, según CETESB (2005).

El gradiente de Pb^{2+} se encontró perfectamente definido en los ecosistemas evaluados, ya que se observó un ecosistema control no contaminado (Pastizal); un ecosistema cuyo contenido se considera, según CETESB (2005), superior al límite permisible de intervención (Parcela 1); y dos ecosistemas que lo superaron en 2,4 y 3,7 veces (Parcela 2 y Cerámica, respectivamente).

Con respecto al gradiente de Zn^{2+} , las concentraciones no sobrepasaron el límite de intervención para ninguna de las áreas evaluadas, y solo se superó el de prevención en el área de vertimiento directo de la empresa.

Los valores de Pb y Zn en el presente estudio para el área Cerámica y para las Parcelas 1 y 2 se encuentran dentro del rango reportado por Mesa (2009) y por Regalado *et al.* (2014). Debe tenerse en cuenta que en el caso de los dos primeros se reportan además contenidos pseudototales. Este resultado indica que las medidas implementadas por el Gobierno municipal y por la propia empresa desde el año 2010 han logrado contener el aumento de la contaminación (mantener la zona cubierta de vegetación para evitar la erosión hídrica y no verter residuales sólidos), pero no mitigarla; por ello se hace necesario implementar una estrategia de recuperación. Resultados similares reportaron Duarte *et al.* (2012) al estudiar sitios urbanos con diferentes grados de contaminación metálica.

En cuanto a la macrofauna, en los muestreos se recolectaron 1 365 ejemplares ubicados en tres

Phylum (Arthropoda, Annelida y Mollusca), siete clases (Insecta, Chelicerata, Malacostraca, Diplopoda, Chilopoda, Oligochaeta y Gastropoda), 18 órdenes y 28 familias (tabla 3).

Al analizar las variaciones que se producen en las poblaciones de organismos edáficos no debe olvidarse las interacciones que estos tienen con otros factores abióticos como el clima, la profundidad de muestreo, el pH, la humedad, la textura y el manejo (Santorufu *et al.*, 2012; Luz *et al.*, 2013). Es por ello que resulta importante discriminar cuáles son los efectos producidos por estos factores y aquellos que son causados por el estrés metálico.

El análisis bifactorial (tabla 4) mostró diferencias altamente significativas en el total de organismos muestreados en el ecosistema control (Pastizal), tanto para la época de muestreo y la profundidad como para la interacción entre ambas. Los mayores valores se hallaron en la época de lluvia en la profundidad de 0-10 cm, por lo que se sugiere que al utilizar la macrofauna como bioindicadora se emplea esta combinación de factores en los muestreos; así se tendrá una mejor representatividad de los diferentes taxones y se arribará a conclusiones más precisas.

Resultados similares obtuvieron Cabrera *et al.* (2011) y Huauya y Huamaní (2014) en suelos Ferrolíticos Rojos, dedicados al cultivo del cacao.

En cuanto a la riqueza taxonómica, en el ecosistema control (Pastizal) se colectaron organismos de 24 familias; en la Parcela 2, de seis familias; en la Parcela 1, de cuatro familias; y en el área de vertimiento directo de la empresa (Cerámica), de solo tres familias. Ello evidenció una disminución progresiva de la diversidad taxonómica siguiendo el orden: Pastizal > Parcela 2 > Parcela 1 > Cerámica. Esta disminución representó en la Parcela 2 el 75 %

Tabla 2. Concentraciones de Pb^{2+} y Zn^{2+} biodisponibles en suelos de los ecosistemas evaluados.

Ecosistema (tratamiento)	Pb (mg kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	Interpretación
Cerámica	663,30	322,46	Pb >>> intervención Zn > prevención
Parcela 1	178,76	198,47	Pb > intervención Zn < prevención
Parcela 2	441,34	298,48	Pb >> intervención Zn < prevención
Pastizal control	44,32	65,78	Pb y Zn << límite de prevención
Valor de prevención (CETESB, 2005)	72	300	-
Valor de intervención (CETESB, 2005)	178	450	-

Tabla 3. Composición taxonómica de la macrofauna del suelo en los ecosistemas estudiados.

