



## Contenido de metales pesados y parámetros edáficos de los suelos aledaños al botadero controlado municipal de la ciudad de Celendín-Cajamarca

*Heavy metal content and soil parameters of the soils surrounding the municipal controlled landfill in the city of Celendín, Cajamarca*

José Ramiro Díaz Cumpén<sup>1</sup>, Giovana Ernestina Chávez Horna<sup>1</sup>, Luis Javier Quipuscoa Castro<sup>1</sup>, José Francisco Rabanal Guevara<sup>1</sup>, Teresita de Jesús Pereyra Quevedo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú

### Resumen

La gestión de residuos sólidos es un desafío ambiental y de salud pública en muchas comunidades, y los botaderos a cielo abierto son una fuente significativa de contaminación. Bajo este contexto se evaluó la calidad de los suelos adyacentes al botadero municipal de Celendín, en la región de Cajamarca, Perú. Se analizó la concentración de metales pesados (Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni) y del metaloide arsénico (As), junto con parámetros edáficos clave como el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica, el carbonato de calcio y el contenido de arcilla. Se recolectaron un total de seis muestras de suelo, incluyendo una muestra de control, en diferentes puntos alrededor del botadero. Los análisis de laboratorio revelaron que varias de las muestras presentaban concentraciones de arsénico y cadmio que superaban significativamente los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos agrícolas establecidos por la normativa peruana (D.S. 011-2017-MINAM). Específicamente, en una de las muestras, la concentración de arsénico alcanzó 38,277.3 mg/kg, un valor extraordinariamente superior al límite de 50 mg/kg. Asimismo, la concentración de cadmio en otra muestra fue de 5.99 mg/kg, excediendo el límite de 1.4 mg/kg. La evaluación de los parámetros edáficos demostró que los suelos cercanos al botadero son de naturaleza alcalina, con un alto contenido de materia orgánica, lo que sugiere una clara influencia de los lixiviados. Estos resultados confirman la existencia de una contaminación potencial y un riesgo para la salud humana a través de la cadena alimenticia, dado que los suelos aledaños son utilizados para actividades agrícolas.

### Palabras clave

Lixiviados de residuos sólidos, metales pesados, botadero de residuos sólidos



## Abstract

Solid waste management is an environmental and public health challenge in many communities, and open-air dumpsites are a significant source of contamination. In this context, I evaluated the quality of the soils adjacent to the Celendín municipal landfill in the Cajamarca region of Peru. The concentrations of heavy metals (Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni) and the metalloid arsenic (As) were analyzed, along with key soil parameters such as pH, electrical conductivity, organic matter, calcium carbonate, and clay content. A total of six soil samples, including a control sample, were collected from different locations around the landfill. Laboratory analyses revealed that several samples presented arsenic and cadmium concentrations that significantly exceeded the Environmental Quality Standards (ECA) for agricultural soils established by Peruvian regulations (D.S. 011-2017-MINAM). Specifically, in one sample, the arsenic concentration reached 38,277.3 mg/kg, a value significantly higher than the 50 mg/kg limit. Similarly, the cadmium concentration in another sample was 5.99 mg/kg, exceeding the 1.4 mg/kg limit. Evaluation of soil parameters showed that the soils near the landfill are alkaline, with a high organic, suggesting a clear influence of leachate. These results confirm the existence of potential contamination and a risk to human health through the food chain, given that the surrounding soils are used for agricultural activities.

## Keywords

Leachate from solid waste, heavy metals, solid waste landfill

## Introducción

La proliferación de residuos sólidos urbanos sin un manejo adecuado ha generado una crisis ambiental global. En muchos países en desarrollo, la disposición final de los desechos se realiza en botaderos a cielo abierto, los cuales carecen de las medidas de control necesarias para mitigar la contaminación. Estos sitios, por la descomposición de la materia orgánica y la infiltración de las aguas de lluvia, generan lixiviados altamente tóxicos. Estos fluidos, ricos en metales pesados y otros compuestos nocivos, pueden contaminar los suelos, las aguas superficiales y los acuíferos subterráneos, afectando los ecosistemas y la salud humana (Geissen et al., 2015).

La región de Cajamarca, en el norte de Perú, no es ajena a esta problemática. En un caso específico en la ciudad de Celendín, se hace la disposición final de residuos sólidos en un botadero controlado, este presenta características de un vertedero informal,

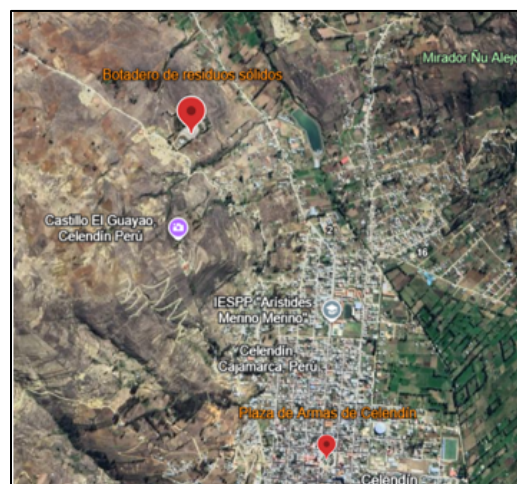


sin una impermeabilización adecuada. La comunidad local ha expresado su preocupación por la posible contaminación de los suelos que rodean el botadero, donde se lleva a cabo el cultivo de alimentos básicos como maíz, arveja, entre otros. Situación que representa un riesgo potencial para la seguridad alimentaria y la salud de la población.

