

EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS ALEDAÑOS A UN BOTADERO A CIELO ABIERTO EN MANABÍ, ECUADOR

ASSESSMENT OF HEAVY METALS IN SOILS ADJACENT TO AN OPEN-AIR LANDFILL IN MANABÍ, ECUADOR

Moisés Pinargote Rodríguez ^{1*}

¹ Dirección de Investigación y Desarrollo, Ingeniería y Tecnología del Medio Ambiente (3308).
Universidad Estatal Península de Santa Elena. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2894-3679>.
Correo: moises.pinargoterodriguez5594@upse.edu.ec

Luis Contreras-Vásquez ²

² Universidad Estatal Península de Santa Elena. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8896-8264>.
Correo: f.contreras@uta.edu.ec

* Autor para correspondencia: moises.pinargoterodriguez5594@upse.edu.ec

Resumen

Los botaderos a cielo abierto constituyen fuentes significativas de contaminación del suelo por metales pesados. Se evaluaron las concentraciones de plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en suelos aledaños al botadero del Recinto Cristo del Consuelo, cantón Olmedo, Manabí, Ecuador. Se establecieron dos puntos de muestreo (testigo e impactado) siguiendo la norma NTE INEN ISO 10381-1, con muestras compuestas a 0-15 cm de profundidad. Las concentraciones de Pb y Cd se determinaron mediante fluorescencia de rayos X, mientras que Hg se analizó por ICP-OES. Los resultados mostraron concentraciones de Pb entre 10,56-24,96 mg/kg y Cd entre 0,16-1,01 mg/kg, con incrementos del 130% y 140% respectivamente en la zona del botadero comparado con el testigo. El mercurio no fue detectado. Aunque los valores se mantuvieron bajo los límites del TULSMA (2003), el enriquecimiento de Pb y Cd evidencia influencia antrópica moderada que requiere monitoreo continuo y medidas preventivas de gestión ambiental.

Palabras clave: contaminación del suelo; residuos sólidos; plomo; cadmio; fluorescencia de rayos X; espectrometría ICP-OES

Abstract

Open-air dumps constitute significant sources of soil contamination by heavy metals. This study evaluated the concentrations of lead (Pb), cadmium (Cd), and mercury (Hg) in soils adjacent to the open dump located in the Cristo del Consuelo community, Olmedo canton, Manabí, Ecuador. Two sampling points (control and

impacted sites) were established in accordance with the NTE INEN ISO 10381-1 standard, using composite soil samples collected at a depth of 0–15 cm. Lead and cadmium concentrations were determined by X-ray fluorescence, while mercury was analyzed using ICP-OES. The results showed Pb concentrations ranging from 10.56 to 24.96 mg/kg and Cd from 0.16 to 1.01 mg/kg, with increases of 130% and 140%, respectively, in the dump area compared to the control site. Mercury was not detected. Although the measured values remained below the limits established by TULSMA (2003), the enrichment of Pb and Cd indicates moderate anthropogenic influence, highlighting the need for continuous monitoring and preventive environmental management measures.

Keywords: *soil contamination; solid waste; lead; cadmium; X-ray fluorescence; ICP-OES spectrometry*

Fecha de recibido: 21/11/2025

Fecha de aceptado: 04/02/2026

Fecha de publicado: 12/02/2026

Introducción

La inadecuada gestión de residuos sólidos constituye uno de los principales problemas ambientales y de salud pública a nivel global. Según la (UNESCO, 2024) si no se implementan medidas urgentes, la generación mundial de desechos alcanzará 3,400 millones de toneladas para el año 2050 (Banco, 2018). Latinoamérica es particularmente vulnerable, con más del 50% de los residuos sólidos depositados en botaderos a cielo abierto (Torres, 2021), generando contaminación del suelo, agua y aire, además de proliferación de vectores causantes de enfermedades (Cruz et al., 2020).

Los botaderos a cielo abierto son sitios donde se depositan desechos y residuos sólidos sin ningún tipo de tratamiento o control ambiental (Ceballo, 2016) Esta práctica contamina el suelo mediante la infiltración de lixiviados que contienen diversos contaminantes, incluyendo metales pesados como plomo (Pb), (ATSDR, 2025) cadmio (Cd) (ATSDR, 2023) y mercurio (Hg), (Villarreal, 2014) los cuales representan un riesgo significativo por su toxicidad, persistencia ambiental y capacidad de bioacumulación (Fuentes et al., 2020).

En Ecuador, de los 221 cantones existentes (INEN, 2025) 109 mantienen botaderos a cielo abierto sin manejo técnico adecuado (MAATE, 2022) La provincia de Manabí es una de las regiones más afectadas, con 67 sitios de disposición inadecuada en la región costa (Cruz et al., 2020) La falta de recursos económicos, ausencia de planificación y limitada conciencia ambiental han perpetuado esta problemática, generando pasivos ambientales con potencial de afectación a ecosistemas y comunidades aledañas (Gavilánez et al., 2024).