Phylum	Clase	Orden	Familia	C	P1	P2	Pas		
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Glossoscolecidae		x	x	x		
			Megascolecidae				x		
Mollusca	Gastropoda	Archaeogastropoda	Familia sin determinar		x		x		
Arthropoda	Chelicerata	Araneae	Familia sin determinar	x		x	x		
	Chilopoda	Geophilomorpha	Ballophilidae		x		x		
			Geophilidae				x		
			Scolopendromorpha	Scolopocryptopidae		x	x	x	
			Scolopendridae		x		x		
		Spirobolida	Familia sin determinar			x	x		
	Diplopoda	Polydesmida	Familia sin determinar		x	x	x		
			Polyxenida	Polyxenidae		x	x	x	
	Insecta	Blattodea	Familia sin determinar					x	
		Coleoptera		Attelabidae					x
				Carabidae					x
				Cerambycidae				x	x
				Chrysomelidae				x	
				Curculionidae				x	
				Elateridae			x	x	x
Scarabaeidae						x			
Staphylinidae					x			x	
Dermaptera				Familia sin determinar					x
Diptera	Familia sin determinar					x			
Hemiptera	Familia sin determinar					x			
Hymenoptera	Formicidae		x	x	x	x			
Isoptera	Termitidae					x			
Lepidoptera	Familia sin determinar					x			
Orthoptera	Familia sin determinar					x			
Malacostraca	Isopoda	Armadillidae		x	x	x			

C: Cerámica, P1: Parcela 1, P2: Parcela 2, Pas: Pastizal control.

Tabla 4. Total de individuos recolectados en diferentes épocas de muestreo y profundidad, en el ecosistema patrón (Pastizal).

Época	Profundidad	Límite inferior	Límite superior	Media
Lluvia	0-10 cm	65	74	70 ^a
	10-30 cm	19	28	24 ^b
Seca	0-10 cm	3	12	8,4 ^c
	10-30 cm	0	9	4,8 ^c

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas en la interacción de ambos factores, en un análisis de varianza bifactorial, con dócima de Duncan para $p < 0,05$.

de la diversidad taxonómica del área control, el 83,4 % en la Parcela 1 y el 87,5% en el área Cerámica.

Nahmani y Lavelle (2002) hallaron disminuciones en la riqueza taxonómica al comparar sitios con gradientes de concentración de Zn; sin embargo, obtuvieron mayor riqueza en ecosistemas con concentraciones entre los límites de prevención e intervención que en sitios no contaminados, principalmente de artrópodos no sociales; ello no coincide con lo encontrado en el presente estudio. Hay que señalar que los ecosistemas muestreados estaban multicontaminados y que el Zn es un metal esencial, con un mayor rango de tolerancia en los organismos; mientras que el Pb no lo es y su toxicidad es más elevada, lo que influye en la disminución de la tasa de reproducción y la viabilidad de la descendencia y en la actividad biológica (Heddle *et al.*, 2013; Yang *et al.*, 2014).

El indicador total de individuos (fig. 1) logró diferenciar bien los ecosistemas contaminados y el patrón. En el pastizal control menos del 5 % de los puntos evaluados presentaron una cantidad de individuos de alrededor de 55, y la media fue de 87. Los ecosistemas contaminados no mostraron diferencias

entre sí y el número de organismos fue inferior a 45, con una media de 28-33 individuos.

El comportamiento de la familia Formicidae se representó de forma separada, ya que su alto número de ejemplares, superior al del resto de los taxones evaluados, podía enmascarar los resultados estadísticos. En este caso se observó una disminución progresiva del número de hormigas con el aumento de la concentración de metales pesados. La familia Formicidae es el grupo predominante en la mayoría de los ecosistemas pratenses, según los estudios de Luz *et al.* (2013), y junto a la familia Carabidae y al orden Lepidoptera son los taxones más utilizados como bioindicadores de la calidad de los ecosistemas edáficos (Santorufu *et al.*, 2012).

