

ARTÍCULO ORIGINAL

EFFECTO DE MATERIA ORGANICA EN EL CONTENIDO DE CADMIO EN ALMENDRAS DE CACAO ORGÁNICO EN PERÚ

EFFECT OF ORGANIC MATTER ON CADMIUM CONTENT IN ORGANIC COCOA ALMONDS IN PERU

Hugo Alfredo Huamaní Yupanqui
Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú
Correo electrónico: hhuamani@hotmail.com
Código ORCID: 0000-0001-9708-2433

Miguel Ángel Huauya Rojas
Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú
Correo electrónico: mhuauyar@gmail.com

Recepción: 21 de abril de 2018

Aceptado: 11 de junio de 2018

Resumen

La presencia de cadmio en almendras de cacao con niveles superiores al máximo permitido (0.5 ppm) se está constituyendo en una dificultad para los agricultores y cooperativas. Para evaluar el efecto de la materia orgánica en el contenido de cadmio en almendras de cacao fue realizada la presente investigación. Para ello se seleccionaron 02 parcelas de diferente relieve, planicie y colinoso, en donde se instalaron experimentos con 03 fuentes de materia orgánica a 03 dosis incluyendo un testigo totalizando 10 tratamientos. Se obtuvieron muestras de suelo y almendra de cacao los que una vez obtenidas fueron enviadas al laboratorio para su respectivo análisis físico, químico, de acuerdo a metodologías establecidas. En el caso de la fuente orgánica cáscara de cacao a una dosis de 13.5 kilogramos/planta en la localidad de Alto Huayhuante se logró obtener un contenido de cadmio en almendras de 0.533 ppm valor cercano al límite permitido para la exportación.

Palabras clave: Cadmio, almendra, suelo, materia orgánica.

Abstract

The presence of cadmium in cocoa beans with levels higher than the maximum allowed (0.5 ppm) is becoming a difficulty for farmers and cooperatives. To evaluate the effect of organic matter on the content of cadmium in cocoa beans, the present investigation was carried out. For this, 02 plots of different relief, plain and hilly were selected, where experiments with 03 sources of organic matter were installed at 03 doses including a control totaling 10 treatments. Soil and cocoa almond samples were obtained which, once obtained, were sent to the laboratory for their respective physical and chemical analysis, according to established methodologies. In the case of the organic source cocoa shell at a dose of 13.5 kilograms / plant in the town of Alto Huayhuante, it was possible to obtain a cadmium content in almonds of 0.533 ppm, a value close to the limit allowed for export.

Key words: Cadmium, almond, soil, organic matter.

Introducción

El cadmio es considerado como uno de los metales pesados más tóxicos que existe en la naturaleza y que puede contaminar plantas, animales y humanos (1). Las plantas absorben cadmio presente de manera natural en el suelo, de deposiciones atmosféricas o de fertilizantes fosforados y orgánicos (2). La planta de cacao absorbe ligeramente los metales pesados que existen por naturaleza en los suelos y los concentra en las semillas grasosas (3). La OMS/FAO (4) ha determinado para el cacao un contenido máximo de 0.5 ppm de cadmio a nivel de almendra. En muchas zonas de nuestro país ha sido determinado que el contenido de cadmio en almendras de cacao supera el límite permitido (5, 6). Esta situación causa la preocupación del sector público y privado ya que se está teniendo inconvenientes para el ingreso del producto al mercado europeo. Se ha realizado investigaciones para disminuir el contenido de cadmio en almendras de cacao que incluyen el empleo de materiales encalantes (7). El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto de fuentes de materia orgánica en la disminución del contenido de cadmio en almendras.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en dos parcelas: Alto Huayhuante (AH) ubicada a nivel de relieve tipo colinoso con coordenadas 403065 y 8978054 y Puerto Ángel (PA) ubicada a nivel tipo planicie con coordenadas 384438 y 8992954 ambas en la zona cacaotera de la región Huánuco, Perú. En cada parcela se procedió a determinar una ubicación media a partir del cual se empezó a delimitar áreas de muestreo para realizar el análisis de suelo y de almendra de cacao. En el caso del suelo se tomaron 20 sub muestras del horizonte A, a una profundidad promedio de 20 cm. que se mezclaron para obtener una muestra de 1 kg que fue enviada a laboratorio para los análisis siguientes: textura por el método de Bouyoucus (8), pH (1:1), materia orgánica (M.O.) por el método de Walkley y Black (9), P disponible por el método Olsen modificado (10), potasio disponible empleando ácido sulfúrico 6 N (Cano et al., 1984), C.I.C. según el método de acetato de amonio 1N pH 7 (11), calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiable por extracción con acetato de amonio y lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica (12), C.I.C. efectiva por desplazamiento con KCl 1N (13), aluminio más hidrógeno por el método de Yuan (14), cadmio y plomo disponibles empleando el extractante EDTA 0.05M pH 7 (15). En el caso de almendras se procedió a realizar el análisis del cadmio total por medio de la digestión húmeda obteniéndose un