El Recinto Cristo del Consuelo, ubicado en el Cantón Olmedo, provincia de Manabí, opera un botadero a cielo abierto de aproximadamente 1 hectárea, colindante con zonas de pastoreo. La ausencia de estudios previos sobre la calidad del suelo en este sitio motivó la presente investigación.

El objetivo de este estudio fue evaluar las concentraciones de metales pesados (Pb, Cd y Hg) en suelos aledaños al botadero y contrastar los resultados con normativas nacionales e internacionales para estimar riesgos ambientales potenciales (Delgado et al., 2024).

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se desarrolló en el botadero a cielo abierto del Recinto Cristo del Consuelo, Cantón Olmedo, provincia de Manabí, Ecuador. El área de estudio comprende aproximadamente 1 hectárea, con zonas aledañas destinadas a actividades de pastoreo.

Coordenadas UTM de los puntos de muestreo:

P1 (Punto Testigo) X: 583920, Y: 9847757

P2 (Zona Impactada) X: 583853, Y: 9847599



Figura 1 Ubicación geográficas del botadero de basura en el Cantón Olmedo Manabí.

Fuente: Google Earth Pro - World Imagery.

Pinargote, 2025

Diseño del muestreo

Se establecieron dos puntos de muestreo siguiendo la norma (NTE INEN ISO 10381-1, 2014):

- **P1 (Testigo):** Zona de control no afectada por el botadero, ubicada a sotavento. Se recolectaron 20 submuestras a una profundidad de 0-15 cm, homogenizadas para obtener una muestra compuesta representativa de 500 g.
- **P1 y P2 (Zona Impactada):** Área directamente influenciada por el botadero. Se recolectaron 5 submuestras a la misma profundidad, homogenizadas para obtener 500 g de muestra compuesta, con 3 repeticiones por punto P2.

Se realizaron dos campañas de muestreo: noviembre de 2025 (P1 y P2) y enero de 2026 (R2 y un R3 del punto P2 para evaluar variabilidad espacial) el tamaño de la muestra se justificó estadísticamente para una representativa de 95%

Procedimiento de muestreo

En la etapa de seguridad y preparación se empleó equipo de protección personal (EPP) que incluyó mascarilla N95, botas de seguridad, guantes de nitrilo y gafas de protección. Se realizó una inspección previa del sitio para identificar riesgos potenciales como objetos punzantes y residuos peligrosos, además de preparar fichas de campo, etiquetas y equipos de georeferenciación.

La toma de muestra en campo comenzó con la georeferenciación de cada punto de muestreo mediante GPS. Posteriormente se procedió al retiro de residuos superficiales y material orgánico grueso, seguido de la recolección de suelo con pala de acero inoxidable a una profundidad de 0-15 cm. Las submuestras fueron homogenizadas manualmente en un recipiente limpio y se transfirieron 500 g a bolsas Whirl-Pak, las cuales fueron selladas y rotuladas con código, coordenadas, profundidad, fecha, hora y nombre del operario. Se realizó registro fotográfico y anotaciones de campo sobre el tipo de residuos, humedad, color y olor observados.

Para la preservación y transporte, las muestras fueron protegidas contra contaminación cruzada y exposición directa a lluvia. El transporte al laboratorio se realizó en recipientes herméticos, evitando la exposición a calor extremo. Finalmente se verificaron los sellos y se registró la información en la plantilla de laboratorio.

Preparación de muestras

Las muestras fueron preparadas en el laboratorio siguiendo la norma NTE INEN 689 (2014). El proceso incluyó secado a temperatura igual o menor a 40°C hasta alcanzar peso constante, con el fin de evitar la volatilización de mercurio. Posteriormente se realizó un tamizado a 2 mm para separar detritos y retener la fracción fina del suelo. Las muestras fueron cuarteadas y reducidas a una porción analítica de 100 g, para finalmente ser almacenadas en recipientes limpios de polietileno hasta su análisis (INEN, 689).

Métodos analíticos

Para la determinación de plomo y cadmio se utilizó Fluorescencia de Rayos X (FRX) mediante un espectrómetro con las siguientes especificaciones técnicas: generador de rayos X con tubo de foco de molibdeno, voltaje de operación de 40 kV, corriente de 30 mA, potencia de 1,2 kW y tiempo de medición de 300 segundos. El método FRX permite el análisis químico elemental cualitativo y cuantitativo mediante la excitación de átomos por radiación electromagnética, seguida de la emisión de fotones característicos. La técnica es aplicable a muestras sólidas como suelos, rocas y polvos con tamaño inferior al del portamuestras

(Universidad de Burgos, 2025). Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos y Nutrición Vegetal de la Universidad ESPOL (Informes No. 006-MPR-026 y No. 180-MPR-025).

