© Ministerio del Ambiente. Dirección General de Investigación e Información Ambiental
Memoria del Primer Encuentro de Investigadores Ambientales
12-13 de diciembre de 2012 (Iquitos, Perú)

EFECTO DE METALES PESADOS SOBRE LA MACROFAUNA DEL SUELO EN CACAO BAJO MANEJO ORGÁNICO EN HUÁNUCO Y UCAYALI, PERÚ

EFFECT OF HEAVY METALS ON SOIL MACROFAUNA IN ORGANICALLY-MANAGED CACAO IN HUANUCO AND UCAYALI, PERU

HUAUYA M. A. & HUAMANÍ H. A.

Resumen

Los procesos de acumulación de metales pesados en el suelo son un serio riesgo para animales, plantas y humanos. La macrofauna del suelo 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 sobre la densidad y diversidad de macrofauna del suelo en el cultivo de cacao bajo manejo orgánico. En coordinación con la Cooperativa Agraria Cafetalera 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 llevada 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 individuos m-2 siendo los órdenes predominantes Hymenoptera y Oligochaeta con una densidad promedio de 213 individuos m-2 (41.8%) y 111 individuos m-2 (21.8%). El plomo disponible en los suelos evaluados afecta negativamente a la densidad y diversidad de macrofauna del suelo lo cual puede deberse a su mayor concentración en los suelos agrícolas en relación con el cadmio.

Palabras clave: Cacao, cadmio, plomo, suelo.

Abstract

The accumulation of heavy metals in soils is a serious risk to animals, plants and humans. Soil macrofauna 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 cadmium and lead on the density and diversity of soil macrofauna in cocoa crops under organic management. In coordination with Cooperativa Agraria Cafetalera La Divisoria, 22 plots of organic cacao located in the Huánuco (17) and Ucayali (5) regions were selected. For each plot, chemical analysis was performed on a soil composite sample according to established methodologies. The evaluation of soil macrofauna was carried out from soil monoliths of 25 x 25 x 20 cm from which macrofauna individuals were collected manually. The average available cadmium and lead concentration in soils were 0.53 ppm and 3.02 ppm respectively. The average macro- fauna density was 511 individuals per m2, principally from the Hymenoptera and Oligochaeta orders, with an average density of 213 individuals per m2 (41.8 %) and 111 individuals per m2 (21.8 %), respectively. Available lead in the soil evaluated negatively affects the density and diversity of soil macro- fauna which may be due to their higher concentration in agricultural soils in relation to cadmium.

Keywords: Cadmium, lead, cocoa, soil.

Introducción

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 en la solución suelo 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). 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).

Los objetivos de la investigación son: i) evaluar el contenido de cadmio y plomo disponible de los suelos con cacao, ii) evaluar la densidad total y por órdenes de la macrofauna del suelo, iii) analizar las correlaciones entre el cadmio y plomo disponible y la macrofauna del suelo e índices de diversidad.

Metodología

En diciembre del 2010 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 seleccionaron 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 sub- tropical.

Para el análisis físico y químico del suelo con el empleo del tubo muestreador se obtuvo, por cada parcela, una muestra compuesta de 1 kg a partir de veinte submuestras que fue colocada en bolsa rotulada. Las veintidós muestras obtenidas fueron enviadas al laboratorio donde se determinó: el porcentaje de arcilla, el porcentaje de materia orgánica, pH, fósforo disponible, capacidad de intercambio catiónico, aluminio más hidrógeno, cadmio y plomo disponible.

De acuerdo con la metodología establecida por Anderson e Ingram (1993) en cada parcela se obtuvieron 3 monolitos de suelo que se constituyen en las réplicas por parcela, lo que hace un total de 66 monolitos. Se requirió el empleo de un cuadrante de 25x25cm, a 20 cm de profundidad. Las muestras fueron acondicionadas en bolsas de plástico y enviados al laboratorio donde se extrajeron los individuos de manera manual con ayuda de pinzas y se colocaron en recipientes con alcohol etílico al 70% para su identificación taxonómica hasta el nivel de orden. El material colectado se depositó en el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

La densidad de macrofauna edáfica fue obtenida a partir de la transformación del número de individuos, encontrados en cada monolito, en número de individuos m^{-2}. El índice de diversidad de Shannon (H) se determinó por $H= -\Sigma p_i \ln p_i$ donde pi 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 ordenes en la muestra. Los datos obtenidos de densidad y diversidad fueron normalizados por medio de log (x+1). Se realizó la prueba de Tukey (al 5% de probabilidad) entre las medias de densidad obtenidas en las veintidós parcelas evaluadas. Se realizaron correlaciones de Pearson entre las respuestas biológicas y las concentraciones de cadmio y plomo disponible.

