

Evaluación del contenido de metales pesados en suelos agrícolas del distrito de Jesús – Cajamarca

Evaluation of the content of heavy metals in agricultural soils of the district of Jesús – Cajamarca

José Ramiro Díaz Cumpén^{1*}, Giovana Ernestina Chávez Horna¹, Luis Javier Quipuscoa Castro¹, José Francisco Rabanal Guevara¹, Teresita de Jesús Pereyra Quevedo¹, Jhon Yober Campos Herrera¹

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa 1070, C.P. 06003, Cajamarca, Perú

* Autor de correspondencia: rdiazcu@unc.edu.pe

Resumen

La investigación tuvo como objetivo principal conocer el contenido de los metales pesados Pb, Cd, Cr, Cu y Zn, existentes en suelos agrícolas del Caserío La Bendiza del distrito de Jesús, Provincia de Cajamarca. También, se evaluaron los parámetros edáficos: textura, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico (CIC). Se eligieron tres suelos dedicados al cultivo intensivo de col, considerando el alto consumo de pesticidas y fertilizantes químicos, sobre todo los primeros por su repercusión en la salud humana. De cada campo se tomaron 10 muestras simples para formar una muestra compuesta, de la cual, luego de mezclarlas, se tomó 1 kg para su análisis correspondiente. Los resultados de los análisis se evaluaron e interpretaron de acuerdo a la normativa nacional vigente (Reglamento de Clasificación de Suelos por su Capacidad de Uso Mayor: D.S. N° 005-2022-MIDAGRI), ECA Suelo (D.S. 002-2013-MINAM) y la Norma Canadiense: Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQG) 2007, para los parámetros que no figuran en la normativa nacional, como es el caso del cobre y el zinc. Todos los suelos evaluados mostraron una textura ligera (franco-arenosa), en tanto que los resultados promedio obtenidos para los parámetros edáficos, fue de 7,68 para pH, conductividad eléctrica: 0,44 dS/m, materia orgánica: 1,36% y CIC: 10,73 meq/100 g de suelo. Las concentraciones máximas de metales pesados encontradas para los tres campos fue: plomo (4,31 ppm), cadmio (3,84 ppm), cromo (0,34 ppm), cobre (12,57 ppm), y zinc (61,65 ppm), valores que al ser comparados con el ECA Suelo, nos indican que el único metal que había superado a este estándar Cadmio; sin embargo, la presencia de los otros metales pesados, aunque en concentraciones menores por su condición no biodegradable y bioacumulable, representan un riesgo a la salud de los consumidores.

Palabras clave: agroquímicos, bioacumulación, metales pesados, parámetros edáficos, terreno cultivable

Abstract

The main objective of the research was to know the content of heavy metals Pb, Cd, Cr, Cu and Zn, existing in agricultural soils of the La Bendiza Caserío in the district of Jesús, Province of Cajamarca. Also, the edaphic parameters were evaluated: texture, pH, electrical conductivity, organic matter and cation exchange capacity (CEC). Three soils dedicated to intensive cabbage cultivation were chosen, considering the high consumption of pesticides and chemical fertilizers, especially the former due to their impact on human health. From each field, 10 simple samples were taken to form a composite sample, of which, after mixing them, 1 kg was taken for corresponding analysis. The results of the analyzes were evaluated and interpreted in accordance with current national regulations (Reglamento de Clasificación de Suelos por su Capacidad de Uso Mayor: D.S. N° 005-2022-MIDAGRI), ECA Suelo (D.S. 002-2013-MINAM) and the Canadian Standard: Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQG) 2007, for the parameters that do not appear in the national regulations, such as copper and zinc. All the soils evaluated showed a light texture (sandy loam), while the average results obtained for the edaphic parameters were 7.68 for pH, electrical conductivity: 0.44 dS/m, organic matter: 1.36% and CEC: 10.73 meq/100 g of soil. The maximum concentrations of heavy metals found for the three fields was: lead (4.31 ppm), cadmium (3.84 ppm), chromium (0.34 ppm), copper (12.57 ppm), and zinc (61.65 ppm), values that when compared with the ECA Suelo, indicate that the only metal which had surpassed this Cadmium standard; however, the presence of other heavy metals, although in lower concentrations due to their non-biodegradable and bioaccumulative condition, represent a risk to the health of consumers.

