



ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

EDAPHIC MACROFAUNA AND HEAVY METALS IN THE CACAO CROP, *THEOBROMA CACAO* L. (MALVACEAE)

MACROFAUNA EDÁFICA Y METALES PESADOS EN EL CULTIVO DE CACAO, *THEOBROMA CACAO* L. (MALVACEAE)

Miguel Huauya¹ & Hugo Huamani¹

¹Laboratorio de Análisis de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria de la Selva.
Correo electrónico: mhuauyar@gmail.com/hhuamani@hotmail.com

The Biologist (Lima), 2014, 12 (1), jan-jun: 45-55.

ABSTRACT

The processes of accumulation of heavy metals in soils are a serious risk for all living beings. Soil macrofauna also is affected and can be an indicator of soil pollution and used to assess its quality. The objective of this study was to evaluate the presence and influence of available soil cadmium and lead on the density and diversity of soil macrofauna in cultivated cacao under organic management. In coordination with Agrarian Cooperative La Divisoria, 22 plots of organically farmed cacao were selected in the Huanuco (17) and Ucayali (5) regions. From each plot a composite soil sample was obtained to perform physical and chemical analyses according to established methodologies. The evaluation of soil macrofauna was carried out from soil monoliths of 25 x 25 x 20 cm from which were manually-collected macrofaunal individuals. The average content of available cadmium and lead in soils were 0.53 ppm and 3.02 ppm respectively. The average macrofauna density was 511±374 individuals·m⁻² with the predominant taxa Hymenoptera and Oligochaeta having an average density of 213±258 individuals·m⁻² (41.8 %) and 111±107 individuals·m⁻² (21.8 %), respectively. It was concluded that Isoptera density presented significant positive correlation with the content of available soil cadmium.

Keywords: cacao, cadmium, lead, macrofauna.

RESUMEN

Los procesos de acumulación de metales pesados en el suelo es un serio riesgo para todos los seres vivos. La macrofauna del suelo también es afectada y puede ser un indicador de la contaminación del suelo y empleada para evaluar su calidad. El objetivo del trabajo fue evaluar la presencia e influencia del cadmio y plomo disponible del suelo sobre la densidad y diversidad de macrofauna del suelo en el cultivo de cacao bajo manejo orgánico. En coordinación con la Cooperativa Agraria La Divisoria se seleccionaron 22 parcelas de agricultores cacaoteros orgánicos localizados en las regiones Huánuco (17) y Ucayali (5), Perú. Por cada parcela se obtuvo una muestra compuesta de suelo para realizar análisis físico químico de acuerdo a metodologías establecidas. La evaluación de la macrofauna del suelo fue realizada a partir de monolitos de suelo de 25 x 25 x 20 cm de donde se colectó de manera manual los individuos de macrofauna. El contenido promedio de cadmio y plomo disponible en los suelos fueron 0,53 ppm y 3,02 ppm, respectivamente. La densidad promedio de macrofauna fue de 511±374 individuos·m⁻² siendo los taxa predominantes Hymenoptera y Oligochaeta con una densidad promedio de 213±258 individuos·m⁻² (41,8%) y 111±107 individuos·m⁻² (21,8%). Se concluyó que la densidad de Isoptera presentó una correlación significativa positiva con el contenido de cadmio disponible del suelo.

Palabras clave: cacao, cadmio, macrofauna, plomo.

INTRODUCCIÓN

La macrofauna edáfica está representada por animales con diámetro de cuerpo mayor a 2mm como hormigas, coleópteros, arañas, lombrices, ciempiés, termitas, milpiés, etc (Aquino *et al.* 2008). La composición de la macrofauna edáfica del suelo y su abundancia son indicadores de la biodiversidad del suelo y de la intensidad de las actividades biológicas (Velásquez *et al.* 2007). Dentro de los organismos del suelo, las lombrices comprenden del 40% al 90% de la biomasa de la macrofauna del suelo en la mayoría de los ecosistemas tropicales (Andrea 2010).

En los suelos tropicales la macrofauna del suelo tiene un rol importante en mantener los servicios del ecosistema (Lavelle *et al.* 2006), y está íntimamente asociada con los procesos de descomposición de material orgánico y en el reciclaje de nutrientes (Blanchart *et al.* 2006) además afecta las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Vendrame *et al.* 2009).

En sistemas agroforestales con cacao existe abundante y diversificada fauna en el suelo que puede contribuir con un rápido reciclaje de nutrientes, los que pueden ser reabsorbidos por el cultivo (Moco *et al.* 2005).

Los metales pesados están presentes en los suelos como componentes naturales del mismo o como consecuencia de las actividades antropogénicas (Prieto *et al.* 2009). Una vez en el suelo, los metales pesados pueden quedar retenidos en el mismo, pero también pueden ser movilizados mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Pagnanelli *et al.* 2004). Para elucidar el comportamiento de los metales pesados en los suelos y prevenir riesgos tóxicos potenciales se requiere la evaluación de la disponibilidad y movilidad de los mismos (Banat *et al.* 2005).

La acumulación de metales pesados en suelos agrícolas es un aspecto de gran preocupación en cuanto a la seguridad ambiental ya que pueden expresar su potencial efecto contaminante en los organismos del suelo (Souza *et al.* 2007).

Se ha reconocido que la determinación de las formas biodisponibles de los elementos trazas en los suelos es más útil para evaluar la toxicidad en los organismos, en comparación con la determinación de concentraciones totales de dichos elementos (Ávila *et al.* 2007). En condiciones de seis suelos ácidos de Brasil, se determinó que el cadmio soluble e intercambiable representaba entre el 18 al 51% del cadmio total, mientras que en el caso del plomo la fracción soluble e intercambiable correspondía al 3% del plomo total (Costa *et al.* 2007).

Ha sido evaluada la presencia de cadmio disponible en suelos con cultivo de cacao en las regiones Amazonas y San Martín reportándose concentraciones medias de cadmio de 0,21 ppm y 0,14 ppm, respectivamente (Zuñiga *et al.* 2008).

Cárdenas (2012) al evaluar la presencia de cadmio en localidades de la provincia de Leoncio Prado, Huánuco, determinó un contenido medio de 0.66 ppm y 1.55 ppm de cadmio en suelos y almendras de cacao orgánico respectivamente.

Los invertebrados pueden ser considerados como indicadores de la calidad del suelo debido a que su diversidad, número y funciones son sensibles al estrés y al cambio ambiental en las condiciones del suelo, asociadas a la labranza, la aplicación de fertilizantes y plaguicidas, la quema, la tala y otras actividades realizadas en los sistemas de cultivo (Rendon *et al.* 2011). La macrofauna del suelo responde a la contaminación de metales pesados tales como cadmio, cobre, plomo y mercurio de varias maneras por lo que

puede ser un indicador de la contaminación de suelos y empleados para evaluar la calidad del suelo (Li *et al.* 2010).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la presencia e influencia de metales pesados disponibles del suelo sobre la densidad y diversidad de macrofauna del suelo en el cultivo de cacao bajo manejo orgánico en Huánuco y Ucayali, Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de lugares

Entre diciembre del 2010 y enero del 2011 se seleccionaron 22 parcelas de agricultores con el cultivo de cacao orgánico en producción asociados a la Cooperativa Agraria Cafetalera La Divisoria. En la Región Huánuco (75°12'W, 8°49' S) se escogieron 17 parcelas cuya codificación asignada fue: Pumahuasi (Pu1, Pu2, Pu3, Pu4); Mapresa (Ma1, Ma2, Ma3, Ma4); Pendencia (Pe1, Pe2, Pe3, Pe4, Pe5); Frontera (F1, F2); Trampolin (T1); Huayhuante (H1). En la Región Ucayali (75°12'W, 8°49' S) se seleccionaron cinco parcelas siendo su codificación: San Alejandro (Sa1, Sa2, Sa3, Sa4, Sa5). La zona de vida de estas áreas corresponde a bosque muy húmedo premontano subtropical.

Obtención y evaluación de muestras de suelo

Para el análisis físico y químico del suelo mediante el empleo del tubo muestreador, por cada parcela, se obtuvo una muestra compuesta de un kg a partir de 20 submuestras que fue colocada en una bolsa rotulada. Las 22 muestras obtenidas fueron enviadas al laboratorio donde se determinó la textura, pH, materia orgánica, fósforo, aluminio más hidrógeno, capacidad de intercambio catiónico de acuerdo a las metodologías descritas por Bazán (1996). El contenido de cadmio y plomo disponible se determinó con el empleo del

extractante EDTA 0,05M pH 7 y posterior lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica (Westerman 1990).

Evaluación de la macrofauna

De acuerdo a la metodología establecida por Anderson & Ingram (1993) en cada parcela fueron obtenidas tres repeticiones de suelo con la ayuda de un cuadrante de 25x25x20cm, haciendo un total de 66 muestras. Las muestras fueron acondicionadas en bolsas de plástico y enviados al laboratorio donde los individuos se extrajeron de manera manual con ayuda de pinzas y colocadas en recipientes con alcohol al 70% para su identificación taxonómica hasta el nivel de orden (Ruiz & Lavelle 2008). La densidad de macrofauna del suelo fue obtenida a partir de la transformación del número de individuos, encontrados en cada monolito, en número de individuos por metro cuadrado (individuos.m²).

Análisis de datos

El índice de diversidad de Shannon (H) se determinó por $H = -\sum p_i \ln p_i$ donde p_i indica la proporción de un grupo determinado; el índice de equidad (J) se determinó por $J = H/\ln S$ donde S indica el número total de taxas en la muestra.

Los datos obtenidos de densidad y diversidad fueron normalizados por medio de $\log(x+1)$ y fueron comparados con la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. Para evaluar la dependencia entre la densidad de macrofauna con el conjunto de variables físico químicas de los suelos evaluados se realizó un análisis de regresión lineal múltiple por pasos sucesivos obteniéndose modelos estadísticos. Asimismo, se realizó el análisis de correlación para evaluar la asociación entre la densidad de macrofauna e índices de diversidad con respecto al contenido de cadmio y plomo disponible. Se empleó el programa estadístico SPSS 17.

RESULTADOS

Metales pesados en los suelos

Los suelos estudiados, en general, presentaron adecuadas condiciones físico químicas para el cultivo de cacao (Tabla 1). En las zonas muestreadas las concentraciones promedio de cadmio y plomo disponible en los suelos fueron 0,53 ppm y 3,02 ppm, respectivamente.

Las mayores concentraciones de cadmio disponible encontrados (1,52 y 0,93 ppm) se relacionaron con la capacidad de intercambio catiónico y fósforo disponible. En el caso del plomo disponible los mayores valores encontrados (6,83 y 5,92 ppm) presentaron una relación con el pH, materia orgánica, fósforo disponible, potasio disponible y la capacidad

Tabla 1. Características físico – químicas de las muestras de suelos agrícolas en las regiones Huánuco y Ucayali, Perú.

Lugar ⁽¹⁾	Arcilla (%)	P ⁽²⁾	Cd ⁽³⁾	Pb ⁽⁴⁾	pH	MO ⁽⁵⁾	Al+H ⁽⁶⁾	CIC ⁽⁷⁾
		------(ppm)-----				(%)	---cmol(+) kg ⁻¹ ---	
Pu1	34	8,60	1,52	1,87	5,26	2,09	0,75	9,65
Pu2	20	8,60	0,47	2,21	7,53	2,30	0,00	11,20
Pu3	20	9,80	0,48	1,95	7,17	2,72	0,00	10,84
Pu4	17	9,60	0,37	1,81	7,29	2,09	0,00	10,60
Ma1	10	10,30	0,51	4,27	7,23	2,09	0,00	9,71
Ma2	14	9,40	0,53	5,71	7,19	2,51	0,00	10,20
Ma3	26	8,40	0,42	3,33	6,67	2,93	0,00	11,04
Ma4	17	9,10	0,49	4,27	6,38	3,97	0,00	9,04
Pe1	25	10,40	0,38	2,16	5,26	2,90	0,80	9,70
Pe2	15	11,50	0,39	5,92	6,88	2,93	0,00	10,47
Pe3	25	6,90	0,31	1,71	4,68	2,72	1,60	7,26
Pe4	17	8,60	0,54	6,83	7,14	2,72	0,00	10,24
Pe5	25	9,40	0,53	1,07	4,03	2,51	1,60	4,38
F1	28	12,20	0,44	3,17	5,41	3,34	0,75	9,58
F2	22	9,90	0,42	1,73	5,08	2,72	1,75	8,57
T1	30	10,20	0,93	2,08	6,72	2,72	0,00	10,54
H1	18	11,00	0,50	2,03	6,99	1,04	0,00	9,78
Sa1	27	12,40	0,43	2,85	4,88	2,30	2,10	9,73
Sa2	33	7,90	0,44	2,77	5,00	2,09	0,30	9,22
Sa3	33	10,60	0,46	4,19	4,73	2,72	0,31	7,31
Sa4	39	10,90	0,44	2,56	5,18	2,09	0,30	7,16
Sa5	35	12,80	0,59	1,89	5,60	3,34	0,00	6,52
μ ⁽⁸⁾	24	9,93	0,53	3,02	6,05	2,58	0,35	9,22
D.E ⁽⁹⁾	7,78	1,47	0,25	1,55	1,07	0,58	0,52	1,67

⁽¹⁾ Pu: Pumahuasi; Ma: Mapresa; Pe: Pendencia; F: Frontera; T: Trampolín; H: Huayhuante; Sa: San Alejandro. ⁽²⁾ Fósforo. ⁽³⁾ Cadmio. ⁽⁴⁾ Plomo. ⁽⁵⁾ Materia orgánica. ⁽⁶⁾ Aluminio + Hidrógeno. ⁽⁷⁾ Capacidad de Intercambio catiónico. ⁽⁸⁾ μ: Promedio. ⁽⁹⁾ Desviación estándar.

Densidad de macrofauna

El valor promedio de densidad fue 511 ± 374 individuos.m⁻² siendo el mayor valor de densidad (1371 individuos.m⁻²) localizado en

las parcelas Pe5 y T1 que difieren de manera significativa con las demás localidades (Tabla 2).

Tabla 2. Densidad (individuos m⁻²) de grupos taxonómicos de macrofauna edáfica en suelos de las regiones Huánuco y Ucayali, Perú.

Lugar ⁽¹⁾	O ⁽²⁾	H	I	G	Ch	C	Is	E	Total
Pu1	58,67ab ⁽⁵⁾	640,00ab	266,7a	0,0b	26,67a	10,67a	5,33ab	53,33a	1088,0ab
Pu2	80,0ab	10,67ab	0,00a	74,70ab	53,33a	26,67a	0,00b	0,00a	245,34ab
Pu3	192,0ab	117,33ab	0,00a	122,7a	37,33a	58,67a	5,33ab	0,00a	549,33ab
Pu4	90,67ab	266,67ab	0,00a	42,70ab	128,0a	80,00a	37,3ab	0,00a	693,34ab
Ma1	10,67b	0,00b	0,00a	0,00b	21,33a	16,00a	0,00b	0,00a	64,00b
Ma2	90,67ab	10,67ab	0,00a	21,3ab	21,33a	64,00a	0,00b	0,00a	224,00ab
Ma3	21,33ab	170,67ab	0,00a	53,30ab	53,33a	32,00a	42,7ab	32,00a	442,66ab
Ma4	186,7ab	96,00ab	0,00a	42,70ab	53,33a	10,67a	5,33ab	0,00a	410,67ab
Pe1	165,3ab	16,00ab	0,00a	53,30ab	122,7a	37,33a	96,0a	0,00a	490,66ab
Pe2	48,00ab	560,00ab	0,00a	69,30ab	16,00a	16,00a	0,00ab	0,00a	725,33ab
Pe3	138,7ab	325,33ab	0,00a	0,00ab	58,67a	42,67a	69,3ab	0,00a	645,34ab
Pe4	16,00ab	149,33ab	5,33a	26,70ab	80,00a	21,33a	10,7ab	0,00a	325,33ab
Pe5	117,3ab	517,33ab	592,0a	0,00b	37,33a	37,33a	5,33ab	53,33a	1370,65a
F1	501,3a	106,67ab	0,00a	10,7ab	96,00a	16,00a	5,33ab	0,00a	736,00ab
F2	80,00ab	138,67ab	69,33a	0,00b	10,67a	5,33a	0,00ab	21,33a	357,33ab
T1	202,7ab	992,00a	53,33a	0,00b	74,67a	16,00a	16,0ab	0,00a	1370,7a
H1	186,7ab	69,33ab	0,00a	0,00b	21,33a	42,67a	0,00b	0,00a	320,00ab
Sa1	69,33ab	362,67ab	0,00a	107ab	10,67a	5,33a	0,00b	0,00a	554,67ab
Sa2	21,33ab	37,33ab	0,00a	58,7ab	10,67a	0,00a	0,00b	0,00a	144,00ab
Sa3	69,33ab	48,00ab	21,33a	5,33ab	21,33a	5,33a	0,00b	0,00a	175,98ab
Sa4	37,33ab	10,67ab	0,00a	16,0ab	10,67a	0,00a	0,00b	0,00a	74,67ab
Sa5	64,00ab	48,00ab	0,00a	32,0ab	48,00a	16,00a	5,33ab	0,00a	229,33ab
μ ⁽³⁾	111,3	213,33	46,54	33,46	46,06	25,45	13,82	7,27	510,79
D.E ⁽⁴⁾	106,5	258,07	134,9	36,22	35,36	21,71	25,43	16,91	374,25
%	21,8	41,8	9,1	6,5	9,0	5,0	2,7	1,4	100

⁽¹⁾Pu:Pumahuasi; Ma: Mapresa; Pe:Pendencia; F:Frontera; T:Trampolín; H:Huayhuante; Sa: San Alejandro. ⁽²⁾O:Oligochaeta, H:Hymenoptera, I: Isoptera, G:Gastropoda, Ch:Chilopoda, C:Coleoptera, Is:Isopoda, E:Entrycheida, ⁽³⁾μ: Promedio. ⁽⁴⁾Desviación estándar. ⁽⁵⁾Medias seguidas de la misma letra no difieren entre si en la prueba de Tukey con una probabilidad del 5%.

