

Evaluación de metales pesados y riesgo de contaminación del suelo en la microcuenca Cachi-Ayacucho.

Assessment of heavy metals and soil contamination risk in the Cachi microbasin, Ayacucho.

Raúl José Palomino Marcatoma¹
Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho
<https://orcid.org/0000-0003-3157-355X>
raul.palomino@unsch.edu.pe

Área de investigación: Medio Ambiente,
Línea de Investigación: Suelo, Agua y medio Ambiente

Resumen

La búsqueda de una mayor eficiencia en la producción agrícola conlleva el uso de grandes cantidades de agroquímicos que se aplican para mejorar la nutrición mineral y reducir pérdidas ocasionadas por microorganismos, hongos, insectos, malezas y otros depredadores de los cultivos. La mayoría de los productos son tóxicos y ocasionan daños al ambiente y a los seres vivos. Al no existir información sobre el riesgo de contaminación se realizó la investigación con el objetivo de cuantificar metales pesados muestreando suelos a dos profundidades (0 – 10 y 10 – 20 cm) en tres sistemas de cultivo: maíz, alfalfa y sistema agroforestal en cinco localidades con tierras agrícolas representativas. El Cadmio, Cromo, Plomo, Hierro, Cobre, Zinc y Manganeseo fueron cuantificados por absorción atómica y los resultados muestran la presencia de Cd, Cr y Pb en la zona en estudio en concentraciones que están por debajo del límite máximo permisible según el ECA para suelos. La alfalfa reporta valores altos de plomo seguido del cromo y cadmio, respectivamente. Los metales contaminantes (Fe, Cu, Zn, Mn) se encuentran en niveles bajos en todos los suelos habiéndose verificado que el manganeso es el de mayor concentración, pero no repercute en el antagonismo con otros micronutrientes.

Palabras claves: Metales pesados, riesgo de contaminación, agroquímicos.

Abstract

Agriculture is an important activity in the valleys of the Cachi River micro-basin, due to its contribution to regional food supplies and the economy of farmers. The search for greater production efficiency involves the use of large quantities of agrochemicals, which are applied to improve mineral nutrition and reduce losses caused by microorganisms, fungi, insects, weeds, and other crop predators. Most of these products are toxic and cause damage to the environment and living beings. As there is no information on the risk of contamination, samples were taken at two depths (0–10 and 10–20 cm) in three cropping systems: corn, alfalfa, and agroforestry in five locations on representative agricultural land. Heavy metals (cadmium, chromium, lead, iron, copper, zinc, and manganese) were quantified by atomic absorption. Heavy metals (Cd, Cr, and Pb) are present in the study area; however, concentrations are below the maximum permissible limit according to the ECA for soils. Alfalfa reports high values of lead, followed by chromium and cadmium, respectively. Contaminating metals (iron, copper,

1. Doctor, Área Académica: Agua, Suelo y Desarrollo Rural, Dependencia: Facultad de Ciencias Agrarias.

zinc, and manganese) are found at low levels in all soils, with manganese having the highest concentration, but this does not affect antagonism with other micronutrients.

Keywords: Heavy metals, risk of contamination, agrochemicals.

I. Introducción

La contaminación es la introducción en el medio ambiente de sustancias o energía cuyos efectos ponen en peligro la salud humana, los recursos naturales y los ecosistemas. La contaminación también menoscaba el uso laboral y recreativo del medio ambiente y entraña una amenaza para los valores culturales, espirituales y estéticos que muchas personas atribuyen a la riqueza y la diversidad del medio, sea natural o artificial (UNEP, 2017).

