

Concentración de metales pesados plomo y arsénico en el botadero de Mollebamba, Huancavelica

Concentration of heavy metals lead and arsenic at the Mollebamba dump, Huancavelica

Concentração de metais pesados chumbo e arsénico no aterro de Mollebamba, Huancavelica

Contreras-De la Cruz, Eber Eloy; Saez-Huaman, Wilfredo; Sumarriva-Bustinza, Liliana Asunción; Chávez-Sumarriva, Nadia Lys; Yaulilahua-Huacho, Russbelt

 Eber Eloy Contreras-De la Cruz

2017161013@unh.edu.pe

Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

 Wilfredo Saez-Huaman

wilfredo.saez@unh.edu.pe

Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

 Liliana Asunción Sumarriva-Bustinza

lsumarriva@une.edu.pe

Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, Perú

 Nadia Lys Chávez-Sumarriva

nchavez@cientifica.edu.pe

Universidad Científica del Sur, Perú

 Russbelt Yaulilahua-Huacho

russbelt.yaulilahua@unh.edu.pe

Universidad Nacional de Huancavelica, 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. 19, 2023

editor@revistaalfa.org

Recepción: 16 Noviembre 2022

Aprobación: 06 Diciembre 2022

Publicación: 09 Enero 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/540/5404020005/>

DOI: <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i19.198>

Resumen: La contaminación del suelo en el botadero de residuos sólidos es un problema que va creciendo debido a la actividad antropogénica, entre ellos metales pasados cuya acumulación en el suelo, agua y tejidos vegetales constituyen un riesgo para la salud pública. El propósito del estudio fue determinar la contaminación por metales pesados plomo y arsénico en el botadero de residuos sólidos de Mollebamba de la Municipalidad de Acobamba, Huancavelica. La investigación fue de tipo descriptivo observacional, los datos fueron procesados mediante paquete estadístico SPSS Vers. 24, con nivel de confianza del 95%; la toma de muestra se realizó mediante el sistema de sondeo manual, con profundidad de 40 cm, midiendo los parámetros de temperatura, humedad relativa, con el equipo multiparámetro (con zonda) modelo Boeco Germany, para el análisis de los metales pesados se envió al laboratorio Envirotest Environmental Testing Laboratory S.A.C acreditado por Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Del total de 6 puntos de muestreo evaluadas, se obtuvieron los valores de concentración de plomo (Pb) fueron 2,50- 3,80- 4,50- 4,00- 4,30 y 4,90 mg/kg, encontrándose los valores menores al Límite Máximo Permisible (LMP) según Estándares de Calidad Ambiental – (ECA) para suelo N° 011-2017-MINAM que es 70 mg/kg. Se concluye que, el Plomo en los seis puntos de muestreo resultaron valores menores que el LMP, en cuanto al arsénico se obtuvieron en los puntos de muestreo P5 y P6, valores 20,80 % y 37,50 % respectivamente mayores que el LMP, siendo los otros puntos P1, P2, P3 y P4 menores a LMP.

Palabras clave: Metales pesados, Plomo, Arsénico, Botadero.

Abstract: Soil contamination in solid waste dumps is a growing problem due to anthropogenic activity, including heavy metals whose accumulation in soil, water and plant tissues constitutes a risk to public health. The purpose of the study was to determine the contamination by heavy metals lead and arsenic in the Mollebamba solid waste dump of the Municipality of Acobamba, Huancavelica. The research was descriptive and

observational, and the data were processed using the SPSS statistical package, SPSS Vers. 24, with a confidence level of 95%; sampling was carried out using the manual sampling system, with a depth of 40 cm, measuring the parameters of temperature and relative humidity with Boeco Germany model multiparameter equipment (with probe). For the analysis of heavy metals, it was sent to Envirotest Environmental Testing Laboratory S.A.C., accredited by the National Institute of Quality (INACAL). From the total of 6 sampling points evaluated, the values of lead (Pb) concentration were obtained were 2.50- 3.80- 4.50- 4.00- 4.30 and 4.90 mg/kg, finding the values lower than the Maximum Permissible Limit (MPL) according to Environmental Quality Standards - (ECA) for soil N° 011-2017-MINAM which is 70 mg/kg. It is concluded that, Lead in the six sampling points resulted values lower than the MPL, as for arsenic were obtained in the sampling points P5 and P6, values 20.80% and 37.50% respectively higher than the MPL, being the other points P1, P2, P3 and P4 lower than MPL.

