

Concentración de metales pesados en cultivares de Persea americana, Luricocha, Huanta

Concentration of heavy metals in cultivars of Persea americana, Luricocha, Huanta

Concentração de metais pesados em cultivares de Persea americana, Luricocha, Huanta

Quispe Quezada, Uriel Rigoberto; Quispe Rodríguez, Juan; Casas Reátegui, Rubén; Huamani Urpe, Idania Lidia; Hinojosa Benavides, René Antonio

 **Uriel Rigoberto Quispe Quezada**
uquispe@unah.edu.pe
Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Perú

 **Juan Quispe Rodríguez**
jquispe@unah.edu.pe
Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Perú

 **Rubén Casas Reátegui**
rcasas@unia.edu.pe
Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, Perú

 **Idania Lidia Huamani Urpe**
idania.huamani@unsch.edu.pe
Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Perú

 **René Antonio Hinojosa Benavides**
rhinojosa@unah.edu.pe
Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Perú

Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias ALFA

Centro de Estudios Transdisciplinarios, Bolivia
ISSN: 2664-0902
ISSN-e: 2664-0902
Periodicidad: Cuatrimestral
vol. 7, núm. 20, 2023
editor@revistaalfa.org

Recepción: 15 Marzo 2023
Aprobación: 26 Abril 2023
Publicación: 20 Mayo 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/540/5404212009/>

DOI: <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.222>



Resumen: La contaminación por metales pesados se ha diseminado a lo largo y ancho del planeta, complicando el ambiente que se traduce en serios problemas de salud para la humanidad. El objetivo es determinar el nivel de concentración de plomo y cadmio, en los suelos del cultivo de palto (Persea americana) en Luricocha, para lo cual se realizó la extracción de muestras de suelo de siete comités de regantes, contando con una población de 138,82 hectáreas de cultivo; de tal manera que, por la magnitud del área se tomó en cuenta la muestra por conveniencia de 10 hectáreas de palto, siguiendo el protocolo de extracción en el palto por parte del laboratorio de Valle Grande, en la determinación de metales pesados mediante el método de espectrometría de absorción atómica de llama. Se destaca entre los resultados obtenidos que el tipo de textura arcillosa es el que contiene los mayores niveles de plomo con 49,23 mg/kg, seguido por un suelo franco arcilloso con 45,71 mg/kg; respecto al cadmio las mayores concentraciones se presentan en los suelos de textura franco arcilloso y arcillosa con 0,331 y 0,330 mg/kg. Se concluyó que, el plomo se encuentra por debajo de los estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas; sin embargo, supera ampliamente los valores aceptables de plomo para un suelo no contaminado cuyo valor máximo se encuentra entre 0,0 y 0,2 mg; por otro lado, el uso de fertilizantes fosfatos también se ha visto influenciado en la mayor concentración de cadmio en el suelo.

Palabras clave: Persea americana, Metales pesados, Cadmio, Plomo, Suelo agrícola.

Abstract: Contamination by heavy metals has spread throughout the planet, complicating the environment and resulting in serious health problems for mankind. The objective is to determine the level of lead and cadmium concentration in the soils of avocado (Persea americana) cultivation in Luricocha, for which soil samples were extracted from seven irrigation committees, with a population of 138.82 hectares of crops; Due to the size of the area, a sample of 10 hectares of avocado

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

trees was taken into account for convenience, following the extraction protocol in the avocado tree by the Valle Grande laboratory, in the determination of heavy metals by the flame atomic absorption spectrometry method. Among the results obtained, it is highlighted that the clay texture type is the one with the highest levels of lead with 49.23 mg/kg, followed by a clay loam soil with 45.71 mg/kg; with respect to cadmium, the highest concentrations are found in clay loam and clayey loam soils with 0.331 and 0.330 mg/kg. It was concluded that lead is below the environmental quality standards for agricultural soils; however, it greatly exceeds the acceptable lead values for a non-contaminated soil whose maximum value is between 0.0 and 0.2 mg; on the other hand, the use of phosphate fertilizers has also been influenced by the higher concentration of cadmium in the soil.