La agricultura moderna se ha considerado como uno 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 (Tiller, 1989; Adriano, 2001). En la actualidad hay un interés de los científicos en realizar investigaciones relacionadas con los metales pesados en el mundo, debido a la problemática ambiental que estos representan por ser elementos tóxicos que afectan considerablemente el suelo, el aire y

las fuentes hídricas y consecuentemente la salud humana (Mico, 2005; Alloway, 2013; Yacomelo, 2014). En este sentido, el propósito de la presente investigación es diagnosticar la presencia de metales pesados desarrollados en sistemas de producción agrícola en la microcuenca del río Cachi y así establecer una línea base que permita, identificar vacíos de información, reconocer los avances y proyectar nuevas investigaciones en este campo, que contribuyan en la gestión de los ecosistemas productivos.

II. Materiales y métodos

Delimitación del área en estudio

La investigación se llevó a cabo en la microcuenca del río Cachi que inicia en la comunidad de Laramate ubicado en el distrito de Santiago de Pischa, provincia de Huamanga y región Ayacucho. Comprende las localidades de Huanchuy, Ccayarpachi y Santiago de Pischa. A lo largo de la microcuenca, también está situado la localidad de Andabamba que pertenece al distrito de Julcamarca de la región Huancavelica. La tabla 3 muestra la altitud y la georreferenciación correspondiente.

Tabla 1

Georreferenciación de los lugares de muestreo de suelos

Lugar	Altitud msnm	Coordenadas UTM	
		m E	m S
Laramate	2639	566701.16	8559441.45
Huanchuy	2573	571047.46	8560112.40
Ccayarpachi	2557	572382.36	8557627.84
Andabamba	2519	573671.08	8557464.20
Santiago de Pischa	2485	574470.41	8556259.26

Muestreo de suelos

Características generales de los suelos

Los suelos de la microcuenca son de naturaleza aluvial que se han formado a partir del material que ha sido transportado

por corrientes de agua. Aunque generalmente los suelos aluviales son considerados de origen fluvial, las corrientes de agua que transportan el sedimento pueden provenir también de la lluvia. Del recorrido preliminar efectuado, se ha podido detectar que sus

características particulares varían de un lugar a otro y dependen en gran medida del material depositado. Generalmente contienen bastantes minerales, aunque la proporción y tipo de minerales presentes varían dependiendo de la localidad y la fuente del material transportado. En referencia al uso de los suelos al ser aluviales recientes, aparentemente son suelos fértiles debido al aporte continuo de materiales y sedimentos por el agua. Además, como son suelos no consolidados, son ligeros y fáciles de manejar. Además de ello, se ubican en zonas donde el aporte de agua no es una limitante. Todas estas características los hacen idóneos para la agricultura con cultivos predominantemente hortícolas con uso intensivo de agroquímicos.

Delimitación de las áreas y muestreo de la capa arable

Se elaboró un mapa o croquis de la unidad

objeto de muestreo, apoyado con Google pro maps. Esto ayuda a decidir los puntos de muestreo y determinar el uso actual del sitio, topografía dominante, tipo de material parental o roca predominante y posición en el relieve.

Los suelos de la microcuenca fueron muestreados con los criterios emanados por la guía para muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente en el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM.

Análisis de caracterización de suelos

Para la adecuada correlación de la presencia de metales pesados y contaminantes en los suelos, se procedió a realizar el análisis de caracterización de dos suelos representativos de la microcuenca considerando la fisiografía y origen aluvial los cuales se muestran en las tablas 1 y 2.

Tabla 2

Resultados del análisis físico y químico del suelo representativo de Laramate

Variable	Valor	Interpretación	Metodología
pH	7.3	Neutro	Potenciometría
CE dS m ⁻¹	0.32	Normal	Conductimetría
MO %	1.2	Bajo	Walkley - Black
CO ₃	1.7	Bajo	Gasometría
P ppm	12.5 ppm	Medio	Olsen Modificado
K ppm	85.4	Medio	Acetato de amonio
CIC cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹	17.5	Medio	Acetato de amonio
Ca cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹	9.25	Desbalance catiónico	Acetato de amonio
Mg cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹	2.26		
K cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹	1.24		
Na cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹	0.35	Bajo	
Arena %	32	Franco arcilloso	Bouyoucos
Limo %	24		
Arcilla %	44		

Los suelos de Laramate, Ccayarpachi y Santiago de Pischa tienen una formación aluvial reciente con material pedregoso en superficie y profundidad variable. Son deficitarios en materia orgánica; sin embargo, el pH y los contenidos de fósforo y potasio son medios. Los suelos son de clase textural fina que muestran agrietamientos en superficie.