extracto a ser leído en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica (16).

Para evaluar el efecto de la materia orgánica en el contenido de cadmio en almendras se utilizó un diseño bloque completo al azar en la que se evaluó el efecto de 03 fuentes de materia orgánica: Gallinaza + cascarilla de arroz + compost, bocashi y cáscara de cacao en 03 dosis: 4.5, 9 y 13.5 kilogramos/planta adicionándose un testigo absoluto totalizando 10 tratamientos. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza, prueba de comparación de medias de tuckey utilizando un nivel de significancia $P < 0.05$ y correlaciones de Pearson, utilizando como software estadístico SPSS 20 (17).

Resultados y discusión

Características edáficas

De acuerdo a los resultados del análisis de suelos realizados de las 02 parcelas (Cuadro 1 y 2) se tiene que la localidad de Alto Huayhuante presenta características propias de su ubicación a nivel de colina con características de suelo residual expresadas de manera notoria por la presencia de un porcentaje de saturación de aluminio del 28% en comparación con el valor promedio de 4% que se encuentra en la localidad de Puerto Ángel. En cuanto al contenido de cadmio a nivel de almendra donde se aprecia una notoria diferencia entre ambas localidades toda vez que en Alto Huayhuante se tiene un contenido promedio de 0.839 ppm mientras que en Puerto Ángel presenta en promedio 3.172 ppm de cadmio. El suelo de la localidad de Puerto Ángel ha tenido influencia de río en su formación por lo que se considera como suelo aluvial mientras que el suelo de la localidad de Alto Huayhuante no ha presentado esta característica considerándose como suelo residual. El hecho de que el río tenga influencia directa en Puerto Ángel puede influir en el alto contenido promedio de cadmio en almendra en esa localidad (3.172 ppm) toda vez que en sus sedimentos puede haber transportado y acumulado cadmio. WASHL S.A (18), al evaluar los contenidos de cadmio total en sedimentos del río Huallaga, Huánuco determinaron las concentraciones más altas en la temporada seca, con valores entre 1,28 ppm y 2,57 ppm en las estaciones CH-01-CA y CH-10 (río Huallaga) respectivamente; del mismo modo en los afluentes del río Huallaga las concentraciones se reportaron entre 0,51 ppm y 1,85 ppm en las estaciones CH-07-CA (quebrada Lluto) y CH-09-CA (río Chimao) respectivamente. De este modo puede estar relacionado con el mayor contenido de cadmio disponible a nivel del suelo en Puerto Ángel (0.306 ppm) mientras que en Alto Huayhuante se tiene (0.118 ppm) lo que puede estar influyendo en su contenido a nivel almendra.