Keywords: Persea americana, Heavy metals, Cadmium, Lead, Agricultural soil.

Resumo: A contaminação por metais pesados tem se espalhado por todo o planeta, complicando o meio ambiente e resultando em sérios problemas de saúde para a humanidade. O objetivo é determinar o nível de concentração de chumbo e cádmio nos solos do cultivo de abacate (*Persea americana*) em Luricocha, para o qual foram extraídas amostras de solo de sete comitês de irrigação, com uma população de 138,82 hectares de cultivos; Devido ao tamanho da área, uma amostra de 10 hectares de abacateiros foi considerada por conveniência, seguindo o protocolo de extração no abacateiro pelo laboratório Valle Grande, para a determinação de metais pesados por meio do método de espectrometria de absorção atômica com chama. Entre os resultados obtidos, destaca-se que o tipo de textura argilosa é o que contém os maiores teores de chumbo com 49,23 mg/kg, seguido de um solo franco-argiloso com 45,71 mg/kg; com relação ao cádmio, as maiores concentrações são encontradas nos solos franco-argiloso e franco-argiloso com 0,331 e 0,330 mg/kg. Concluiu-se que o chumbo está abaixo dos padrões de qualidade ambiental para solos agrícolas; entretanto, está bem acima dos valores aceitáveis de chumbo para um solo não contaminado, cujo valor máximo está entre 0,0 e 0,2 mg; por outro lado, o uso de fertilizantes fosfatados também foi influenciado pela maior concentração de cádmio no solo.

Palavras-chave: *Persea americana*, Metais pesados, Cádmio, Chumbo, Solo agrícola.

INTRODUCCIÓN

Existe en Perú una agricultura moderna cuya práctica intensiva y extensiva ha conllevado al uso excesivo de agroquímicos como los fertilizantes químicos, insecticidas, herbicidas, entre otros, que han venido contaminando los suelos agrícolas con metales pesados como el plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As) básicamente (1), afectando sobre todo la actividad de las enzimas del suelo, responsables del ciclo del carbono y el azufre, reduciendo su capacidad en la aceleración de las reacciones químicas que favorecen el metabolismo

celular de los microorganismos que viven en la tierra y participan activamente en la descomposición de la materia orgánica.

Teniendo en cuenta a ello, el abandono de parte del estado en las capacitaciones y asistencia técnica tanto en la producción como en el uso sostenible de estos compuestos químicos, aplicados en forma desenfrenada con contenidos de metales pesados; siendo estos últimos compuestos químicos bioacumulables y no degradables, es decir biomagnifican su presencia en los organismos y son imposibles de degradar para eliminarlos, cuya característica principal es su persistencia en el ambiente cualquiera sea el factor que lo contenga, los efectos negativos de una exposición a metales pesados, suelen ser múltiples generando pérdida parcial o total de organismos vivos y alterando la calidad de vida de los seres vivientes (2).

A todo ello se suma las malas prácticas de los agricultores que, en su afán de generar mayor producción, ocupan nuevos espacios de suelos que no necesariamente son para la producción del tubérculo o en su defecto sobreexplotan irracionalmente los suelos produciendo todo el periodo del año con un solo cultivo (monocultivo); sumándose a ello, la sobreexposición de los suelos cultivables en muchas zonas a los contaminantes provenientes de la actividad minera, conllevan a su vez a desequilibrios en sus ecosistemas ambientales (3,4); siendo importante tener en consideración que, el suelo agrícola es un recurso con capacidad ilimitada para soportar y asimilar contaminantes, característica que se ha desestimado actualmente, debido a que las propiedades químicas del suelo están influenciadas por el ambiente y por la dinámica antrópica, lo que lo convierte en un sistema dinámico en el espacio y en el tiempo (5,6).