En este sentido, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal determinar la calidad de los suelos adyacentes al botadero controlado de residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Celendín, en cuanto a su contenido de los metales pesados Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni, y el metaloide As y valores de los parámetros edáficos: contenido de arcilla, pH, materia orgánica (MO), carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y conductividad eléctrica (CE).

### **Material y métodos**

El estudio se llevó a cabo en los suelos que circundan el botadero municipal de Celendín, ubicado en la parte alta del barrio "El Guayao" al noroeste de la ciudad, a 2710 msnm (Figura 1). Se utilizó un diseño de investigación no experimental, de tipo descriptivo-comparativo. Se seleccionaron un total de seis puntos de muestreo georreferenciados (PM1 a PM6) para la recolección de las muestras de suelo. El punto PM1, ubicado a una distancia considerable en la parte superior del botadero, se utilizó como muestra de control para establecer una línea base de la composición natural del suelo de la zona. Los puntos PM2 a PM6 se establecieron en zonas con evidencia de escorrentía de lixiviados, específicamente en los taludes y la parte inferior del botadero (Figura 2).



**Figura 1.** Mapa satelital del botadero Municipal El Guayao con respecto a la ciudad de Celendín.



**Figura 2.** Mapa satelital del botadero municipal de la ciudad de Celendín y la ubicación de los 06 puntos de muestreo (PM1 al PM6).

La recolección de las muestras se realizó siguiendo un protocolo estandarizado. Se tomó una muestra de aproximadamente 1 kg de suelo de la capa superficial (0-20 cm), se colocó en bolsas herméticas, se etiquetó con la información del punto de muestreo y se transportó al laboratorio del INIA-Baños del Inca en condiciones de cadena de custodia.

En el laboratorio, las muestras fueron secadas, tamizadas y procesadas para el análisis de los siguientes parámetros:

- Parámetros edáficos: Se determinó el pH (mediante un potenciómetro en una suspensión 1:2.5 suelo-agua), la conductividad eléctrica (CE), el contenido de materia orgánica (MO), carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y el contenido de arcilla (mediante el método de hidrómetro).
- Metales pesados y metaloide: Se determinaron las concentraciones de Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Níquel (Ni) y Arsénico (As) utilizando un espectrómetro de absorción atómica con horno de grafito (AAS-GF) o espectrometría de emisión atómica por plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES), siguiendo métodos analíticos validados.

Los resultados de las concentraciones de los elementos tóxicos se compararon con los valores de referencia del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Suelos del Perú (D.S. N° 011-2017-MINAM) y estándares internacionales.



## **Resultados y discusión**

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

### **Parámetros edáficos**

Los resultados del análisis de los parámetros edáficos revelaron características distintivas en los suelos afectados por los lixiviados. El pH en las muestras de los puntos PM2 a PM6 osciló entre 7.7 y 8.3, clasificándolos como suelos ligeramente alcalinos a moderadamente alcalinos. Esto es consistente con el aporte de iones de calcio por la disolución de los materiales calcáreos existentes, a lo cual también puede sumarse la liberación de iones básicos procedentes de algunos residuos que los contienen. La conductividad eléctrica (CE) mostró un valor promedio de 34.6 mS/m en las muestras contaminadas, con el mayor valor de 125.2 mS/m (1.25 dS/m) en la muestra PM4. Este valor indica el bajo contenido de sales solubles, lo que significa que los lixiviados del botadero no influyen en esta característica edáfica. El contenido de materia orgánica (MO) fue consistentemente alto en los puntos de muestreo contaminados, con un promedio de 4.9%, superando notablemente el valor de la muestra de control (0,9 %).

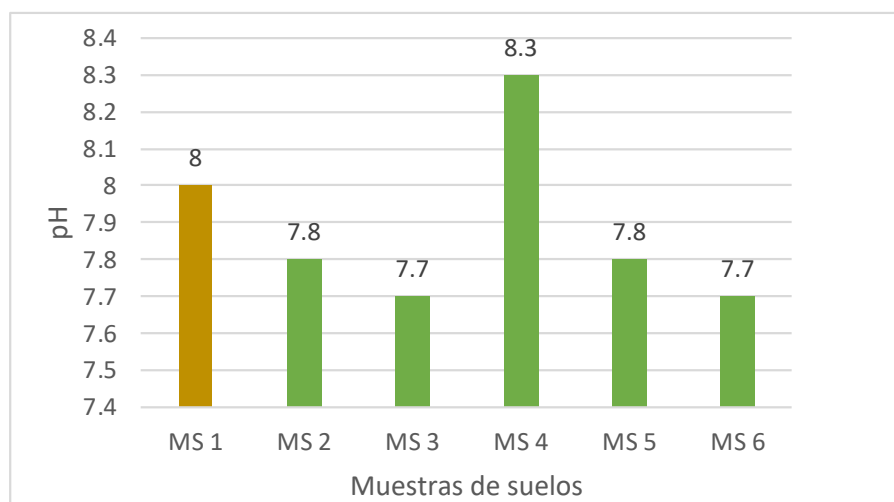
Estos resultados están en concordancia con los hallazgos de Saavedra La Torre (2020) y otros estudios que asocian el aumento de la MO en suelos con la influencia de lixiviados de vertederos. Los lixiviados, al ser ricos en sales y materia orgánica disuelta, alteran significativamente las propiedades del suelo.