Este es un indicador que puede ser utilizado de forma práctica, ya que no requiere de conocimientos especializados de la macrofauna; un simple conteo global del número de ejemplares puede indicar que existen factores de estrés sobre las poblaciones y también recomendar un análisis químico de los suelos (Rousseau *et al.*, 2013).

La abundancia relativa es un indicador que muestra de manera porcentual la dominancia de un

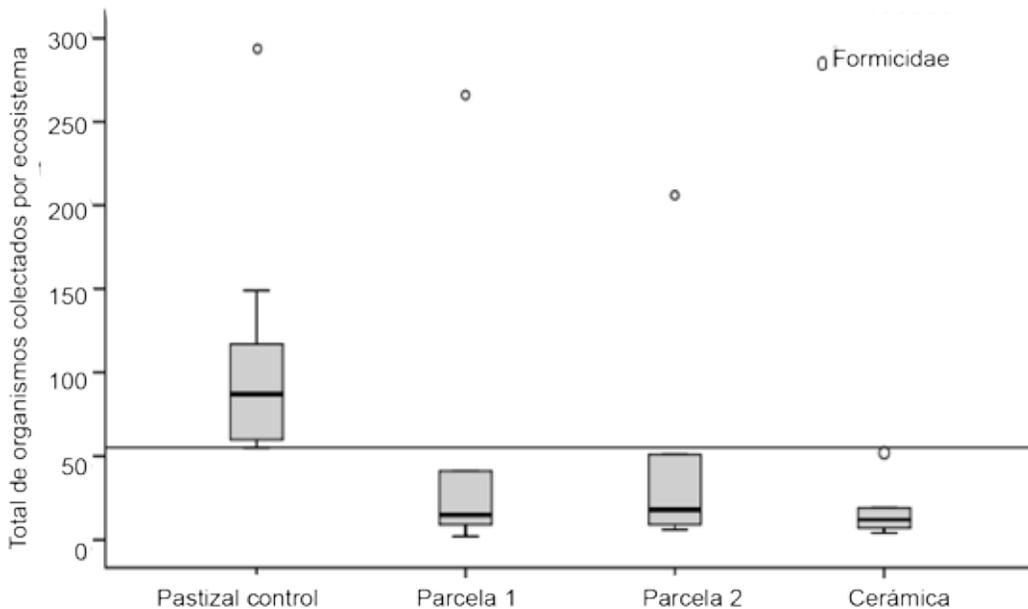


Figura 1. Total de individuos colectados en los ecosistemas evaluados.

Leyenda: las líneas horizontales dentro de las cajas muestran la media de la cantidad de ejemplares colectados en el 75 % de los puntos de muestreo (sin contar la familia Formicidae), las cajas representan el rango del número de organismos colectados en el 95 % de los puntos muestreados, y las barras verticales indican el intervalo de la cantidad de ejemplares colectados en el 5 % restante (para $p < 0,05$). La línea horizontal continua que atraviesa la figura marca la cantidad mínima de organismos capturados en el ecosistema control.

taxón con respecto al resto de los taxones presentes. Todos los ecosistemas estaban dominados por la familia Formicidae (Hymenoptera), con valores que variaron entre 76,39 % como mínimo (Cerámica) y 90,59 % como máximo (Pastizal control), lo cual coincide con los resultados de los muestreos de ecosistemas pratenses cubanos realizados por Cabrera *et al.* (2011)

Con respecto al resto de los taxones de familias, las lombrices (clase Oligochaeta) representaron el 15,61 % en la Parcela 1 y fueron inferiores al 3 % en el resto; mientras que las familias del orden Coleoptera representaron el 15,28 % de los organismos colectados en el área Cerámica y fueron menores al 5 % en el resto de los ecosistemas (tabla 5). Los taxones correspondientes a las familias de los ordenes Isoptera, Dermaptera, Hemiptera, Diptera, Lepidoptera, Blattodea y Orthoptera solo aparecieron en el ecosistema control y con una abundancia inferior al 1 %, por lo que pueden clasificarse como organismos ocasionales (Rousseau *et al.*, 2013). Se observó una disminución de la abundancia relativa en el taxón de la familia del orden Isopoda al aumentar el gradiente de concentración para ambos metales