Cuadro 1. Análisis físico - químico de los suelos evaluados – Alto Huayhuante

ALTO HUAYHUANTE																		
	arena	arcilla	limo	pH	MO	N	P	K2O	Cd s	Cd a	Ca	Mg	Al	H	Cice	Bc	Ac	Sal
T0	14.68	34.54	50.780	4.123	3.358	0.151	3.739	163.115	0.155	0.713	3.798	0.503	2.741	0.878	7.919	54.948	45.052	34.030
T1	16.68	31.040	52.280	4.268	3.358	0.151	5.910	183.190	0.125	0.825	3.779	0.424	1.465	0.726	6.394	64.284	35.716	24.067
T2	14.18	32.04	53.780	4.338	3.358	0.151	5.346	200.217	0.127	0.825	3.458	0.385	1.297	0.648	5.788	66.486	33.514	22.343
T3	14.68	33.540	51.780	4.338	2.426	0.109	4.101	184.183	0.103	0.788	4.039	0.561	1.444	0.624	6.668	70.285	29.715	20.707
T4	14.68	35.540	49.780	4.205	2.240	0.101	5.910	217.310	0.098	0.683	3.485	0.464	1.758	0.680	6.386	61.415	38.585	27.836
T5	15.18	32.540	52.280	4.295	2.612	0.118	5.523	200.415	0.094	0.900	3.693	0.359	1.549	0.667	6.268	64.137	35.863	25.043
T6	15.18	33.040	51.780	4.368	2.519	0.113	5.286	212.341	0.176	1.400	4.411	0.645	1.695	0.693	7.444	67.054	32.946	23.408
T7	14.68	36.54	48.780	4.038	2.892	0.130	4.397	145.260	0.100	0.875	3.059	0.358	2.679	1.064	7.159	49.356	50.644	36.078
T8	14.18	36.040	49.780	4.168	2.799	0.126	5.227	200.912	0.090	0.850	3.641	0.542	2.239	0.888	7.310	58.270	41.730	29.624
T9	13.18	35.540	51.280	3.938	2.146	0.097	3.567	133.765	0.110	0.533	2.868	0.327	2.658	0.986	6.838	48.025	51.975	37.834
μ	14.730	33.978	51.230	4.208	2.771	0.125	4.901	184.071	0.118	0.839	3.623	0.457	1.953	0.785	6.817	60.426	39.574	28.097
Dem	0.896	1.741	1.480	0.142	0.463	0.021	0.876	28.269	0.028	0.225	0.446	0.104	0.570	0.156	0.642	7.590	7.590	6.068
Dep	0.850	1.629	1.404	0.135	0.439	0.020	0.831	26.819	0.027	0.214	0.423	0.099	0.541	0.148	0.610	7.201	7.201	5.757

Cuadro 2. Análisis físico - químico de los suelos evaluados – Puerto Ángel

	arena	arcilla	limo	pH	MO	N	P	K2O	Cd s	Cd a	Ca	Mg	Al	H	Cice	Bc	Ac	Sal
T0	24.180	26.540	49.280	5.140	2.799	0.126	5.556	207.703	0.366	3.033	5.897	0.900	0.285	0.306	7.389	90.843	9.157	4.360
T1	31.680	23.040	45.280	4.985	2.332	0.105	4.572	170.270	0.300	2.700	5.538	0.748	0.381	0.382	7.049	88.376	11.624	5.843
T2	24.180	25.040	50.780	4.880	2.519	0.113	6.502	202.403	0.286	3.086	4.668	0.773	0.370	0.344	6.154	88.554	11.446	5.962
T3	24.680	25.040	50.280	4.875	2.426	0.109	6.831	267.993	0.317	3.538	5.095	0.782	0.251	0.438	6.566	89.588	10.412	3.764
T4	32.680	20.040	47.280	4.923	2.519	0.113	6.496	187.827	0.241	2.413	4.710	0.744	0.220	0.297	5.971	91.161	8.839	3.741
T5	28.680	20.540	50.780	4.913	3.079	0.139	7.539	195.778	0.232	2.725	4.574	0.732	0.251	0.414	5.970	88.606	11.394	4.399
T6	29.680	22.040	48.280	4.855	2.239	0.101	7.213	191.471	0.247	3.825	4.709	0.732	0.356	0.481	6.278	86.920	13.080	5.478
T7	22.180	27.040	50.780	5.090	5.224	0.235	7.539	174.245	0.302	3.338	6.668	0.789	0.207	0.187	7.850	94.774	5.226	2.718
T8	18.010	26.040	55.950	5.155	6.232	0.280	7.569	195.446	0.433	3.338	7.320	0.838	0.234	0.283	8.675	93.408	6.592	2.720
T9	22.180	28.540	49.280	5.028	3.079	0.139	7.806	192.796	0.340	3.725	7.331	0.941	0.209	0.332	8.814	92.980	7.020	2.710
μ	25.813	24.390	49.797	4.984	3.245	0.146	6.762	198.593	0.306	3.172	5.651	0.798	0.276	0.346	7.072	90.521	9.479	4.170
Dem	4.698	2.858	2.800	0.113	1.361	0.061	1.030	26.930	0.062	0.465	1.102	0.073	0.068	0.086	1.078	2.559	2.559	1.269
Dep	4.457	2.712	2.656	0.107	1.291	0.058	0.977	25.548	0.059	0.441	1.045	0.069	0.065	0.081	1.023	2.428	2.428	1.204