**Tabla 1**

Parámetros físico-químicos de los suelos que se encuentran alrededor del botadero municipal de la ciudad de Celendín

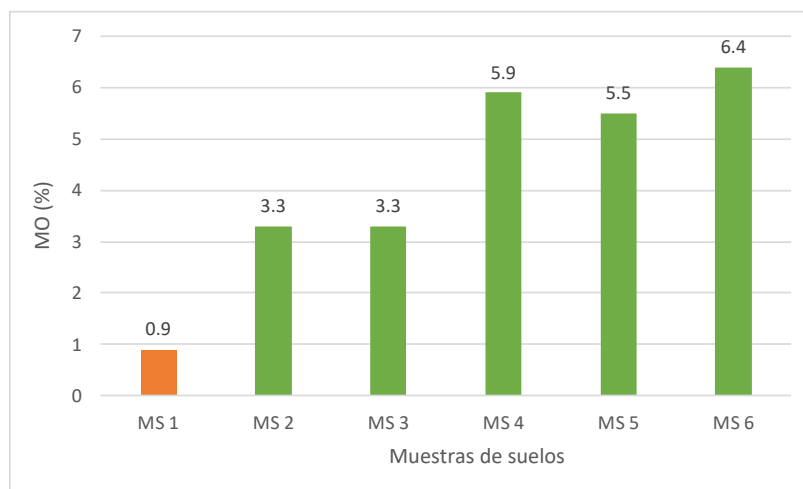
Parámetros físico-químicos	Unid	Resultados						Promedio
		MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5	MS 6	MS2 – MS6
pH	--	8	7.8	7.7	8.3	7.8	7.7	7.9
Conductividad eléctrica	mS/m	7.8	10.4	9.5	125.2	14.5	13.5	34.6
Carbonato de calcio	%	0.9	2	1.9	49.5	20.5	13.7	17.5
Materia orgánica	%	0.9	3.3	3.3	5.9	5.5	6.4	4.9
Arcilla	%	60	42	46	28	36	44	39.2
Clase textural	-	Arcillos o	Arcillos o	Arcillos o	Franco arcillo arenoso	Arcillo arenoso	Arcillos o	



**Figura 3.** Distribución de las personas que sufrieron agresión sexual con resultados citológicos por Dependencia Pública, 2022.

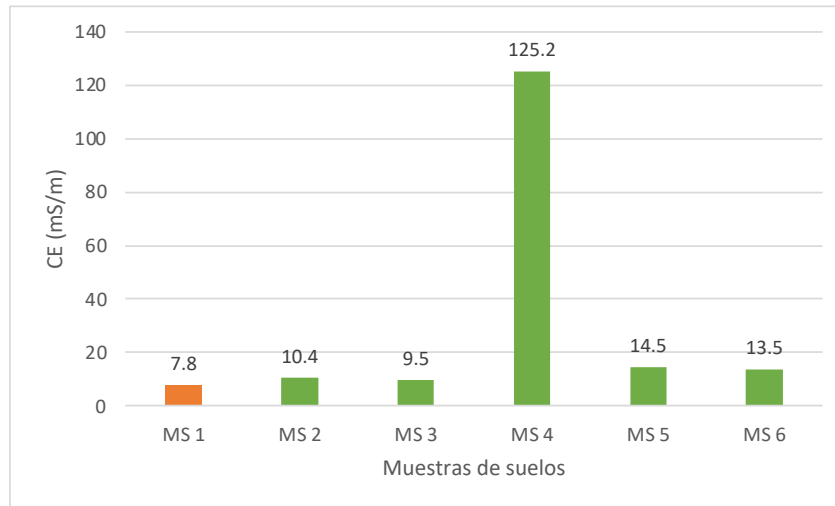


Se observa una conexión directa entre los suelos del botadero y el pH. Los valores de pH y la conductividad eléctrica son el resultado de la presencia de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en los suelos, que provienen de materiales calcáreos. La muestra MS4: Esta muestra, extraída cerca de una zona de alta pendiente del botadero, tuvo el pH más alto (8.3). Esto se atribuye a su mayor exposición a lixiviados (líquidos contaminantes) y escorrentía del vertedero, lo que también se relaciona con un alto porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  (49.5%). La muestra MS1 (control): Esta muestra se tomó en una zona opuesta al botadero, lejos de la escorrentía. Presentó valores más bajos de carbonato de calcio, conductividad eléctrica y materia orgánica. Esto indica una menor influencia del botadero en esa área. A pesar de esto, su pH de 8.0 sigue siendo alcalino, lo que sugiere que las características geológicas del área (rocas calizas) también influyen en el pH del suelo.