Key words: agrochemicals, arable land, bioaccumulation, edaphic parameters, heavy metals

Introducción

Los metales pesados, elementos químicos esenciales para la vida, pueden volverse tóxicos en concentraciones elevadas. Su presencia en el suelo puede originarse tanto por procesos naturales, como la erosión de rocas y minerales, como por actividades humanas, entre las cuales se incluyen la actividad industrial, la minería y la agricultura.

En Perú, la agricultura desempeña un papel crucial en la economía, representando aproximadamente el 10% del Producto Interno Bruto (PIB). El país se caracteriza por una vasta diversidad de suelos, utilizados para cultivar una amplia gama de productos agrícolas. Sin embargo, la actividad agrícola también puede contribuir significativamente a la contaminación del suelo con metales pesados.

La contaminación del suelo con metales pesados puede tener consecuencias perjudiciales tanto para el medio ambiente como para la salud humana. Estos elementos tienen la capacidad de bioacumularse en organismos

vivos, lo que implica su acumulación progresiva en el cuerpo a lo largo del tiempo. Esta acumulación puede desencadenar una serie de problemas de salud, que abarcan desde enfermedades cancerígenas hasta trastornos reproductivos y neurológicos.

En este contexto, la evaluación del contenido de metales pesados en los suelos agrícolas de Perú adquiere una importancia crucial. La obtención de esta información permitirá identificar áreas con riesgo de contaminación y tomar medidas adecuadas para preservar tanto el medio ambiente como la salud humana. En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo principal evaluar y determinar la concentración de metales pesados en los terrenos cultivables del distrito de Jesús, provincia de Cajamarca, región Cajamarca. Este análisis contribuirá significativamente a la comprensión y gestión de los posibles riesgos asociados a la presencia de metales pesados en suelos agrícolas en esta región específica.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en los suelos de tres campos agrícolas del Caserío La Bendiza del distrito de Jesús- Cajamarca, ubicados dentro de una altitud promedio de 2616 msnm. El tipo de investigación aplicada es no experimental transversal descriptiva, realizada con el propósito de conocer los valores de variables independientes que son los parámetros edáficos pH, CE, MO y CIC, los cuales van a influir sobre la concentración de los metales pesados Pb, Cd, Cr, Cu y Zn (variables dependientes).

En base a los objetivos propuestos, se hizo el reconocimiento de la zona agrícola seleccionada, dentro de la cual fueron elegidos tres campos agrícolas, los mismos que fueron muestreados de manera aleatoria, dando lugar a la obtención de 10 muestras simples de suelos por cada campo dentro de los 30 primeros centímetros, con lo cual se constituyeron tres muestras compuestas. En cada punto de muestreo, las muestras simples fueron extraídas con un cucharón de acero, siendo depositadas en un balde plástico, para constituir una muestra compuesta. El suelo seco al aire, se mezcló en forma homogénea, separando dos kilos por cada muestra compuesta, los cuales fueron colocados en bolsas plásticas de cierre hermético, selladas con cinta adhesiva, identificadas y colocadas en un cooler, una de las cuales fue enviada al laboratorio de suelos de la Universidad Agraria la Molina, quedando la segunda bolsa como muestra de seguridad.

A nivel de gabinete se realizó la clasificación y organización de los datos obtenidos en campo y laboratorio, asimismo la presentación de los mismos se hizo en tablas y figuras; se discutieron y analizaron los resultados obtenidos de los diferentes parámetros, para posteriormente determinar la influencia de los mismos sobre la concentración de los metales pesados evaluados.

Resultados y discusión

Los resultados de los análisis de suelos, se muestran en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Resultados de los análisis de los suelos agrícolas del caserío La Bendiza del distrito de Jesús-Cajamarca

Campos evaluados	Análisis textural			Clase textural	pH	MO (%)	CE dS/m	CaCO ₃ (%)
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)					
Campo 1	70,84	13,56	15,60	Franco arenoso	7,32	1,79	0,36	0,10
Campo 2	71,28	16,00	12,72	Franco arenoso	7,77	1,18	0,62	0,50
Campo 3	67,28	18,00	14,72	Franco arenoso	7,95	1,12	0,36	0,27

Fuente: Laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego de la UNALM.

Tabla 2. Resultados de los análisis de los suelos agrícolas del caserío La Bendiza del distrito de Jesús

Campos evaluados	Cationes cambiables*				CIC	Metales pesados totales (ppm)				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		Pb	Cd	Cr	Cu	Zn
Campo 1	7,69	0,55	0,05	0,25	8,54	0,13	3,84	0,34	1,03	4,66
Campo 2	10,86	0,88	0,07	0,63	12,45	4,31	0,16	<0,05	12,57	56,37
Campo 3	9,99	0,82	0,08	0,33	11,22	0,84	<0,012	<0,05	10,38	61,65

*Según los análisis realizados no se reportó la presencia de los cationes Al³⁺ e H⁺

Fuente: Laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego de la UNALM.

Sobre el análisis textural

Todos los suelos examinados se ubican dentro de la clase textural Franco arenosa, mostrando un alto contenido de arena (>67%) y un bajo contenido de arcilla (<16%) (Tabla 1 y Figura 1). Estos valores nos indican suelos con una alta permeabilidad, baja retención de agua y nutrientes y baja retención de cationes, entre los cuales se encuentran los metales pesados evaluados. Esta capacidad para adsorber metales se da a través de los coloides del suelo entre los que destacan la arcilla y el humus procedente de la materia orgánica, componentes edáficos que están presentes en poca cantidad en los suelos analizados.

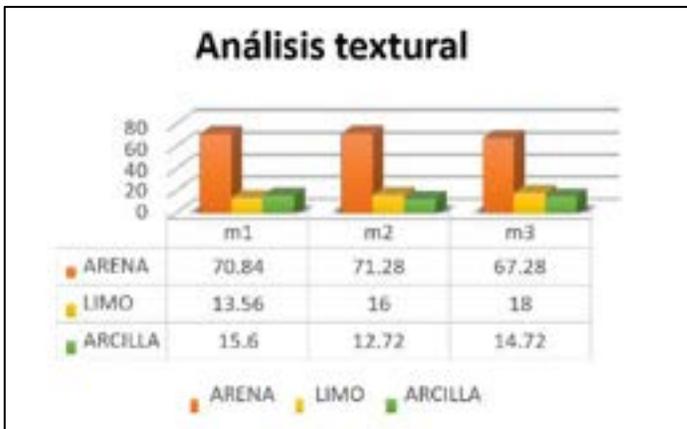


Figura 1. Textura de los suelos agrícolas del caserío La Bendiza-Distrito de Jesús-Cajamarca

Sobre el pH de los suelos evaluados

Los valores de pH en los suelos muestreados van desde ligeramente alcalino (7,32) a moderadamente alcalino, (7,95) (DS 005-2022 MINAGRI). En estas condiciones es baja la solubilidad de los metales pesados evaluados a excepción del cromo que es mayormente soluble a pHs alcalinos. La mayor adsorción de los metales Pb, Cd, Cu y Zn por los coloides del suelo contribuye a la baja absorción de estos metales por las plantas y escasa migración a las aguas subterráneas; asimismo es preciso señalar que estos valores del pH de los suelos muestreados es una manifestación del bajo contenido de carbonato de calcio y el bajo nivel de materia orgánica (Tabla 1 y Figura 2).

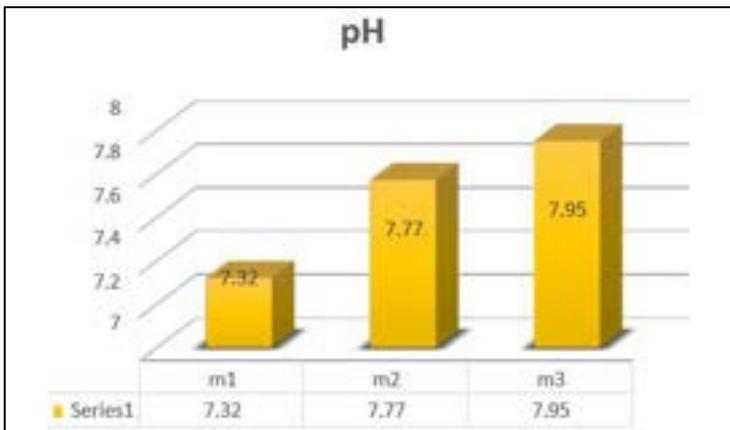


Figura 2. pH de los suelos agrícolas del caserío La Bendiza-Distrito de Jesús-Cajamarca

Sobre el contenido de materia orgánica (MO)

Los valores de MO en los suelos muestreados van desde 1,12% a 1,79% (Tabla 1 y Figura 3) lo que indica un bajo contenido de este componente, lo cual se traduce en un bajo contenido de humus (coloide orgánico del suelo), que es el producto final de la descomposición de la MO, cuya contribución es muy reconocida en la retención de nutrientes y metales pesados. En suelos pobres en humus y arcilla como son los suelos evaluados tiene lugar el lavado de nutrientes y metales pesados a las aguas freáticas o subterráneas; lo cual determina una baja fertilidad del suelo.

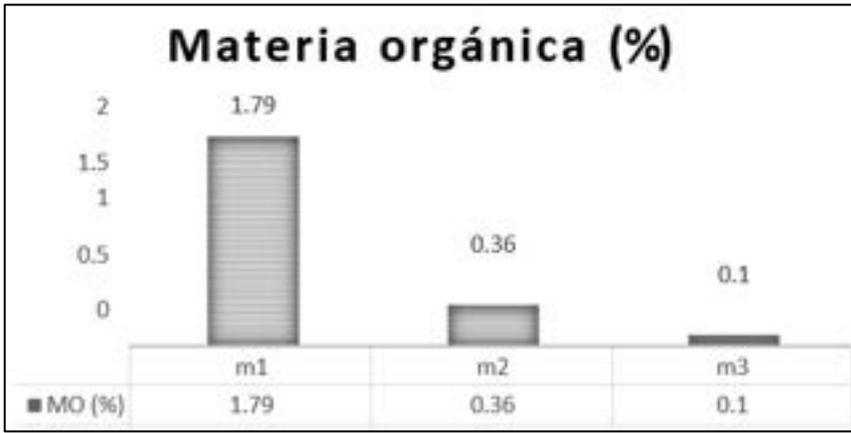


Figura 3. Materia orgánica de los suelos agrícolas del caserío La Bendiza-Distrito de Jesús-Cajamarca

Sobre la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Según los resultados obtenidos, los suelos evaluados muestran una baja CIC, que va desde 8,54 a 12,45 meq/100 g de suelo (Tabla 2 y Figura 4), lo cual es una manifestación del bajo contenido de arcilla (12,72 - 15,60%) y de humus procedente de la MO (1,12% a 1,79%). Esta característica edáfica determina una baja retención de metales pesados y nutrientes naturales del suelo y los que llegan a él a través de los fertilizantes y enmiendas orgánicas (abonos orgánicos) o enmiendas inorgánicas (cal, yeso, etc.) para corregir el pH, salinidad o deficiencia de nutrientes.

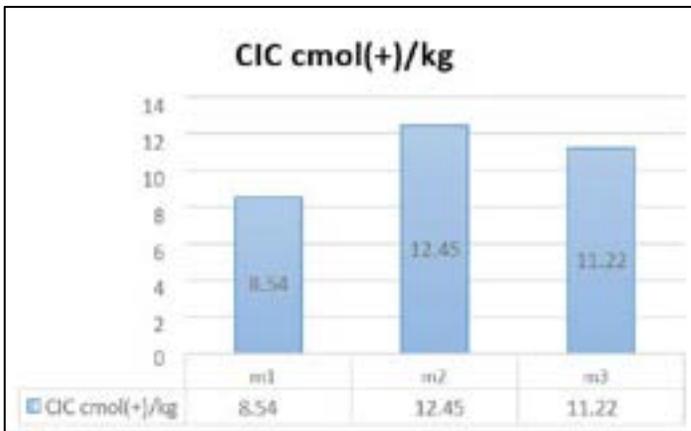


Figura 4. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos agrícolas del caserío La Bendiza-Distrito de Jesús-Cajamarca

Sobre el contenido de metales pesados totales

Los metales pesados analizados fueron: Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr) y Zinc (Zn). El valor máximo de Plomo alcanzado por este elemento fue en el suelo del campo 2 con 4,31 ppm (Tabla 5). En atención al Estándar de calidad ambiental (ECA) para suelos, establecido por D.S. N°011-2017-MINAM; la concentración de plomo para suelos agrícolas es de 70 mg.kg-1 de suelo a nivel de peso seco; lo cual indica que la concentración encontrada de este metal en los suelos evaluados, no supera el nivel establecido por el ECA suelo para plomo; lo cual puede atribuirse a la escasa adsorción de este metal por el suelo al haberse encontrado niveles bajos de los coloides arcilla y humus, coloide orgánico que deriva del bajo contenido de materia orgánica de estos suelos de textura ligera (franco arenosos).

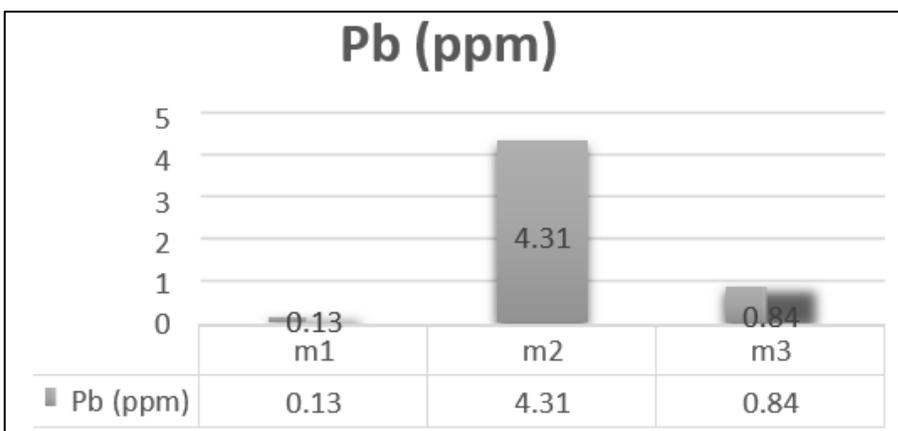


Figura 5. Contenido de Plomo (Pb) en los suelos agrícolas del caserío La Bendiza-Distrito de Jesús-Cajamarca

Sobre el contenido de Cadmio

El valor máximo alcanzado por este elemento fue en el campo 1 con 3,84 ppm (Tabla 2 y Figura 6). En atención al Estándar de calidad ambiental (ECA) para suelos; la concentración de cadmio para suelos agrícolas es de 1,4 mg.kg⁻¹ de suelo; lo cual indica que se supera el nivel del ECA suelo para cadmio.

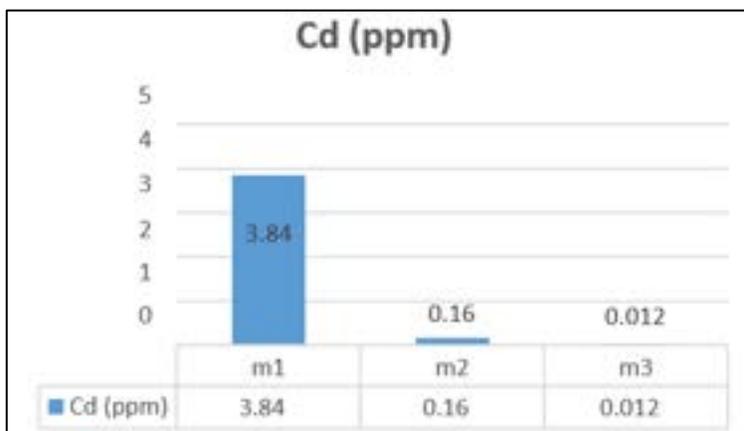


Figura 6. Contenido de Cadmio (Cd) en los suelos agrícolas del caserío La Bendiza-Distrito de Jesús-Cajamarca

Sobre el contenido de Cobre

El valor máximo alcanzado de este elemento, fue en el campo 2, con 12,57 ppm (Tabla 2 y Figura 7). Debo señalar que el estándar de calidad ambiental (ECA) para suelos, no establece la concentración de cobre para suelos agrícolas; por lo cual se ha tenido que recurrir a estándares de otros países como lo indica la Norma canadiense: Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQG) 2007, que considera como estándar para el Cu 63 mg.kg⁻¹; en tanto que la concentración máxima permitida de metales pesados totales en suelos agrícolas para la Unión Europea (UE) para el caso del Cu es de 50-140 mg.kg⁻¹, dentro de los países que conforman la UE se tiene a Francia e Italia; quienes indican como concentración máxima de Cu, 100 mg.kg⁻¹; en tanto que España refiere una concentración máxima de 40 mg.kg⁻¹. Bajo esta comparación del contenido de Cu obtenido en los suelos evaluados, con las normas internacionales, el valor de este elemento no supera dichos estándares; sin embargo, su existencia nos debe preocupar para investigar sobre la causa de su presencia y su posible translocación a las plantas que en estos suelos se cultivan, al analizar tejidos vegetales.

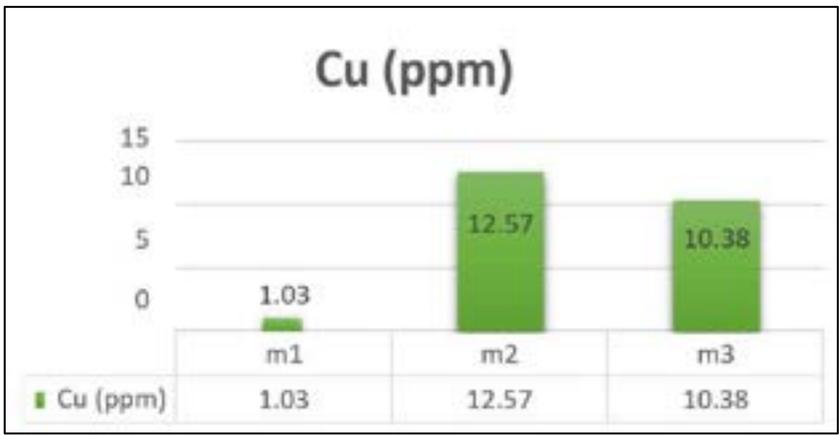


Figura 7. Contenido de Cobre (Cu) en los suelos agrícolas del caserío La Bendiza-Distrito de Jesús-Cajamarca

Sobre el contenido de Cromo

Según los suelos evaluados, el valor máximo de Cromo fue alcanzado por la muestra de suelo del campo 1 (Tabla 2 y Figura 8) con 0,34 ppm. En atención al Estándar de calidad ambiental (ECA) para suelos; la concentración de cromo VI es de 0,4 mg.kg-1 para suelos agrícolas, lo cual indica que se no se superó el nivel establecido por el ECA suelo nacional para cromo hexavalente; en tanto que para la norma Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQG) 2007, la concentración máxima de Cromo es de 64 mg.kg-1; sin embargo, hay que considerar que el cromo es uno de los metales pesados que es soluble en suelos alcalinos.

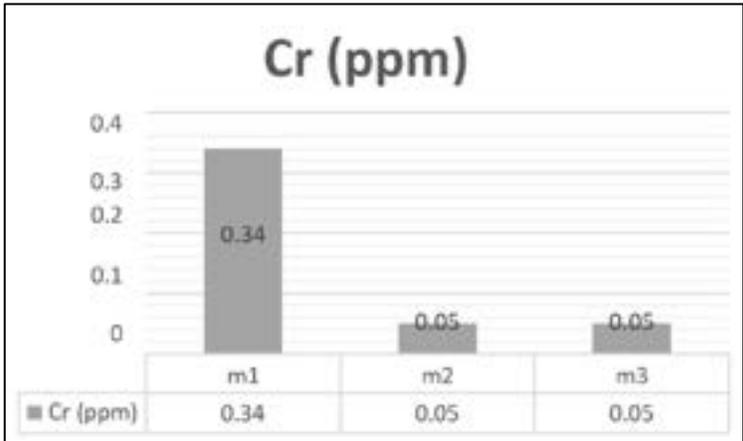


Figura 8. Contenido de Cromo (Cr) en los suelos agrícolas del caserío La Bendiza-Distrito de Jesús-Cajamarca

Sobre el contenido de Zinc

El valor máximo alcanzado para este elemento fue por la muestra de suelo del campo 3 (Figura 9) con 61,65 ppm. Debo señalar que el estándar de calidad ambiental (ECA) para suelos, no registra la concentración de zinc para suelos agrícolas; por lo cual se tuvo que tomar como referencia para la comparación estándares de otros países, como es el caso de la normativa ambiental canadiense CEQG Canadian Soil Quality Guidelines, 2007, para suelos agrícolas, que indica como estándar para el elemento zinc, 200 mg.kg⁻¹; asimismo la concentración máxima permitida de metales pesados totales en suelos agrícolas para la Unión Europea (UE) señala al Zn con 150-300 mg.kg⁻², en tanto que Francia e Italia, indican como concentración máxima de Zn, 300 mg.kg⁻¹; asimismo España considera como concentración máxima permisible de Zn. valores entre 100-150 mg.kg⁻¹; lo que significa que bajo esta comparación con las normas internacionales, el contenido de Zn obtenido en los suelos evaluados, no supera dichos estándares.

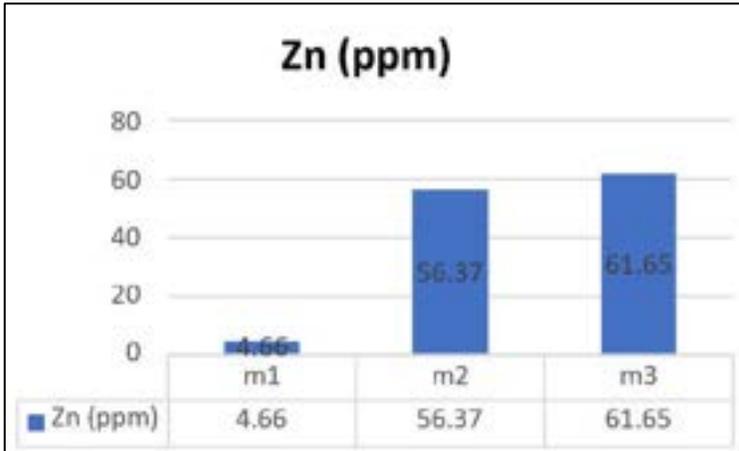


Figura 9. Contenido de Zinc (Cu) en los suelos agrícolas del caserío La Bendiza-Distrito de Jesús-Cajamarca

Conclusiones

La clase textural dentro de la cual se ubican todos los suelos examinados es Franco arenosa, con un alto porcentaje de arena (>67%) y un bajo contenido de arcilla (<16%), característica que determina la baja adsorción de los metales pesados estudiados y nutrientes.