Del efecto de materia orgánica en el contenido de cadmio.

Localidad Alto Huayhuante

Sólo con el tratamiento 9 (cascara de cacao 13.5 kg) se pudo disminuir el contenido de cadmio en almendras desde 0.713 ppm en el testigo hasta el valor de 0.533 ppm que está en el rango del máximo valor permitido (0.5 ppm). En los demás tratamientos en general se observó un aumento en el contenido de cadmio en almendra en relación al testigo lo cual puede deberse a que los insumos empleados (gallinaza, bocashi, cascara de cacao) presenta en su composición cadmio (0.89ppm, 3.53 ppm, 2.54ppm) motivo por el cual al ir añadiendo en dosis cada vez mayores incide en el aumento de cadmio disponible en el suelo y a nivel de almendra, lo que en el caso del bocashi se hizo más evidente (Figura 1).

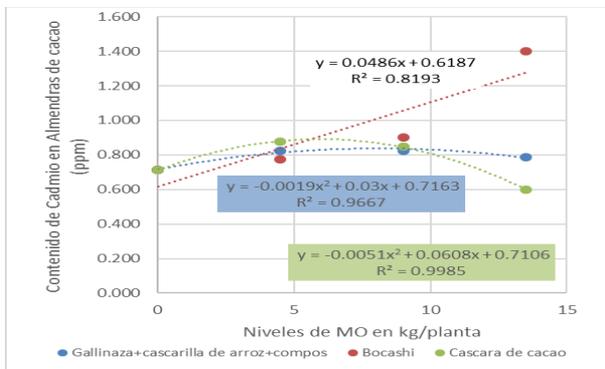


Figura 1. Efecto de la materia orgánica en el contenido de cadmio en almendras de cacao

De acuerdo al análisis de correlación de Pearson se aprecia la relación opuesta entre el contenido de arcilla del suelo y el contenido de cadmio del suelo

($r=-0.372$). La localidad de Alto Huayhuante presenta características de suelo residual expresado por ejemplo en el valor promedio de pH del suelo (4.2) aunado a los altos valores de acidez cambiante del suelo (>30%). Bajo estas condiciones es probable que dentro de las arcillas se presenten del grupo 1:1 e incluso óxidos de fierro y manganeso los que de manera individual o como complejo arcillo húmico estarían adsorbiendo y reteniendo al cadmio disminuyendo su disponibilidad en el suelo lo cual se hace evidente con el tratamiento 9 (Figura 2)