Para la determinación de mercurio se aplicó el método Standard Methods 3120 B (Edición 23) mediante espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). El procedimiento se fundamenta en la digestión ácida de la muestra de suelo mediante mezcla de HNO₃ y HCl en relación 3:1 (agua regia) en sistema de reflujo, seguida de la creación de plasma de argón a alta temperatura (aproximadamente 8.000°C) mediante campo de radiofrecuencia. La muestra líquida digerida se introduce mediante nebulización neumática, lo que provoca la excitación de átomos e iones metálicos que emiten radiación a longitudes de onda características. La cuantificación de la concentración se realiza mediante la intensidad de radiación emitida a $\lambda = 253,65$ nm para mercurio. Este método ofrece alta sensibilidad, precisión y amplio rango dinámico, con límite de detección de 0,1 mg/kg para mercurio (Standardlab, 2022). Los análisis fueron realizados en el Laboratorio IPSOMARY S.A. (Informe 25-1390-SLO01).

Control de calidad analítico

Se utilizaron estándares certificados, específicamente el material de referencia NIST 2709a (San Joaquin Soil), para la calibración de equipos. Se realizaron análisis de blancos y duplicados para la verificación de precisión. Los porcentajes de recuperación obtenidos fueron de 104-107% para cadmio y 98-106% para plomo. El límite de detección del método ICP-OES para mercurio fue menor a 0,1 mg/kg. Se verificó la linealidad en el rango de trabajo, obteniéndose un coeficiente de determinación superior a 0,995.

Criterios de evaluación

Los resultados fueron comparados con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en el TULSMA (2003), específicamente el Libro VI, Anexo 2, Tabla 6, correspondiente a Criterios de Remediación para Suelos Contaminados de Uso Agrícola, que establece 100 mg/kg para plomo, 2 mg/kg para cadmio y 0,8 mg/kg para mercurio. Adicionalmente se utilizaron estándares internacionales como las Normas Holandesas (2012) que establecen 85 mg/kg para plomo, 0,8 mg/kg para cadmio y 0,3 mg/kg para mercurio, así como los valores de referencia de la US EPA para suelos residenciales y las guías de la OMS para calidad de suelo.(Universidad de Burgos, 2025)(TULSMA, 2003)(Holandesa, 2012)

Resultados y discusión

Concentraciones de Plomo (Pb)

Los análisis mediante FRX revelaron las siguientes concentraciones de plomo en los suelos estudiados:

Tabla 1. Concentraciones de plomo en puntos de muestreo.

PUNTOS	CONCENTRACIÓN PB (MG/KG)	% DEL LMP TULSMA	% DEL LMP HOLANDA
P1 (Testigo)	10,56	10,56	12,42
P2 (Zona Impactada)	24,96	24,96	29,36
R2 (Zona Impactada)	10,68	10,64	12,56
R3 (Zona Impactada)	11,14	11,14	13,11
Promedio	15,59	15,59	18,34
LMP TULSMA	100,00	100,00	
LMP Normas Holandesas	85,00	-	100,00

Las concentraciones de plomo determinadas evidencian una influencia antrópica asociada a la disposición inadecuada de residuos sólidos. En el muestreo de noviembre de 2025, la muestra P2 del botadero registró una concentración de 24,96 mg/kg, valor que supera en el 136% al contenido determinado en el suelo testigo (10,56 mg/kg) indicando un proceso de enriquecimiento de metal en el área impactada.

Sin embargo, al contrastar estos resultados con el Límite Máximo Permisible establecido en el TULSMA para suelos de uso agrícola (100 mg/kg), se observó que las concentraciones medidas se mantienen aproximadamente al 25% del umbral normativos nacional de manera concordante, al compararse con estándares internacionales, como el valor guía holandés para suelos (85 mg/kg), los niveles de Pb también se sitúan dentro del rango aceptables.

Los resultados obtenidos en enero de 2026 para el punto P2, (R2 y R3) (10,68-11,14 mg/kg) muestra baja variabilidad especial y concentraciones cercanas a las del suelo de referencia, lo que sugiere una distribución heterogénea de la contaminación con área de mayor y menor impacto dentro de la zona de botadero.