Keywords: Heavy metals, Lead, Arsenic, Landfill.

Resumo: A contaminação do solo em lixões de resíduos sólidos é um problema crescente devido à atividade antropogênica, incluindo metais pesados cuja acumulação no solo, água e tecido vegetal constitui um risco para a saúde pública. O objetivo do estudo foi determinar a contaminação por metais pesados chumbo e arsênico no depósito de resíduos sólidos de Mollebamba do município de Acobamba, Huancavelica. A pesquisa foi descritiva e observacional, os dados foram processados utilizando o pacote estatístico SPSS Vers. 24, com um nível de confiança de 95%; a amostragem foi realizada por meio do sistema de amostragem manual, com profundidade de 40 cm, medindo os parâmetros de temperatura, umidade relativa, com o equipamento multiparâmetro modelo Boeco Alemanha (com sonda), para a análise de metais pesados foi enviado ao Laboratório de Ensaios Ambientais Enviotest S.A.C credenciado pelo Instituto Nacional de Qualidade (INACAL). Do total de 6 pontos de amostragem avaliados, os valores de concentração de chumbo (Pb) foram 2,50- 3,80- 4,50- 4,00- 4,30 e 4,90 mg/kg, encontrando valores abaixo do Limite Máximo Permitido (MPL) de acordo com as Normas de Qualidade Ambiental - (ECA) para o solo No. 011-2017-MINAM que é 70 mg/kg. Conclui-se que, o chumbo nos seis pontos de amostragem resultou em valores inferiores à MPL, como para o arsênico foram obtidos nos pontos de amostragem P5 e P6, valores 20,80% e 37,50% respectivamente superiores à MPL, sendo os outros pontos P1, P2, P3 e P4 inferiores à MPL.

Palavras-chave: Metais pesados, Chumbo, Arsênico, Aterro Sanitário.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la contaminación ambiental generado principalmente por actividad antropogenica es un problema que va en aumento; específicamente en botaderos de residuos sólidos (RR SS) generando malos

lores, proliferación de insectos, roedores y metales pesados que ocasionan enfermedades, según (1) no reciben un tratamiento previo a la disposición final. En América Latina, los residuos se disponen en terrenos a cielo abierto sin control (2), estos son arrojados en suelos contaminando al medio ecosistémico, sin tomar en cuenta ningún procedimiento de la disposición final (3). El crecimiento poblacional en los últimos años, por el proceso migratorio y flujo comercial que se torna insostenible ambientalmente y se genera el consumo descontrolado de recursos, incidiendo alta generación de RR SS cuyo incremento dificulta un adecuado tratamiento, donde en la mayoría de las ciudades vierten sus residuos en ríos, chacras, mares entre otros (4,5).

Por ello el gobierno peruano dispuso la Ley de gestión integral de RR SS, Decreto Legislativo (D.L.) N°1278 y su reglamento Decreto Supremo (D.S.) 014-2017 Ministerio del Ambiente (MINAM), y la Ley Orgánica de Municipalidades N° 27972, el cual otorgan responsabilidades a los municipios con respecto al servicio de recolección, transporte y disposición final de los RR SS, para garantizar la salud pública (6). En consecuencia este problema en Perú va en aumento por falta de una cultura y educación ambiental (7). Sin embargo, la mayoría de las regiones se siguen eliminando los residuos en espacios abiertos denominados botaderos, el cual es perjudicial para el ambiente y pone en riesgo la salud de la población, los botaderos contaminan las aguas superficiales y subterráneas, suelo y el aire (5).

El manejo inadecuado de RR SS al nivel mundial es un problema importante para la sociedad (8), ello genera contaminación cuando se acumula o se disponen inadecuadamente sin tener un tratamiento adecuado (9), la descomposición de materia orgánica genera lixiviados, estos perjudican especialmente el suelo y agua debido a que estos suelos y aguas son los únicos cuerpos receptores quienes son los principales afectados (10). Es importante decir, la deficiente administración de RR SS es un problema significativo para la sociedad, ello produce la contaminación donde el suelo y agua son los principales afectados por ser cuerpos receptores. Mientras Illera et al., (11) sostienen que la eliminación de residuos orgánicos urbanos representa en la actualidad una de las problemas de mayor interés desde el punto de vista ambiental.