Metales pesados en la densidad y diversidad de macrofauna

En relación a los órdenes de suelo resalta la correlación altamente significativa que presenta el cadmio con el orden Isoptera

representado por las termitas (Tabla 3). Respecto a la densidad de macrofauna del suelo el plomo presenta una influencia negativa mientras que en el caso del cadmio su influencia es positiva.

Tabla 3. Correlaciones de Pearson entre las concentraciones de Cd y Pb con variables biológicas en el cultivo de cacao de las regiones Huánuco y Ucayali, Perú.

Grupos	Cd ⁽¹⁾	Pb ⁽²⁾
Densidad	0,304	-0,358
Oligochaeta	-0,004	-0,404
Hymenoptera	0,292	-0,326
Isoptera	0,551**	-0,392
Isopoda	0,005	-0,283
Gastropoda	-0,397	0,342
Chilopoda	-0,002	-0,119
Coleoptera	-0,054	-0,093
Entrycheida	0,404	-0,375
Indíces		
Shannon	-0,256	-0,115
Equidad	-0,387	-0,010

⁽¹⁾Cadmio. ⁽²⁾ Plomo. ** Significativo con una probabilidad menor al 1%.

En el caso donde se pudo obtener modelos a partir del análisis de regresión lineal múltiple por pasos sucesivos se resalta la influencia que ejercen de manera diferenciada el cadmio y plomo disponible del suelo sobre la densidad

de los órdenes de macrofauna evaluados siendo de especial relevancia en el caso de los órdenes Isoptera y Coleóptera donde se tiene significancia estadística (Tabla 4).

Tabla 4. Modelos de regresión lineal múltiple de la macrofauna del suelo en relación a variables físico químicas del suelo de las regiones Huánuco y Ucayali, Perú.

Grupo	Modelo	r ²
Oligochaeta	2,499 – 1,057Pb ⁽¹⁾	0,163NS ⁽⁵⁾
Hymenoptera	-1,197 + 2,342Arc ⁽²⁾	0,171NS
Isoptera	3,494 + 8,828Cd ⁽³⁾ – 4,515CIC ⁽⁴⁾	0,481S ⁽⁶⁾
Coleoptera	5,487 – 2,514Arc – 1,383Pb	0,408S
Entrycheida	-0,483 + 4,299Cd	0,163NS

⁽¹⁾Plomo. ⁽²⁾Arcilla. ⁽³⁾Cadmio. ⁽⁴⁾ Capacidad de Intercambio catiónico. ⁽⁵⁾No Significativo. ⁽⁶⁾Significativo.

DISCUSIÓN

Metales pesados en el suelo

El contenido promedio de cadmio y plomo disponible determinado en los suelos fue de 0,53 ppm y 3,02 ppm (Tabla 1). El criterio establecido para determinar si un suelo agrícola presenta contaminación por metales pesados está basado en el contenido total de

metales pesados. De este modo, Acevedo *et al.* (2005) refieren que en la Unión Europea se ha establecido para suelos agrícolas las máximas concentraciones totales permitidas de metales pesados de 3 ppm y 300 ppm de cadmio y plomo, respectivamente. Reyes & María (2004) al evaluar el contenido de metales pesados en el cultivo de cacao orgánico en República Dominicana establecieron que el cadmio y plomo disponible representan el 33%

y 11,7% del contenido de cadmio y plomo total. En base a estas referencias se puede considerar en suelos como niveles máximos permitidos de cadmio y plomo disponible 0,99 ppm y 35,1 ppm. De los 22 suelos analizados sólo en una de ellas (Pu1) se tuvo un nivel elevado de cadmio disponible (1,52 ppm) mientras que en las 21 restantes no superaron el máximo nivel permitido. En el caso del plomo todos los suelos presentaron niveles de plomo disponible por debajo del máximo permitido.

Macrofauna del suelo

Analizando la densidad de macrofauna a nivel de las localidades evaluadas se tiene que en las parcelas Pe5 y T1 presentaron una densidad promedio de 1371 individuos.m⁻² que resultó estadísticamente significativa en relación con la densidad de las demás parcelas (Tabla 2). En el caso de la parcela Pe5 se puede relacionar con la menor concentración de plomo disponible reportada en este suelo (1,07 ppm). Además en el caso de la densidad de la parcela T1 está representada principalmente por el orden Hymenoptera (72%) mientras que en el caso de la parcela Pe5 se presenta una mayor distribución poblacional siendo los órdenes más abundantes Isoptera e Hymenoptera (43% y 38%).

De manera global la mayor densidad porcentual de macrofauna edáfica corresponde a los grupos Hymenoptera (41,8%), Oligochaeta (21,8%) e Isoptera (9,1%) correspondiendo estos tres grupos al 72,7% de la densidad de individuos encontrado. El grupo Oligochaeta se encontró en todas las 22 parcelas evaluadas, mientras que el grupo Hymenoptera sólo en una parcela estuvo ausente. En el caso del grupo Isoptera sólo estuvo presente en 6 parcelas mientras que en las 16 restantes (73%) estuvo ausente. Esta situación debe de tenerse en consideración toda vez que estos tres grupos (hormigas, lombrices y termitas) son considerados como los “ingenieros del suelo” en razón a sus efectos sobre la estructura del suelo al formar

galerías, nidos, cámaras y residuos fecales por lo que pueden afectar de manera significativa las propiedades físicas de los suelos así como la disponibilidad de recursos para otros organismos (Lima *et al.* 2010). Vela (2009) al evaluar la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú estableció para el cultivo de cacao manejado bajo el sistema agroforestal una densidad promedio de 527 individuos m⁻² siendo los órdenes Hymenoptera (41,1%) e Isoptera (34,2%) los más abundantes.

Metales pesados en la densidad y diversidad de macrofauna del suelo

De acuerdo a los datos obtenidos (Tabla 3) se tiene una correlación positiva altamente significativa entre el cadmio del suelo y la densidad de Isoptera lo que implica considerar que la población de este grupo de invertebrados no presenta problemas de toxicidad conforme se incrementa el contenido de cadmio del suelo. De este modo se presentó la mayor densidad de Isoptera (266,7 individuos.m⁻²) en la parcela (Pu1) donde se presentó el mayor contenido de cadmio disponible de los suelos evaluados (1,52 ppm). Field (2012) refiere que al evaluar el contenido de cadmio en suelos y termiteros encontró una concentración promedio de 0,2 ppm de cadmio mientras que a nivel de las estructuras internas de la termita presentan valores por debajo de 0,2 ppm de cadmio lo cual sugiere que no se produce una bioacumulación de este metal en la termita. De este modo, la mayor presencia de cadmio no originaría toxicidad de este metal en la termita.

La influencia negativa que presenta el plomo respecto a la densidad de macrofauna puede ser consecuencia de las mayores concentraciones de plomo disponible encontrado en los suelos evaluados en comparación con las cantidades de cadmio disponible reportado. Chrzan & Worlowska (2011) al evaluar el efecto de la concentración de metales pesados sobre la pedofauna del

suelo en bosques de Polonia encontraron que en la zona con mayor contenido de plomo total (44,57 ppm) reportaron la menor densidad de pedofauna (472 individuos.m⁻²) mientras que en la zona con mayor contenido de cadmio total (0,81 ppm) se encontró la mayor densidad de macrofauna (18256 individuos.m⁻²). Por otro lado, Ciarkowska & Gambús (2005) al evaluar la formación de humus en suelos con elevados contenidos de metales pesados encontraron una mayor presencia de carbono orgánico (89,36 g/Kg) donde se presentaban altos valores de metales pesados (Cd: 106 mg/.Kg⁻¹, Pb: 2723 mg/.Kg⁻¹) lo cual indican se debe probablemente al resultado de la reducción de la densidad de la fauna del suelo que es la responsable de la descomposición y humificación de los residuos orgánicos.

A nivel de densidad de órdenes de macrofauna, en el caso del plomo en general se aprecia una influencia negativa siendo el efecto más notorio con los órdenes Oligochaeta, Hymenoptera e Isoptera, mientras que en el caso del cadmio disponible presenta una influencia variable en la densidad de los órdenes de macrofauna del suelo. La situación que acontece con el plomo es resaltante toda vez que la presencia de plomo sería perjudicial para los representantes de estos órdenes considerados los ingenieros del suelo (Barros *et al.* 2003).

En el caso del orden Oligochaeta está considerado como organismos que tienen la capacidad de acumular metales pesados a partir de sustratos contaminados por lo que son considerados como bioindicadores de la concentración de metales en el medio ambiente (Lapinski & Rosciszewska 2008). Brewer & Barret (1995) al evaluar el efecto de cadmio en lombriz determinaron una concentración de cadmio en el sustrato de 2 µg/g⁻¹ mientras que a nivel de tejido el contenido fue 40 veces mayor que en el sustrato.

Al analizar los modelos de regresión lineal (Tabla 4) nos permite confirmar la distinta influencia que ejercen el cadmio y plomo disponible en la densidad de macrofauna del suelo. En el caso del modelo establecido para explicar la densidad de Isoptera se aprecia que presenta una significancia estadística presentando una relación positiva con la presencia de cadmio disponible del suelo lo cual puede deberse al bajo contenido promedio de cadmio disponible en los suelos evaluados así como a que las termitas no presentan la capacidad de bioacumular cadmio (Field 2012), por lo que no podrían generarle toxicidad. La importancia del modelo establecido para explicar la densidad de Coleóptera es que nos permite demostrar de una manera significativa el efecto negativo que tiene el plomo disponible del suelo aunada en este caso a la influencia negativa de la arcilla lo que puede estar referido a que estos organismos prefieran suelos ligeros para su desarrollo.

Tanto el cadmio como el plomo disponible de los suelos influyo negativamente en la diversidad de macrofauna edáfica expresada con los índices de Shannon y Equidad teniendo el cadmio un mayor efecto (Tabla 3). Ha sido referido que la consecuencia de la acumulación de metales pesados en el suelo es la desactivación biológica del subsistema suelo. Este proceso es manifestado, entre otros, en las limitaciones en los procesos de degradación de la materia orgánica debido a la reducción de la densidad, diversidad y actividad de los microorganismos y pedofauna (Marko-Worlowska *et al.* 2011). Por otro lado, Li *et al.* (2010) al evaluar el efecto de la acumulación por contaminación de elementos raros terrestres (La, Cs, Nd, Pr) sobre la macrofauna del suelo determinaron que las bajas concentraciones de estos elementos raros puede promover la diversidad de la macrofauna del suelo mientras que en altas concentraciones lo puede reducir.

Se concluyó en este trabajo, que la densidad de Isoptera presentó una correlación significativa positiva con el contenido de cadmio disponible del suelo.

AGRADECIMIENTOS

A la Cooperativa Agraria Cafetalera Divisoria Ltda. por la coordinación con los agricultores y subvencionar los análisis de laboratorio realizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, E.; Carrasco, M.; León, O.; Martínez, E.; Silva, P.; Castillo, G.; Ahumada, I.; Borie, G. & Gonzáles, S. 2005. *Criterios de calidad de suelo agrícola*. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. 205 p.
- Anderson, J. & Ingram, J. 1993. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. 2nd ed. Wallingford: CAB International. 221p.
- Andrea, M. De. 2010. O uso de minhocas como bioindicadores de contaminação de solos. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), 2: 95-107.
- Aquino, A. De.; Silva, R. Da.; Mercante, F.; Correia, M.; Guimarães, M. De & Lavelle, P. 2008. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the non-till system in the Cerrado. *European Journal of Soil Biology*, 44:191-197.
- Ávila, G.; Gaete, H.; Morales, M. & Neman, A. 2007. Reproducción de *Eisenia foetida* en suelos agrícolas de áreas mineras contaminadas por cobre y arsénico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42: 435–441.
- Bazán, R. 1996. *Manual para el análisis químico de suelos, aguas y plantas*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 55p.
- Banat, K.; Howari, F. & Al-Hamad, A. 2005. Heavy metals in urban soils of central Jordan: should we worry about their environmental risks. *Environmental Research*, 97: 258-273.
- Barros, E.; Neves, A.; Blanchart, E.; Fernández, E.; Wandelli, E & Lavelle, P. 2003. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. *Pedobiología*, 47: 273-280.
- Blanchart E.; Villenave, C.; Viallatoux, A.; Barthés, B.; Girardin, C.; Azontonde, A. & Feller, C. 2006. Long-term effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern Benin. *European Journal of Soil Biology*, 42:136-144.
- Brewer, R & Barret W. 1995. Heavy metal concentrations in earthworms following long-term nutrient enrichment. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 54: 120–127.
- Cárdenas, A. 2012. *Presencia de cadmio en algunas parcelas de cacao orgánico de la cooperativa agraria industrial Naranjillo, Tingo María, Perú*. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Huánuco. Perú. 96 p.
- Ciarkwoska, K. & Gambús, F. 2005. Micromorphometric characteristics of upper layers of soils contaminated by heavy metals in the vicinity of a zinc and lead ore plant. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14: 417-421.
- Chrzan, A. & Worlowska, M. 2011. *Heavy metals concentration in forest soils*. In: *Proceedings of the 3rd International CEMEPE & SECOTOX Conference*. Skiathos: 45-50.
- Costa, N. Das.; Meurer, E.; Bissani, C. & Tedesco, M. 2007. Fraccionamento sequencial de cádmio e chumbo em solos. *Ciência Rural Santa Maria*, 37: 1323–1328.