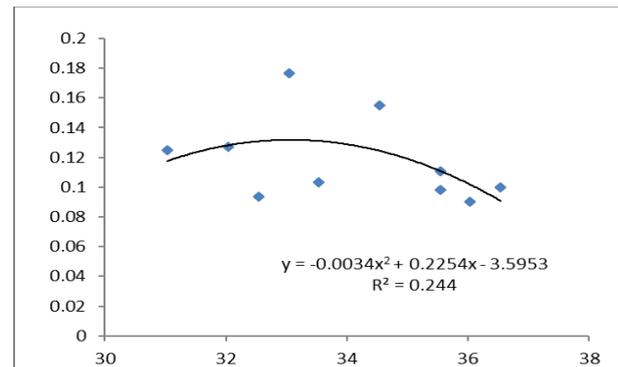


Figura 2. Influencia de la arcilla en el cadmio disponible del suelo

Incluso dentro de las mismas fuentes de materia orgánica empleada la calidad de estas expresadas en contenido por ejemplo de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas va a diferir por ejemplo entre el bocashi y cáscara de cacao ya que a pesar que tienen contenidos altos de cadmio (3.53 ppm y 2.54 ppm) su respuesta en adsorber al cadmio del suelo va a ser diferente. En el caso del bocashi, sólo en la segunda dosis aumenta el contenido de cadmio disponible del suelo mientras que en las dosis más

altas disminuye, similar respuesta se tiene con la gallinaza. En el caso de la cascarilla de cacao en las mayores dosis se tiene un aumento en el contenido de cadmio disponible del suelo (Figura 3). A diferencia de la cascara de cacao a medida que aumenta la dosis empleada el contenido de cadmio en la almendra va disminuyendo obteniendo con la mayor dosis de cascara de cacao (13.5kg) el menor contenido de cadmio en almendra (0.533 ppm).

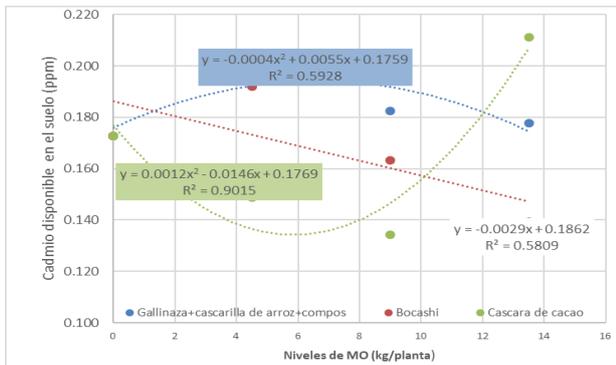


Figura 3. Efecto de fuentes de materia orgánica en el contenido de cadmio disponible del suelo

Localidad Puerto Ángel

En esta localidad resulta notorio el efecto de la dosis empleada de materia orgánica ya que en las 3 fuentes empleadas conforme aumenta la dosis de materia orgánica va de la mano con el aumento del contenido de cadmio en almendra lo que se relaciona con la mayor disponibilidad de cadmio en el suelo. Uno de los motivos de esta respuesta puede ser el tipo de textura del suelo ya que se presenta un mayor contenido de arena lo que incide en una menor proporción de arcilla. Además, considerando que esta localidad por ser de zona planicie ha tenido influencia de la presencia de río lo que implica la mayor presencia de arcilla expandible tipo 2:1. De acuerdo al análisis de correlación se presenta una buena relación entre la arcilla y el cadmio disponible del suelo (0.738*) lo que nos está indicando que la arcilla sola o bajo la forma del complejo arcillo-húmico está favoreciendo la disponibilidad de cadmio en el suelo. Asimismo, estaría relacionado con la menor presencia de óxidos de hierro y manganeso que presentan una fuerte retención de metales pesados.