Nahmani y Rossi (2003) refirieron resultados similares a los alcanzados en el presente estudio respecto al predominio de las familias de coleópteros fitófagos en ecosistemas altamente contaminados por Pb, a la par que ocurría la disminución progresiva de

poblaciones de isópodos, quilópodos y diplópodos; e indicaron que, en dependencia de la especie, es posible hallar arácnos y gastrópodos que pueden servir como bioindicadores. Este último grupo no se recolectó en los ecosistemas contaminados que se estudiaron.

Los organismos colectados correspondieron a los cuatro grupos tróficos relacionados en la tabla 6, según los criterios de Brusca y Brusca (2003). La mayoría se ubicó en el grupo de los depredadores, y representaron el 97,1; 96,7; 98,8 y 83,3% de los individuos colectados en cada ecosistema, respectivamente.

Se observó, además, que los organismos más sensibles pertenecían al grupo trófico de los descomponedores saprófitos, con una reducción de 70 % en el ecosistema más contaminado (Cerámica) respecto al control.

En el caso de los organismos geófagos, la Parcela 1 presentó la mayor cantidad, mientras que en el resto de los ecosistemas sus poblaciones fueron inferiores. Se considera que este resultado puede deberse a alguna condición ecológica particular que haya favorecido el incremento de las poblaciones de lombrices de tierra, como la presencia de un regadío en el área, el cual suministra una fuente adicional de humedad, factor favorable para el desarrollo

Tabla 5. Abundancia relativa de los taxones estudiados en cada ecosistema.

Taxón	Abundancia relativa (%)			
	Pastizal control	Parcela 1	Parcela 2	Cerámica
Diplopoda	0,23	1,95	0,50	0
Quilopoda	0,23	0,98	2,48	0
Isopoda	0,93	0,98	0,50	0
Oligochaeta	1,26	15,61	2,97	0
Gastropoda	2,94	1,46	0	0
Chelicerata	0,46	0	1,98	8,33
Isoptera	0,23	0	0	0
Dermaptera	0,30	0	0	0
Hemiptera	0,45	0	0	0
Diptera	0,15	0	0	0
Blattodea	0,23	0	0	0
Lepidoptera	0,20	0	0	0
Orthoptera	0,23	0	0	0
Coleoptera	3,24	1,95	0,99	15,28
Hymenoptera	86,72	77,07	90,59	76,39

Tabla 6. Total de organismos por función trófica.

Ecosistema (tratamiento)	Depredadores	Fitófagos	Descomponedores	
			Saprófitos	Geófagos
Pastizal control	515	2	10	3
Parcela 1	382	2	2	9
Parcela 2	340	1	2	1
Cerámica	80	13	3	0

de estos individuos; sin embargo, los estudios de Nahmani y Lavelle (2002) refieren la presencia de especies de lombrices de tierra en sitios con contaminación moderada.

Estos autores encontraron que las familias de coleópteros predominantes en sitios contaminados se sucedían de la siguiente forma: Staphilinidae-Carabidae-Curculionidae, en ecosistemas que aumentaban las concentraciones biodisponibles de Pb; mientras que en el presente estudio solo la familia Staphilinidae fue capaz de colonizar el ecosistema más contaminado, y de ella se encontraron ejemplares adultos (tabla 3). Otras familias de coleópteros presentes en la Parcela 2 (Pb >>> límite de intervención) fueron Cerambycidae, Chrysomelidae y Curculionidae, presumiblemente colonizadores de nichos vacíos por las fracturas de las cadenas tróficas (Fränzle *et al.*, 2007). Además Feio y Dolédec (2012), Gerish *et al.* (2012) y Huauya y Huamani (2014) señalaron que en suelos contaminados aumenta la proporción de organismos de amplia movilidad con respecto a la de los ecosistemas conservados.

La composición trófica de la biota tolerante a metales pesados, según la literatura, sufre variaciones comparables a las detectadas en este estudio. Heddle *et al.* (2013) reportaron predominio de los grupos detritívoros (62 % de geófagos y 37 % de saprófagos) en suelos no contaminados con respecto a una alta incidencia de zoófagos (depredadores) en suelos contaminados. Tack y Vandecasteele (2003)

informaron como resistentes a altas concentraciones de metales pesados algunas especies de lombrices de tierra, ciertos gasterópodos, himenópteros terrestres (bibijaguas y hormigas) y colémbolos, lo cual avala los resultados mostrados. Por otra parte, Huauya y Huamani (2014) refirieron que las especies generalistas presentan una mayor plasticidad medioambiental y son capaces de colonizar sitios degradados o contaminados con mayor éxito que los organismos de mayor grado de especialización.

La densidad de organismos mantuvo el siguiente orden: Pastizal > Parcela 1 > Parcela 2 = Cerámica (tabla 7), con diferencias de alrededor de 200 organismos.m⁻² entre el ecosistema control y el menos contaminado, lo que representó una disminución del 34,3 %; mientras que con respecto a los otros ecosistemas (Parcela 2 y Cerámica), la densidad disminuyó entre 69,1 y 87,0 %, sin diferencias entre sí, lo que equivale a una disminución de alrededor de 400 organismos m⁻². Estos resultados coinciden con los de Feio y Dolédec (2012).

CONCLUSIONES

Los indicadores total de individuos y densidad en la época de lluvia y a la profundidad de 0-10 cm pueden considerarse los más adecuados, por su factibilidad de uso y su poder discriminador. Los grupos tróficos, la riqueza taxonómica y su abundancia relativa, aunque no son fácilmente medibles porque requieren de un mayor conocimiento científico, ofrecen elementos útiles para determinar el impacto de los metales pesados. El

Tabla 7. Densidad de organismos por ecosistema (organismos m⁻²).

Ecosistema	Límite inferior	Límite superior	Media	Mediana	DE x
Pastizal control	420	460	448a	454	19,86
Parcela 1	112	176	154b	164	28,56
Parcela 2	16	48	31c	30	13,11
Cerámica	16	60	39c	40	19,14

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según la dócima de Duncan, para $p < 0,05$.

muestreo (relativo a un área patrón conocida) de poblaciones de las familias halladas (pertenecientes a la clase Diplopoda), de los fitófagos de la clase Insecta (órdenes Coleoptera e Hymenoptera) y de la lombriz de tierra puede ser suficiente para indicar el estado ecológico de los suelos y su grado de contaminación. Todo ello constituye una herramienta eficaz, tanto para evaluar la contaminación por metales pesados en ecosistemas prateros cubanos, como para su seguimiento

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, J. M. & Ingram, J. S. I. *Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods*. 2da ed. Wallingford, UK: CAB International, 1993.
- Brusca, R. & Brusca, G. *Invertebrates*. 2da ed. Sunderland, USA: Sinauer Associates. 2003.
- Cabrera, Grisel; Robaina, Nayla & Ponce de León, D. Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 34 (3):331-346, 2011.
- Cachada, Anabela; Dias, A. C.; Pato, P.; Mieiro, C.; Rocha-Santos, T.; Pereira, M. E. *et al.* Major inputs and mobility of potentially toxic elements contamination in urban areas. *Environ. Monit. Assess.* 185 (1):279-294, 2013.
- CETESB. *Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. Decisão de Directoria No. 195-2005-E*. Sao Paulo, Brasil: Ministerio de Salud, Ministerio de Ambiente, 2005.
- Feio, M. J. & Dolédec, S. Integration of invertebrate traits into predictive models for indirect assessment of stream functional integrity: a case study in Portugal. *Ecol. Index*. 15:236-247, 2012.
- Fernández-Calliani, J. C. Risk-based assessment of multimetallic soil pollution in the industrialized peri-urban area of Huelva, Spain. *Environ. Geochem. Health*. 34 (1):123-139, 2012.
- Fränzle, S.; Markert, B. & Wünschmann, S. Dynamics of trace metals in organisms and ecosystems: prediction of metal bioconcentration in different organisms and estimation of exposure risks. *Environ. Pollut.* 150 (1):23-33, 2007.
- Gerish, M.; Agostinelli, Veronica; Henle, K. & Dziok, F. More species, but all do the same: contrasting effects of flood disturbance on ground beetle functional and species diversity. *Oikos*. 121 (4):508-515, 2012.
- Guzmán, Ambar R.; Sánchez, S. & García, E. Degradación de un suelo por efecto de residuales de la empresa cerámica del municipio San José de las Lajas. *Rev. Cie. Téc. Agr.* 17 (3):15-21, 2008.
- Heddle, M.; van Oort, F.; Renouf, Eloise; Thenard, Jodie & Lamy, Isabelle. Dynamics of soil fauna after plantation of perennial energy crops on polluted soil. *Appl. Soil Ecol.* 66:29-39, 2013.
- Huauya, M. & Huamani, H. Macrofauna edáfica y metales pesados en el cultivo de cacao, *Theobroma cacao* L. (Malvaceae). *The Biologist*. 12 (1):45-55, 2014.
- Kodrik, L.; Warner, L.; Imre, K.; Polyak, K. F.; Besenyi, F. & Husveth, F. The effect of highway traffic on heavy metals content of cow milk and cheese. *Hung. J. Ind. Chem.* 39 (1):15-19, 2011.
- Luz, R. A.; Fontes, L. S.; Cardoso, S. R. S. & Lima, É. F. B. Diversity of the Arthropod edaphic fauna in preserved and managed with pasture areas in Teresina-Piauí-brazil. *Braz. J. Biol.* 73 (3):483-489, 2013.
- Ma, Lena Q. & Rao, G. N. Chemical fractionation of cadmium, copper, nickel and zinc in contaminated soils. *J. Environ. Qual.* 26 (1):254-269, 1997.
- Mesa, M. A. *Evaluación de la contaminación por metales pesados en parcelas agrícolas* Tesis en opción al título de Máster en Agroecología y Agricultura Sostenible. San José de las Lajas, Cuba: Universidad Agraria de La Habana, 2009.
- Nahmani, J. & Lavelle, P. Effects of heavy metal pollution on soil macrofauna in a grassland or Northern France. *Eur. J. Soil Biol.* 38 (3-4):297-300, 2002.
- Nahmani, J. & Rossi, J. P. Soil macroinvertebrates as indicators of pollution by heavy metals. *C. R. Biol.* 326 (3):295-303, 2003.
- Regalado, Ivet; Leiseca, Alicia; Cabrera, Y.; Franco, F. & Bulnes, C. Cambios anatómicos en la especie *Cynodon nlemfuensis* Vanderhyst en suelos contaminados por metales pesados. *Rev. Cie. Téc. Agr.* 23 (4):37-42, 2014.
- Rousseau, L.; Fonte, S. J.; Téllez, O.; van der Hoek, R. & Lavelle, P. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of Western Nicaragua. *Ecol. Indic.* 27:71-82, 2013.
- Santorufu, L.; Van Gestel, C. A.; Rocco, A. & Maisto, G. Soil invertebrates as bioindicators of urban quality. *Environ. Pollut.* 161:57-63, 2012.
- Socarrás, Ana. Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo. *Pastos y Forrajes*. 36 (1):5-13, 2013.
- Tack, F. M. G. & Vandecasteele, B. Cycling and ecosystem impact of metals in contaminated calcareous dredged sediment-derived soils (Flanders, Belgium). *Sci. Total Environ.* 400 (1-3):233-289, 2003.
- Yang, J. Y.; He, Z. L.; E., Yang X. & Li, T. Q. Effect of lead on soil enzyme activities in two red soils. *Pedosphere*. 24 (6):817-826, 2014.