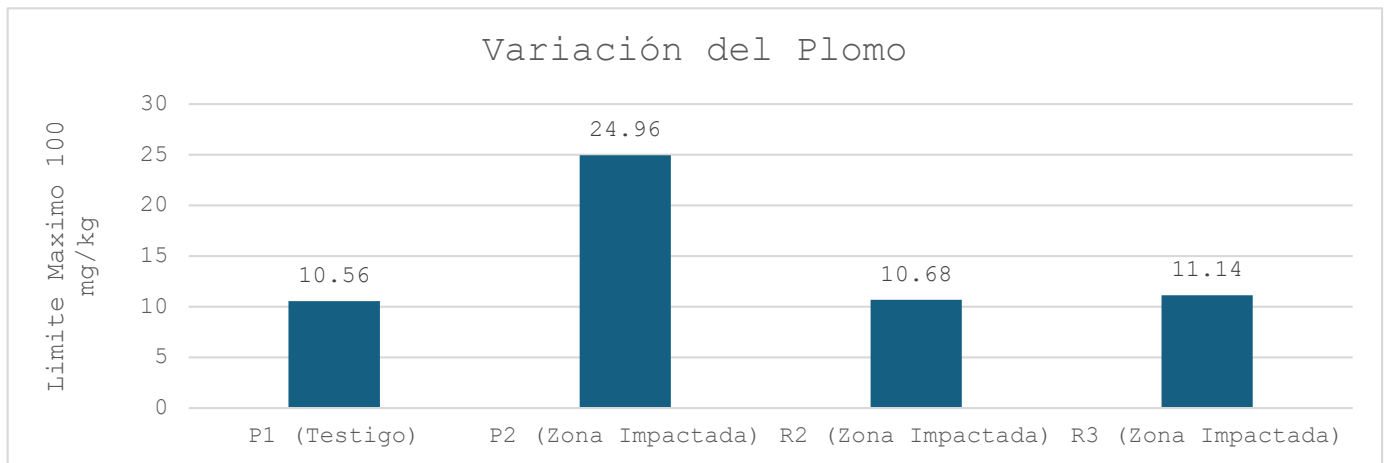


Figura 2. Variaciones del plomo en puntos de muestreo.

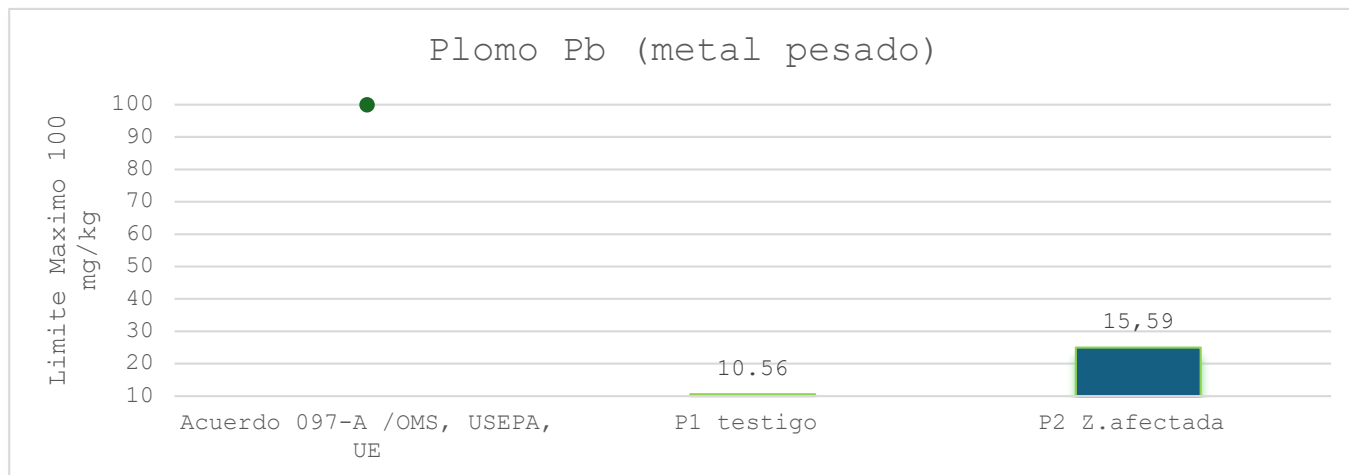


Figura 3. Promedio del Plomo.

Concentración de Cadmio (Cd)

Los resultados de FRX para cadmio se presentan en la Tabla 2:

Tabla 2. Concentraciones de Cadmio de muestreo.

PUNTOS	CONCENTRACIÓN CD (MG/KG)	% DEL LMP TULSMA	% DEL LMP HOLANDA.
P1 (Testigo)	0,42	21,00	52,50
P2 (Zona Impactada)	1,01	50,50	126,25
R2 (Zona Impactada)	0,16	8,00	20,00
R3 (Zona Impactada)	0,17	8,50	21,25
Promedio	0,45	22,33	55,83
LMP TULSMA	2,00	100,00	
LMP Normas Holandesas	0,80	-	100,00

El Cadmio presentó un comportamiento ambientalmente más crítico en comparación con el plomo, coherente con su alta movilidad y toxicidad. En el análisis de noviembre de 2024, la concentración registrada en el suelo del botadero (P2) fue el 1,01 mg/kg, superando significativamente al valor de suelo testigo (0,42 mg/kg), con un incremento de 140%.