Si bien los cultivos de maíz y alfalfa que predominan en estas zonas, no muestran aparentemente, dificultades en su crecimiento y desarrollo, sin embargo, los paltos y cítricos parecen tener problemas al presentar síntomas de amarillamiento en las hojas que podría deberse a deficiencias de nitrógeno y falta de aireación de los suelos.

Tabla 2

Resultados del análisis físico y químico del suelo representativo de Huanchuy

Variable	Valor	Interpretación	Metodología
pH	7.6	Ligeramente básico	Potenciometría
CE dS m ⁻¹	0.41	Normal	Conductimetría
MO %	1.4	Bajo	Walkley - Black
CO ₃	2.6	Medio	Gasometría
P ppm	15.6 ppm	Medio	Olsen Modificado
K ppm	95.2	Medio	Acetato de amonio
CIC cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹	19.6	Medio	Acetato de amonio
Ca cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹	10.5		
Mg cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹	4.19	Desbalance catiónico	Acetato de amonio
K cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹	1.68		
Na cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹	0.41	Bajo	
Arena %	30		
Limo %	25	Franco arcilloso	Bouyoucos
Arcilla %	45		

Las localidades de Huanchuy y Andabamba, se ubican en el margen izquierdo del río Cachi cuyos suelos formados por aporte fluvial también están condicionados al aporte de sedimentos de las laderas adyacentes por erosión causado por las lluvias. Son suelos más profundos en un relieve ondulado y de clase textural fina con agrietamientos predominantes en la capa arable. En seco son muy duros que dificultan las labores agrícolas. Los frutales existentes (paltos, cítricos, manzanos) muestran un desarrollo anormal con amarillamiento de las hojas que podría atribuirse a la falta de aireación del suelo.

Análisis de metales pesados en suelos (Cd, Cr, Pb, Fe, Cu, Zn, Mn)

Esta fase se realizó en el laboratorio de Edafología de la Escuela Profesional

de Agronomía y complementado por el laboratorio particular Agrolab. En el primero de ellos se realizó la preparación de la muestra que comprende el secado al aire y estufa, molienda, tamizado usando malla de 2 mm de diámetro, almacenado en recipientes de PVC con tapa y el etiquetado correspondiente.

Digestión de las muestras de suelo

Se pesó 1 g de suelo que fueron depositados en matraces de 150 mL añadiendo 10 mL de HNO₃ 1:1. Se cubre el matraz con un recipiente de vidrio y luego se calentó por 15 minutos sin dejar hervir y a fuego lento. Hecho esto se procedió a enfriar a temperatura ambiente y se agrega 5 mL de HNO₃ concentrado (70%) para volver a calentar por 30 minutos; se observa humos marrones (esto indica la oxidación de la materia orgánica) por ello se adiciona 5 mL

de HNO_3 concentrado hasta que ya no emita dichos vapores. Posteriormente se aumentó la temperatura y se digirió durante 2 horas hasta un volumen de 5 mL (sin hervir). La reacción se dejó en reposo a temperatura ambiente hasta que precipitó cualquier residuo insoluble en el matraz. Se filtró el líquido sobrenadante por gravedad recogiendo el filtrado en un matraz volumétrico de 150 mL, luego se transfirió la

muestra a una fiola y se enrazó a 25 mL con agua destilada. Por último, se trasvasó a un frasco de polietileno debidamente etiquetado para la posterior cuantificación de metales pesados y contaminantes por espectrofotometría de absorción atómica.

