



## Evaluación del contenido de metales pesados (Cd y Pb) en diferentes edades y etapas fenológicas del cultivo de cacao en dos zonas del Alto Huallaga, Huánuco (Perú)

### Evaluation of heavy metals content (Cd and Pb) in different ages and phenological stages of the cocoa cultivation in two zones of the High Huallaga, Huánuco (Peru)

Miguel Sánchez Rodríguez<sup>1\*</sup> y Juan Pablo Rengifo Trigozo<sup>2</sup>

#### RESUMEN

La presencia de metales pesados en los productos agrícolas por encima de los límites máximos permisibles está generando una gran preocupación para los agricultores. En base a esto, el presente estudio se desarrolló con el objetivo de determinar el contenido de estos metales pesados en el cultivo de cacao. Para ello, se realizó la evaluación de parámetros del suelo, de hojas y de la almendra del cacao en cuatro parcelas de agricultores de cacao orgánico pertenecientes a la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, en la región de Huánuco. Para determinar los parámetros del suelo, se realizó la caracterización fisicoquímica, y la evaluación del nivel de cadmio y plomo en el suelo; para la evaluación del follaje se realizó la caracterización nutricional de la hoja del cacao, y el análisis de la presencia del cadmio y plomo a nivel foliar; finalmente, para la evaluación de la almendra del cacao se realizó el análisis nutricional, y el análisis de la presencia de cadmio y plomo a nivel de las mismas. De este modo, se determinó que los suelos estudiados presentan adecuadas condiciones fisicoquímicas y los valores de cadmio y plomo disponible están por debajo de los límites máximos permisibles. Con respecto a la evaluación a nivel foliar y almendra del cacao, las parcelas 5, 10 y la etapa fenológica de plena fructificación presentaron valores máximos de cadmio total, siendo las parcelas 15, 20 y la etapa fenológica de plena fructificación las que presentaron valores mayores de plomo total.

**Palabras clave:** nutrientes, metales pesados, etapas fenológicas, cacao, Huánuco

#### ABSTRACT

The presence of heavy metals in agricultural products above the maximum allowable limits is generating a great concern for farmers. Based on this, the present study was developed with the objective of determining the content of these heavy metals in the cultivation of cacao. For this, the evaluation of soil, leaf and cocoa kernel parameters was carried out in four plots of organic cocoa farmers belonging to the Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, in the Huánuco region. To determine soil parameters, the physicochemical characterization and the evaluation of the level of cadmium and lead in the soil were carried out; for the evaluation of the foliage, the nutritional characterization of the leaf of the cocoa was carried out, and the analysis of the presence of cadmium and lead at foliar level; finally, for the evaluation of the cocoa almond, the nutritional analysis and the analysis of the presence of cadmium and lead at the same level were carried out. Thus, it was determined that the studied soils present adequate physicochemical conditions and the available cadmium and lead values are below the maximum permissible limits. Regarding the evaluation at the foliar and almond level of the cacao, plots 5, 10 and the phenological stage of full fructification presented maximum values of total cadmium, being the plots 15, 20 and the phenological stage of full fructification that presented higher values of total lead.

**Keywords:** nutrients, heavy metals, phenological stages, cocoa, Huánuco

<sup>1</sup>Bachiller en Ingeniería de Ciencias de los Recursos Naturales Renovables. Investigador de la UNAS.

<sup>2</sup>Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Investigador de la UNAS. E-mail: jpotl@hotmail.com

\*Autor de correspondencia: E-mail: leugimgt@gmail.com

## I. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivado en forma orgánica es una de las principales actividades socioeconómicas en las regiones de Huánuco y Ucayali en Perú (Huamaní-Yupanqui *et al.*, 2012). Los metales pesados están presentes en los suelos como componentes naturales del mismo o como consecuencia de las actividades antropogénicas (Prieto *et al.*, 2009). La planta de cacao absorbe ligeramente los metales pesados que existen por naturaleza en los suelos y los concentra en las semillas (Naturland, 2000). Es necesario mencionar acerca de estos elementos que, según García y Dorrondoso (2005), los metales pesados son los que tienen densidad igual o superior a  $5 \text{ g/cm}^3$ , siendo por lo tanto de mayor peso que los minerales formadores de roca en su forma elemental.

Los metales pesados, al meteorizarse, se concentran en los suelos, y estas concentraciones naturales pueden llegar a ser tóxicas, debido a que pueden provocar que las plantas los acumulen, ocasionando efectos tóxicos para los animales que la consumen. Así, en los suelos, generalmente los más abundantes son manganeso, cromo, zinc, níquel y plomo (Sánchez, 2003). En este sentido, la concentración natural se incrementa por diversas actividades humanas, entre las que destacan la minería, la fundición, la producción energética, la actividad industrial, la producción y uso de plaguicidas, el tratamiento y depósito/vertido de residuos, etc (Weber y Karczewska, 2004). De igual modo, las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes; sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos requeridos, siendo, por ejemplo, el valor máximo de cadmio total de 0,5 ppm (Kabata-Pendías, 2000). También los metales pesados pueden ser transferidos a las partes comestibles de los cultivos siendo la capacidad de absorción variable (Iretskaya y

Chien, 1999).

Los fertilizantes fosforados son la principal fuente de contaminación de cadmio en suelos agrícolas, siendo los producidos a partir de la roca fosfórica, los que constituyen la mayor entrada agrícola de cadmio a los mismos (De Meeus *et al.*, 2002). En la planta, el cadmio se acumula preferentemente en la raíz, secuestrado en la vacuola de las células, y solo una pequeña parte es transportada a la parte aérea de la planta, concentrándose en orden decreciente. Se ha demostrado que el cadmio ingresa en la vacuola unido a fitoquelatinas (PCs) a través de un transportador de tipo ABC (Ortiz *et al.*, 1995). La absorción de cadmio a nivel de las raíces tiene una competencia directa con nutrientes tales como el calcio, potasio, magnesio, hierro, cobre, manganeso y zinc, por lo que pueden ser absorbidos por las mismas proteínas transportadoras. Es posible considerar todos estos efectos debido al carácter de la bioacumulación y biomagnificación del cadmio en el suelo y en los tejidos de los órganos vivos (Benavides *et al.*, 2005). Finalmente, resaltar que, en general, el Cd interfiere en la entrada, transporte y utilización de los elementos esenciales antes mencionados (Ca, Mg, P y K), así como del propio recurso hídrico, provocando desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta (Singh y Tewari, 2003). En cuanto a la presente investigación, destacar que el cacao es uno de los principales cultivos de la provincia de Leoncio Prado (región de Huánuco). El principal mercado de este cultivo es el externo, presentándose los mayores niveles de exportación hacia Holanda, Suiza, Bélgica, Francia, Italia, Alemania, Estados Unidos, y Japón, entre otros. Estos países presentan determinadas condiciones para el ingreso y comercialización de cacao, y uno de ellos es la presencia de metales pesados. El mercado europeo está presentando observaciones respecto a la presencia del cadmio y plomo en el producto de cacao que se está enviando y que está superando los límites máximos permisibles según las normativas de dichos países. Por consiguiente se hace imprescindible evaluar la presencia y los niveles de contaminación del cadmio y

plomo a nivel del suelo, hojas y grano. Por ello, acorde con la importancia socioeconómica de este cultivo para varias regiones del Perú, y especialmente la de Huánuco, se hace necesario contar con un adecuado análisis de metales. Es por ello que el reporte sobre la presencia de niveles de cadmio por encima de lo permitido en el producto enviado al extranjero genera preocupación en relación a los posteriores envíos del mismo. Los análisis de laboratorio permiten determinar el contenido de cadmio y plomo en el suelo, en las almendras, en el tejido foliar en diferentes edades y etapas fenológicas. Bajo este contexto, se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar el contenido de nutrientes y metales pesados en el cultivo de cacao.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas de los suelos de cacao por edades y etapas fenológicas.
- Determinar los niveles de cadmio y plomo en los suelos del cultivo de cacao por edades y etapas fenológicas.

- Determinar los niveles de cadmio y plomo a nivel foliar en el cultivo de cacao por edades y etapas fenológicas.

- Determinar los niveles de cadmio y plomo a nivel de almendras de cacao por edades y etapas fenológicas.

#### Ubicación de los campos

El trabajo de investigación se llevó a cabo en cuatro parcelas de agricultores de cacao orgánico pertenecientes a la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo (Figura 1). Las referencias es que estas parcelas de Picuroyacu, Trampolín, Tananta y Filadelfia, contienen niveles altos de cadmio total en almendras, lo que motivó que fueran seleccionadas.

Se realizó en el cultivo de cacao del clon CCN 51; con ejemplares de 5, 10, 15 y 20 años de edad, bajo condiciones de cultivo orgánico en producción (Tabla 1).

#### Evaluación de campo

En cada parcela, el muestreo se realizó al azar en forma de zigzag para el análisis de suelo, foliar y de las almendras.

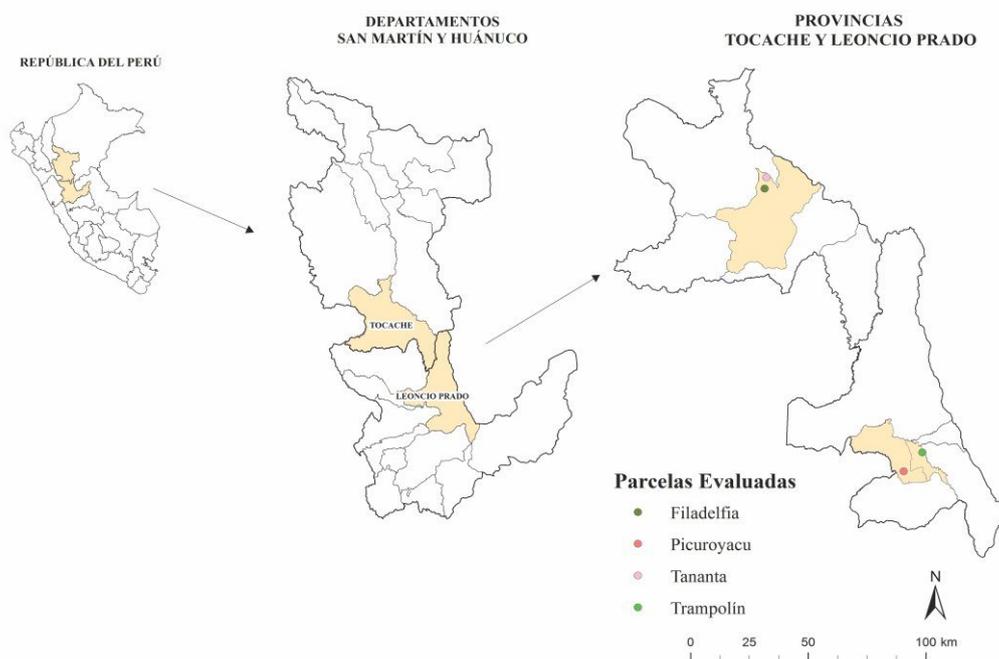


Figura 1. Lugar de ejecución de la investigación

**Tabla 1.** Tratamientos, variedades y edades

Código	Lugar	Coordenadas	Altitud
CDP1	Picuroyacu	387195 E 8974331 N	752
CDP2	Trampolín	395117 E 8982497 N	673
CDP3	Filadelfia	328086 E 9097572 N	520
CDP4	Tananta	328862 E 9102511 N	485

Fuente: Elaboración propia

## Metodología de evaluación

### *Evaluación del suelo*

Se realizó un reconocimiento del campo de cacao de cada agricultor. A continuación se muestreó en zigzag cada cierta distancia (preferentemente en zonas ubicadas bajo la proyección de la copa del árbol de cacao). Para cada parcela se procedió a obtener al menos 20 submuestras empleándose para ello un tubo muestreador. Al final se obtuvo una muestra compuesta, en la que se realizó el análisis fisicoquímico respectivo.

### *Análisis de cadmio y plomo disponible*

En primer lugar se pesaron y adicionaron 5 g de suelo a un vaso, para luego agregar 20ml de solución Extractante (EDTA 0,05M y pH 7). A continuación, se agitó durante 15 minutos, y seguidamente se filtró con papel filtro N° 40, realizando la lectura mediante EAA (lámpara de Cd 228,8 nm; celda 0,5 nm; patrones de Cadmio: 1ppm, 2ppm y 3 ppm) (Weterman, 1990).

### *Evaluación del follaje*

En cada parcela de cacao se colectaron dos hojas por planta resultando un total de 40 hojas (20 plantas). Estas hojas fueron extraídas tomando como referencia su ubicación en la parte media de la planta. Las muestras fueron codificadas y llevadas al Laboratorio de Análisis de Suelo de la Facultad de Agronomía (UNAS) para su respectivo análisis.

### *Evaluación de la almendra*

En cada parcela donde se obtuvieron las muestras de suelo y foliar, se recogieron también las muestras de granos, para lo cual se partieron de 20 mazorcas obteniendo los granos de cacao frescos. Estos fueron transportados a un cajón fermentador en un saco

blanco por un plazo de 6 a 7 días. Seguidamente se pesaron las muestras (1,2 kg en promedio) y fueron llevadas a la era de la COOPAIN para su secado (5 días en promedio), hasta obtener almendras a 8% de humedad. Finalmente, las muestras fueron codificadas y llevadas al Laboratorio de Análisis de Suelo de la Facultad de Agronomía (UNAS) para su respectivo análisis.

### *Análisis de cadmio total a nivel foliar, almendra y cascarilla de almendra*

El método empleado fue el de la "Vía Seca", de tal forma que se comenzó pesando 2 gramos de muestra molida y secándose a 105 °C por 24 horas. Más tarde, se colocaron en un crisol dentro de una mufla. Se seleccionó la temperatura de 450°C en la mufla durante 8 horas. Luego se apagó el sistema y se dejó que se enfríe antes de remover el crisol. Seguidamente, se humedeció la muestra calcinada con agua destilada, agregando lentamente 2 ml de HCl concentrado, para luego evaporar lentamente el contenido hasta que alcance la sequedad. Finalmente se agregaron 2 ml de agua destilada y 2 ml de HCl concentrado, y después se calentó suavemente con el fin de permitir la disolución. Es preciso mencionar que en esta última etapa del proceso, se agregaron 2 ml de HCl concentrado, y se calentó lentamente hasta que quedase con una textura pastosa, transfiriéndose el contenido del crisol (ayudándose con agua caliente y por filtración) a una fiola de 100 ml, y realizando la lectura en el EAA.

### *Evaluación estadística de datos*

Los datos obtenidos a partir del análisis de suelos, foliar, almendra y cascarilla fueron procesados y analizados por medio del análisis de correlación a través del Software estadístico SPSS 23.

### **Parámetros a evaluar**

#### *Del suelo*

- Caracterización físico - química del suelo
- Evaluación del nivel de cadmio en el suelo
- Evaluación del plomo en el suelo

### Del follaje

- Caracterización nutricional de la hoja del cacao
- Análisis de la presencia del cadmio a nivel foliar
- Análisis de la presencia de plomo a nivel foliar

### De la almendra

- Análisis nutricional de la almendras del cacao
- Análisis de la presencia de cadmio a nivel de almendras
- Análisis de la presencia de plomo a nivel de almendras

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Contenido de nutrientes en los suelos

En la relación de resultados obtenidos en relación al análisis de suelos realizado en COOPAIN, destaca la presencia de los metales pesados expuestos, cadmio y plomo, en todos ellos (Figura 2). Destacan las muestras de FIL1, FIL2 y FIL3, con valores cercanos a 8 ppm de plomo. Estos datos coinciden con los reportados por Huauya y Huamaní (2014), donde en el caso del plomo disponible los mayores valores encontrados fueron 6,83 y 5,92 ppm

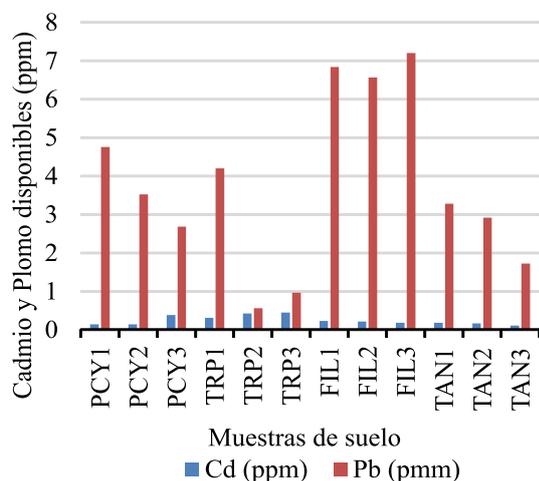


Figura 2. Concentración de Cadmio y Plomo disponible en el suelo.

### Contenido de nutrientes a nivel foliar

Lo mismo ocurre en relación al contenido de nutrientes en las hojas colectadas, que en mayor o menor medida muestran niveles de cadmio y plomo (Figura 3). Destaca el TAN1, con valores cercanos a 30 ppm de plomo. Estos datos son confirmados en los

cultivos evaluados por Reyes y María (2004), en hojas de plantaciones de la República Dominicana.

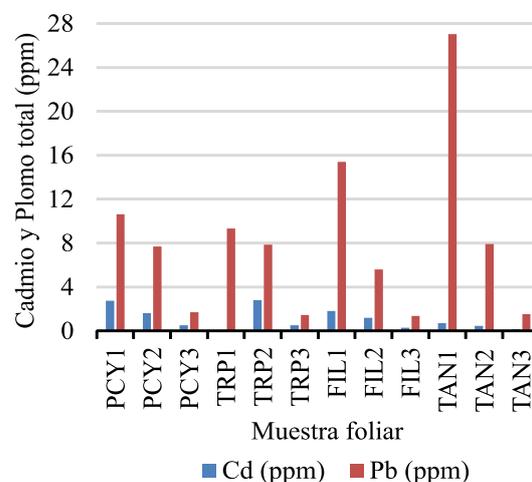


Figura 3. Concentración de Cadmio y plomo total a nivel foliar.

En cuanto a los análisis estadísticos, se muestra una significancia positiva entre el contenido de cadmio en hojas y el contenido de plomo, calcio y fósforo (Tabla 2). Asimismo se obtiene significancia positiva entre el contenido de plomo en hojas y el contenido de cadmio y cobre, y por el contrario, es una significancia negativa con el calcio. En general, el cadmio interfiere en la entrada, transporte y utilización de elementos esenciales (Ca, Mg, P y K) y el agua, provocando desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta (Singh y Tewari, 2003). Las diferentes partes de las plantas acumulan el plomo en diferentes grados, por lo que, generalmente, las partes del fruto y de la flor acumulan las cantidades más pequeñas de plomo (Armendáriz, 2002). Finalmente, de acuerdo a la correlación, se pudo demostrar que la concentración de cadmio y plomo en almendras depende de la concentración en cadmio y plomo en las hojas (Tabla 3).

### Contenido de nutrientes a nivel de almendras

En cuanto al contenido de nutrientes en almendras, y enfocando este análisis en las concentraciones de cadmio y plomo total en las almendras del cacao, los resultados muestran la presencia de estos dos elementos en todas las muestras analizadas. De nuevo destaca la muestra TAN1, con concentraciones de plomo cercanas a los 30 ppm. En cuanto a las muestras

**Tabla 2.** Coeficientes de correlación del contenido de Cadmio y plomo total y algunos macro y micro elementos a nivel foliar.

	Pb	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
<b>Cd-foliar</b>	0,999**	-0,982	0,997*	0,981	-0,952	-0,536	-0,505	-0,994	-0,756	-0,672
<b>Pb-foliar</b>		-0,979	0,998*	0,978	-0,956	-0,525	-0,516	-0,996	-0,747	-0,662
<b>Cd-foliar</b>	0,649	0,000	-0,684	-0,990	0,980	0,495	-0,492	-0,495	-0,490	0,977
<b>Pb-foliar</b>		0,000	-0,999*	-0,749	0,788	-0,340	0,344	0,34	0,345	0,796
<b>Cd-foliar</b>	0,949	0,999*	-0,861	-0,953	0,979	-0,416	0,391	-0,407	0,335	0,937
<b>Pb-foliar</b>		0,953	-0,657	-0,809	0,864	-0,681	0,082	-0,674	0,022	0,999*
<b>Cd-foliar</b>	0,828	0,979	-0,970	-0,608	0,770	-0,073	0,860	0,896	0,989	0,996
<b>Pb-foliar</b>		0,695	-0,666	-0,059	0,293	0,498	0,426	0,991	0,903	0,877

\*: Significativo ( $p < 0,05$ )\*\*: Altamente significativo ( $p < 0,01$ )

Fuente: Elaboración propia

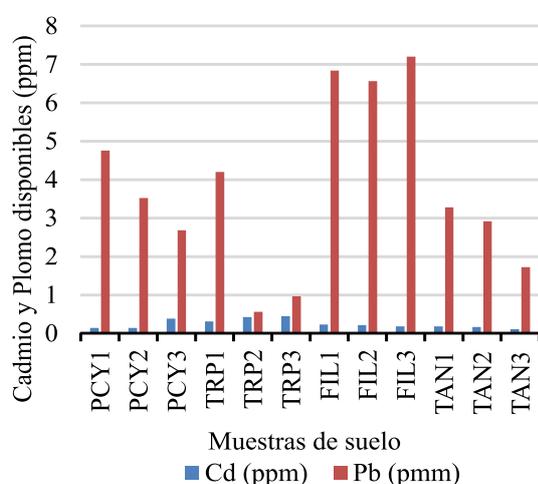
**Tabla 3.** Coeficientes de correlación del contenido de Cadmio disponible del suelo y algunos macro y micro elementos a nivel de almendra

	Pb	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
<b>Cd-foliar</b>	0,981	-0,791	-0,794	-0,857	-0,776	0,996	0,516	0,961	0,865	0,611
<b>Pb-foliar</b>		-0,896	-0,898	-0,941	-0,885	0,994	0,674	0,889	0,947	0,754
<b>Cd-foliar</b>	0,999*	-0,972	-0,985	-0,977	-0,952	0,970	-0,986	0,538	-0,381	-0,982
<b>Pb-foliar</b>		-0,977	-0,988	-0,981	-0,958	0,965	-0,989	0,522	-0,398	-0,985
<b>Cd-foliar</b>	0,949	-0,995	-0,887	0,918	-0,746	0,669	-0,881	-0,774	-0,942	-0,934
<b>Pb-foliar</b>		-0,915	-0,696	-0,746	-0,498	0,401	-0,687	-0,934	-0,788	-0,773
<b>Cd-foliar</b>	0,942	-0,912	-0,910	-0,904	-0,968	0,834	0,882	0,595	-0,693	-0,872
<b>Pb-foliar</b>		-0,721	-0,719	-0,708	-0,827	0,971	0,673	0,291	-0,41	-0,658

\*: Significativo ( $p < 0,05$ )

Fuente: Elaboración propia

con mayor concentración de cadmio, TRP1, TRP2 y PCY1 se situaron en valores próximos a los 4 ppm (Figura 4). En Ecuador se encontraron valores similares a los presentes, en fincas cacaoteras de Santa Rosa, en la provincia del Oro, y Naranjal en la provincia del Guayas; las almendras de cacao presentaron en dicho estudio cantidades mayores a 1 mg kg<sup>-1</sup> de cadmio (Mite *et al.*, 2010).

**Figura 4.** Concentraciones de cadmio y plomo total en almendras

### Presencia de cadmio y plomo en el suelo, a nivel foliar y almendra.

En definitiva, y en relación a la presencia de estos dos metales pesados, cadmio y plomo, tanto en el suelo como en hojas y almendras, las razones principales que pueden darse en los cultivos analizados tienen relación con lo establecido por Silveira *et al.* (2003), quienes describen que, habitualmente, la adsorción de los metales a las partículas del suelo reduce la concentración de los metales en la solución suelo. Así, un suelo con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) alta tiene más sitios de intercambio en la fracción coloidal del suelo, los que estarán disponibles para una mayor adsorción y posible inmovilización de los metales. Incluso Contreras *et al.* (2002), hacen referencia a que en la mayoría de suelos donde encontramos presencia de calcio, no únicamente lo encontramos como calcio libre, sino que puede estar como carbonato y fosfato de calcio; en esta situación el cadmio puede ser controlado por la alcalinización del suelo y precipitar al metal pesado. Además el efecto competitivo del calcio y las consecuencias fisiológicas

y químicas de un incremento del pH del suelo disminuyen la absorción de cadmio por las raíces de cultivo. 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).

Finalmente, según Pavesi y Siqueira (2001), se puede remediar la contaminación de los suelos por metales pesados, como cadmio y plomo, mediante el uso de técnicas de ingeniería, como remoción, lavado o uso del suelo en mezcla, para construcción de capas asfálticas y mediante el uso de la fitorremediación que involucra el empleo de técnicas biológicas y químicas.

#### IV. CONCLUSIONES

Los suelos estudiados y analizados muestran, por lo general, unas características fisicoquímicas adecuadas.

En cuanto al análisis de los metales pesados, si bien los valores de cadmio y plomo disponible en los suelos están por debajo de los límites permisibles, cabe destacar que los valores máximos de cadmio total a nivel foliar y en almendras se encuentra en las parcelas de 5 y 10 años y en la etapa fenológica de plena fructificación, mientras que los valores de plomo total a nivel foliar y en almendras se encuentran en las parcelas de 15 y 20 años y en la etapa fenológica de plena fructificación.