La agricultura moderna ha sido y es considerada como una de las mayores fuentes de metales pesados, debido al uso de los fertilizantes, especialmente los fosforados y nitrogenados, los plaguicidas, los compost derivados de residuos y lodos de plantas depuradoras de agua y el estiércol (7,5); cabe mencionar que, cultivos como la papa, la espinaca, el tomate y la lechuga son conocidos como bioindicadores ambientales debido a su capacidad de retención e incorporación de compuestos durante su crecimiento, reflejando la presencia de estos, por alteraciones fenotípicas (8).

Está comprobado que la primera acción de contaminación del hombre con metales pesados es el consumo de frutas y vegetales de manera directa, ignorando que dicho metales se acumulan en los huesos o tejidos grasos a través de la ingesta alimentaria, lo que conlleva al debilitamiento de las defensas inmunológicas (9), ante ello es de suma importancia realizar las evaluaciones pertinentes de estos compuestos en los alimentos (10); motivo por el cual el objetivo del presente estudio es determinar el nivel de concentración de metales pesados en el cultivo de palto (*Persea americana*) en Luricocha, Huanta- Ayacucho. Se considera relevante el análisis del tema, a nivel de Suramérica que se destaca por ser fuente de origen de muchos cultivos; no obstante, para su continuidad debe darse cambios importantes en la gobernanza, que permitan no solo el desarrollo de tecnologías y de procesos mejorados, sino también la difusión del conocimiento y la investigación (11).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación tuvo lugar en el distrito de Luricocha, entre los meses de marzo a diciembre del 2022, tipo de investigación aplicada, nivel de investigación descriptiva-correlacional, método de investigación cuantitativo y diseño de investigación experimental, para el desarrollo de investigación se realizó la extracción de muestras de suelo de siete comités de regantes que integran un total de 786 usuarios, teniendo un total de áreas de cultivo de palto de 138,82 hectáreas, que representa la población total, alcanzando una muestra probabilística de 102 hectáreas, por la magnitud de las áreas de cultivo, el equipo de investigadores consideró hacer uso del 10% sobre la muestra obtenida tomando en cuenta 10 hectáreas en zonas de mayor hectareaje establecidas en el palto.

Se obtuvieron muestras de suelo siguiendo el protocolo de extracción en el palto por parte del laboratorio del Instituto de Valle Grande, utilizando el método de espectrometría de absorción atómica de llama en la determinación de metales pesados. Los datos han sido organizados mediante hoja de cálculo del Excel,

posteriormente analizadas mediante el programa estadístico SPSS v.27, para hallar el nivel de concentración de metales pesados Pb y Cd, procesando a un nivel de confianza del 95% y un α del 5% de significancia, para la contratación de los datos se efectuó un análisis de varianza (ANVA) y para ver diferencia entre las medias del contenido de Cd y Pb en el suelo, utilizando la prueba de Tukey, a un nivel de significancia de 0,05 (5% de probabilidad), y efectuando el análisis de correlación de Pearson para ver los contenidos de Cd y Pb.

RESULTADOS

El nivel de concentración de Pb en los suelos del cultivo de palto (Persea americana) en Luricocha, Huanta-Ayacucho, la Tabla 1 muestra el promedio de plomo en suelo.

TABLA 1
Estadísticos descriptivos de plomo en suelo (mg / Kg).

Clase Textural	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Estandar
Franco	3	33,10	40,85	37,73	4,09
Franco arcilloso	7	41,73	52,23	45,71	4,02
Arcilloso	3	45,85	52,23	49,23	3,21

Planteamiento de Hipótesis

H0: La distribución de la variable nivel de plomo en suelo no es diferente a la distribución normal en cada muestra

H1: La distribución de la variable nivel de plomo en suelo es diferente a la distribución normal en cada muestra.

La Tabla 2 muestra la aplicación de la prueba de normalidad de Shapiro Wilk por tener datos menores a 30, obteniendo un pvalor = 0.381 para Franco y pvalor= 0.236 para Franco arcilloso y pvalor= 0.807 para Arcillosa, siendo éstos mayores a $\alpha= 0.05$, lo que se demuestra estadísticamente que los datos cumplen con el supuesto de normalidad a un nivel de significancia del 5%.

TABLA 2
Pruebas de normalidad para plomo en suelo.

Clase Textural	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
FRANCO	0,899	3	0,381
FRANCO ARCILLOSO	0,882	7	0,236
ARCILLOSA	0,990	3	0,807

La Tabla 3 muestra que al cumplir con el supuesto de normalidad se aplicó el ANVA, donde se evidencia que existen diferencias significativas de plomo en suelos a un nivel de significancia del 5%.

TABLA 3
ANVA para plomo en suelo.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	214.489	2	107.245	7.100	0.012
Dentro de grupos	151.058	10	15.106		
Total	365.547	12			

En la Tabla 4 la prueba de comparación de medias de Tukey muestra que se formaron dos grupos, en donde se puede observar que entre los suelos franco arcillosos y arcillosos no existen diferencias; sin embargo, éstos si se diferencian con el suelo franco a un nivel de significancia del 5%.

TABLA 4
Prueba de comparación de medias de Tukey para el nivel de Plomo en suelo.

Clase Textural	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
FRANCO	3	37.7267	
FRANCO ARCILLOSO	7		45.7100
ARCILLOSA	3		49.2267
Sig.		1.000	0.463

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,706.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Existe una relación o asociación positiva de 0,773 (77.3%) entre la clase textural y el nivel de plomo en suelo a un nivel de significancia del 5% (Tabla 5).

TABLA 5
Clase textural y el nivel de plomo.

		Clase Textural	Plomo en suelo
Rho de Spearman	Clase Textural	Coefficiente de correlación	1.000
		Sig. (bilateral)	,773**
		N	13
	Plomo en suelo	Coefficiente de correlación	,773**
		Sig. (bilateral)	1.000
		N	13

La Tabla 6 muestra el promedio del nivel de cadmio en suelo, siendo franco arcilloso y arcilloso los suelos que contiene mayor cantidad de cadmio con 0,331 y 0,330 mg/kg con una variabilidad de 0,09 y 0,046 mg/kg respectivamente, mientras que el suelo franco contiene la menor cantidad de Cd con 0,24 mg/kg con una variabilidad de 0,026 mg/kg.

TABLA 6
Estadísticos descriptivos de Cadmio en Suelo (mg / Kg).

Clase Textural	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Estandar
Franco	3	0.21	0.26	0.240	0.026
Franco Arcilloso	7	0.24	0.49	0.331	0.090
Arcilloso	3	0.28	0.37	0.330	0.046

H0: La distribución de la variable nivel de cadmio en suelo no es diferente a la distribución normal en cada muestra

H1: La distribución de la variable nivel de cadmio en suelo es diferente a la distribución normal en cada muestra

La Tabla 7 muestra la aplicación de la prueba de normalidad de Shapiro Wilk por tener datos menores a 30, obteniendo un pvalor = 0,363 para FRANCO y pvalor= 0,322 para franco arcilloso y un pvalor = 0,637 para arcilloso, siendo estos mayores a $\alpha=0.05$, lo que se demuestra estadísticamente que los datos cumplen con el supuesto de normalidad a un nivel de significancia del 5%.

TABLA 7
Pruebas de normalidad del nivel de Cadmio en suelo (mg/kg).

Clase Textural	Estadístico	Shapiro-Wilk	
		gl	Sig.
FRANCO	0.893	3	0.363
FRANCO ARCILLOSO	0.898	7	0.322
ARCILLOSA	0.964	3	0.637

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Se aplicó el ANVA para el nivel de Cadmio en suelo, obteniendo un pvalor=0.219, siendo este mayor a 0.05, se concluye que no existen diferencias significativas para el nivel de cadmio en los diferentes suelos. La Tabla 8 muestra el análisis de varianza para el nivel de cadmio.

TABLA 8
ANVA para el nivel de Cadmio en suelo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.019	2	0.010	1.774	0.219
Dentro de grupos	0.054	10	0.005		
Total	0.073	12			

En la Tabla 9 se muestra la correlación de Spearman entre la Clase textural y nivel de Cadmio en suelo, obteniendo una relación o asociación positiva moderada de 0,55 a un nivel de significancia del 5%.

TABLA 9
Correlaciones de Rho de Spearman entre Clase Textural y Cadmio.

		Clase Textural	Cadmio en suelo
Rho de Spearman	Clase Textural	Coefficiente de correlación	1.000
		Sig. (bilateral)	0.547
		N	13
	Cadmio en suelo	Coefficiente de correlación	0.547
		Sig. (bilateral)	0.053
		N	13

DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestra el contenido de Pb en suelo con tres diferentes tipos de texturas donde se cultiva palto en Luricocha, observándose que el suelo de textura arcillosa es el que contiene los mayores niveles de plomo con 49,23 mg/kg, seguido por un suelo franco arcilloso con 45,71 mg/kg; siendo estos resultados

superiores a lo reportado por Chacaltana y Mendoza (12) quienes encontraron un nivel promedio de 13,36 mg/kg de Pb en un suelo donde se cultivaba palto y que tenía una textura franco-arcillo arenoso. En la Tabla 2 se visualiza que las mayores concentraciones de Cd se presentan en los suelos de textura franco arcilloso y arcilloso con 0,331 y 0,330 mg/kg, respectivamente.

La Tabla 2 muestra la aplicación de la prueba de normalidad de Shapiro Wilk por tener datos menores a 30, obteniendo un pvalor = 0.381 para Franco y pvalor= 0,236 para Franco arcilloso y pvalor= 0.807 para Arcillosa, siendo estos mayores a $\alpha = 0,05$, lo que se demuestra estadísticamente que los datos cumplen con el supuesto de normalidad a un nivel de significancia del 5%. Estos valores son mayores a lo reportado por Chacaltana y Mendoza (12) de 0,2 y 0,16 mg/Kg de Cd para suelos de texturas franco arcillo arenoso y franco respectivamente, sin embargo, menores al promedio encontrado por Muñoz (13) de 1,35 mg/kg, en suelos agrícolas para el cultivo de palto con predominancia de una textura franco arenosa. Los valores reportados para ambas zonas de cultivo, se encuentran por debajo de los parámetros 70 mg/kg para Pb y de 1,4 mg/kg para Cd, establecidos en los estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas en Perú. Según Zhao et al. (14), los metales pesados más prevalentes en el ambiente son el Cd y el Pb.

Por otro lado, la contaminación de suelos por estos metales es un problema mundial ya que, en los últimos cincuenta años, un total de 800 000 t de Pb ha sido liberado en todo el mundo, y la mayor parte de estos se ha acumulado en el suelo (15,16). En China, cerca del 82% de los suelos agrícolas contienen contaminantes inorgánicos tóxicos, como Pb, Cd, cromo (Cr) y arsénico (As) (17). Una de las posibles causas de la contaminación de los suelos agrícolas con Cd, puede ser el uso excesivo de fertilizantes minerales y abonos (18), así como el uso de aguas residuales contaminadas para riego, que pueden acumular metales pesados (19); aunque, estos niveles podrían deberse también a la misma naturaleza (20) donde los metales pesados se encuentran como componentes de la estructura terrestre, como minerales u otros compuestos, que se incorporan a la cadena trófica cuando son absorbidos por las plantas (15).

En la Tabla 5, se observa que existe una relación positiva significativa ($r = 0.773$) entre la textura predominante franco arcillosa y los valores de Pb en el suelo a un nivel de significancia de ($p < 0.05$). Estos resultados, son similares a lo reportado por Arévalo (20) que observó una correlación positiva significativa ($p < 0.05$) entre el valor de Pb contenido en la arcilla del suelo ($r = 0.44$), cuando evaluó suelos con texturas arcillosas. Respecto al Cd, el análisis de correlación efectuado (Tabla 9), nos demuestra que existe una relación positiva moderada ($r = 0,547$) entre el tipo de suelo con predominancia de una textura franco arcilloso y el nivel de Cd en el suelo a un nivel de significancia de ($p < 0.05$). Una similar tendencia, pero con un coeficiente de correlación superior ($r = 0,863$) fue reportado por Muñoz (13), que encontró una alta relación positiva ($p < 0.05$) entre una textura franco arenoso y el contenido de Cd a una profundidad de 0-20 cm del suelo, donde cultivaron palto.

El ANVA sobre el contenido de Pb en las tres texturas diferentes de suelos donde se sembró palto (Tabla 3), demuestra que existen diferencias significativas en el contenido de Pb en estos suelos a un nivel de significancia de ($p < 0,05$). Al efectuarse la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 4), se encontró que no existen diferencias significativas entre los contenidos de Pb de los suelos que presentan una textura franco arcilloso (45,71 mg/kg) y arcillosas (49,23 mg/kg) respectivamente, pero si una diferencia significativa ($p < 0,05$), en el contenido de plomo del suelo con textura franca (37,73 mg/kg). Si bien, los resultados encontrados en este estudio demuestran que el Pb se encuentra por debajo de los estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas; sin embargo, supera ampliamente los valores aceptables de Pb para un suelo no contaminado cuyo valor máximo se encuentra entre 0,0 y 0,2 mg en plantaciones de cacao (21,22).

En la Tabla 8, se muestra el ANVA sobre el contenido de Cd en tres diferentes texturas de suelos donde prospera el cultivo de palto, se encontró que no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) en el contenido de Cd entre las texturas estudiadas, franco (0,240 mg/kg), franco arcilloso (0,331 mg/kg) y arcillosa (0,330 mg/kg); según Martínez y Marrugo (23), la disponibilidad de Cd en los suelos estudiados posiblemente se deba al mayor porcentaje de arcillas en los suelos, ya que las texturas franco-arcillosas y arcillosas fueron las

predominantes; por otro lado, el uso de fertilizantes fosfatos también podría estar influenciando en la mayor concentración de Cd en el suelo en el área de estudio (24,25).

CONCLUSIONES

Los valores de Pb y Cd en el suelo reportados en este estudio permitirán calcular los niveles de contaminación y diseñar propuestas de manejo y remediación; encontrándose estos valores por debajo de los parámetros indicados en los estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas en el Perú, lo que garantiza una producción aceptable del cultivo de palto bajo estas condiciones. El comportamiento en el contenido de plomo (Pb) en suelo con tres diferentes tipos de texturas donde se cultiva palto en el área de intervención, se observa claramente en resultados que el suelo de textura arcillosa es el que contiene los mayores niveles de plomo con 49,23 mg/kg, seguido por un suelo franco arcilloso con 45,71 mg/kg, en relación al comportamiento del Cd las mayores concentraciones se presentan en los suelos de textura franco arcilloso y arcillosa con 0,331 y 0,330 mg/kg.

Existe una relación positiva significativa ($r = 0.773$) entre la textura predominante franco arcillosa y los valores de Pb en el suelo a un nivel de significancia de $p < 0,05$; existe una relación positiva moderada ($r = 0,547$) entre el tipo de suelo con predominancia de una textura franco-arcillosa y el nivel de Cd en el suelo a un nivel de significancia de $p < 0,05$. El ANVA sobre el contenido de plomo (Pb) en las tres texturas diferentes de suelos, demuestra que existen diferencias significativas en el contenido de plomo en estos suelos a un nivel de significancia de ($p < 0,05$), no obstante al efectuarse la prueba de comparación de medias de Tukey), se encontró que no existen diferencias significativas entre los contenidos de plomo (Pb) de los suelos que presentan una textura franco arcillosa (45,71 mg/kg) y arcillosas (49,23 mg/kg) respectivamente, pero si una diferencia significativa ($p < 0,05$), en el contenido de plomo del suelo con textura franca (37,73 mg/kg).

En tanto, el ANVA sobre el contenido de cadmio (Cd) en tres diferentes texturas de suelos donde prospera el cultivo de palto, no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) en el contenido de cadmio (Cd) entre las texturas estudiadas, franco (0,240 mg/kg), franco arcilloso (0,331 mg/kg) y arcillosa (0,330 mg/kg). El Pb se encuentra por debajo de los estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas; sin embargo, supera ampliamente los valores aceptables de Pb para un suelo no contaminado cuyo valor máximo se encuentra entre 0,0 y 0,2 mg, en tanto el uso de fertilizantes fosfatos también son influenciados en la mayor concentración de Cd en el suelo en el área de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Morocho J, Puente B. Determinación de la concentración de cadmio en suelo urbano y vegetación de cuenca por espectrometría ICP y cálculo del riesgo de exposición a la población. Tesis para Ingeniero, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2019. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18150>
2. Rodríguez O. Técnicas de remediación de suelos contaminados por metales pesados en la industria minera: una revisión sistemática entre los años 2008-2018. Tesis de bachiller en ingeniería de minas, Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. 2020. <https://n9.cl/whqze>
3. Molano Y, García A. Factores de éxito éticos y ambientales para la administración de los impactos producidos por el uso de pesticidas en el sector agrícola de la vereda Chorrillos de la localidad de suba, en la zona rural de Bogotá D.C. Tesis de administrador ambiental, Universidad distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. 2022. <https://n9.cl/z286s>
4. Mosquera T. Biopreparados y micorrizas como alternativas de recuperación de suelos degradados en el atrato Medio Antioqueño. Tesis de biotecnólogo agrario, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Quibdó, Colombia. 2020. <https://n9.cl/ii9ca>

5. Mahecha J, Trujillo J, Torres M. Análisis de estudios en metales pesados en zonas agrícolas de Colombia. Orinoquia. 2017; 21(1): 83-93. <https://doi.org/10.22579/20112629.434>
6. Gutiérrez C, Fernández C, Escuer M, Campos R, Rodríguez M, Carbonell G, Martín J. Effect of soil properties, heavy metals, and emerging contaminants in the soil nematodes diversity. Environ Pollut. 2016; 213: 184-194. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.02.012>
7. Tenorio K. Efectos de la contaminación del suelo por herbicidas en la productividad del arroz. Tesis de ingeniero agrónomo, Universidad Técnica de Babahoyo, Los Ríos, Ecuador. 2020. <https://n9.cl/4yedz>
8. Chávez C. Sostenibilidad de la producción de papa (*Solanum tuberosum*) de Huasahuasi – Tarma. Tesis de doctor en ciencias ambientales y desarrollo sostenible, Universidad Nacional del Centro del Perú. 2022. <https://n9.cl/iue1z>
9. Kumar P, Soo S, Zhang M, Fai Y, Hyun K. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. Environment International. 2019; 125: 365-385. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.067>
10. García D, Lima L, Solano J, Blanco Y, Valverde L, Caicedo L. El enfoque ecosistémico en salud humana como estrategia para el abordaje metodológico del estudio de las relaciones entre el ambiente agrícola, los metales pesados y la salud humana. UTCiencia. 2022; 9(1): 27-46. <https://acortar.link/A8Zs95>
11. Hinojosa R, De la Cruz R, Espinoza C. Revistas de ciencias agrícolas de Suramérica indexadas en SciELO Relación con indicadores de desarrollo de la agricultura. Información, cultura y sociedad. 2020; 43: 53-68. <https://doi.org/10.34096/ics.i43.8372>
12. Chacaltana H, Mendoza E. Reducción de la contaminación de suelos producto de los plaguicidas aplicando controladores biológicos sobre la plaga *Aleurodicus Juleikae* en el cultivo de palto, Ica, 2021. Tesis de ingeniero ambiental, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/85448>
13. Muñoz D. Niveles de contaminación con cadmio en cinco suelos fertilizados con compuestos fosforados en la zona agrícola de Barranca, Lima. Tesis de ingeniero ambiental, Universidad Católica Sede Sapientiae, Huaura, Perú. 2022. <https://n9.cl/vk8n8>
14. Zhao F, Ma Y, Zhu Y, Tang Z, McGrath S. Soil contamination in China: current status and mitigation strategies. Environ. Sci. Technol. Amb. 2015; 49 (2): 750-759. <https://doi.org/10.1021/es5047099>
15. Chen Y, Tang M, Wang S, Wang Q, Zhan W, Huang G. Evaluation of heavy metal pollution in farmland soil of China based on bibliometrics. Chinese Journal of Soil Science. 2016; 47(1): 219-225. <https://doi.org/10.1080/20964129.2020.1733921>
16. Acharte L. Presencia de Cadmio y Plomo en Agua, Suelo y su Acumulación en Pastos Naturales de las Bocaminas San Antonio y Tangana de la Comunidad de Huachocolpa, Huancavelica-2018. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú. 2020. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3436>
17. Chen R, De Sherbinin A, Ye C, Shi G. La contaminación del suelo en China: las granjas en primera línea. Ciencia. 2014; 344 (6185), 691-691.
18. Nziguheba G, Arde E. Inputs of trace elements in agricultural soils via phosphate fertilizers in European countries. Science of The Total Environment. 2008; 390 (1): 53-57. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.09.031>
19. Wang X, Daigger G, Lee D, Liu J, Ren N, Qu J, Butler D. Evolving wastewater infrastructure paradigm to enhance harmony with nature. Sci. Adv. 2018; 4 (8), eaaq0210. <https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/sciadv.aag0210>
20. Rooney C, Zhao F, McGrath S. Soil factors controlling the expression of copper toxicity to plants in a wide range of European soils. Environ. Toxicol. Chem. 2006; 25, 726-732. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16566157/>
21. Arevalo E, Obando M, Zúñiga L, Arévalo C, Baligar V, He Z. Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. Ecol. apl. 2016; 15 (2): 81-89. <http://dx.doi.org/10.21704/re.a.v15i2.747>
22. Mendoza K, Mostacero J, López S, Gil A, Anthony J, Villena L. Cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L." cacao" en la región San Martín (Lamas), Perú. Manglar. 2021; 18(2): 169-173. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2021.022>

23. Vázquez A, Lenom C, Carrillo R, Zamudio B, Álvarez E, Castellanos J. Límites permisibles de acumulación de cadmio, níquel y plomo en suelos del valle del Mezquital, Hidalgo. *Terra Latinoamericana*. 2005; 23 (4): 447-455. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311146003.pdf>
24. Martínez D, Marrugo J. Efecto de la adición de enmiendas en la inmovilización de metales pesados en suelos mineros del sur de Bolívar, Colombia. *Cienc. Tecnol. Agropecuaria*. 2021; 22(2): e2272 ISSN: 0122-8706. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:2272
25. Arias K, Arévalo O, Mero M. Cuantificación de cadmio en suelos de cultivo de cacao en el cantón Arenillas, provincia de el Oro, Ecuador. *Rev. Cient, Cien. Nat.* 2022; 16(1), 303-315. <https://revistas.ug.edu.ec/index.php/cna/article/view/1596/2322>