III. Resultados y discusión

Contenido de metales pesados (Cd, Cr, Pb)

Tabla 3

Concentración de metales pesados (Cd, Cr, Pb) en la zona en estudio según sistema de cultivo

Localidad	Sistema de cultivo	Concentración de metales pesados (ppm)		
		Cd	Cr	Pb
Laramate	Maíz	0.0	2.3	4.5
	Alfalfa	0.0	3.1	5.9
	Sistema agroforestal	0.0	1.6	3.7
Huanchuy	Maíz	0.9	3.5	8.2
	Alfalfa	1.1	4.3	10.0
	Sistema agroforestal	0.1	3.1	6.2
Ccayarpachi	Maíz	0.0	4.2	5.6
	Alfalfa	0.0	3.6	6.1
	Sistema agroforestal	0.0	2.7	3.4
Andabamba	Maíz	1.2	4.4	7.5
	Alfalfa	0.8	3.9	9.1
	Sistema agroforestal	0.1	4.1	5.3
Santiago de Pischa	Maíz	0.0	2.0	4.5
	Alfalfa	0.0	1.8	5.0
	Sistema agroforestal	0.0	1.5	5.2

La tabla 3 muestra que solamente el cadmio está presente en dos localidades: Huanchuy y Andabamba y en los tres sistemas de cultivo de maíz y alfalfa y sistema agroforestal. Sin embargo, su concentración no representa ningún peligro ya que está por debajo del estándar de calidad del suelo que refiere que el límite máximo permisible, es de 1.4 ppm. Diversos autores, entre ellos Sánchez, et al. (2011), refieren que las actividades antropogénicas son los responsables de la contaminación de cadmio en el suelo tanto por actividades agrícolas, origen urbano e industrial. En cuanto a las labores agrícolas,

el abonamiento con fertilizantes fosfatados es una de las principales causas de contaminación considerando que en el ámbito en estudio el uso de abonos es usual tanto en maíz como en alfalfa. El uso de pesticidas, abonos orgánicos como el estiércol y compost, también son productos que coadyuban a la polución del metal pesado. En las localidades de Huanchuy y Andabamba, se encuentran presentes aún en concentraciones muy bajas, debido principalmente a la presencia de arcillas y materia orgánica en la capa superficial del suelo tal como muestra la tabla 2.

El cromo está presente en el maíz

entre 2 y 4.4 ppm; en alfalfa de 1.8 a 4.3 y, en el sistema agroforestal, de 1.6 a 4.1 ppm, respectivamente (Tabla 6). El cultivo de alfalfa es el más importante en la zona en estudio con un sistema de producción más tecnificado y alto uso de insumos agrícolas (abonos y pesticidas). Los valores reportados, no constituyen peligro de contaminación al estar muy por debajo del promedio mundial de 65 mgr Kg⁻¹, ello implica que los cultivos desarrollados no tendrán implicancias en la salud pública. Generalmente, el cromo se halla asociado en forma natural a los materiales originarios, principalmente en las rocas básicas, areniscas y calizas. En las pruebas de campo y resultado de laboratorio, se reporta mayor contenido de carbonatos en los suelos de Huanchuy y Andabamba lo que relaciona con la concentración mayor de cromo en el suelo.

La mayor presencia de plomo en el suelo varía de 5 a 10 ppm en los campos sembrados con alfalfa, sigue en maíz oscila de 4.5 a 8.2; y, en el sistema agroforestal, presenta los valores más bajos que varían de 3.4 a 6.2 ppm. Al comparar esta información con los estándares de calidad ambiental para suelos, es bastante menor al límite de 70 ppm que refiere la norma peruana. La presencia de plomo está asociada a rocas magmáticas y sedimentos arcillosos en una concentración entre 10 y 40 mg kg⁻¹, en las rocas intrusivas y sedimentos calcáreos está presente por debajo de 10 mg kg⁻¹. En el suelo, la forma más común y reactiva es el Pb (II), el cual puede desplazar a las bases de cambio divalentes Ba⁺², Sr⁺² y Ca⁺². La presencia de este contaminante es menor en los suelos aluviales de Laramate, Ccayarpachi y Santiago de Pischa cuyos sedimentos en profundidad están dominados por materiales gruesos y finos en la superficie. En Huanchuy y Andabamba, la presencia de arcilla y material calcáreo en superficie, condiciona la presencia mayoritaria de este elemento.