Según Pilco (7) y Barreto (12) manifiestan que la disposición final de RR SS es un problema creciente en los últimos años a nivel mundial, debido a falta de control sobre los tipos de residuos que se desechan en los vertederos, cuya consecuencia provoca la creación de líquidos (lixiviados), gases y olores, ello afecta negativamente el ambiente. (13) afirman que los residuos sólidos urbanos (RSU) en rellenos sanitarios (RESA), en sitios controlados o botaderos a cielo abierto, da lugar a la generación de lixiviado y biogás, derivados de los procesos de descomposición microbiana y de los componentes de los residuos. En Perú la disposición final de RR SS es un tema que aún pasa desapercibido a nivel municipal, en la actualidad existe una notoria escasez de rellenos sanitarios y plantas procesadoras de residuos, el cual resulta una mala disposición final de residuos que vienen o a verterse (12).

La contaminación del suelo es un problema ambiental que afecta a toda la sociedad, uno de los problemas más urgentes y preocupantes a resolver (14,15). Siendo el suelo un espacio físico natural más importante para el desarrollo de los seres vivos en el planeta, en ella se desarrolla importantes actividades como agricultura, para la vida humana (16). Es importante mencionar, la que presencia de metales pesados (MP) en los suelos pueden ser de origen natural o antropogénico (15). La contaminación por metales requiere un tratamiento especial, debido a que estos elementos pueden quedar atrapados en procesos de adsorción, precipitación, y ser absorbidos por las plantas ingresando a la cadena alimenticia (15). Los metales pesados es parte del contaminante que contiene los lixiviados generado por descomposición de los residuos sólidos urbanos RSU, el cual por su toxicidad puede ocasionar problemas graves al medio ambiente (13).

La contaminación del suelo por metales pesados puede persistir durante cientos y miles de años, aun después de que su incorporación se haya detenido (17,18). El Cd, Cu y Pb, pueden llegar a tener una vida media en el suelo de 15 a 1100, 310 a 1.500 y 740 a 5.900 años respectivamente, la concentración de metales pesados depende de la flexibilidad relativa propiedades físicas, químicas, clima y topología del tipo de suelo (17,19). La toxicidad se incrementa al ser absorbidos por raíces de plantas, lixiviados hasta los acuíferos, contaminando las aguas subterráneas, el medio ecosistémico y a los humanos a lo largo de la cadena

alimentaria (20,17). Así mismo, los metales son elementos minerales que se acumulan en el suelo, agua y tejidos vegetales que genera un riesgo para la biodiversidad vegetal, animal y salud pública (21). Finalmente, el pH es el parámetro muy importante que define la movilidad de los diferentes componentes minerales, su valor influye directamente en la solubilidad de los cationes (15).

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la concentración de metales pesados plomo y arsénico en el botadero de Mollebamba, Huancavelica, dando un diagnóstico de las condiciones en las que se encuentra el suelo a cielo abierto, la alta concentración de metales pesados en los alimentos pueden causar intoxicaciones de daño irreparable a la salud humana y animal (15).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ámbito del estudio

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el botadero de residuos sólidos Mollebamba de la Municipalidad Provincial de Acobamba, Huancavelica – Perú, ubicado a 5 kilómetros (km) al sureste de la ciudad de Acobamba, a una altitud de 3 361 metros sobre el nivel del mar (msnm), con temperatura media anual que oscila entre 17.5 y 3.0 °C con humedad relativa de 64.16%. El muestreo se realizó en el mes de abril del 2022; previo a ello se tramitó autorización para el ingreso y recogida de muestras del botadero. Para la delimitación del lugar de estudio, se determinó el área de influencia directa e inmediaciones del botadero donde se encuentran diversos cultivos agrícolas.