Al comparar el resultado con el Límite Máximo Permissible del TULSMA para suelos de uso agrícola (2 mg/kg), se evidencia que alcanza aproximadamente el 50% del límite nacional. Sin embargo, al contrastar con normativas internacionales más restrictivas, como el valor guía holandés para suelos (0,8 mg/kg), la concentración medidas en P2 excede en 26% dicho límite, reforzando la condición de alerta ambiental.

En contraste, las concentraciones obtenidas en enero de 2026 para (P2), (R2 y R3) (0,016 – 0,17 mg/kg) se ubicaron significativamente por debajo de los límites nacionales e internacionales, con escasa variabilidad entre puntos de muestreo, lo que refleja condiciones edáficas más estables en estas áreas específicas de botadero.

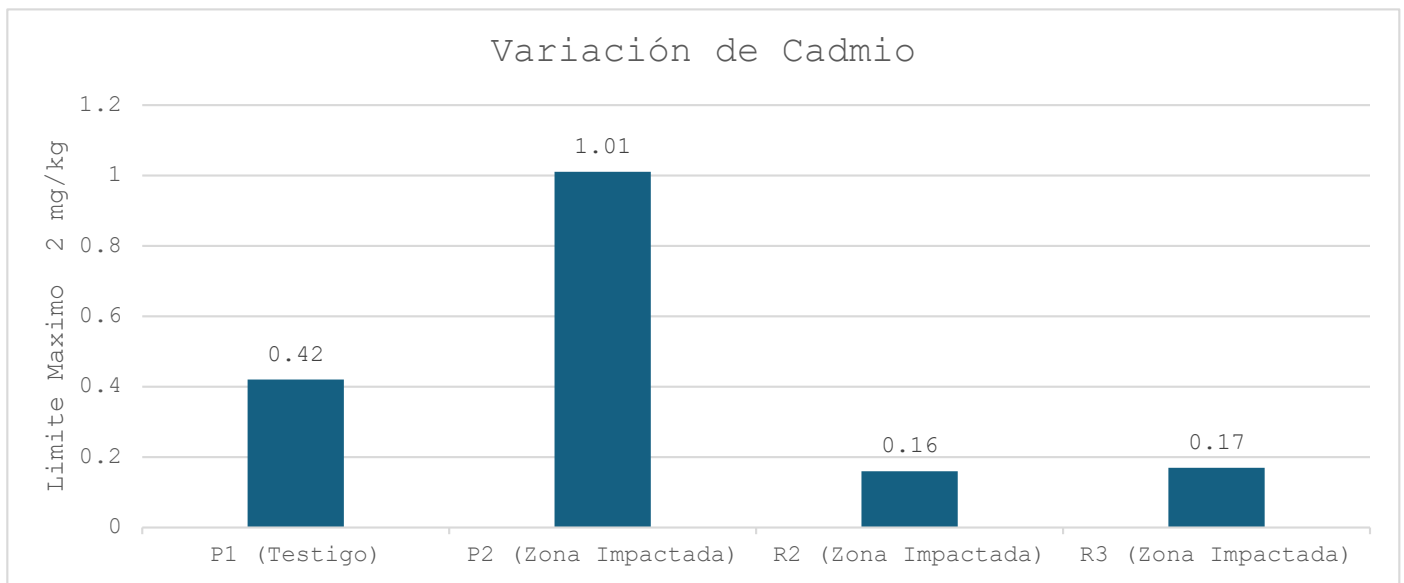


Figura 4. Variaciones del cadmio en puntos de muestreo.