Contenido de metales contaminantes (Fe, Cu, Zn, Mn)

La tabla 4, muestra los resultados de la concentración de Fierro, Cobre, Zinc y Manganeseo en los diferentes sistemas de cultivo de la zona. Se ha considerado separar los microelementos en relación a los metales pesados, teniendo en cuenta que a pesar de que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, la concentración de ellos debe ser muy baja en la capa arable, sin embargo, algunos de ellos suelen ser tóxicos cuando superan ciertos umbrales de concentración.

El suelo como producto del intemperismo y bajo condiciones climáticas estables puede alcanzar el equilibrio en cuanto a su composición y propiedades físicas, químicas y biológicas. Sin embargo, cuando uno de los componentes del sistema varía, el equilibrio existente se rompe ocasionando un proceso de degradación. Las actividades agropecuarias que realiza el hombre de manera incontrolada, han afectado el equilibrio de la biósfera al incrementar las concentraciones nocivas de algunos elementos químicos mediante las prácticas agrícolas ocasionando un proceso de contaminación paulatina de los suelos. Este hecho, podría suponer riesgo para la salud humana al consumir productos alimenticios con elevadas concentraciones y causar intoxicaciones y daños irreversibles al organismo.

Respecto al Fierro la concentración oscila de 11 a 16 ppm para las cinco localidades en el cultivo de maíz, el cual se interpreta como bajo. En caso de alfalfa, varía de 2 a 3 ppm siendo de contenido medio en todas las localidades. Para el Zinc la concentración en todos los lugares es de 1 ppm que es considerado bajo, a excepción de Laramate cuyos alfalfares poseen hasta 2 ppm siendo igualmente de concentración baja. El manganeseo tiene una distribución diferente según los sistemas de producción y localidad la cual fluctúa entre 12 y 37 ppm que se considera alto.

Tabla 4

Concentración de metales contaminantes (Fe, Cu, Zn, Mn) en la zona en estudio según sistema de cultivo

Localidad	Sistema de cultivo	Concentración de metales pesados (ppm)			
		Fe	Cu	Zn	Mn
Laramate	Maíz	11	3	1	16
	Alfalfa	10	3	2	16
	Sistema agroforestal	13	3	1	15
Huanchuy	Maíz	16	3	1	12
	Alfalfa	14	2	1	15
	Sistema agroforestal	14	2	1	16
Ccayarpachi	Maíz	14	3	1	37
	Alfalfa	12	3	1	17
	Sistema agroforestal	10	3	1	13
Andabamba	Maíz	11	3	1	14
	Alfalfa	12	3	1	17
	Sistema agroforestal	10	3	1	18
Santiago de Pischa	Maíz	12	3	1	23
	Alfalfa	9	3	1	31
	Sistema agroforestal	10	2	1	19

Los oligoelementos son importantes porque son considerados esenciales. Los requerimientos por las plantas son en cantidades mínimas, pero tienen que ser absorbidos por la planta ya que están involucrados en diversos sistemas enzimáticos. Los oligoelementos esenciales para las plantas son el hierro (Fe), cobre (Cu), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), boro (B) y molibdeno cuyo suministro en cantidad y proporción adecuada, puede limitar el crecimiento y desarrollo de las plantas en detrimento del rendimiento. Los microelementos, por lo general, se encuentran en el suelo en cantidades adecuadas, sin embargo, su disponibilidad puede variar en función al tipo de material parental del cual se originó el suelo, la clase textural, contenido de humedad y presencia de materia orgánica en el suelo. La reacción del suelo tiene marcada influencia en la disponibilidad de los micronutrientes y, por lo general, en suelos de reacción ácida están más disponibles, mientras que en suelos de pH alcalino su concentración es menor a excepción del molibdeno.

En suelos de pH ácido se presentan generalmente mayores concentraciones de manganeso soluble, lo que ocasiona que este catión reduzca la absorción de magnesio por las plantas. Sin embargo, los suelos en estudio al presentar pH por encima de 7, son ligeramente alcalinos y lo mencionado anteriormente no es posible que se verifique a pesar de los valores altos de este microelemento. Podría presentarse también que las altas cantidades de manganeso disminuyan la capacidad de absorción del potasio. Sin embargo, el análisis del suelo mostrados en las tablas 1 y 2, muestran valores considerados medios lo que implica que este antagonismo no se exprese.

IV. Conclusiones

1. Existe presencia de metales pesados (Cd, Cr y Pb) en la zona en estudio. Las concentraciones están aún por debajo del límite máximo permisible según el ECA para suelos.
2. El sistema de cultivo con alfalfa reporta

los valores más altos de metales pesados siendo mayor el plomo seguido del cromo y del cadmio, respectivamente.

3. Los metales contaminantes (Fe, Cu, Zn, Mn) se encuentran en niveles bajos en todos los suelos. El manganeso es el de mayor concentración, pero no repercute en el antagonismo con otros micronutrientes.

V. Agradecimiento

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga que a través del vicerrectorado de investigación permite la realización de la presente investigación aún con el limitado apoyo económico.

VI. Contribuciones de los autores

Los trabajos de gabinete, campo y laboratorio fueron asumidos por el autor

VII. Referencias

- Castro, N.; Calderón, F.; Tamariz, J. y Reyes, E. (2019). Nivel de contaminación de metales y arsénico en aguas residuales y suelos en la subcuenca del alto balsas en Tlaxcala y Puebla, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 35 (2) 335-348, 2019 DOI: 10.20937/RICA.2019.35.02.06. 14 pp.
- Galán E. y Romero A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Sevilla. España. 13 pp.
- Huaranga F.; Méndez, E. Quilcat, V. y Huaranga Arévalo, F. (2017). Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 – 2010, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Trujillo La Libertad – Perú. <http://www.sci-agropecu.unitru.edu.pe>.
- Mahecha, J.; Trujillo, J.; Torres, M. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, Departamento del Meta. Grupo de Investigación en Gestión Ambiental Sostenible –GIGAS-. Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías. Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana. Universidad de los Llanos.
- Pabón S.; Benítez, R. y Sarria, A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 14, no. 27, enero-junio de 2020, páginas 9-18. DOI: <https://doi.org/> ISSN 1909-8367 (Impreso), ISSN 2539-4169 (En línea)
- Prieto J.; Gonzáles, C.; Román, A. y Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Centro de Investigaciones Químicas. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. México.
- Puga, S.; Sosa, M.; Lebgue, T.; Quintana, C. y Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada versión impresa* ISSN 1726-2216. Ecol. apl. v.5 n.1-2 Lima dic. 2006.
- Reyes Y.; Vergara, I.; Torres, O.; Díaz, M. y González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, Vol. 16 N° 2, Julio - diciembre 2016, pp. 66-77, Sogamoso-Boyacá. Colombia ISSN Impreso 1900-771X, ISSN Online 2422-4324. 12 pp.
- Rodríguez N.; McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – Roma FAO, Italia.
- Sánchez, N.; Riveros, C. y Martínez, Y. (2011). Cadmio disponible en dos suelos de Venezuela: efecto del fósforo. *Revista Ingeniería UC*, Vol. 18, N° 2, agosto 2017 7 – 14.