Población y muestra

El botadero tiene un área de 19 169 metros cuadrados (m²), se aplicó la identificación de puntos con muestreo de nivel de fondo (6), considerando los puntos de muestreo como sub-muestra representativa para conformación de muestras compuestas, considerando tres puntos en áreas homogéneas duplicando el número de puntos de muestreo, se realizó la sectorización en 6 áreas por conveniencia; 2 de influencia directa y 4 de inmediaciones del botadero, determinados con GPS eTrex 22x las coordenadas del sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (UTM) y altitud.

Toma de muestra

La toma de muestra de sólidos se realizó mediante el sistema de sondeo manual con profundidad de 40 centímetros (cm) (6) mención que en suelo agrícola debe realizarse con profundidad de 30–60 cm, para que la muestra sea de mayor eficacia.

Para la excavación de cada punto de muestreo se utilizó las herramientas metálicos pico y pala, después de haber excavado 40 cm de profundidad, se procedió a medir los parámetros físicos con el equipo multiparámetro (con zonda) modelo Boeco Germany determinando la temperatura y humedad relativa,

Se extrajo con espátula de acero, en cada sub punto 5 kilogramos (kg) haciendo un total de 90 kg en polietileno, eligiendo con tamiz de 2 milímetros (mm) en cada muestra, en 18 sub puntos muestreo en 6 áreas.

Métodos de análisis

De cada 3 sub muestras, se juntó para realizar el cuarteo; obteniendo 1000 gramos (gr), que fue pesado en balanza analítica digital de la marca Kitchen Scale SF - 400. Así mismo, fue embazado en bolsas herméticas y

papel aluminio y transportadas en Cooler para asegurar que las muestras lleguen en condiciones óptimas, libre de humedad y oxígeno para su análisis al laboratorio Envirotest Environmental Testing Laboratory S.A.C acreditado por Instituto Nacional de Calidad (INACAL), tal como establece el (6), el mismo procedimiento para todas las áreas un total de 6 muestras compuestas finales, para ser analizados los metales pesados y orgánicos con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica, para el potencial de hidrogeniones (pH) y conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) con el equipo portátil HACH-HQ30D.

Análisis estadístico

La investigación fue de tipo descriptivo observacional, para el análisis de los resultados se realizaron comparaciones entre puntos de muestreo, estos datos fueron procesados mediante paquete estadístico SPSS versión 24,0 (22), con nivel de confianza al 95%

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizó la concentración de metales pesados que se encuentran en el suelo del botadero de Mollebamba administrada por la municipalidad provincial de Acobamba, y se analizó el pH, plomo y arsénico que contiene. Siendo el color gris oscuro, textura arenosa, estructura granular y conductividad eléctrica de 0.45 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En la Tabla 1 se observa los resultados de la investigación obtenidos para cada análisis y su respectivo valor permisible para suelo.

De un total de 6 muestras (puntos de muestreo) evaluadas, se obtuvieron los niveles de concentración de plomo (Pb), fueron de 2.50, 3.80, 4.50, 4.00, 4.30 y 4.90 (mg/kg) para los puntos de muestreo de Tabla 1, siendo menores que el límite máximo permisible (LMP) según Estándares de Calidad Ambiental – (ECA) N° 011-2017 - MINAM que es 70 mg/kg. Los datos del presente trabajo resultó ser semejantes a los encontrados por (15) quien valóres de 4,49 y 4,43 mg/Kg. Los resultados del presente son inferiores a los encontrados por Morales (23) en Ecuador quien dio el valor de 19 mg/Kg; (15) 9,58 mg/Kg, (1) en Puno 90 mg/kg que sobrepasa el LMP, (10) 16,26 mg/kg y (24) 4 720 mg/kg siendo el valor más alto. Además, los datos encontrados son superior que (12) en cusco 0.20 mg/kg, (25) en Huancavelica 0.90-1.34, mg/kg, (14) 0.00 mg/kg.

TABLA 1
Concentración de metales pesados obtenidos a partir
del análisis del suelo en el botadero de Mollebamba

SUELO		Metales pesados (mg /kg)			%	%
Puntos de muestre	pH	Pb	As	Densidad aparente	Humedad	MO
P1	7,10	2.50	30.80	0.43	83.67	50.40
P2	7,80	3.80	38.40	0.57	81.67	50.46
P3	7,12	4.50	43.40	0.42	47.50	50.50
P4	7,46	4.00	43.40	0.36	46.30	50.40
P5	7,90	4.30	60.40	0.43	64.17	50.80
P6	8,00	4.90	68.75	0.52	61.67	50.00
LMP	*	70	50	*	*	*

Nota * No se encuentran valores reportados bibliográficamente.
pH potencial de hidrógeno; Pb = plomo; As = arsénico; MO = materia orgánica.

En cuanto al arsénico (As) los valores fueron 30.80, 38.40, 43.40, 43.40, 60.40 y 68.75 (mg/kg), siendo 4 puntos menor (P-1, P-2, P-3 y P-4) que LMP de 50 (mg/kg) y los puntos 20.80% y 37.50% mayor que el LMP. Los datos semejantes (26) 55 mg/kg, (25) 7.6 y 222.4 mg/kg, (1) 24 mg/kg.

En cuanto al análisis de pH, los valores 7.10 a 8.00 en los puntos de muestreo. Estando en el rango reportado por (27) 3.31 y 8.21.

CONCLUSIONES

Los metales pesados analizados por el método espectrofotométrico de absorción atómica dieron como resultado que plomo en los seis puntos de muestreo resultaron valores menores que el Límite máximo permisible (LMP). En cuanto al arsénico resultaron en los puntos de muestreo P5 y P6, valores 20,80 % y 37,50 % respectivamente mayores que el LMP, siendo los otros puntos P1, P2, P3 y P4 menores a LMP.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Torres N. Evaluación de la concentración de metales pesados como As, Cu, Cd, Hg y Pb en el botadero de Cancharani de la ciudad de puno [Internet]. Universidad Nacional deL Altiplano; 2018. Available from: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9412>
2. Quero P, Zorrilla M, Morales S, Rodríguez M. Determinación de la contaminación por metales pesados en suelos aledaños a la Empresa electroquímica de sagua. Cent Azúcar [Internet]. 2017;44(December 2020):53–63. Available from: <http://centroazucar.ucv.edu.cu>
3. Solano G, Cruz J. Eficiencia de actimycetos en la remoción de metales pesados presentes en suelos contaminados procedentes del distrito de Quiruvilca. Rev Investig Estud Ing [Internet]. 2018;4(1):9. Available from: <https://revistas.ucv.edu.pe/index.php/innovacion/article/view/1804>
4. Acosta Y, Paolini J, Flores S, Benzo Z, Ligia M, Senior A. Evaluación de metales pesados en tres residuos orgánicos de diferente naturaleza. Multiciencias [Internet]. 2003;3(1). Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90430107%0ACómo>
5. Rosario L. Afectación del suelo por metales pesados: plomo, cadmio y cromo vi por la disposición de residuos sólidos municipales en el botadero de Carhuashjirca, en el distrito y provincia de Huaraz, departamento de Ancash, 2019 [Internet]. Repositorio: UNASAM-Institucional. Universidad Nacional de Santiago Antúnez de Mayolo; 2020. Available from: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4621>
6. Ambiente del Ministerio MINAN. Decreto Supremo Nro. 002-2013-MINAM “Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo” [Internet]. Diario el peruano. Perú; 2013. Available from: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo>
7. Pilco N. Determinación de la influencia de los lixiviados en la concentración de metales pesados del suelo del botadero municipal de Moyobamba, 2020 [Internet]. Vol. 5. Universidad Nacioanl de San Martin-Tarapoto; 2021. Available from: <http://hdl.handle.net/11458/4040>
8. Alpino M, Muñoz J, Marín G. Presencia de metales pesados en la palomita maraquita (*Columbina Squammata* Lesson 1831), del estado Sucre, Venezuela. Biol [Internet]. 2016;1(2):45–63. Available from: <https://doi.org/10.24039/rtb201614185>
9. Falcón M. Afectación del suelo como consecuencia de la disposición de residuos sólidos municipales en el botadero Roma- Casa Grande. [Internet]. Repositorio de Universidad César Vallejo. Universidad César Vallejo; 2016. Available from: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/27098>
10. Díaz B. Evaluación de la contaminación del suelo por lixiviados del botadero Municipal del Distrito de San Pablo - 2018 [Internet]. Universidad César vallejo. Universidad César Vallejo; 2019. Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/31560>

11. Illera V, Walter I, Cala V. Niveles de metales pesados en *Thymus zygis* desarrollado en suelos enmendados con residuos orgánicos urbanos. *Rev Int Contam Ambient* [Internet]. 2001;17(4):179–86. Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37017402>
12. Barreto R, Colque W. Evaluación de la concentración de cromo VI, cadmio y plomo presentes en suelos agrícolas a causa del lixiviado proveniente del botadero municipal de la provincia de Espinar - Cusco 2021 [Internet]. Universidad Continental; 2021. Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11361>
13. Hernández M del C, Álvarez N, Vaca R, Márquez L, Lugo J. Determinación de metales pesados en residuos sólidos y lixiviados en biorreactores a diferentes tasas de recirculación. *Rev Int Contam Ambient* [Internet]. 2012; Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37025166018>
14. Mendoza L, Rodrigo J, Villalobos K. Determinación de metales pesados cadmio, níquel, plomo y zinc en la zona de influencia del relleno sanitario de Sonsonate, el Salvador [Internet]. Universidad de el Salvador; 2017. Available from: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/12786>
15. Bueno A, Villegas J, Meza D. Evaluación de la presencia de metales pesados (Cd, Pb, Ni y Hg) en suelo y material vegetal de la Universidad Tecnológica de Pereira. *Univ Tecnol Pereira* [Internet]. 2018;1–6. Available from: <https://hdl.handle.net/11059/10466>
16. Arellano J, Vargas K. Determinación de Residuos Sólidos Peligrosos y la Calidad del Suelo en el Botadero del Distrito de Los Órganos-Talara- Piura [Internet]. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo. Universidad César Vallejo; 2022. Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/92130>
17. Rueda G, Rodríguez J, Madriñán R. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta agronómica* [Internet]. 2011;60(3):203–18. Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169922438001%0ACómo citar>
18. Reyes Y, Vergara I, Torres O, Diaz M, González E. Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiental y seguridad alimentaria. *Rev Ing Investig y Desarro* [Internet]. 2016;24(1):14. Available from: <https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447>
19. Covarrubias S, Peña J. Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Rev Int Contam Ambient* [Internet]. 2017; 33:7–21. Available from: <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
20. García C, Moreno J, Hernández T, Polo A. Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Cienc y medio Ambient CCMA-CSIC* [Internet]. 2002;125–38. Available from: <http://hdl.handle.net/10261/111812>
21. Mendoza B, Torres D, Merú L, Gómez C, Estanga M, García Y. Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *Tecnológicas* [Internet]. 2021;24(51):1–12. Available from: <https://doi.org/10.22430/22565337.1738>
22. IBM. IBM SPSS Statistics 26 Core System User's Guide [Internet]. 2019. 338 p. Available from: https://www.ibm.com/docs/en/SSLVMB_26.0.0/pdf/es/IBM_SPSS_Statistics_Core_System_User_Guide.pdf
23. Morales E. Determinación del contenido de metales pesados en suelos colindantes a un drenaje ácido de mina en el municipio de California, Santander, Colombia [Internet]. Vol. 1. Universidad Santo Tomás, Bucaramanga; 2018. Available from: <https://hdl.handle.net/11634/13009>
24. Puga S, Sosa M, Lebgue T, Quintana C, Campos A. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecol Apl* [Internet]. 2009; Available from: <https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447>
25. Quispe C, Silvistre N. Nivel de concentración de metales pesados en relación a los Estándares de Calidad Ambiental (Ecas-suelo), en el suelo del área de influencia directa del botadero de Pampachacra, distrito, provincia y departamento de Huancavelica [Internet]. Vol. 8. Universidad Nscional de Huancavelica; 2019. Available from: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3075>
26. Chambi L, Orsag V, Niura A. Evaluación de la presencia de metales pesados y arsénico en suelos agrícolas y cultivos en tres micro-cuenca del Municipio de Poopó. *Rev Boliv Química* [Internet]. 2012;29(1):111–9. Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426339677012>

27. Paz D, Escobar K, Jiménez S. Evaluación de la calidad del suelo en núcleos poblados cercanos a la zona minera aurífera de Ponce Enríquez. Enfoque UTE [Internet]. 2022;29–38. Available from: <https://doi.org/10.29019/efoquete.811>