

## EVALUACIÓN ECOTÓXICA DE SUELOS CONTAMINADOS CON RESIDUOS MUNICIPALES DE UN BOTADERO EN *Eisenia fetida*

LIZBETH MENDOZA-GIL<sup>1</sup>, JOSE IANNAcone<sup>2,3,4,\*</sup>

Recibido: 19/09/2020

Recibido con revisiones: 30/10/2021

Aceptado: 01/11/2021

### RESUMEN

Se realizó una evaluación ecotóxica de suelos contaminados con residuos municipales de un botadero en la lombriz de tierra *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). Se expuso a *E. fetida* a cinco muestras de suelos contaminados por residuos municipales procedentes del botadero Pampa Calanguillo, Lima, Perú. Cada muestra se evaluó en seis concentraciones de suelo contaminado del botadero y en un tratamiento control que correspondió a un sustrato para evaluar su efecto ecotóxico. El efecto letal evaluado fue la mortalidad, y los efectos subletales fueron cinco: fragmentación, adelgazamiento, oscurecimiento, peso medio y longitud media a los 7 y 14 días de exposición. Los suelos presentaron toxicidad letal en *E. fetida*, donde el nivel de afectación predominó en los suelos con mayor presencia de metales e hidrocarburos. Los efectos subletales más frecuentes fueron adelgazamiento y peso medio, mientras que la fragmentación y oscurecimiento se evidenciaron en las concentraciones más altas. La longitud media no mostró diferencias significativas entre las concentraciones empleadas. Se concluye que existe un efecto ecotóxico letal y subletal en *E. fetida* en los suelos contaminados por residuos municipales.

**Palabras clave:** adelgazamiento, hidrocarburos, lombriz de tierra, metales.

## ECOTOXIC ASSESSMENT OF SOILS CONTAMINATED WITH MUNICIPAL WASTE FROM A DUMP IN *Eisenia fetida*

### ABSTRACT

An ecotoxic evaluation of soils contaminated with municipal waste from a dump on The earthworm *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) was carried out. *E. fetida* was exposed to five soil samples contaminated by municipal waste from the Pampa Calanguillo landfill, Lima, Peru. Each sample was evaluated in six concentrations of contaminated soil from the dump and in a corresponding control treatment to an substratum to evaluate its ecotoxic effect. The lethal effect evaluated was the lethality mortality, and the sublethal effects were five: fragmentation, thinning, darkening, mean weight and mean length at 7 and 14 days of exposure. The soils were evaluated for their physical-chemical properties, heavy metals and hydrocarbons. The soils presented lethal toxicity based on *E. fetida*, where the level of affectation predominated in the soils with the highest presence of metals and

<sup>1</sup> Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Carrera de Ingeniería Ambiental (COEPERU). Universidad Científica del Sur (UCSUR), Lima, Perú.  
<sup>2</sup> Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA). Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas. Escuela Universitaria de Posgrado (EUPG), Grupo de Investigación en Sostenibilidad Ambiental (GISA). Universidad Nacional Federico Villarreal  
<sup>3</sup> Laboratorio de Parasitología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.  
<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Ambientales, Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Científica del Sur (UCSUR), Lima, Perú.  
\* Autor de contacto: [joseiannaconeoliver@gmail.com](mailto:joseiannaconeoliver@gmail.com)



hydrocarbons. The most frequent sublethal effects were thinning and wet and dry mean weight, while fragmentation and darkening were evidenced at the highest concentrations. The mean length reduction mostly did not show significant differences between the concentrations used. It is concluded that there is a lethal and sublethal ecotoxic effect in *E. fetida* in soils contaminated by municipal waste.

**Key words:** earthworms, hydrocarbons, metals, thinning.

## INTRODUCCION

Los residuos sólidos constituyen uno de los problemas más graves a nivel del Perú (MINAM, 2021). En el Perú, el 54,1 % de estos residuos terminan vertidos en botaderos (MINAM, 2021). Los botaderos son áreas de disposición ilegal de residuos, considerados como fuentes importantes de impactos ambientales (Ajibade *et al.*, 2020). La contaminación del suelo por metales pesados e hidrocarburos son uno de los problemas identificados en los botaderos (Hafeez *et al.*, 2016; Karim *et al.*, 2017; Ali *et al.*, 2021). Pampa Calanguillo en Lima, Perú es un botadero donde se disponen residuos municipales en promedio de 8 t por día (OEFA, 2018).