Por último, y de acuerdo a la correlación, se pudo demostrar que la concentración de cadmio y plomo en almendras depende de la concentración en cadmio y plomo en las hojas.

#### VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Armendáriz, C.R. 2002. *Ingesta dietética de contaminantes metálicos (Hg, Pb, Cd, Fe, Cu, Zn y Mn) en la Comunidad Autónoma Canaria. Evaluación toxicológica*. Tesis de Grado. Universidad de la Laguna. Santa Cruz de Tenerife (España). Recuperado de:

- <ftp://tesis.bbt.ull.es/ccppytec/cp185.pdf>
- Benavides, M., S. Gallego y M. Tomaro. 2005. "Cadmium toxicity in plants". *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17: 21 – 34.
- Contreras, F., T. Herrera y A. Izquierdo. 2002. "Efecto de dos fuentes de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) sobre la disponibilidad de cadmio para plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en suelos de Barlovento, estado Miranda". *Venesuelos* 13 (2002): 52 – 63.
- Costa, N., E. Meurer, C. Bissani y M. Tedesco. 2007. "Fracionamento sequencial de cádmio e chumbo em solos". *Ciência Rural Santa Maria* 37: 1323 – 1328.
- De Meeus, C., G. Eduljee y M. Hutton. 2002. "Assessment and management of risks arising from exposure to cadmium in fertilizers". *The Science of the Total Environment* 291: 167 – 187.
- García, I. y C. Dorronsoro. 2005. "Contaminación por metales pesados". En *Tecnología de Suelos*. Granda (España): Universidad de Granada.
- Huamani-Yupanqui, H.A., L.G., Mansilla-Minaya, N. Florida-Rofner y G.M. Neira-Trujillo. 2012. "Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico". *Acta agronómica* 61: 339 – 334.
- Huauya, M. y H. Huamani. 2014. "Macrofauna edáfica y metales pesados en el cultivo de cacao, *Theobroma cacao* L. (Malvaceae)". *The Biologist* 12: 45 – 55.
- Iretskaya, S. y S. Chien. 1999. "Comparison of cadmium uptake by five different food grain crops grown on three soils of varying pH". *Commun. Soil. Sci. Plant. Anal.* 30: 441 – 448.
- Kabata-Pendías, A. 2002. *Trace elements in soils and plants*". Boca Ratón (EEUU): CRC Press
- Mite, F., M. Carrillo y W. Durango. 2010. "Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de Cacao, suelos y aguas en Ecuador". En *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Quito (Ecuador).

- Naturland. 2000. *Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico*. Berlín (Alemania): Asociación Naturland
- Ortiz, D., T. Ruscitti, K. Mccue y D. Ow. 1995. "Transport of metal-binding peptides by HMT1, a fission yeast ABC-type vacuolar membrane protein". *Journal of Biological Chemistry* 270: 4721–4728.
- Pavesi, J.B. y J.O. Siqueira. 2001. "Solos contaminados por metais pesados: características, implicações e remedição". *Informe Agropecuario* 22: 18–26.
- Prieto, J., C. González, A. Román y F. Prieto. 2009. "Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua". *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 29–44.
- Reyes, E. y 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*. Santo Domingo (República Dominicana): Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales.
- Sánchez, I. 2003. *Determinación de metales pesados en suelos de medicina del campo (Valladolid): Contenidos extraíbles, niveles fondo y de referencia*. Tesis de Doctorado. Universidad de Valladolid. Valladolid (España).
- Silveira, M.L.A., L.R.F. Alleoni y L.R.G. Guilherme. 2003. "Biosolids and heavy metals in soils". *Scientia Agrícola* 60: 793–806.
- Singh, P. y R. Tewari. 2003. "Cadmium toxicity induced changes in plant water relations and oxidative metabolism of *Brassica juncea* L. plants". *Journal of Environmental Biology* 24: 107–112.
- Weber, J. y A. Karczewska. 2004. "Biogeochemical processes and the role of heavy metals in the soil environment". *Geoderma* 322: 105–107.
- Weternan, R.L. 1990. *Soil testing and plant analysis*. Madison (EEUU): Soil Science Society of America.