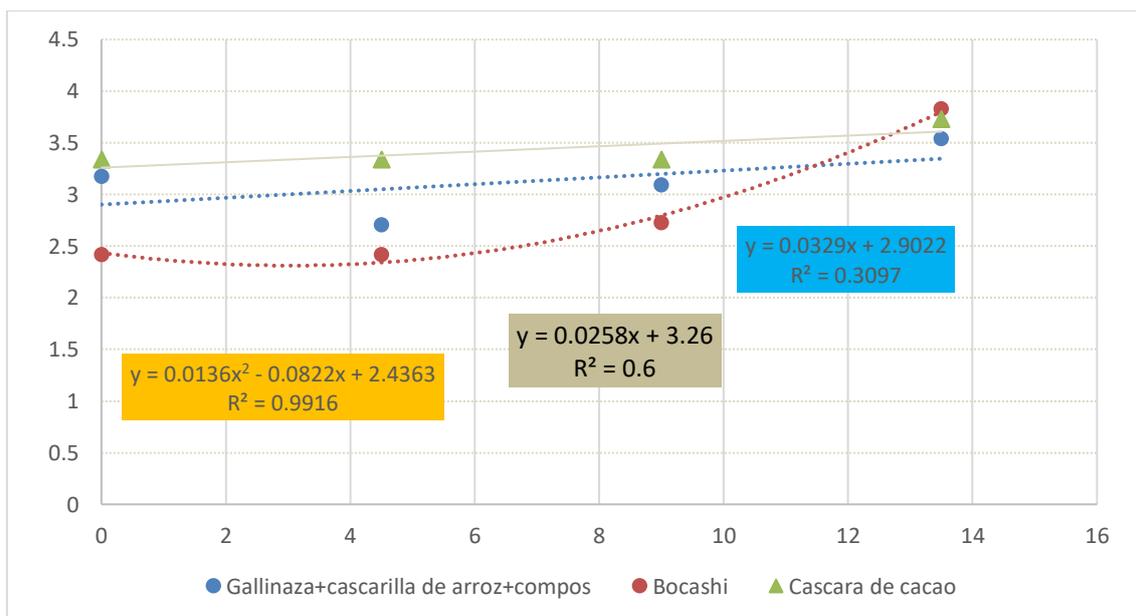


Figura 4. Efecto de la materia orgánica en el contenido de cadmio en almendra

La materia orgánica puede tener efectos opuestos sobre la disponibilidad de cadmio. La fracción soluble puede acomplejar al cadmio, facilitar su movilidad en el suelo y al mineralizarse, dejar al metal en forma más disponible para las plantas. La fracción orgánica más estabilizada, más resistente a la mineralización, puede retener los metales pesados en general, y en particular el cadmio, en formas no disponibles para las plantas (Herrera, 2000). Un importante grupo de ligandos naturales (moléculas orgánicas que enlazan a metales) están presentes en la fracción orgánica del suelo y en las matrices orgánicas de compost, estiércol (19), siendo del tipo hidrofílico (ácidos orgánicos,

carbohidratos, aminoácidos y aminoazúcares) e hidrofóbico (aromáticos, fenoles, grasas, hidrocarburos y ácidos nucleicos) (20). Estos componentes han sido reportados en tener un importante rol en la química de metales pesados en los suelos por que forma el complejo organometálico o es preferencialmente adsorbido a la superficie de los suelos en lugar de los metales (21.)

En las enmiendas orgánicas, la cantidad y calidad de la misma depende del tipo de matriz considerada y en particular por su grado de madurez (22). Las matrices frescas presentan un largo número de fracciones hidrofílicas de bajo peso molecular y

moléculas hidrofóbicas tales como ácidos aromáticos o fenoles aromáticos (23) los que al tener riqueza en grupos funcionales influyen la unión a metales en el suelo. D' Imporzano y Adani (24) demostraron que el proceso de compostaje condujo a una reducción de la fracción hidrofílica rica en grupos ácidos funcionales. Zi-gang *et al.*, (25) demostraron que matrices frescas de materia orgánica realizó la formación de complejos organometálicos en comparación a matrices maduras de materia orgánica.