Resultados

Se determinó un contenido promedio de 0.53 ppm y 3.02 ppm de cadmio y plomo disponible en los suelos evaluados (tabla 1).

Los mayores valores de cadmio disponible encontrados (1.52 y 0.93 ppm) se relacionaron de manera directa con la capacidad de intercambio catiónico y de fósforo disponible. En el caso del plomo intercambiable disponible, -los mayores valores encontrados (6.83 y 5.92 ppm)-, presentó una relación directa con el pH, materia orgánica, fósforo disponible y la capacidad de intercambio catiónico.

El valor promedio de densidad fue de 511 individuos m-2 siendo el mayor valor de densidad localizado en las parcelas Pe5 y T1 que difieren de manera significativa con las demás localidades (tabla 2). La mayor densidad porcentual de macrofauna edáfica corresponde a los grupos Hymenoptera, Oligochaeta e Isoptera. Estos tres grupos equivalen al 72.7% de la densidad de individuos encontrado. En cuanto a los índices de diversidad, se determinaron diferencias significativas solo en el índice de Shannon, en el que se obtiene el menor valor en la localidad Ma1 (H=0.3536) asociado con un elevado nivel de plomo disponible en esa parcela (4.27 ppm).

TABLA 1

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS MUESTRAS DE SUELOS AGRÍCOLAS EN LAS REGIONES HUÁNUCO Y UCAYALI

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	9.6	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)P: Fósforo. (3)Cd: Cadmio. (4)Pb: Plomo. (5)mo: Materia orgánica. (6)Al+H: Aluminio + Hidrógeno. (7)cic: Capacidad de Intercambio catiónico. (8)µ: Promedio. (9) Desviación estándar.

TABLA 2

DENSIDAD (INDIVIDUOS M-2) DE GRUPOS TAXONÓMICOS DE MACROFAUNA EDÁFICA EN LOS SUELOS DE CACAO DE LA REGIÓN HUÁNUCO Y UCAYALI, PERÚ

Lugar(1)	O(2)	H	I	G	Ch	C	Is	E	Total	H(3)	J(4)
Pu1	58.67ab(8)	640.00ab	266.7a	0.00b	26.67a	10.67a	5.33ab	53.33a	1088.00ab	0.7345ab	0.4356a
Pu2	80.00ab	10.67ab	0.00a	74.7ab	53.33a	26.67a	0.00b	0.00a	245.34ab	1.0886ab	0.8285a
Pu3	192.00ab	117.33ab	0.00a	122.7a	37.33a	58.67a	5.33ab	0.00a	549.33ab	1.4290ab	0.8280a
Pu4	90.67ab	266.67ab	0.00a	42.7ab	128.0a	80.00a	37.3ab	0.00a	693.34ab	1.3928ab	0.7484a
Ma1	10.67b	0.00b	0.00a	0.00b	21.33a	16.00a	0.00b	0.00a	64.00b	0.3536b	0.3219a
Ma2	90.67ab	10.67ab	0.00a	21.3ab	21.33a	64.00a	0.00b	0.00a	224.00ab	1.1750ab	0.8882a
Ma3	21.33ab	170.67ab	0.00a	53.3ab	53.33a	32.00a	42.7ab	32.00a	442.66ab	1.5547a	0.8057a
Ma4	186.67ab	96.00ab	0.00a	42.7ab	53.33a	10.67a	5.33ab	0.00a	410.67ab	1.2263ab	0.7777a
Pe1	165.33ab	16.00ab	0.00a	53.3ab	122.7a	37.33a	96.0a	0.00a	490.66ab	1.5069ab	0.9012a
Pe2	48.00ab	560.00ab	0.00a	69.3ab	16.00a	16.00a	0.00ab	0.00a	725.33ab	0.7746ab	0.5020a
Pe3	138.67ab	325.33ab	0.00a	0.00ab	58.67a	42.67a	69.3ab	0.00a	645.34ab	1.1539ab	0.7523a
Pe4	16.00ab	149.33ab	5.33a	26.7ab	80.00a	21.33a	10.7ab	0.00a	325.33ab	1.2225ab	0.7571a
Pe5	117.33ab	517.33ab	592.0a	0.00b	37.33a	37.33a	5.33ab	53.33a	1370.65a	1.0327ab	0.6300a
F1	501.33a	106.67ab	0.00a	10.7ab	96.00a	16.00a	5.33ab	0.00a	736.00ab	0.9164ab	0.6337a
F2	80.00ab	138.67ab	69.33a	0.00b	10.67a	5.33a	0.00ab	21.33a	357.33ab	1.4563ab	0.8838a
T1	202.67ab	992.00a	53.33a	0.00b	74.67a	16.00a	16.0ab	0.00a	1370.67a	0.8712ab	0.5462a
H1	186.67ab	69.33ab	0.00a	0.00b	21.33a	42.67a	0.00b	0.00a	320.00ab	0.5359ab	0.6535a
Sa1	69.33ab	362.67ab	0.00a	107ab	10.67a	5.33a	0.00b	0.00a	554.67ab	0.5070ab	0.3299a
Sa2	21.33ab	37.33ab	0.00a	58.7ab	10.67a	0.00a	0.00b	0.00a	144.00ab	1.2058ab	0.8698a
Sa3	69.33ab	48.00ab	21.33a	5.33ab	21.33a	5.33a	0.00b	0.00a	175.98ab	1.0533ab	0.9500a
Sa4	37.33ab	10.67ab	0.00a	16.0ab	10.67a	0.00a	0.00b	0.00a	74.67ab	0.5938ab	0.6617a
Sa5	64.00ab	48.00ab	0.00a	32.0ab	48.00a	16.00a	5.33ab	0.00a	229.33ab	1.1269ab	0.6311a
µ(5)	111.27	213.33	46.54	33.46	46.06	25.45	13.82	7.27	510.79	1.0414	0.6971
D.E(6)	106.52	258.07	134.93	36.22	35.36	21.71	25.43	16.91	374.25	0.3440	0.1812
%(7)	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)Shannon. (4)Equidad. (5)µ:Promedio, (6)Desviación estándar. (7)% = Porcentaje. (8)Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí en la prueba de Tukey con una probabilidad del 5%.