- Field, M. 2012. *The impact of mine tailings on snouted harvester termites, Trinervitermes trinervoides (Sjostedt) (Isoptera: Termitidae), in the Vaal river región*. Thesis Master of Science. University of the Witwatersrand. Johannesburg. South Africa. 110 p.
- Lapinski, S. & Rosciszewska, M. 2008. The impact of cadmium and mercury contamination on reproduction and body mass of earthworms. *Plant Soil Environmental*, 54: 61 – 65.
- Lavelle, P.; Decaëns, T.; Aubert, M.; Barot, S.; Blouin, M.; Bureau, F.; Margerie, P. & Rossi, J.P. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42:3-15.
- Li, J.; Hong, M.; Yin, X. & Liu, J. 2010. Effects of the accumulation of the rare earth elements on soil macrofauna community. *Journal of Rare Earths*. 28: 957-964.
- Lima, S. De.; Aquino, A. De.; Carvalho, L.; Velásquez, E. & Lavelle, P. 2010. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45:322-331.
- Marko-Worlowska, M.; Wator, G. & Laciak, K. 2011. *Soil macrofauna, scot pine bark (Pinus silvestris L.) topsoil indicators of the environmental pollution by acidifying components and heavy metals*. In: *Proceedings of the 3rd International CEMEPE & SECOTOX Conference*, Skiathos: 15-20.
- Moco, M.; Gama-Rodríguez, E.; Gama-Rodríguez, A. & Correia, M. 2005. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na Região Norte Fluminense. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 29: 555-564.
- Pagnanelli, F.; Moscardini, E.; Giuliano, V. & Toro, L. 2004. Sequential extraction of heavy metals in river sediments of an abandoned pyrite mining area: Pollution detection and affinity series. *Environmental Pollution*, 132: 189-201.
- Prieto, J.; González, C.; Román, A. & Prieto, F. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10:29-44.
- Rendón, S.; Artunduaga, F.; Ramírez, R.; Quiroz, J. & Leiva, E. 2011. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del suelo en cultivos de mora, pasto y aguacate. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64:5791-5802.
- Reyes, E. & María, A. 2004. *Contenido de metales pesados tóxicos (níquel, plomo, cobre, cadmio y manganeso) en el cacao de la provincia Monseñor Nouel*. En: *Cacao. Resultados de Investigación*. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Santo Domingo. pp. 62 - 73.
- Ruiz, N. & Lavelle, P. 2008. *Soil Macrofauna Field Manual. Technical Level*. FAO. 100 p.
- Souza, M. De; Vitti, G. & Trevizam, A. 2007. Concentração de metais pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42:527-535.
- Vela, M. 2009. *Macrofauna del suelo en tres sistemas diferentes de uso de la tierra en San Martín*. Tesis Ing. Recursos Naturales – Universidad Nacional Agraria de la Selva, Huánuco, Perú. 70 p.
- Velásquez, E.; Lavelle, P. & Andrade, M. 2007. GISQ a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 39:3066-3080.
- Vendrame, P.; Marchão, R.; Rodríguez, O.; Guimarães, M. & Becquer, T. 2009. Relationship between macrofauna, mineralogy and exchangeable calcium and magnesium in Cerrado Oxisols under pasture. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44:996-1001.

Westerman, R. 1990. *Soil testing and plant analysis*. 3rd ed. Soil Science Society of America, Madison, USA, 784 p.

Zuñiga, C.; Arévalo, E.; Landsber, E.; Baligar, V.; Alvarado, C. & Robles, R. 2008. *Evaluación preliminar de cadmio (Cd) en suelos tropicales y almendras de cacao (Theobroma cacao. L) en la*

región San Martín y Amazonas. En: XI Congreso Nacional y IV Internacional de la Ciencia del Suelo. Tarapoto, Perú: p. 59.

Received March 31, 2014.
Accepted April 19, 2014.