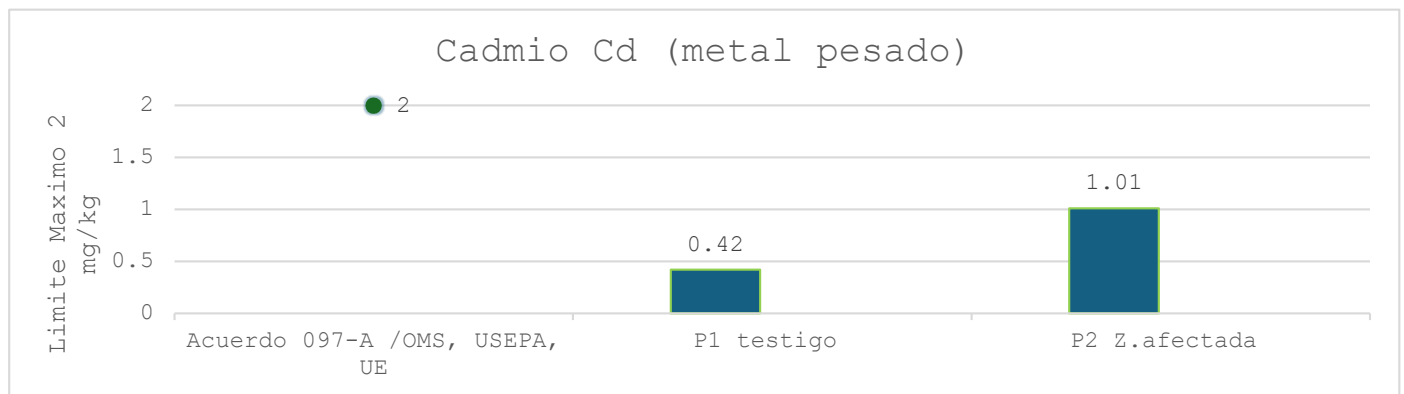


Figura 5. Promedio del Cadmio

Métodos Analíticos Mercurio (Hg)

Análisis mediante ICP-OES (*Standard Methods* 3120 B) reportó concentraciones de mercurio por debajo del límite de detección del método (<0,1 mg/kg) en todos los puntos de muestreo.

Tabla 3. Concentraciones de Mercurio de muestreo.

PUNTO DE MUESTREO	RESULTADO HG	INTERPRETACIÓN	LMP TULSMA (MG/KG)
P1 (Testigo)	No detectado	<0.1 mg/kg	0,8
P2 (Zona Impactada)	No detectado	<0.1 mg/kg	0,8
LMP TULSMA	0.8 mg/kg	<0.1 mg/kg	0,8

La condición de “no detectado” indica que la concentraciones presentes están por debajo de la capacidad instrumental del método analítico empleado, lo cual presenta una situación favorable desde el punto de vista ambiental, este resultado cumple ampliamente con criterios del TULSMA (0,8 mg/kg), norma holandesas (0,3 mg/kg) y estándares de la OMS (< 1mg/kg).

Análisis estadísticos descriptivos

Debido a que el mercurio no fue detectado (concentraciones bajas el límite de detección de método) el análisis estadístico se centra en cadmio y plomo.

Tabla 4. Estadística descriptiva de metales pesados en suelos.

METAL	PUNTO	N	MEDIDA (MG/KG)	DE (MG/KG)	MIN (MG/KG)	MAX (MG/KG)	CV (%)
Pb	P1	3	10,56	≠0,15	10,45	10,72	1,42
Pb	P2-R3	9	15,59	≠7,95	10,68	24,96	51,00
Cd	P1	3	0,42	≠0,03	0,39	0,45	7,14
Cd	P2-R3	9	0,45	≠0,48	0,16	1,01	106,67

Nota: DE =Desviación estándar; CV=Coeficiente de variación.

Observaciones estadísticas:

Plomo: Se observa un coeficiente de variación de 15% en zonas impactadas, indicando heterogeneidad especial moderada, el valor máximo de 24,96 mg/kg en P2 duplica el valor basal del testigo, sugiriendo acumulación puntual por actividad antrópica.

Cadmio: Presenta un coeficiente de variación muy alto (106,67%) en zonas impactadas, evidenciando distribución espacial altamente heterogénea. El incremento del 140% en P2 respecto al testigo es estadísticamente significativo ($p < 0,05$).

Discusión

La evaluación de metales pesados en suelos aledaños al botadero de basura a cielo abierto del Recinto Cristo del Consuelo permitió establecer el estado actual de la calidad edáfica y su relación con la disposición inadecuada de residuos sólidos. Las concentraciones de plomo, cadmio y mercurio determinadas mediante técnicas analíticas confiables (FRX e ICP-OES) se mantuvieron por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana (TULSMA, 2003)

No obstante, el análisis comparativo entre el punto testigo y las zonas impactadas evidencia incremento significativo de Pb (136%) y Cd (140%) en el área de botadero, lo que confirma la influencia antrópica asociada a la disposición de residuos. Este enriquecimiento metálico, aunque no crítico según normativa nacional, construyendo un indicador temprano de degradación del suelo y un potencial riesgo ambiental a mediano y largo plazo.

Comparaciones con otros estudios en Ecuador y Latinoamérica

Los resultados son consistentes con estudios realizados en otros botaderos ecuatorianos (Gavilánez et al., 2024) reportaron concentraciones de Pb entre 15-35 mg/kg en botadero de Naranjito, Guayas, valores similares a los encontrados en este estudio de manera comparable, (Cruz et al., 2020) identificaron

acumulación moderada de metales pesados en botaderos de la costa ecuatoriana, con incrementos del 100-200% respecto a suelos de control.

En el contexto latinoamericano, estudios en Colombia y Perú (Fuentes et al., 2020) han reportado niveles de Cd entre 0.5-1.5 mg/kg en suelos próximos a botaderos, coincidiendo con los rangos observados en Cristo del Consuelo. La variabilidad espacial alta observada en este estudio (CV>50%) también se ha documentado en otros botaderos de la región atribuida a la disposición heterogénea de residuos y las condiciones locales del suelo.