El plomo disponible presentó una correlación negativa con la densidad de macrofauna mientras que el cadmio disponible del suelo presentó una correlación positiva (Tabla 3). Esta situación podría deberse a los mayores contenidos de plomo disponible en relación al cadmio disponible por lo que el plomo ejerce en mayor intensidad un efecto negativo sobre la población de macrofauna. A nivel de densidad de órdenes de macrofauna, en el caso del plomo se aprecia una correlación negativa siendo el efecto más notorio con los órdenes Oligochaeta, Hymenoptera e Isoptera. En el caso del cadmio, su in- fluencia con los órdenes de fauna reportados fue variable obteniéndose una correlación negativa con el orden Oligochaeta mientras que con los órdenes Hymenoptera e Isoptera se presenta una correlación positiva. Tanto el cadmio como el plomo disponible de los suelos afecto la diversidad de macrofauna edáfica expresada por la correlación negativa de estos metales con el índice de Shannon y Equidad teniendo el cadmio un mayor efecto.

TABLA 3
CORRELACIONES DE PEARSON ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE CD Y PB CON VARIABLES BIOLÓGICAS EN LOS SUELOS DE CACAO DE LA REGIÓN HUÁNUCO Y UCAYALI, PERÚ

Grupos	Cd(1)	Pb(2)
Densidad	0,304ns(3)	-0,358ns
Oligochaeta	-0,004ns	-0,404ns
Hymenoptera	0,292ns	-0,326ns
Isoptera	0,5518(4)**	-0,392ns
Isopoda	0,005ns	-0,283ns
Gastropoda	-0,397ns	0.342ns
Chilopoda	-0,002ns	-0,119ns
Coleoptera	-0,054ns	-0,093ns
Entrycheida	0,404ns	-0,375ns
Indices		
Shannon	-0,256ns	-0,115ns
Equidad	-0,387ns	-0,010ns

(1) Cadmio. (2) Plomo. (3)ns: no significativo. (4)**: Significativo con una probabilidad menor al 1%.