Para evaluar el impacto ambiental en un suelo contaminado se emplean los métodos químicos con el propósito de identificar sustancias potenciales tóxicas (Hafeez *et al.*, 2016). Una herramienta complementaria para evaluar la calidad del ambiental son las pruebas ecotoxicológicas que proporcionan información sobre los riesgos ecológicos (Cáceres-Del Carpio y Iannacone, 2021).

En ecotoxicología terrestre, se emplea a la lombriz de tierra *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) como bioindicador, las que cuales constituyen una herramienta de monitoreo de alerta temprana de toxicidad de suelos (Pelosi *et al.*, 2014). En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos ecotóxicos letales y subletales de los suelos contaminados por residuos municipales del botadero de Pampa Calanguillo, Chilca, Lima, Perú, en la lombriz de tierra, *E. fetida*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

Se realizó en el botadero “Pampa Calanguillo”, en el distrito de Chilca, provincia de Cañete, departamento de Lima, Perú (figura 1). El área del botadero es de 8,22 ha. De acuerdo al sistema de coordenadas UTM, WGS84 (Zona 18S), la zona de estudio está georeferenciada en las coordenadas 316591 E, 8616481 N.

### Muestreo y parámetros de calidad del suelo

Se establecieron cuatro puntos de muestreo de identificación (CA-SU-01 a CA-SU-04) y un punto de muestreo de nivel de



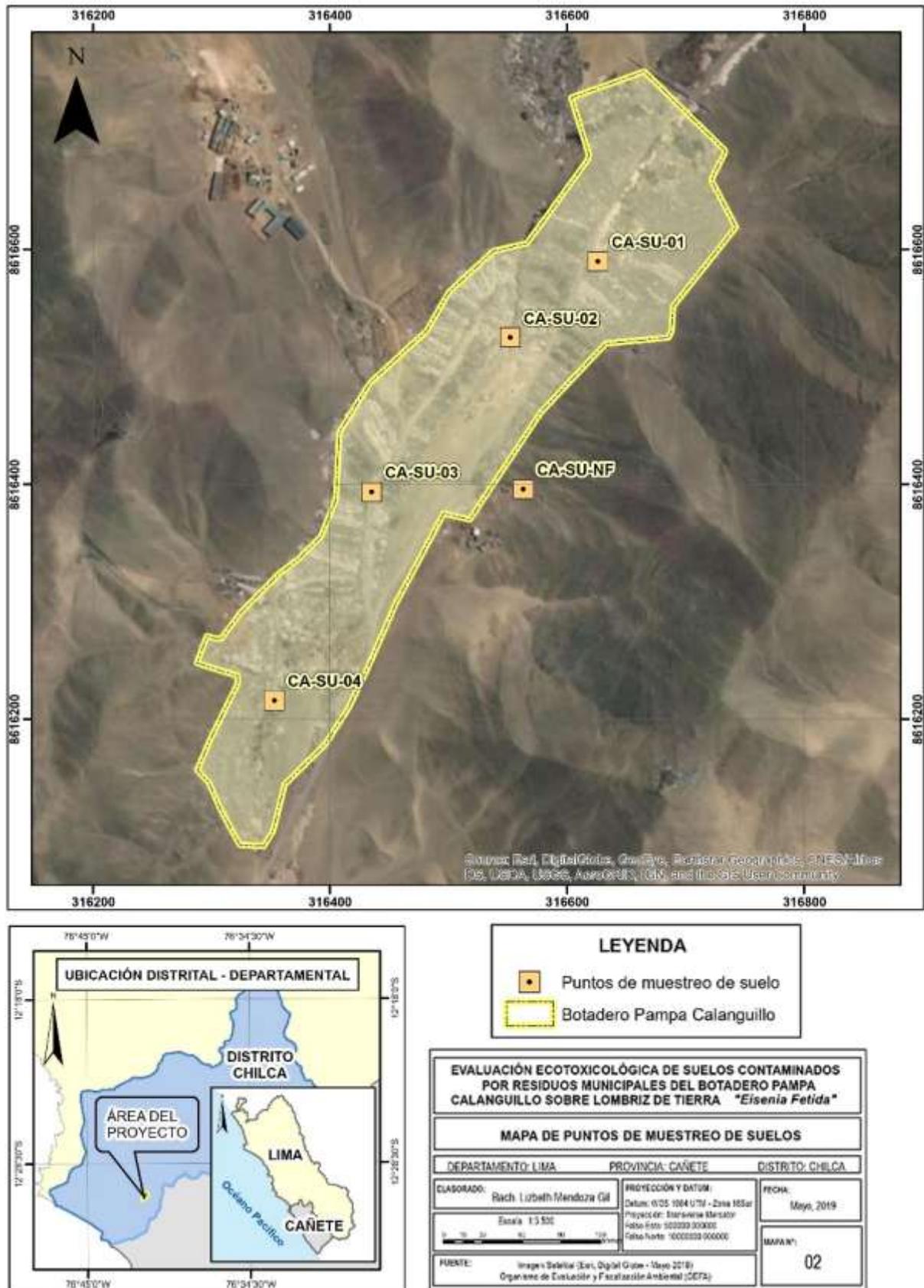


Figura 1- Mapa de localización y distribución de los puntos de muestreo del botadero Pampa Calanguillo, Lima, Perú. CA-SU = Puntos de muestreo.

Figure 1- Location and distribution map of the sampling points of the Pampa Calanguillo dump, Lima, Peru. CA-SU = Sampling points.

fondo (CA-SU-NF). Para la distribución de los puntos se consideró la dirección la pluma de propagación del lixiviado, así como la representatividad espacial en el área de interés. En la muestra del nivel de fondo se identificó la presencia de sustancias químicas de manera natural o generada por alguna fuente antropogénica distinta a la disposición final de residuos (MINAM, 2014).

Los puntos de muestreo presentaron la siguiente ubicación bajo el sistema de coordenadas UTM, WGS84 (Zona 18S): CA-SU-NF (316563E; 8616396N), CA-SU-01 (316626E; 8616590N), CA-SU02 (316552E; 8616525N), CA-SU-03 (316435E; 8616394N) y CA-SU04 (316353E; 8616216N). El punto de muestreo CA-SU-01 se localiza aguas arriba del botadero y CA-SU-04 aguas abajo. Los puntos CA-SU-02 y CA-SU-03 se sitúan en la parte central (figura 1). La colecta de las muestras superficiales simples se realizó bajo lo establecido en la Guía de Muestreo de Suelos del Perú (MINAM, 2014).

Para la evaluación de calidad de los suelos, se determinaron los siguientes parámetros: Conductividad eléctrica (CE,  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), clase textural, porcentaje de materia orgánica (MO) y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC,  $\text{meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) (FAO, 2008). La interpretación se realizó según FAO (2008) y OSU (2011).

Se determinaron los siguientes metales pesados totales: arsénico (As), bario (Ba), cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg) y

plomo (Pb). Los métodos de ensayo empleados para estimar los metales pesados fueron los estandarizados (EPA, 1996; 2014). Del mismo modo, también se determinaron las concentraciones de los hidrocarburos de fracción ligera, media y pesada (EPA, 2007).

### Lombrices

Los organismos se adquirieron de cultivos masivos del área de lombricultura de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú. La aclimatación de *E. fetida*, se realizó con estiércol vacuno por un período de 14 días, con el propósito de seleccionar individuos adultos con clitelio visible, con un peso entre 200-500 mg y una longitud entre 8-10 cm (OECD, 1984).

### Pruebas ecotóxicas

El sustrato se preparó de la mezcla de 10% de musgo, 20% de arcilla, y 70% de arena industrial. Las muestras de suelo del botadero se mezclaron con el sustrato, bajo las siguientes seis concentraciones: 0,00% (control), 0,39%, 0,78%, 1,56%, 3,13%, 6,25% y 12,50% p/p. Las pruebas ecotóxicas para cada muestra de suelo siguieron un diseño en bloque completamente aleatorio (DBCA) con seis concentraciones x cuatro repeticiones.

Las pruebas ecotóxicas se realizaron con cohortes de los especímenes de *E. fetida* que se obtuvieron del cultivo masivo. El bioensayo se realizó bajo condiciones de 12



h de luz y a temperatura de laboratorio de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Se comprobó mediante la respuesta a estímulos físicos (movimientos bruscos y escape a la luz) si las lombrices estaban saludables previo al inicio del ensayo (Gómez *et al.*, 2014). Se emplearon 250 g de suelo como sustrato colocando 10 lombrices en ensayos estáticos en los 14 días de exposición. El ensayo fue considerado como válido cuando la mortalidad en el control no sobrepasó el 10% al final del periodo de exposición (OECD, 1984).

El punto final considerado como respuesta letal fue la mortalidad, valorada a través de  $\text{CL}_{50}$  (Concentración letal media), y los de respuesta subletal fueron cinco: oscurecimiento, adelgazamiento, fragmentación, longitud media y peso medio estimado a través de  $\text{CE}_{50}$  (Concentración efectiva media), LOEC (Concentración más baja de efectos observables) y NOEC (Concentración de efectos no observables) (OECD, 1984).

#### Análisis de datos

Las  $\text{CE(L)}_{50}$ s y sus respectivos límites de confianza ( $\text{CL(E)}_{50}$  inferior y  $\text{CL (E)}_{50}$  superior) al 95%, se calcularon usando el programa Probit versión 1,5. El análisis de varianza (ANOVA) evaluó la eficacia entre los tratamientos y las repeticiones, y con una prueba *a posteriori* de Tukey se determinaron los valores de NOEC y LOEC. La data estadística fue verificada para el

cumplimiento de la normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk y para la homocedasticidad de varianzas con la prueba de Levene. En el caso de no cumplir con la normalidad y homocedasticidad, se aplicó la prueba Kruskal Wallis. Se empleó la prueba de correlación de Spearman ( $r_s$ ) para asociar los valores de  $\text{CL(E)}_{50}$  con los metales pesados totales y con los hidrocarburos. Los resultados se analizaron con el paquete estadístico SPSS 20,0 a un nivel de significancia de 0,05 (Stockemer, 2019).

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos fueron calificados como muy salinos, con capacidad de intercambio catiónico muy bajo, y con textura arenosa (FAO, 2008; OSU, 2011). El pH de los suelos se caracterizó por ser moderadamente alcalino, a excepción del suelo CA-SU-03 que fue levemente ácido. En cuanto a la MO, los suelos presentaron cantidades muy bajas; sin embargo, los suelos CA-SU-02 y CA-SU-03 presentaron un nivel normal y muy alto, respectivamente (tabla 1).

Los suelos presentaron metales e hidrocarburos debajo de los valores de ECA de suelo. El suelo CA-SU-03 presentó altos niveles de hidrocarburos de fracción media y pesada, valores que excedieron el ECA de suelo residencial (tabla 1). Castellanos *et al.* (2015) señalan que los hidrocarburos de fracción pesada permanecen un mayor



tiempo en el suelo que los de fracción media y ligera.

Las diversas propiedades físico químicas del suelo definen la movilidad y disponibilidad de las sustancias químicas (Alloway *et al.*, 2013). Entre estas propiedades se encuentra la cantidad de MO y CIC en el suelo, parámetros que mantienen una relación con la absorción del contaminante (Alves *et al.*, 2013). Sin embargo, no ocurre lo mismo con el pH, el cual incrementa la solubilidad de la mayor parte de los compuestos en el suelo (Singh *et al.*, 2016). La textura del suelo es otro factor, las partículas grandes tienen menor potencial de adsorción y mayor lixiviación; contrario, a las partículas más pequeñas (Calderón *et al.*, 2016). Por consiguiente, se sugiere que la CIC, MO, el pH alcalino y textura arenosa no favorecieron la adsorción de las sustancias químicas en las partículas del suelo.

*Eisenia fetida*, mostró una mayor toxicidad en base a la CL<sub>50</sub> en CA-SU-03 y una menor toxicidad en CA-SU-NF (tabla 2). Se observó una relación entre el Ba, Cr, Pb, HTP fracción media y las CL<sub>50</sub> de las cinco muestras de suelo a los 14 días de exposición ( $r_s = -0,9$  a  $-1,0$ ,  $p < 0,05$ ). Así, la CA-SU-03 con un valor de CL<sub>50</sub> más tóxico, presentó altos valores de Ba y de hidrocarburos de fracción media y ligera, mientras que la CL<sub>50</sub> fue menos tóxica para el punto CA-SU-NF, presentó menores concentraciones de Ba, Cd, Cr, Pb y valores

debajo de los límites de detección para los TPH. Estos resultados armonizan con otras investigaciones similares (Gómez *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2020).

En referencia a la fragmentación, se observó un incremento en las concentraciones más altas y a un mayor tiempo de exposición (tabla 2). La segmentación puede ocurrir por el agotamiento y expulsión del fluido celómico en las lombrices expuestas a sustancias tóxicas, lo que genera un desequilibrio en las proteínas de protección (Homa *et al.*, 2016). El adelgazamiento de las lombrices fue mayor en CA-SU-03 (tabla 2), el cual está asociado a la reducción de ingesta de alimentos y a la disminución de las células del líquido celómico, como un mecanismo para evitar las toxinas del suelo, y optando por morir de inanición en vez de ingerir suelo contaminado (Singh *et al.*, 2019). El oscurecimiento se evidenció en CA-SU-03 (tabla 2). Esta respuesta se atribuye a la hiperpigmentación como un medio de defensa de las lombrices debido a un incremento de los melanocitos (Zhang *et al.*, 2018; Amadi *et al.*, 2019).

En referencia a la longitud media tendió a reducirse en CA-SU-02 y CA-SU-03 (tabla 2). Este daño morfológico podría atribuirse a que las lombrices de tierra desarrollan mecanismos adaptativos y procesos de desintoxicación frente al estrés, siendo una de las respuestas la reducción de tamaño (Qia *et al.*, 2019). El peso medio de la *E.*



*fetida* disminuyó notoriamente en CA-SU-03 y CA-SU-04 (tabla 2). Este comportamiento puede originarse por una disminución de asimilación de alimentos y en la osmoregulación por parte de las lombrices (Qiao *et al.*, 2019).

En general, la lombriz de tierra *E. fetida* presentó efectos letales y subletales expuestos a cinco suelos contaminados con residuos municipales del botadero. Los resultados sugieren que los compuestos químicos presentes en estos suelos

contaminados, es decir, los metales pesados y los hidrocarburos y podrían explicar la ecotoxicidad letal y subletal observada en las lombrices.

## CONCLUSIONES

Este estudio ha demostrado que existe un efecto tóxico letal en la lombriz de tierra *E. fetida* ocasionado por los suelos contaminados procedentes del botadero de Pampa Calanguillo, Chilca, Cañete, Lima, Perú.

**Tabla 1-** Calidad de los suelos procedentes del botadero Pampa Calanguillo, distrito de Chilca, provincia de Cañete, departamento de Lima, Perú.

**Table 1-** Quality of the soils from the Pampa Calanguillo dump, Chilca district, Cañete province, Lima department, Peru.

Parámetros	Límite de detección	CA-SU-NF	CA-SU-01	CA-SU-02	CA-SU-03	CA-SU-04	ECA suelos
CE (dS·m <sup>-1</sup> )	NA	14,68	20,10	45,60	51,60	40,80	NA
Textura	NA	Arena franca	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso	NA
pH	NA	7,82	8,14	7,4	6,77	7,81	NA
MO (%)	NA	0,37	0,72	1,21	6,00	0,51	NA
CIC(meq·100 g <sup>-1</sup> )	NA	7,59	12,85	10,12	12,03	10,37	NA
<b>Inorgánicos (mg·kg<sup>-1</sup>) en Peso seco</b>							
As	0,01	5,73	8,37	7,63	4,72	6,90	50
Ba	0,023	33,71	40,3	74,75	206,4	36,06	500
Cd	0,0008	0,34	0,61	3,71	0,61	0,39	10
Cr	0,008	9,26	12,8	33,2	17,7	11,6	400
Hg	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	6,6
Pb	0,002	7,43	11,7	93,7	74,3	9,68	140
<b>Orgánicos - Hidrocarburos totales de petróleo (mg·kg<sup>-1</sup>) en Peso seco</b>							
HTP C6-C10	NA	< 0,3	< 0,3	< 0,3	2	< 0,3	200
HTP>C10-C28	NA	< 5	6	148	83 505	7	1200
HTP>C28-C40	NA	< 5	< 5	233	115 476	8	3000

CE: Conductividad eléctrica (Salino: >4, Sódico: <4), MO: Materia orgánica (Muy bajo: <0,7%, Bajo: 0,7-1,2%, normal: 1,2-1,7%, alto: 1,7-2,2% y muy alto:>2,25), pH: extremadamente ácido (<4,6), fuertemente ácido (4,6-5,5), moderadamente ácido (5,6 --6,5), levemente ácido (6,6 - 6,9), neutral (7), moderadamente alcalino (7,1-8,5), fuertemente alcalino (>8,5) (FAO, 2008).

**Tabla 2-** Efecto ecotóxico de suelos contaminados del botadero Pampa Calanguillo, distrito de Chilca, provincia de Cañete, departamento de Lima, Perú en la letalidad en base a la mortalidad y en la subletalidad en base a la fragmentación, adelgazamiento y oscurecimiento de *Eisenia fetida*.

**Table 2-** Ecotoxic effect of contaminated soils, from the Pampa Calanguillo dump, Chilca district, Cañete province, Lima department, Peru on lethality based on mortality and subletality based on fragmentation, thinning, darkening mean length and mean weight of *Eisenia fetida*.

Parámetros	CA-SU-NF		CA-SU-01		CA-SU-02		CA-SU-03		CA-SU-04	
	7 d	14 d								
<b>Mortalidad</b>										
CL <sub>50</sub>	21,63	5,87	5,51	2,16	2,91	1,69	1,96	1,28	6,94	3,78
CL <sub>50</sub> inferior	9,63	3,28	3,14	1,39	1,98	1,11	1,35	0,86	3,83	2,22
CL <sub>50</sub> superior	48,58	10,50	9,69	3,37	4,27	2,57	2,83	1,90	12,56	6,45
NOEC	1,56	0,78	0,78	0,39	0,78	0,39	0,78	<0,39	0,78	0,78
LOEC	3,13	1,56	1,56	0,00	1,56	0,78	1,56	0,39	1,56	1,56
H	22,78	24,58	25,40	26,22	26,01	26,26	25,64	26,10	24,98	25,97
Sig	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Fragmentación</b>										
CE <sub>50</sub>	24,29	8,04	5,46	2,86	3,43	2,40	2,23	2,02	6,90	4,22
CE <sub>50</sub> inferior	12,89	5,22	3,86	2,09	2,46	1,75	1,51	1,46	4,54	2,87
CE <sub>50</sub> superior	45,78	12,40	7,73	3,91	4,80	3,30	3,29	2,79	10,49	6,21
NOEC	3,13	1,56	1,56	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
LOEC	6,25	3,13	3,13	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56
H	24,52	26,78	25,8	26,9	26,8	26,71	26,81	26,6	25,72	26,82
Sig	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Adelgazamiento</b>										
CE <sub>50</sub>	42,34	4,48	6,99	1,75	2,03	1,07	1,54	1,04	6,7	3,81
CE <sub>50</sub> inferior	12,77	2,10	3,19	0,97	1,03	0,55	0,84	0,59	3,37	2,02
CE <sub>50</sub> superior	140,44	9,55	15,32	3,14	4,00	2,07	2,79	1,83	13,33	7,18
NOEC	0,39	0,39	0,39	<0,39	<0,39	<0,39	<0,39	<0,39	0,39	<0,39
LOEC	0,78	0,78	0,78	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,78	0,39
H	23,21	25,61	24,39	26,21	25,79	26,26	26,52	25,84	24,96	26,30
Sig	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Oscurecimiento</b>										
CE <sub>50</sub>	21,49	6,62	6,11	3,53	3,21	2,58	2,47	1,93	8,22	3,79
CE <sub>50</sub> inferior	10,28	3,74	3,93	2,44	2,23	1,77	1,67	1,28	5,32	2,45
CE <sub>50</sub> superior	44,94	11,71	9,51	5,11	4,64	3,74	3,66	2,92	12,69	5,86
NOEC	3,13	3,13	0,78	0,78	0,78	0,78	0,39	0,39	0,78	0,78
LOEC	6,25	6,25	1,56	1,56	1,56	1,56	0,78	0,78	1,56	1,56
H	26,54	26,37	26,02	25,97	26,30	25,90	26,46	26,55	26,33	25,94
Sig	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Longitud media</b>										
NOEC	12,5	3,13	0,39	12,5	1,56	0,78	12,5	0,78	0,39	12,5
LOEC	>12,5	6,25	0,78	>12,5	3,13	1,56	>12,5	1,56	0,78	>12,5
F	2,01	ND	2,91	1,30	7,79	3,76	0,62	13,73	25,03	2,31
Sig	0,11	ND	0,04	0,31	<0,01	0,02	0,69	<0,01	<0,01	0,09
H	ND	20,85	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sig	ND	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Peso medio</b>										
NOEC	3,13	0,78	NA	0,39	0,78	0,78	0,78	<0,39	0,78	<0,39
LOEC	6,25	1,56	0,39	0,78	1,56	1,56	1,56	0,39	1,56	0,39
F	ND	99,13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sig	ND	<0,01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
H	20,91	ND	22,53	24,09	24,87	25,10	24,90	26,02	24,90	25,05
Sig	<0,01	ND	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