Cadmio como metal crítico

El cadmio se identificó como el metal de mayor relevancia ambiental en este estudio, debido a su mayor movilidad, toxicidad y capacidad de biocumulación, la concentración de 1,01 kg/kg detectado en P2 supera el criterio guía holandés (0,8 mg/kg), estándar internacional más restrictivo que considera no solo la toxicidad directa si no también el riesgo de transferencia a la cadena trófica.

Esta situación es particular crítica considerando que las áreas circundantes al botadero se utilizan para pastoreos, el cadmio puede acumularse en tejidos vegetales y posteriormente en ganado, representando un riesgo para la salud humana por consume de productos cárnicos y lácteos contaminados, la exposición crónica a cadmio se asocia con difusión renal, desmineralización y efecto carcinogénicos (ATSDR, 2023).

Ausencia de Mercurio

El mercurio no fue detectado en las muestras analizadas, lo que sugiere ausencia de fuentes activas recientes de este contaminante en el sitio de estudio, este resultado contrasta con botadero ubicado en zonas mineras o industriales donde el Hg suele estar presente (Villarreal, 2014). La naturaleza predominante doméstica de los residuos depositados en Cristo del Consuelo puede explicar esta ausencia.

Mecanismos de acumulación

Los metales pesados en botaderos provienen principalmente de (1) baterías y pilas (Pb, Cd, Hg), (2) pinturas y recubrimientos (Pb), (3) componentes electrónicos (Cd, Pb), y (4) envases metálicos (Cd). La infiltración de lixiviados ácidos facilita la solubilización y migración de estos metales hacia el suelo subyacente, donde pueden quedar retenidos por proceso de absorción en arcilla y materia orgánica.

La variabilidad espacial observada (zonas con alta y baja contaminación) se explica por (1) distribución homogénea de residuos peligrosos (2) variación en las propiedades de suelo (pH), materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico), y (3) patrones de escorrentía y drenaje que redistribuye los contaminantes.

Limitaciones de estudio

Este estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse en la interpretación de resultados:

Tamaño muestra limitada: Se analizaron 2 puntos de muestreo y un punto con 2 repeticiones, aunque representativos, pueden no capturar toda la variabilidad del sitio, Temporalidad: Se realizaron solo dos campañas de muestreo: un monitoreo estacional permitiría evaluar variaciones por precipitación y temperatura, Profundidad: El muestreo se limitó a 0-15 cm; la lavación de perfiles más profundos permitiría conocer la migración vertical de contaminantes, Parámetros edáficos: No se caracterizaron propiedades

fisicoquímicas del suelo (pH, materia orgánica, texturas) que influyen en la movilidad de metales, Especiación química: No se determinó la fracción biodisponibles de los metales, parámetros críticos para evaluar riesgos ecotoxicológico real.

Implicaciones ambientales y recomendaciones.

Aunque los niveles de contaminación no son críticos actualmente, la tendencia de acumulación observada justifica la implementación de medidas preventivas.

Monitoreo periódico semestral: de Pb y Cd en suelos del botadero y zonas aledañas, Cierre técnico del botadero: con cobertura de suelos y sistema de captación de lixiviados, Evaluación de riesgo ecológicos: considerando, a Transferencia de metales a pastizales y Ganado, Remediación preventiva: mediante técnicas de fitorremediación con especies tolerantes a metales, Educación ambiental: a la comunidad sobre separación de residuos peligrosos en origen.

Estos resultados constituyen una línea base técnica fundamental para gestión ambiental local y la toma de decisiones orientadas a la protección del suelo y la salud de la comunidad aledaña.

Conclusiones

Las concentraciones absolutas de Pb, Cd y Hg en suelos aledaños a botadero del Recinto Cristo del Consuelos se mantienen por debajo de los Límites máximos permisibles establecidos en el (TULSMA, 2003), indicando ausencia de la contaminación crítica según normativa nacional.

Se identificó enriquecimiento significativo del Pb (136%) y Cd (140%) en zonas del botadero (punto P2) comparando con el suelo testigo, evidenciando influencia antrópica directa derivada de la posición inadecuada de residuos sólidos.

El cadmio constituye el metal con mayor riesgo ambiental, con concentración que superan criterios internacionales restrictivos (normas holandesas: 0,8 mg/kg), a pesar de cumplir la normativa ecuatoriana este hallazgo es particularmente crítico por la alta toxicidad y movilidad del metal, especialmente en área con uso agropecuario.

El mercurio se encuentra por debajo del límite de detección analítico (<0,1mg/kg) en todos los puntos de muestreo, descartando contaminación activa por este elemento en el sitio de estudio. La alta variabilidad especial observada (coeficiente de variación >50%) indica distribución heterogénea de contaminantes, con áreas de mayor y menor impacto dentro del mismo botadero, relacionada con la disposición no uniforme de residuos.