Discusión

Subero (2013) refiere que el contenido estándar de cadmio disponible en los suelos agrícolas es 0.8 ppm. De acuerdo a este criterio de los 22 suelos evaluados en 02 de ellas (Pu1 y T1) se presentan niveles de cadmio disponible que superan lo establecido lo cual amerita prestar especial atención a fin de establecer el origen de esa situación. En la parcela Pe5 donde se reporta el menor contenido de plomo disponible (1.07 ppm) se obtuvo la mayor densidad de macrofauna (1371 individuos/ m2) lo que nos estaría indicando la influencia de este metal pesado en la población de macrofauna del suelo. Dentro de la macrofauna del suelo se tiene especial referencia a los grupos: Oligochaeta (lombriz), Hymenoptera (hormiga) e Isoptera (termita) ya que en razón a sus efectos sobre la estructura del suelo, como es la creación de estructuras como galerías, nidos, cámaras y residuos fecales afectan de manera significativa las propiedades físicas de los suelos así como la disponibilidad de recursos para otros organismos motivo son considerados los ingenieros del suelo (Lima et al. 2010). Es el plomo el que presenta mayor efecto negativo y toxicidad sobre la densidad de los ingenieros del suelo lo cual puede deberse a la mayor cantidad encontrada en los suelos en comparación con el cadmio. A nivel de diversidad es el cadmio que presenta mayor efecto negativo. Nahmani y Lavelle (2002), al evaluar el efecto de suelos contaminados por metales pesados sobre la densidad de macro- fauna del suelo encontraron una disminución en la densidad de lombriz y otras poblaciones de macrofauna del suelo. Las lombrices (Oligochaeta) por ser sensibles a las características de su ambiente y de las transformaciones que ocurren en ella pueden ser útiles para indicar el "status quo" así como las tendencias de cambios en su ambiente. La aplicación de estos conceptos hace incluir a las lombrices como indicadoras de perturbaciones del ambiente, de la calidad, contaminación y el potencial productivo del suelo, de la biodiversidad de otros grupos de animales y microorganismos edáficos y de la sustentabilidad de las diferentes prácticas de manejo en ecosistemas agronómicos y forestales (Brown y Dominguez 2010).

Relevancia del resultado y su aporte a la realidad nacional, regional o local

Nuestra investigación ha sido enfocada en el sistema suelo determinando la presencia e influencia de metales pesados (cadmio y plomo) en la diversidad y densidad de macrofauna del suelo. Pero a la vez se plantea algunas interrogantes que no han sido consideradas en esta investigación como por ejemplo: ¿de dónde proceden estos metales pesados? Si bien estos elementos forman parte de minerales del suelo a la fecha su contenido viene aumentando debido a la actividad antrópica como por ejemplo el uso de combustibles fósiles (petróleo, gasolina), actividades mineras, insumos agrícolas (roca fosfórica), etc. De este modo, esta investigación contribuye a una mayor sensibilización respecto a actividades que desarrollamos y que perjudican al ecosistema suelo.

El trabajo de investigación realizado se relaciona con el área temática de suelos como parte del componente recursos hídricos y suelos, por lo que a nivel de las entidades con la capacidad de toma de decisiones esta investigación puede contribuir para el establecimiento o

implementación sobre límites máximos permitidos de metales pesados en suelos agrícolas tomando en consideración su efecto sobre la parte biológica del suelo.

Conclusiones

- El contenido promedio de cadmio y plomo disponible en los suelos es 0.53 ppm y 3.02 ppm respectivamente.
- El plomo disponible en los suelos evaluados afecta negativamente a la densidad y diversidad de macrofauna del suelo.
- El cadmio disponible presenta una influencia negativa en los índices de diversidad y positiva a nivel de la densidad de macrofauna edáfica.
- Se requiere el establecimiento de los límites máximos permitidos de metales pesados en suelos.

Agradecimientos

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

Referencias

ANDERSON, J. M. Y INGRAM, J. S. I. (1993). *Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods.* Oxford, Reino Unido: cab International.

BANAT, K. M., HOWARI, F Y AL-HAMAD, A.A.(2005). Heavy metals in urban soils of central Jordan: should we worry about their environmental risks. *Environmental Research*, 97:258-273.

BROWN, G. G Y DOMÍNGUEZ, J. (2010). Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: principios e práticas – O 3° Encontro Latino americano de Ecología e Taxonomía de oligoquetas (elaetao3). *Acta Zoológica Mexicana*, 26:1-18.

LI, J., HONG, M., YIN, X Y 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.S. DE., AQUINO, A.M. DE., CARVALHO, L.F.L., VELÁSQUEZ, E Y LAVELLE, P.(2010). Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45: 322-331.

NAHMANI, J Y LAVELLE, P.(2002). Effects of heavy metal pollution on soil macrofauna in a grassland of northen france. *European Journal of Soil Biology*, 38:297-300.

PAGNANELLI, F., MOSCARDINI, E., GIULIANO, V Y 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. Y PRIETO, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10:29-44.

RENDON, S. P., ARTUNDUAGA, F. L., RAMÍREZ, R. P., QUIROZ, J. A. Y LEIVA, E. I. R. (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.

SUBERO, N.(2013). Evaluación de las fracciones de fósforo y del contenido de cadmio en suelos ácidos fertilizados con fosfatos por largos periodos y su absorción por el arroz. Tesis de doctorado no publicada, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

SOUZA, M. L. DE, VITTI, G. G Y TREVIZAM, A. R. (2007). Concentração de metáis pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 42:527-535.