Tres factores afectan las concentraciones de metales en plantas y suelos: (1) el factor cantidad, el cual representa la cantidad total de metal biodisponible; (2) el factor intensidad, el cual representa la actividad de metales en la solución suelo; y (3) la cinética de la reacción, el cual representa la tasa de metal transferido desde la fase sólida a la fase líquida y a las raíces de las plantas (26). El efecto de la materia orgánica en mejorar la movilidad del metal en el suelo puede ser atribuida a su influencia en los factores 1 y 3 debido a la formación de ligandos con los metales que realiza la disponibilidad de metales para las plantas y su solubilidad en los suelos (21). Los mecanismos por el cual las plantas absorben metales pesados enlazados a fracción orgánica aún no está bien entendido. No obstante, Krishnamurti *et al.*, (27) observó que ácidos orgánicos de bajo peso molecular pueden ser tomadas por las raíces de las plantas junto con los metales que llevan enlazados. La absorción de cadmio por las plantas puede ser facilitada por sustancias ácidas que se producen en la rizósfera. Los exudados radiculares, especialmente los ácidos carboxílicos, incrementan la absorción de cadmio (28). Salati *et al.*, (29) determinaron una mayor absorción de Cr, Cu, Ni, Zn y Pb en tallos de maíz al aplicar fracciones orgánicas frescas derivadas de residuos sólidos municipales lo que se debe a que el ingreso de esta fracción al suelo afecta las características orgánicas del suelo en particular por la abundancia de ácidos carboxílicos que parece favorecer la movilización de metales pesados a partir de la formación de complejos. La formación de complejos organometálicos depende de la concentración del metal soluble y de la constante de estabilidad del ion con los ligandos orgánicos. Un alta constante de estabilidad del complejo organometálico asegura la protección del metal de la especiación en formas insolubles, tales como reacciones de hidrólisis, adsorción a partículas sólidas y formación de sales (30). En el caso del cadmio ha sido reportado que su constante de estabilidad con diferentes ácidos orgánicos es baja en comparación con otros metales que compiten con el cadmio para la formación de complejos organometálicos. Por ejemplo, el Zn ha sido reportado que suprime la absorción de cadmio por las plantas (31).

De este modo, la distinta respuesta que hemos tenido en relación al efecto de fuentes y dosis de materia orgánica dependería tanto de la cantidad y estabilidad del complejo organometálico formado siendo el empleo de la cáscara de cacao a la mayor dosis con la que se pudo disminuir el contenido de cadmio en almendras a un valor próximo al máximo permitido (0.533 ppm) en la localidad de Alto Huayhuante.

Conclusiones

- El suelo de la localidad Alto Huayhuante presenta características de suelo residual mientras que en Puerto Ángel se nota la influencia aluvial.
- El contenido promedio de cadmio en almendra en Alto Huayhuante fue 0.839 ppm mientras que en Puerto Ángel se obtuvo 3.172 ppm.
- En la localidad de Alto Huayhuante con el empleo de Cáscara de Cacao (13.5 Kg/planta) se pudo obtener 0.533 ppm de cadmio en almendra.

Referencias bibliográficas

1. Almeida A, Valle R. Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal Plant Physiology*, 2007; 19(4): 425 – 448.
2. Gallego S, Gesteira A, Almeida A, Castro A, Dias I, Pirovani C, Gomes F. Changes in protein profile detected in seedling of *Caesalpinia peltophoroides* (Fabaceae) after exposure to high concentration of cadmium. *Genetic Molecular Research*. 2012; 11 (3): 2694 – 2707.
3. Naturland. Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico. Guía de 18 cultivos. Cacao. 1^{ra} Edición. Alemania. 2000.
4. OMS – FAO Evaluación de diversos aditivos alimentarios y los contaminantes: mercurio, plomo y cadmio. Información Técnica N° 50. 1992.
5. Zuñiga C, Arevalo G, Landsber E, Baligar V, Alvarado C, Robles R. Evaluación preliminar de cadmio (Cd) en suelos tropicales y almendras de cacao (*Theobroma cacao L*) en la región San Martín y Amazonas. XI Congreso Nacional y IV Internacional de la ciencia del suelo. San Martín – Perú. 2008.
6. Cárdenas A. 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. Tingo María, Perú. 2012.
7. Contreras F, Herrera T, Izquierdo A. Efecto de dos fuentes de carbonato de calcio (CaCO₃) sobre la disponibilidad de cadmio para plantas de cacao (*Theobroma cacao L.*) en suelos de