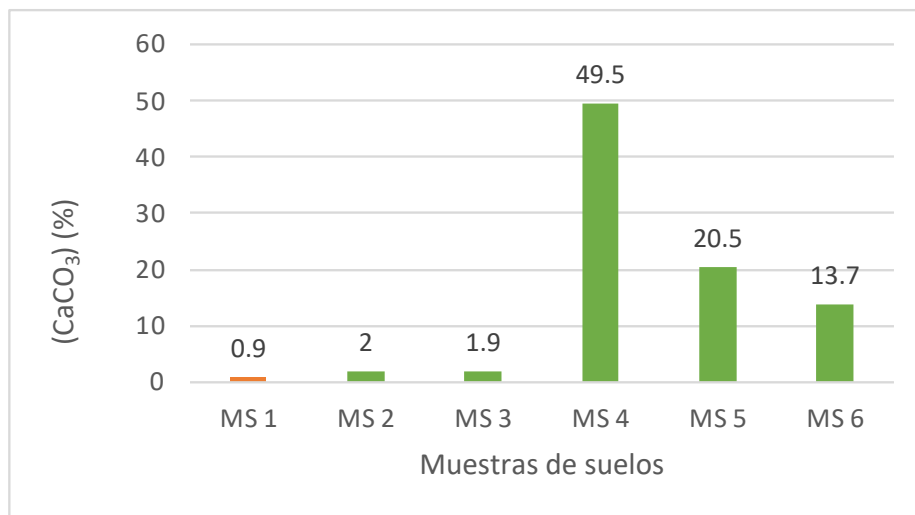
**Figura 4.** Contenido de materia orgánica de los en los suelos ubicados alrededor del botadero de la ciudad de Celendín.

El contenido promedio de materia orgánica en los suelos cercanos a las zonas de mayor pendiente del botadero es del 4.9%, lo que se considera alto. El valor más elevado se registró en la muestra MS6 (6.4%), tomada en la parte más baja de un talud. Este alto contenido se atribuye a los aportes de materiales sólidos y líquidos que se desprenden del botadero. La materia orgánica es crucial porque contiene humus, un coloide orgánico que ayuda a la adsorción (retención) de metales pesados en el suelo. Esto evita que los metales se infiltren a las aguas subterráneas o sean absorbidos por las plantas. En contraste, la muestra de control MS1, tomada en una zona sin influencia del botadero, solo contenía un 0.9% de materia orgánica, lo que confirma la influencia del botadero en el resto de las muestras.



**Figura 5.** Conductividad eléctrica de los en los suelos ubicados alrededor del botadero de la ciudad de Celendín.

La conductividad eléctrica promedio de los suelos analizados es de 34.6 mS/m (0.35 dS/m), y el valor más alto fue de 125.2 mS/m (1.25 dS/m) en la muestra MS4. Estos valores, según la normativa DS 005-2022-MIDAGRI, clasifican los suelos como no salinos. Por lo tanto, los suelos son aptos para la agricultura, lo que indica que los lixiviados y la esorrentía del vertedero no están aportando una cantidad significativa de sales a los suelos circundantes.

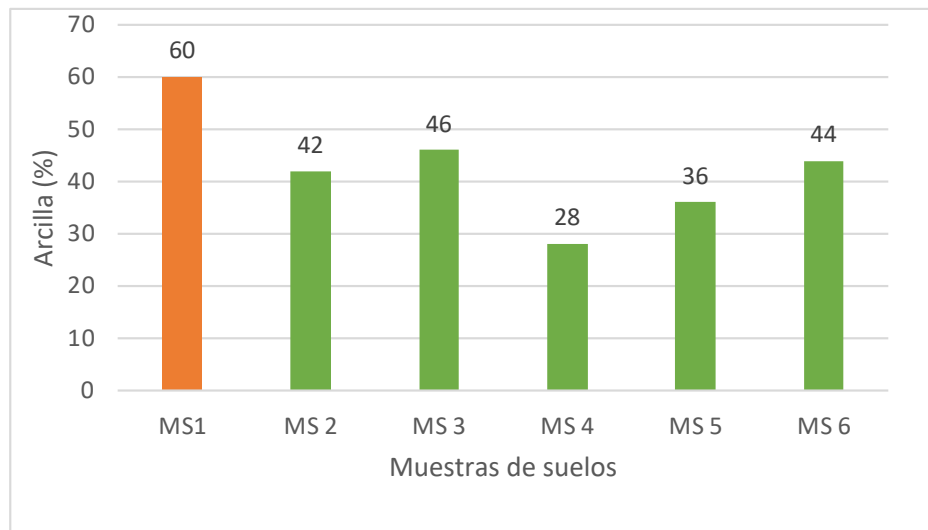


**Figura 6.** Carbonato de calcio en los suelos ubicados alrededor del botadero de la ciudad de Celendín.

El contenido promedio de CaCO<sub>3</sub> en los suelos estudiados es del 17.5%. El valor más alto se registró en la muestra MS4 con un 49.5%, tomada cerca del talud del botadero con mayor pendiente. Los lixiviados del botadero y las lluvias han disuelto las rocas



calizas subyacentes, enriqueciendo con  $\text{CaCO}_3$  los suelos más expuestos a la escorrentía. La muestra de control MS1, ubicada en el lado opuesto del botadero, contiene un 0.9% de  $\text{CaCO}_3$ , lo que demuestra la influencia del botadero en las otras muestras. Este componente es importante porque influye directamente en el pH y la conductividad eléctrica del suelo. Además, el  $\text{CaCO}_3$  forma compuestos insolubles con los metales pesados en suelos alcalinos, lo que ayuda a mitigar la contaminación por lixiviados.