CL<sub>50</sub>: Concentración letal media. CL<sub>50</sub> inferior y CL<sub>50</sub> superior: Intervalos de confianza al 95% de la CL<sub>50</sub>. CE<sub>50</sub>: Concentración efectiva media. CE<sub>50</sub> inferior y CE<sub>50</sub> superior: Intervalos de confianza al 95% de la CE<sub>50</sub>. NOEC: Concentración de efectos no observables. LOEC: Concentración más baja de efectos observables. F= Prueba de Fisher. H = Prueba de Kruskal- Wallis. Sig = Significancia. CA-SU = Puntos de muestreo.

La mayor letalidad predominó en los suelos que se sitúan en la parte central del botadero. Además, se evidenció la presencia de efectos subletales en la *E. fetida*, tales como el adelgazamiento de las lombrices relacionado con la pérdida de peso corporal, y otros efectos subletales como la fragmentación, oscurecimiento y reducción de la longitud de los oligoquetos. La evidencia sugiere que los residuos municipales dispuestos en los botaderos, son fuentes de degradación de la calidad de los suelos y por tanto de la biota que alberga.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Ajibade, F; B Adelodun; T Ajibade; K Lasis; C Abiota; J Adewumi & C Akinbile, C. 2020. The threatening effects of dumping on soil at waste disposal sites of Akure City, Nigeria. *Int J Environ Waste Manag* 27:1512-1586.
- Ali, I; S Siddeg; A Idris; E Brima; K Ibrahim; S Ebraheem & M Arshad. 2021. Contamination and human health risk assessment of heavy metals in soil of a municipal solid waste dumpsite in Saudi Arabia. *Toxin Rev* 40:102-115.
- Alloway, BJ. 2013. Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. *Environ Pollut* 22:400-410.
- Alves, L; N Cardoso; M Martines; P Sousa & A Pasini. 2013. Earthworm ecotoxicological assessments of pesticides used to treat seeds under tropical conditions, *Chemosphere* 90:2674-2682.
- Amadi, S; C Anikwe; E Obanya & U Okoroafor. 2019. Assessment of the environmental impacts of solous municipal solid waste landfills using soil properties and earthworms (*Eudrilus eugeniae*). *JASEM* 23:315-321.
- Cáceres-Del Carpio, FA & J Iannacone. 2021. Evaluación del riesgo ambiental por los insecticidas fipronil e imidacloprid en el camarón de río (*Cryphiops caementarius*). *La Granja* 33:103-113.
- Calderón, F; D Nielsen; V Acosta-Martinez; M Vigil & D Lyon. 2016. Cover crop and irrigation effects on soil microbial communities and enzymes in semiarid agroecosystems of the Central Great Plains of North America. *Pedosphere* 26:192-205.
- Castellanos, M; R Isaza & J Torres. 2015. Evaluación de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) sobre suelos urbanos en Maicao, Colombia. *Rev Colomb Quim* 44:11-17.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1996. Acid digestion of sediments, sludges, and soils. EPA. Washington, DC. USA.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2007. Method 8015C: Nonhalogenated organics by gas chromatography, Revision 3. EPA. Washington, DC. USA.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2014. Method 6020B (SW-846): Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. Revision 2. EPA. Washington, DC. USA.
- Food and Agricultural Organization (FAO). 2008. Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis. FAO. Rome, Italy. 201 p.
- Gómez, C; E Esteban & P Sánchez. 2014. Assessing the ecotoxicological effects of long-term contaminated mine soils on plants and earthworms: relevance of soil and body concentrations. *Ecotoxicology* 23:1195-1209.
- Hafeez, S; A Mahmood; H Syed; J Li; U Ali; N Malik & G Zhang. 2016. Waste dumping sites as a potential source of POPs and associated health risks in perspective of current waste management practices in Lahore city, Pakistan. *Sci Total Environ* 562:953-961.



- Homa, J; SR Stürzenbaum & E Kolaczowska. 2016. Metallothionein 2 and Heat Shock Protein 72 protect *Allolobophora chlorotica* from Cadmium but not Nickel or Copper exposure: Body malformation and coelomocyte functioning. *Arch Environ Contam Toxicol* 71:267-277.
- Karim, R; M Kuraoka; T Higuchi; M Sekine & T Imai. 2017. Assessment of heavy metal contamination from municipal solid waste dumping sites. *Int J Environ Waste Manag*, 19:191-202.
- Li, Y; X Wang & Z Sun. 2020. Ecotoxicological effects of petroleum-contaminated soil on the earthworm *Eisenia fetida*. *J Hazard Mater* 393:304-314.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). 2014. Guía para Muestreo de Suelos. MINAM. Lima, Perú. 38 p. [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO\\_MINAM1.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf)
- Ministerio del Ambiente (MINAM). 2021. Sistema Nacional de Información Ambiental: Estadística Ambiental de Residuos. En: <https://sinia.minam.gob.pe/>
- OECD. 1984. OECD Guideline for testing of chemicals No 207, Earthworm, acute toxicity tests, OECD, Paris, France.
- Oregon State University (OSU). 2011. Soil interpretation Analysis Guide. OSU.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). 2018. Portal Interactivo de Resultados de Inventario Nacional de Áreas Degradadas por Residuos Municipales. Gobierno del Perú. OEFA. <https://pifa.oefa.gob.pe/AppResiduos/>
- Pelosi, C; S Barot; Y Capowiez; M Hedde & F Vandenbulcke. 2014. Pesticides and earthworms, A review. *Agron Sustain Dev* 34:199-228.
- Qiao, Z; F Zhang; X Yao; H Yu; S Sun; X Li; J Zhang & X Jiang. 2019. Growth, DNA damage and biochemical toxicity of cyantraniliprole in earthworms (*Eisenia fetida*), *Chemosphere* 236:124-128.
- Singh, S; A Sharma; K Khajuria; J Singh & A Vig. 2016. Soil properties changes earthworm diversity indices in different agro-ecosystem. *BMC Ecol* 20:2-14.
- Singh, S; RK Tiwari & RS Pandey. 2019. Acute toxicity evaluation of triazophos, deltamethrin and their combination on earthworm, *Eudrilus eugeniae* and its impact on AChE activity. *Chem Ecol* 35: 563-575.
- Stockemer, D. 2019. Quantitative Methods for the Social Sciences, A Practical Introduction with Examples in SPSS and Stata. Springer Nature, Switzerland.
- Zhang, C; L Zhu; J Wang; J Wang; Z Du; B Li; T Zhou; C Chao & Z Wang. 2018. Evaluating subchronic toxicity of fluoxastrobin using earthworms (*Eisenia fetida*). *Sci. Total Environ* 642:567-573.