- Barlovento, estado Miranda. Venesuelos. 2002; 13:52-63.
8. Bouyoucus G. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 1962; 54(3):464 - 465.
 9. Walkley A, Black I. An examination of the Degtjareff method for determining soil matter and a proposed modification of the chromic and titration method. *Soil Sci.* 1934; 37:29 - 38.
 10. Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS, Dean LA. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. *EE.UU. Dep. Agr. Circ.* 1954.
 11. Rhoades J. Cation exchange capacity. En: Page, A. (ed.). *Methods of Soils Analysis. Parte 2. Chemical and Microbiological Properties.* 2th edition. Number 9. ASA & SSSA. EE. UU. p. 1982.
 12. Jackson M. *Análisis químico de suelos.* Omega. Barcelona. 1964.
 13. Díaz R, Hunter A. *Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero.* Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 1978.
 14. Yuan T. Determination of exchangeable hydrogen in soils by a titration method. *Florida Agric. Experiment Station. Soil Sci.* 1958; 88:164 - 167.
 15. Westerman R. *Soil testing and plant analysis.* 3rd ed. Soil Science Society of America. SSSA. Madison, WI. EE. UU. 1990.
 16. Bazán R. *Manual para análisis químicos de suelos, plantas y agua.* Universidad Nacional Agraria La Molina. 1996.
 17. IBM SPSS. *SOFTWARE SPSS Statics 20,0.* 2011.
 18. Walsh S.A. PERU E.C. Huallaga. *Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Central Hidroeléctrico Chagalla.* Cap.4.2.6 2010.
 19. Antonialis V, Alloway B. The role of dissolved organic carbón in the mobility of Cd, Ni y Zn in sewage sludge-amended soils. *Environmental Pollution.* 2002; 117: 515-521.
 20. Fox T, Comerfield N. Low molecular weight organic acid in selected forest soils of the south – Eastern USA. *Soil Science Society of American Journal.* 1990; 54: 1763 – 1767.
 21. Davies O, Allison M, Uyi H. Bioaccumulation of heavy metals in water, sediment and periwinkle (*Tympanotonus fuscatus var rádula*) from the Elechi Creek Niger Delta. *African Journal of Biotechnology.* 2006; 5(10): 968 – 972.
 22. Chefetz B, Hadar Y, Chen Y. Characterization of dissolved organic matter extracted from composted municipal solid waste. *Soil Society of American Journal.* 1998 a; 62: 326 – 332.
 23. Wu J, Lu Y, Wang M, Jiang Y. Study on descomposition of organic fertilizers by FTIR. *Plant Nutrition and Fertilizer Science.* 2004; 10: 259 – 266 (In Chinese with English abstract).
 24. D' Imporzano G, Adani, F. The contribution of wáter soluble and wáter insoluble organic fractions to oxygen uptake rate during high rate composting. *Biodegradation.* 2007; 18: 103-113.
 25. Zi-gang I, Chuan-zhou B, Xiao-lei J. Characteristic of cadmium sorption in the copper tailing wasteland soil by amended dissolved organic matter from fresh manure and manure compost. *African Journal of Biotechnology.* 2007; 6(3): 227 – 234.
 26. Schmidt U. Enhancing phytoextraction: the effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation, and leaching of heavy metals. *Journal of Environmental Quality.* 2003; 32:1939 – 1954.
 27. Krishnamurti G, Cielslinski G, Huang P, Van Ree, K. Kinetics of cadmium release from soils as influenced by organic acids: implication in cadmium availability. *Journal of Environmental Quality.* 1997; 26: 271 – 277.
 28. Nigam R, Srivastava S, Prakash S, Srivastava M. Cadmium mobilization and plant availability – the impact of organic acids commonly exuded from roots. *Plant and Soil.* 2001; 230: 107 – 113.
 29. Salati S, Quadri G, Tambone F, Adani F. Fresh od organic matter of municipal solid waste enhances phytoextraction of heavy metals from contaminated soil. *Environmental Pollution.* 2010; 158: 1899 – 1906.
 30. Essington M. *Soil and Water Chemistry: an integrative Approach.* CRC Press, Boca Raton, USA. 2004; 183 – 254.
 31. Perriguet J, Sterckeman T, Morel J. Effect of rhizosphere and plant – related factor son cadmium uptake by maize (*Zea mays* L). *Environmental and Experimental Botany.* 2008; 63: 333 – 341.