**Figura 7.** Contenido de arcilla de los suelos ubicados alrededor del botadero municipal de la ciudad de Celendín.

El contenido promedio de arcilla en los suelos evaluados es del 39.2%. La arcilla, un coloide inorgánico con carga negativa, tiene la capacidad de retener metales pesados en su superficie. La muestra MS1 (control), ubicada en una zona con menor escorrentía, presentó el mayor porcentaje de arcilla con un 60%, clasificándose como un suelo de textura arcillosa. Este alto valor se atribuye a su origen en rocas calizas, que son naturalmente ricas en este componente. En contraste, la muestra MS4 tiene un alto porcentaje de arena (52%) y un pH alcalino de 8.3. Esta combinación ayuda a que los metales tóxicos formen compuestos insolubles, reduciendo su solubilidad. Sin embargo, los metales como el cromo (Cr), molibdeno (Mo), arsénico (As) y selenio (Se) pueden volverse solubles bajo estas condiciones. Las otras muestras cercanas al botadero (MS2, MS3, MS5 y MS6) también mostraron altos porcentajes de arcilla, con valores que oscilan entre el 36% y el 46%.

### **Concentración de metales pesados y arsénico**

La comparación de las concentraciones de los metales pesados y del arsénico con los ECA para suelos agrícolas (D.S. 011-2017-MINAM) arrojó los siguientes resultados.

**Tabla 2**

Concentración de metales pesados de los suelos ubicados alrededor del botadero Municipal de la ciudad de Celendín.

<b>Metales pesados</b>	<b>Resultados</b>						<b>Promedio</b>
	<b>MS 1</b>	<b>MS 2</b>	<b>MS 3</b>	<b>MS 4</b>	<b>MS 5</b>	<b>MS 6</b>	<b>MS2-MS6</b>
Arsénico	31863.3	31224.3	31071.5	28647.7	28208.7	38277.3	31485.9
Cadmio	0.05	5.99	0.05	0.05	0.05	0.05	1.2
Cromo	105.79	78.89	72.9	56.89	51.83	66.88	65.5
Cobre	6.99	9.99	9.99	11.98	9.97	13.98	11.2
Níquel	16.97	12.98	13.98	14.97	14.95	17.97	15
Plomo	17.96	13.98	13.98	0.05	1.99	5.99	7.2
Zinc	98.8	56.92	54.92	118.76	72.77	80.85	76.8

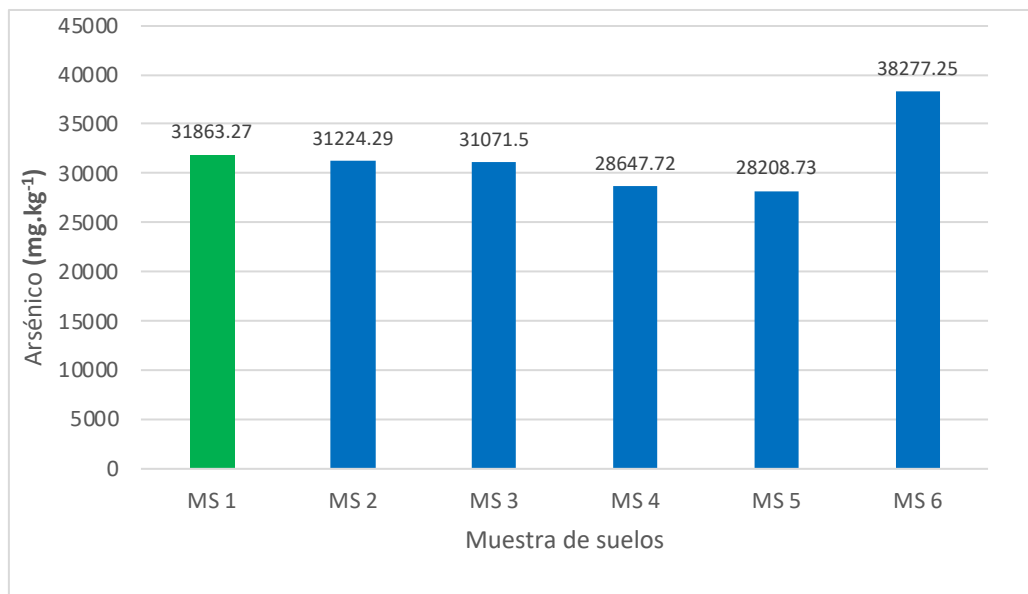
**Arsénico (As):** La concentración de arsénico en la muestra MS6 fue de 38,277.3 mg/kg, un valor extraordinariamente alto que supera en más de 700 veces el límite establecido por el ECA, que es de 50 mg/kg. Otras muestras contaminadas también mostraron concentraciones por encima del límite. Este hallazgo es de suma importancia, ya que el arsénico es un metaloide altamente tóxico y carcinogénico, y su biodisponibilidad puede ser elevada en condiciones alcalinas (FAO, 2013).

La muestra de control MS1, aunque no está directamente expuesta a los lixiviados, también tiene un valor extremadamente alto de 31,863.27 mg/kg. Esto sugiere que la alta concentración de arsénico podría ser de origen natural, relacionada con las rocas calizas de la zona.

Los estándares internacionales son aún más estrictos: Kabata-Pendias y Pendias (2000) establecen un valor normal de 1.7 mg/kg, mientras que Canadá (CCME) tiene un límite de 12 mg/kg. Esto demuestra la alta exigencia de otros países en la protección de sus suelos.

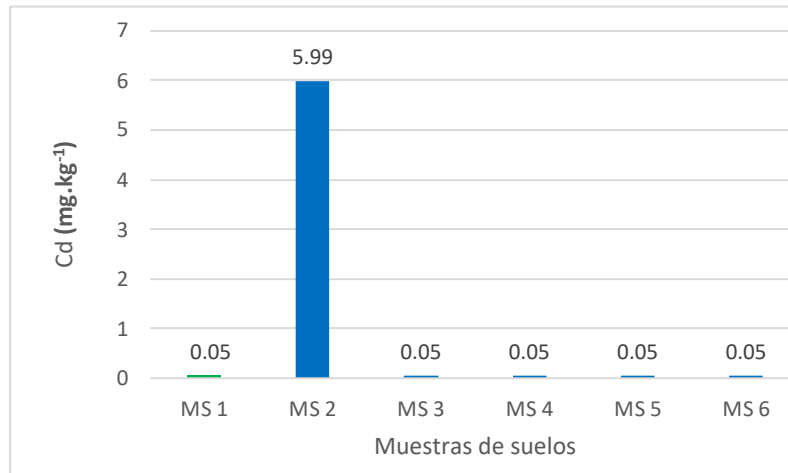


La presencia de arsénico en los suelos adyacentes al botadero excede los límites nacionales e internacionales, haciendo que la zona sea inadecuada para la agricultura. La contaminación de los suelos podría tener un origen natural.



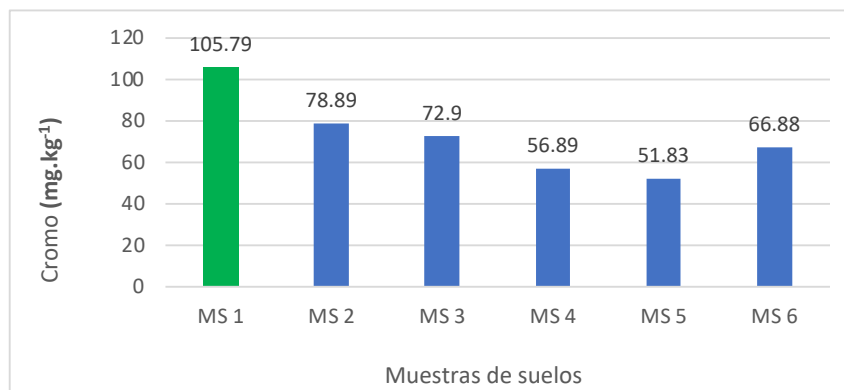
**Figura 8.** Contenido de Arsénico en los suelos adyacentes al botadero municipal de la ciudad de Celendín.

**Cadmio (Cd):** La muestra MS2 presentó una concentración de 5.99 mg/kg de cadmio, excediendo el valor límite de 1.4 mg/kg para suelos agrícolas. Estándares internacionales, como los de la CCME de Canadá, coinciden con el límite peruano de 1.4 mg/kg, mientras que la Unión Europea tiene un rango de 1 a 3 mg/kg), esto podría deberse a una contaminación puntual en el área de la que se extrajo la muestra. El cadmio es un metal pesado conocido por su alta toxicidad, incluso en bajas concentraciones, y por su capacidad de bioacumulación. Las demás muestras mostraron un valor mucho más bajo, de 0.05 mg/kg (Límite cuantificable del equipo).



**Figura 9.** Contenido de Cadmio en los suelos adyacentes al botadero municipal de la ciudad de Celendín.

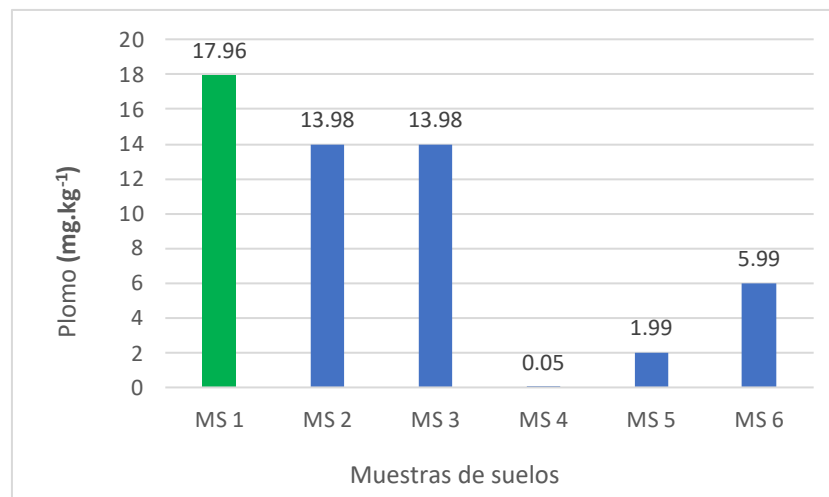
**Cromo total (Cr):** El valor máximo de cromo se registró en la muestra MS2 con 78.89 mg/kg. El promedio de las muestras influenciadas por el botadero (MS2 a MS6) es de 65.5 mg/kg. El cromo es un metal que se vuelve soluble en suelos alcalinos, y el pH de la zona se clasificó como ligeramente a moderadamente alcalino. El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelos de Perú no establece un límite para el cromo total, solo para el cromo hexavalente (CrVI) con un límite de 0.4 mg/kg, se recurrió a la normativa canadiense (CEQG 2007), que establece un límite de 64 mg/kg. Según este estándar, los valores de la mayoría de las muestras (excepto MS4 y MS5) superan el límite permitido. La normativa de la Unión Europea es más flexible, con un rango de 30-200 mg/kg. La muestra control MS1 tuvo el valor más alto de cromo con 105.79 mg/kg, a pesar de estar ubicada lejos de la influencia directa del botadero. Al igual que con el arsénico, esto sugiere que la alta concentración de cromo podría ser de origen natural debido a la composición de las rocas calizas del área.



**Figura 10.** Contenido de Cromo en los suelos adyacentes al botadero municipal de la ciudad de Celendín.



**Plomo (Pb):** El valor más alto de plomo se encontró en la muestra de control MS1, con 17.96 mg/kg. Las muestras con mayor influencia del botadero (MS2 y MS3) alcanzaron 13.98 mg/kg. El promedio de las muestras influenciadas es de 7.2 mg/kg. El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) peruano para suelos agrícolas (D.S. N° 011-2017-MINAM) establece un límite de 70 mg/kg.ninguna de las muestras supera este límite, lo que, según la normativa nacional, clasifica los suelos como aptos para uso agrícola en lo que respecta al plomo. Según estudios de Chaney (1983) y Shen y Liu (1998), el contenido normal de plomo en suelos no contaminados es de 5 mg/kg, basándose en este estándar, la mayoría de las muestras estarían contaminadas por plomo, con la excepción de la MS4 (0.05 mg/kg) y la MS5 (1.99 mg/kg). Aunque los suelos cumplen con la normativa peruana para el plomo, los valores sugieren una posible contaminación al compararlos con estándares internacionales más estrictos.

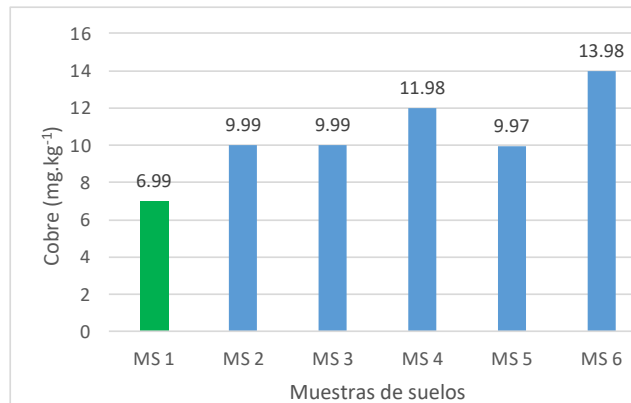


**Figura 11.** Contenido de Plomo en los suelos adyacentes al botadero municipal de la ciudad de Celendín.

**Cobre (Cu):** la muestra MS6, con 13.98 mg/kg, presenta la mayor concentración; el valor más bajo se encontró en la muestra de control MS1, con 6.99 mg/kg. El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) peruano para suelos no establece un límite para el cobre en suelos agrícolas. La norma canadiense (CEQG 2007) tiene un estándar de 63 mg/kg. La Unión Europea (UE) tiene un rango de 50-140 mg/kg, con valores específicos por país (ej. Francia e Italia con 100 mg/kg, y España con 40 mg/kg). Los valores de cobre encontrados en todas las muestras no superan los estándares internacionales. Según estudios de Chaney (1983) y Kabata-Pendias y Pendias (2000), el contenido normal de cobre en suelos no contaminados es de 20 mg/kg. Basado en este valor, los suelos

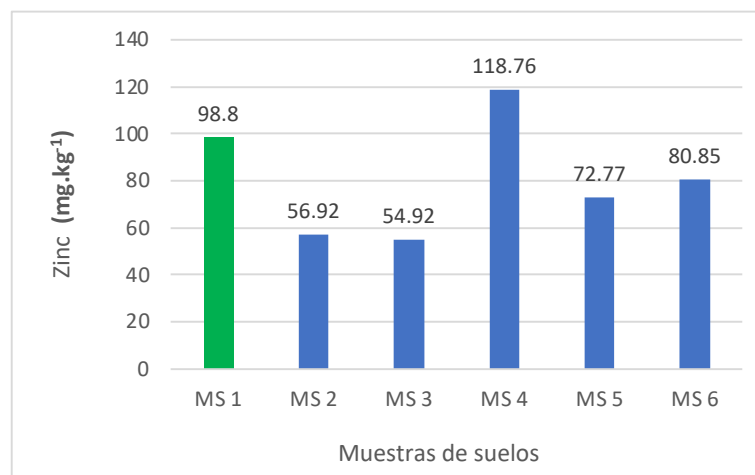


evaluados no se consideran contaminados por cobre. A pesar de esto, se advierte que las concentraciones podrían aumentar con el tiempo debido a los aportes del botadero.



**Figura 12.** Contenido de Cobre en los suelos adyacentes al botadero municipal de la ciudad de Celendín.

**Zinc (Zn):** la muestra MS4 con 118.76 mg/kg, presenta el valor máximo de zinc. El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) peruano no establece un límite para el zinc en suelos agrícolas, la norma canadiense (CEQG 2007) establece un estándar de 200 mg/kg. La Unión Europea tiene un rango de 150-300 mg/kg, mientras que España tiene un rango de 100-150 mg/kg. Los valores de zinc encontrados en los suelos no superan los estándares máximos de las normativas internacionales. Sin embargo, el valor de la muestra MS4 (118.76 mg/kg) excede el límite inferior del rango español, lo que sugiere una posible preocupación en esa zona.

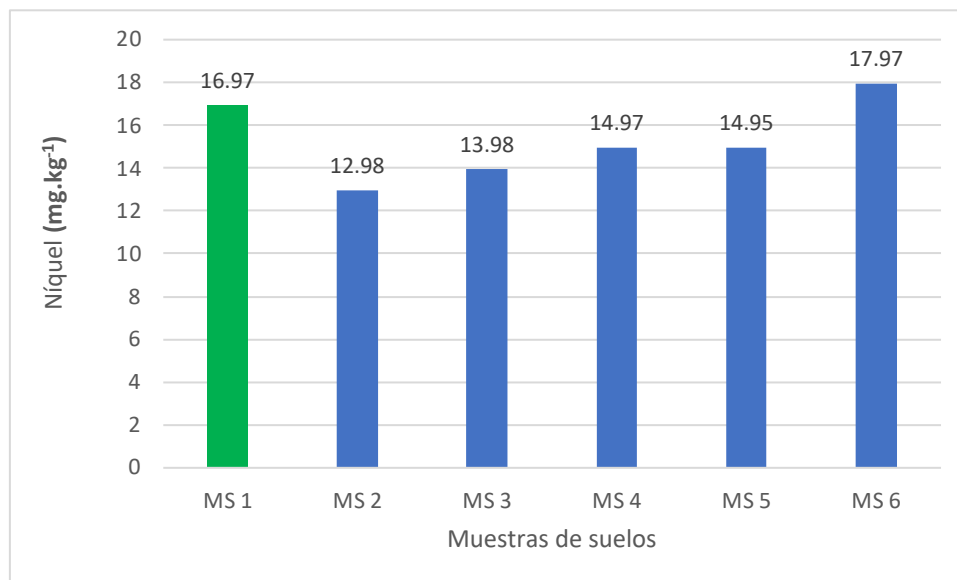


**Figura 13.** Contenido de Zinc en los suelos adyacentes al botadero municipal de la ciudad de Celendín.

**Níquel (Zn):** el valor máximo de níquel se registró en la muestra MS6 con 17.97 mg/kg. El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) peruano no establece un límite para el



níquel en suelos agrícolas. Canadá, Alemania y Japón tienen un límite de 100 mg/kg. La Unión Europea (UE) tiene un límite de 50 mg/kg o un rango de 15-75 mg/kg dependiendo del estado miembro. Los valores de níquel encontrados en los suelos no superan los estándares internacionales. Sin embargo, a pesar de las bajas concentraciones, el níquel es un metal pesado bioacumulable y no biodegradable, lo que representa un riesgo potencial para la salud a largo plazo.



**Figura 14.** Contenido de Níquel en los suelos adyacentes al botadero municipal de la ciudad de Celendín.

### Conclusiones

Los suelos adyacentes al botadero municipal de Celendín están severamente contaminados con arsénico y cromo en concentraciones que exceden los estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas. Estos hallazgos confirman la hipótesis de la investigación.

La disposición inadecuada de residuos sólidos en el botadero es la fuente principal de esta contaminación, y los lixiviados son el vehículo de transporte de los metales pesados y el arsénico. La alteración de los parámetros edáficos, como el pH alcalino, la alta conductividad eléctrica y el incremento de la materia orgánica, son indicadores claros de esta influencia.

Existe un riesgo significativo de contaminación de los cultivos agrícolas de la zona, lo que podría tener implicaciones directas en la salud de la población local.



## Referencias

- Alvis Chuquizuta, A. y Mondragón, E. (2022). Transporte de contaminantes debido a la presencia de un botadero de residuos sólidos en distintos tipos de suelos. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Luya, Amazonas, Perú  
<https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/2767/Alvis%20Chuquizuta%20Angel%20Francisco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cayetano Miranda, W. (2023). Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario sobre la salud de los pobladores de la comunidad de Itapalluni - Puno, 2023. (Tesis de grado). Universidad Peruana del Sur.
- Contreras, E., De la Cruz (2023). Concentración de metales pesados plomo y arsénico en el botadero de Mollebamba, Huancavelica. Universidad Nacional de Huancavelica. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2664-09022023000100064](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2664-09022023000100064).
- Dávila-Sámamo, A. R., Castillo-Suárez, L. A., Linares-Hernández, I., García-Colindres, M. A., & Martínez-Miranda, V. (2024). Efectos ambientales en el aire, agua y suelo de los residuos sólidos urbanos de un relleno sanitario del Estado de México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 32(91), e4520.
- Díaz Fonseca, B. (2019). Evaluación de la contaminación del suelo por lixiviados del botadero Municipal del Distrito de San Pablo - 2018. Universidad Privada César Vallejo. Tarapoto, Perú.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31560>.
- Mejía, J., & Chire, R. (2023). Evaluación de riesgos ambientales de los lixiviados generados en el botadero controlado de “Quebrada Honda”, Yura-Arequipa. Repositorio Institucional Continental.
- MINAM (2017). Estándares de calidad ambiental para suelo. DS. 011 – 2017 – MINAM. Perú.
- Navarro Quispe, Y. (2023). Evaluación de la contaminación del suelo por lixiviados generados en el botadero del distrito de Ilave - 2023. (Tesis de pregrado). Universidad Peruana del Sur.



- Quintero Ramírez, A. Valencia González, Y. Lara Valencia. L. (2017). Efecto de los lixiviados de residuos sólidos en un suelo tropical. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532017000400283&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532017000400283&script=sci_arttext)
- Saavedra, K. A. (2020). Contaminación del suelo por lixiviados generados en el botadero de Cuñumbuque, San Martín. (Tesis de grado). Universidad César Vallejo.