Los valores del pH de los suelos muestreados van desde 7,32 a 7,95; calificándose a los suelos muestreados según este parámetro, desde ligeramente alcalinos a moderadamente alcalinos. En estas condiciones existe baja solubilidad de los metales pesados Pb, Cu, Cd y Zn en estos suelos; sin embargo, se favorece la solubilidad del elemento cromo.

En los suelos analizados, existe un bajo contenido de materia orgánica, que va desde 1,12% a 1,79%, lo cual se traduce en una baja fertilidad del suelo, baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) y por ende baja adsorción de nutrientes y metales pesados.

Los suelos examinados muestran una baja CIC, que va desde 8,54 a 12,45, lo cual es una manifestación del bajo contenido de arcilla (12,72 -15,60) y de humus procedente de la MO de estos suelos ligeros.

El valor máximo alcanzado por el metal Plomo en los suelos evaluados fue de 4,31 ppm (campo); por lo cual en atención al ECA-suelo, la concentración encontrada de este elemento en suelos agrícolas no supera el Estándar del ECA suelo para plomo.

El valor máximo alcanzado por Cadmio fue por la muestra de suelo del campo 1 con 3,84 ppm. En atención al Estándar de calidad ambiental (ECA) para suelos; la concentración de cadmio para suelos agrícolas es de 1,4 mg/kg; lo cual indica que se supera el Estándar del ECA suelo para cadmio.

El valor máximo alcanzado por el cobre fue por la muestra de suelo del campo 2 con 12,57 ppm, considerando que el estándar de calidad ambiental (ECA) para suelos nacional no establece la concentración de cobre para suelos agrícolas; se comparó con los estándares de la norma canadiense Canadian Environmental Quality Guidelines, CEQG. 2007, que considera como estándar para el Cu 63 mg.kg-1; por lo tanto, el valor máximo obtenido para este elemento no supera dicho estándar canadiense.

Según los suelos evaluados, el valor máximo de Cromo fue alcanzado por la muestra de suelo del campo 1 con 0,34 ppm. En atención al ECA-suelo; la concentración de cromo VI es de 0,4 mg/kg para suelos agrícolas, lo cual indica que no se superó el Estándar del ECA suelo para cromo hexavalente.

El valor máximo alcanzado para el elemento zinc fue por la muestra de suelo del campo 3 con 61,65 ppm. Considerando que el ECA suelos nacional; no registra la concentración de zinc para suelos agrícolas; se tuvo que tomar como referencia norma canadiense CEQG Canadian Soil Quality Guidelines. 2007, para suelos agrícolas, que indica como estándar para el elemento zinc, 200 mg/kg.; lo que significa que bajo esta comparación el valor de este elemento no supera dichos estándares.

Referencias

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (1996). Niveles de metales pesados en suelos.

Alloway, B. J. (2013). Heavy Metals in Soils, Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability (3ra ed.). United Kingdom.

Buendia, B. (2018). Evaluación de la concentración de metales pesados en frutos de *Passiflora ligularis* por uso intensivo de agroquímicos-Oxapampa. Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo. Perú.

Carvalho, et al. (1998). Rastreo de plaguicidas en los trópicos. Boletín del OEIA No 40.

Gobierno del Perú. (2017). Estándar de Calidad Ambiental suelo (ECA-suelo). Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.

Kabata, A., & Pendias, H. (2004). Soil plant transfer of trace elements: an environmental issue. *Geoderma*.

Manhecha, et al. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, Departamento del Meta. Colombia.

Micó, C., et al. (2006). Assessing heavy metal sources in agricultural soils of a European Mediterranean area by multivariate analysis. España.

Moreno, et al. (2002). Acumulación de Zn, Cd, Cu y Pb en la col china influenciada por las condiciones climáticas bajo cultivo protegido. *J. Agric. Food Chem.*

Roqueme, J., et al. (2014). Metales pesados en suelos agrícolas del valle medio y bajo del río Sinú, departamento de Córdoba. Universidad de Córdoba, Montería. Colombia.

Rueda G., Rodríguez J. A., & Madriñán R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta Agronómica*.