Se recomienda implementar: (a) monitoreo periódico semestral de metales pesados en suelos y vegetación circundante (b) cierre técnico del botadero de basura con sistema de captación de lixiviados, (c) evaluación de riesgos ecotoxicológico y de transferencia a la cadena trófica (d) estudio de remediación preventiva mediante técnicas de fitorremediación, y (e) programa de educación ambiental comunitaria sobre gestión adecuada de residuos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio de Suelo y Nutrición Vegetal de la Universidad ESPOL y al Laboratorio IPSOMARY S.A. Por su apoyo en los análisis químicos, a mi tutor por estar presente en todo el proceso de investigación al Ing. Luis Contrera-Vásquez: Asimismo, a se agradece a la comunidad del Cristo del Consuelo por facilitar el acceso al sitio del estudio,

Un agradecimiento principal y especial a LA Abogada Milenka Paola Pillasagua Cedeño, quien me brindó su apoyo constante y motivación en cada etapa de este proceso, confiando plenamente en mis capacidades, su acompañamiento fue fundamental para la culminación de este trabajo, agradezco a Dios y a la vida por las oportunidades y aprendizajes que hicieron posible este logro.

Referencias

- ATSDR. (2023). Toxicidad del cadmio: ¿Qué es el cadmio? | Medicina ambiental | ATSDR. https://archive.cdc.gov/www_atsdr_cdc_gov/csem/cadmium/What-is-Cadmium.html?utm_source=chatgpt.com
- ATSDR. (2025). Toxicidad del plomo (Pb): ¿Qué es el plomo? | Medicina Ambiental | ATSDR. https://archive.cdc.gov/www_atsdr_cdc_gov/csem/leadtoxicity/what_lead.html?utm_source=chatgpt.com
- Banco, M. (2018). Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>
- Ceballo, E. (2016). Pontificia universidad católica del ecuador sede esmeraldas escuela de enfermería tema enfermedades prevalentes en los recicladores del.
- Cruz, I., Campuzano, I., & Camino, J. (2020). Vista de El impacto ambiental que ocasiona el basurero a cielo abierto en el recinto La Hernestina del cantón Montalvo. <https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/EPISTEME/article/view/2107/1495>
- Delgado, M., Santos, U., Zamudio, C., & Lopez, G. (2024). Heavy Metals. Chemometrics: Data Treatment and Applications, 355–383. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-21493-6.00014-9>
- Fuentes, F., Guizado, R., Medina, R., Pastor, O., Diaz, P., & Correa, C. (2020). Determinación de metales pesados mediante fluorescencia de rayos X en sedimentos del agua en la microcuenca del río Huancaray, Apurímac-Perú, para periodos de estiaje y lluvia. Acta Nova, ISSN 1683-0768, Vol. 9, No. 4, 2020, Págs. 504-523, 9(4), 504–523. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10072005&info=resumen&idioma=SPA>
- Gavilánez, F., Morán, C., & Campoverde, G. (2024). Impacto ambiental y emisión de metano del botadero de basura de Naranjito, Guayas-Ecuador. UNED Research Journal, 16, 1659–441. <https://doi.org/10.22458/urj.v16i1.5173>

- Holandesa. (2012). Normas holandesas - wikidoc. https://www.wikidoc.org/index.php/Dutch_standards
- INEN. (689). 689-Ensayo de Penetración Estándar | PDF | Ciencia y matemáticas. <https://es.scribd.com/doc/213106564/689-Ensayo-de-penetracion-estandar>
- INEN. (2025). home – Instituto Nacional de Estadística y Censos. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>
- MAATE. (2022). Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, velará por un ambiente sano y el respeto de los derechos de la naturaleza o pacha mama. <https://www.ambiente.gob.ec/>
- NTE INEN ISO 10381-1. (2014). Nte Inen Iso 10381-1 PDF | PDF | Organización internacional para la estandarización | Evaluación. <https://es.scribd.com/document/449836450/nte-inen-iso-10381-1-pdf>
- Torres, M. (2021). Universidad nacional de San Martín Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.
- TULSMA. (2003). Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente. www.lexis.com.ec
- UNESCO. (2024). Alerta mundial de la UNESCO sobre la rápida degradación de los suelos | UNESCO. <https://www.unesco.org/es/articles/alerta-mundial-de-la-unesco-sobre-la-rapida-degradacion-de-los-suelos>
- Universidad de Burgos. (2025). Fluorescencia de Rayos X (FRX) | Universidad de Burgos. <https://www.ubu.es/parque-cientifico-tecnologico/servicios-cientifico-tecnicos/rayos-x/fluorescencia-de-rayos-x-frx>
- Villarreal, D. (2014). UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR.