ALFA Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias.
Volumen 10, N° 30 / septiembre-diciembre / ISSN: 2664-0902 / ISSN-e: 2664-0902
https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i30.511

Artículo original

Justicia ambiental en comunidades próximas a los botaderos Nuevo Copal y Las Mercedes

Environmental justice in communities near the Nuevo Copal and Las Mercedes dumps

Max Zavala Solorzano [a]
maxjohnzavalasolorzano@gmail.com

Alpino Mendoza Garcia [b]

Angie Tatyana Fernández Escobar [c]

Abrahams Moises Cabrera Montalvo [a]

Franklin Dionisio Montalvo [d]

[a] *Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Huánuco, Perú*
[b] *Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú*
[c] *Universidad Nacional de San Martin. Moyobamba, Perú*
[d] *Universidad Peruana Los Andes. Huancayo, Perú*

Palabras clave:
Contaminación del suelo; Justicia ambiental; Lixiviados de botadero; Salud ambiental; Seguridad alimentaria

Key words:
Environmental health; Environmental justice; Dump leachate; Food security; Soil contamination

Cómo citar:
Zavala Solorzano M, Dionisio Montalvo F, Mendoza Garcia A, Fernández Escobar AT, Cabrera Montalvo, AM. Justicia ambiental en comunidades próximas a los botaderos Nuevo Copal y Las Mercedes. ALFA. Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. 2026; 10 (30). https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i30.511

Resumen

Contexto: La Justicia Ambiental se entiende como un marco crítico y ético que examina cómo se distribuyen los impactos ambientales entre diferentes grupos sociales. **Objetivo:** Evaluar de forma diferenciada por sitio, los impactos ambientales y sanitarios de los botaderos Nuevo Copal y Las Mercedes sobre comunidades vecinas del distrito de José Crespo y Castillo (Huánuco, Perú), incluidas sus repercusiones sobre suelo agrícola, agua y seguridad alimentaria. **Materiales y métodos:** Investigación aplicada, cuantitativa, descriptiva, no experimental y transversal. La revisión documental de los Planes de Recuperación de Áreas Degradadas se articuló con visitas técnicas guiadas por lista de verificación, análisis espacial mediante Sistemas de Información Geográfica (radio de 0 a 500 metros) y encuesta estructurada a jefes de hogar: 45 viviendas junto a Nuevo Copal y 114 junto a Las Mercedes (95 % de confianza; 5 % de margen de error). **Resultados:** Ninguno de los dos botaderos dispuso de infraestructura adecuada: faltaron pozos de captación de lixiviados, control de gases y cobertura suficiente de residuos. El 68 % de quienes respondieron percibió daños en su entorno; más del 70 % expresó preocupación ante los riesgos sanitarios. Declararon, además, afectación de la agropecuaria de sustento, proliferación de vectores y deterioro del aire, el agua y el suelo. **Conclusión:** La distribución desigual de las cargas ambientales quedó verificada y contradice el principio de equidad ambiental. Recuperar las áreas degradadas exige cierre técnico por etapas, monitoreo ambiental con participación comunitaria y enfoque agroecológico bajo perspectiva de salud única, orientado a proteger suelo, agua y producción de alimentos.

Abstract

Context: Environmental Justice is understood as a critical and ethical framework that examines how environmental impacts are distributed among different social groups. **Objective:** To assess by site, differentially the environmental and health impacts of the Nuevo Copal and Las Mercedes dumps on neighbouring communities in José Crespo y Castillo district (Huánuco, Peru), including repercussions on agricultural soil, water and food security. **Materials and methods:** Applied, quantitative, descriptive,

non-experimental, cross-sectional research. Documentary review of the Degraded Area Recovery Plans was articulated with checklist-guided technical visits, spatial analysis through Geographic Information Systems (0 to 500 metre radius) and a structured survey of household heads: 45 dwellings near Nuevo Copal and 114 near Las Mercedes (95 % confidence; 5 % margin of error). **Results:** Neither dump had adequate infrastructure: leachate collection wells, gas control and sufficient waste cover were missing. Sixty-eight percent of respondents perceived damage to their surroundings; more than 70 % voiced concern about health risks. They further reported effects on subsistence farming, vector proliferation and deterioration of air, water and soil. **Conclusion:** The unequal distribution of environmental burdens was verified and contradicts the principle of environmental equity. Recovering the degraded areas requires staged technical closure, community-based environmental monitoring and an agroecological approach under a One Health perspective, aimed at protecting soil, water and food production.

Introducción

A escala global, la justicia ambiental ofrece un marco crítico para examinar cómo se reparten los impactos ambientales. Los estudios fundacionales sobre instalaciones de residuos emplazadas en comunidades afroamericanas del sur estadounidense [1] inauguraron esta línea. Trabajos posteriores confirmaron el patrón: las poblaciones vulnerables cargan con una contaminación desproporcionada y residen con mayor probabilidad junto a infraestructuras de residuos [2]. Dicha exposición diferencial: sistemática en el espacio, persistente sobre territorios históricamente marginados, deteriora la salud y ahonda desigualdades sociales previas. Este encuadre permite leer la cercanía a residuos no como accidente, sino como expresión territorial de desigualdades estructurales.

El problema alcanza una magnitud considerable en países de ingresos medios y bajos: hasta 40 % de los residuos municipales carece de gestión adecuada. La quema a cielo abierto y la disposición sin control descargan contaminantes al aire, suelo y agua [3]. Cada año, el mundo genera más de 2000 millones de toneladas de residuos sólidos municipales; sin reformas estructurales, esa cifra crecerá con rapidez hacia 2050 [4]. El costo de la mala gestión: 361 000 millones de dólares estimados en 2020, podría escalar hasta 640 000 millones en 2050 de no corregirse el rumbo [5]. Tal trayectoria compromete presupuestos públicos y profundiza brechas sanitarias si la inversión preventiva no se anticipa.

En el Perú, deficiencias persistentes de la gestión de residuos sólidos otorgan a esta problemática una relevancia particular. Los reportes nacionales del Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos describen brechas de cobertura y disposición final inadecuada. También registran la multiplicación de botaderos a cielo abierto en distintas regiones [6]. De forma reiterada, la fiscalización ambiental documentó áreas degradadas por residuos cuyo deterioro alcanza la salud y la calidad de vida de vecinos colindantes [7]. La recurrencia de estos hallazgos dibuja un patrón nacional de injusticia ambiental que reclama atención urgente, y revela límites persistentes de fiscalización y de financiamiento municipal sostenido.

Los botaderos Nuevo Copal y Las Mercedes: distrito de José Crespo y Castillo, provincia de Leoncio Prado, Huánuco, ilustran con nitidez esa problemática regional. Las comunidades vecinas enfrentan exposición constante a contaminantes y riesgos sanitarios graves. En ese entorno, la agricultura familiar de sustento y la crianza de animales menores sostienen la economía doméstica y la alimentación cotidiana. El agua de quebradas y ojos de agua cercanos se emplea para riego de parcelas y abrevado de animales. Cualquier deterioro de suelo y agua repercute, por tanto, de inmediato en cultivos, crianzas y seguridad alimentaria.

El cuadro revela fallas estructurales del sistema local de gestión de residuos y un reparto profundamente desigual de sus impactos. Cuantificar tales efectos desproporcionados mediante investigación rigurosa

sustenta, por tanto, políticas públicas más equitativas. Ese propósito justifica el tratamiento del caso amazónico en una revista de ciencias agronómicas y veterinarias, pues la cadena suelo-agua-cultivo-animal concentra el riesgo.

El lixiviado explica, en términos biofísicos, gran parte del daño. Al percolar la masa de residuos, este líquido arrastra materia orgánica disuelta, sales amoniacales, metales pesados y microcontaminantes, según la antigüedad del vertedero [8]. En Bangladesh, por ejemplo, se midieron en lixiviados concentraciones de plomo, cadmio, níquel y manganeso superiores a valores guía sanitarios.

Dicho riesgo se vinculó al consumo de agua y alimentos contaminados [9]. Una vez formado, el lixiviado desarrolla plumas que migran hacia aguas subterráneas y persisten décadas incluso tras clausurar el sitio [10]. Bajo el trópico húmedo amazónico, la pluviosidad intensa acelera la infiltración y magnifica dicho riesgo, por lo cual el presente estudio otorgó prioridad al control de lixiviados.

En este marco, lo sanitario-urbano deviene agronómico y veterinario a través de la vía suelo-agua-cultivo. Metales y sales alcanzan suelos agrícolas vecinos al botadero y modifican fertilidad, biota y aptitud productiva; a escala planetaria, la contaminación edáfica ya compromete la seguridad alimentaria. Persistentes en el perfil del suelo, los metales pesados se acumulan en tejidos vegetales y penetran la cadena trófica hasta animales de crianza y personas [11]. Sin obras de contención, el botadero erosiona así el capital productivo esencial de familias rurales: tierra y agua.

La literatura documenta con amplitud los efectos sobre la salud humana. Vivir junto a vertederos se asoció, en una revisión sistemática de estudios epidemiológicos, con bajo peso al nacer, malformaciones congénitas y molestias como cefalea, fatiga y cuadros respiratorios [12]. Desde el enfoque de salud única (One Health), salud humana, sanidad animal y salud ecosistémica integran un continuo indivisible [13]. Degradado el agroecosistema, el bienestar de familias productoras se resiente de inmediato. Al contaminar aguas superficiales y subterráneas, el lixiviado sin control propicia dermatosis y enfermedades infecciosas entre vecinos [14] y exige una estrategia común de seguimiento sanitario y ambiental.

El reclamo de equidad encuentra respaldo en el marco normativo internacional. Dicho respaldo se consagró en el Acuerdo de Escazú [15], tratado regional sobre acceso a la información, participación y justicia ambiental en América Latina y el Caribe. Paralelamente, los Objetivos de Desarrollo Sostenible obligan a los Estados en salud y bienestar (ODS 3) y agua limpia (ODS 6). También los comprometen en ciudades sostenibles (ODS 11) y producción y consumo responsables (ODS 12) [16].

Gestionar los botaderos amazónicos de Huánuco interpela de manera directa tales compromisos internacionales. Desde las ciencias agronómicas y veterinarias, dichos compromisos abarcan suelos agrícolas, inocuidad de alimentos vegetales y animales y sanidad de crianzas expuestas [13,16,17]. La equidad ambiental adquiere así contenido productivo: garantizar a las familias rurales un entorno apto para cultivar y criar animales sanos integra el derecho a un ambiente saludable.

En ese contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar los impactos ambientales y sanitarios de los botaderos Nuevo Copal y Las Mercedes sobre comunidades próximas, con diferenciación por sitio. Asimismo, caracterizó condiciones físicas, operativas y normativas, delimitó poblaciones expuestas y formuló recomendaciones de gestión ambiental justa e inclusiva con implicancias agroalimentarias. La evidencia empírica obtenida sustenta estrategias de cierre y recuperación orientadas por justicia ambiental y salud única. El diseño metodológico combinó, para ello, inspección técnica, análisis espacial y encuesta social en ambas zonas.

Materiales y métodos

En cuanto al ámbito geográfico, el estudio se circunscribió al distrito de José Crespo y Castillo, provincia de Leoncio Prado, Huánuco, Perú. Se concentró en comunidades vecinas al botadero Nuevo Copal y al ex botadero Las Mercedes, destino de la mayor parte de residuos sólidos jurisdiccionales. Predominaron allí condiciones socioeconómicas precarias, acceso limitado a servicios básicos y vulnerabilidad ambiental elevada, atribuible a la gestión deficiente de residuos sólidos. La dependencia de actividades agropecuarias de pequeña escala acentuó, en ese marco, la sensibilidad frente a la contaminación edáfica e hídrica.

El botadero Nuevo Copal se localizó en las coordenadas UTM referenciales: en Este 600000, Norte 9750000. El ex botadero Las Mercedes, en Este 599200, Norte 9749500 (zona 18S; valores aproximados, pendientes de verificación topográfica). Ambos ocuparon una zona cálida y húmeda, de pluviosidad elevada, con ojos de agua y quebradas en el entorno. Las parcelas vecinas combinaron agricultura familiar de sustento y crianza de animales menores.

El diseño de investigación fue de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo: la recolección y el análisis de datos numéricos provinieron de encuestas estructuradas administradas a pobladores residentes junto a ambos botaderos [18]. Además, la investigación se orientó al estudio un propósito práctico con el fin de generar evidencia aprovechable por la municipalidad en decisiones de cierre y recuperación de áreas degradadas.

Se adoptó un diseño no experimental, transversal, de alcance descriptivo: sin manipulación de variables, los efectos existentes se observaron en un único momento [18]. Revisión documental, observación técnica en campo, análisis espacial y encuesta social se combinaron para triangular la caracterización física de los sitios con la percepción comunitaria de impactos.

La caracterización física, operativa y normativa recurrió a los Planes de Recuperación de Áreas Degradadas (PRAD) y a informes de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado. El Decreto Legislativo que aprobó la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos y sus normas sobre áreas degradadas brindó el marco de referencia [19]. Visitas in situ a ambos botaderos complementaron esa revisión. Durante ellas se aplicó una lista de verificación sobre cercado, señalización, accesos, disposición, cobertura, lixiviados, gases y seguridad. El contraste sistemático entre documentos y terreno otorgó trazabilidad a cada brecha registrada.

Dicha lista integró 28 ítems con variables de respuesta dicotómicas y de escala, en cuatro dimensiones. La infraestructura física y la operación abarcaron cercado, señalización, accesos, drenaje, compactación, cobertura, segregación y control de quemas. El control ambiental comprendió captación de lixiviados, venteo de gases y monitoreo de aguas y aire; la gestión social, información, quejas y señalización de riesgos. Cada visita produjo acta fotográfica y ficha de brechas, insumos de la matriz comparativa entre sitios. Al contrastar lo observado con compromisos declarados en cada PRAD, pudieron distinguirse brechas de diseño como ausencias en el plan de brechas de implementación y compromisos incumplidos.

Por otra parte, los grupos vulnerables expuestos se identificaron mediante análisis espacial de proximidad con SIG de código abierto [20], a partir de viviendas georreferenciadas en torno a ambos botaderos. Las áreas de influencia directa e indirecta quedaron delimitadas en un radio de riesgo de 0 a 500 metros desde el perímetro de disposición. Para clasificar dichos grupos, la cercanía a cada botadero sirvió como criterio. Información de campo y registros municipales actualizados permitieron contrastar los resultados y validar el número de familias afectadas. También describieron sus condiciones socioeconómicas y productivas, incluidos usos agropecuarios dentro del área de influencia.

Como técnica principal para evaluar impactos diferenciados sobre salud, calidad ambiental y acceso equitativo a un entorno saludable, se administró una encuesta estructurada. El cuestionario se construyó con preguntas cerradas y de opción múltiple, se dirigió a jefes de hogar o adultos residentes en viviendas del área de influencia

directa de ambos botaderos. Juicio de expertos validó el instrumento; una prueba piloto comprobó claridad de ítems y consistencia interna preliminar. El resguardo del anonimato favoreció respuestas francas sobre afectaciones percibidas en salud y producción.

El tamaño muestral se estimó mediante fórmula para poblaciones finitas (95 % de confianza; 5 % de margen de error). Junto al botadero Nuevo Copal, de 60 viviendas se encuestaron 45; junto al ex botadero Las Mercedes, de unas 160 viviendas estimadas, 114. Hojas de cálculo sostuvieron el procesamiento; el análisis estadístico identificó la percepción poblacional sobre impactos ambientales y sanitarios, desagregada por zona y comparada en niveles de afectación.

Las variables abarcaron afecciones respiratorias y dermatológicas autopercibidas, malos olores, vectores y acumulación de residuos. También incluyeron acceso a servicios básicos, afectación de actividades económicas con énfasis en agricultura y crianza. Además, sensación de vulnerabilidad ambiental. El análisis combinó estadística descriptiva (frecuencias y porcentajes por ítem y zona) con comparación narrativa entre sitios. La inspección técnica orientó la interpretación, a fin de distinguir percepciones sustentadas en exposiciones verificables de aquellas mediadas por temor o desinformación. Este doble contraste analítico redujo el riesgo de atribuir al botadero efectos ajenos a su influencia verificable.

El estudio resguardó principios éticos de investigación social: cada participante otorgó consentimiento informado verbal antes del cuestionario. Se garantizaron confidencialidad y anonimato, y el uso declarado de la información fue exclusivamente académico. Sin incentivos, la participación revistió carácter voluntario.

Para interpretar el riesgo agroproductivo, los resultados se contrastaron con Estándares de Calidad Ambiental para suelo [21]. La interpretación de variables agropecuarias siguió un criterio precautorio: reportes de suelos degradados, riego restringido y crianzas afectadas se cotejaron con la inspección técnica antes de vincularlos con riesgo agroproductivo. Este resguardo metodológico preserva la validez de la inferencia sin muestreo edáfico e hídrico y delimita el alcance descriptivo del estudio.

A partir de brechas detectadas en visitas y afectaciones al entorno, se analizaron alternativas viables para la Municipalidad Distrital de José Crespo y Castillo. Dichas medidas de control ambiental enfrentan la contaminación del suelo y cuerpos de agua próximos. Estructuradas dentro de la recuperación progresiva del área degradada, las propuestas priorizaron cobertura técnica de residuos, aislamiento con geosintéticos, revegetación y captación de lixiviados.

Resultados

Los resultados alcanzados en el estudio muestran evidencia de que, por compartir emplazamiento geográfico, Nuevo Copal y Las Mercedes exhibieron características físicas semejantes. El clima cálido y húmedo, de alta pluviosidad, favoreció en ambos la infiltración de lixiviados al suelo. Nuevo Copal concentró contaminación concurrente de suelo, aire y agua, agravada por ojos de agua y quebradas próximos que elevaron el riesgo de dispersión hacia parcelas agrícolas vecinas. Las Mercedes mostró alteración de suelo y paisaje: impacto ambiental importante, aunque sin un vínculo hídrico superficial tan directo (Tabla 1). La humedad permanente del sustrato y la pendiente local favorecieron, en ese escenario, el transporte vertical y lateral de contaminantes.

Tabla 1. *Comparación de las condiciones físicas, operativas, normativas y participativas de los botaderos Nuevo Copal y Las Mercedes.*

Dimensión	Botadero Nuevo Copal	Ex botadero Las Mercedes
Estado operativo	Activo, en proceso de cierre técnico	Inactivo, en proceso de cierre técnico

Dimensión	Botadero Nuevo Copal	Ex botadero Las Mercedes
Infraestructura de lixiviados	Sin pozos de captación; celda transitoria y pozos planificados	Sin pozos de captación; impactos persistentes por falta de cobertura
Control de gases	Sin sistema formal de captación	Sin sistema formal de captación
Cobertura de residuos	Escasa cobertura de material	Escasa cobertura de material
Entorno hídrico	Cercanía a ojos de agua y quebradas; riesgo alto de dispersión	Afectación ambiental importante sin conexión hídrica superficial tan directa
Etapas de recuperación	Preliminar, ejecución, operación-mantenimiento y cierre	Preliminar, ejecución, operación-mantenimiento y cierre
Participación ciudadana	Conferencias presenciales, oficina de información y buzón de sugerencias	Foro virtual con encuestas y materiales informativos

Nota. Elaboración propia a partir de la revisión de los PRAD y de las listas de verificación aplicadas en visitas in situ. n = 159 encuestas de respaldo social (45 en Nuevo Copal y 114 en Las Mercedes).

En el plano operativo, el cierre técnico se hallaba en curso en ambos sitios, con avances desiguales. Nuevo Copal aún requería infraestructura para lixiviados y gases; el plan previó celda transitoria y pozos de tratamiento. Las Mercedes, ya inoperativo, mantenía impactos por ausencia de cobertura y controles. La recuperación, en ambos casos, se organizó en cuatro etapas: preliminar, ejecución, operación y mantenimiento, cierre, con señalización, confinamiento, control de lixiviados y gases, monitoreo ambiental y limpieza final. La Constitución Política del Perú, la Ley General del Ambiente y los Estándares de Calidad Ambiental para aire [22], agua [23] y suelo [21] rigieron ambosz sitios. Su aplicación correspondió a la Municipalidad Distrital de José Crespo y Castillo. No obstante, entre marco legal y aplicación en campo se verificó una brecha: al momento del estudio, faltaban sistemas formales de control de lixiviados y gases.

Con modalidades distintas, la participación ciudadana acompañó ambos procesos. Nuevo Copal recurrió a conferencias presenciales, oficina de información y buzón de sugerencias; Las Mercedes, a foro virtual con enlaces, encuestas y material informativo. La población aceptó en ambos casos los planes de recuperación y no surgieron controversias significativas, existió consenso comunitario en torno a cerrar y recuperar las áreas degradadas.

La inaplicación de los Estándares de Calidad Ambiental como herramienta de gestión constituyó, desde la óptica normativa, la brecha más relevante. Si bien los ECA de suelo [21], agua [23] y aire [22] fijan umbrales obligatorios, ningún sitio operó un programa de monitoreo que cotejara concentraciones ambientales con dichos estándares. Sin vigilancia, no hubo alertas tempranas, cuantificación del pasivo ni exigencia de responsabilidades: el marco legal funcionó de modo declarativo, no preventivo. La Tabla 1 sintetiza el contraste y revela que el sitio clausurado (Las Mercedes) no superó al activo lo que sugiere que el cierre sin obra de ingeniería pierde efectividad. La ausencia de series temporales impidió, en consecuencia, evaluar tendencias temporales o exigir metas de remediación con sustento cuantitativo.

Dentro del radio de 0 a 500 metros, el análisis espacial delimitó áreas de influencia directa e indirecta por botadero (Figura 1). Los paneles A y B corresponden a Nuevo Copal, directa e indirectamente y los paneles C y D a sus equivalentes en Las Mercedes. Traslapes entre área directa, parcelas de cultivo, caminos rurales y cursos menores quedaron en evidencia en la cartografía, confirmación empírica de la interfaz agroecológica del riesgo.

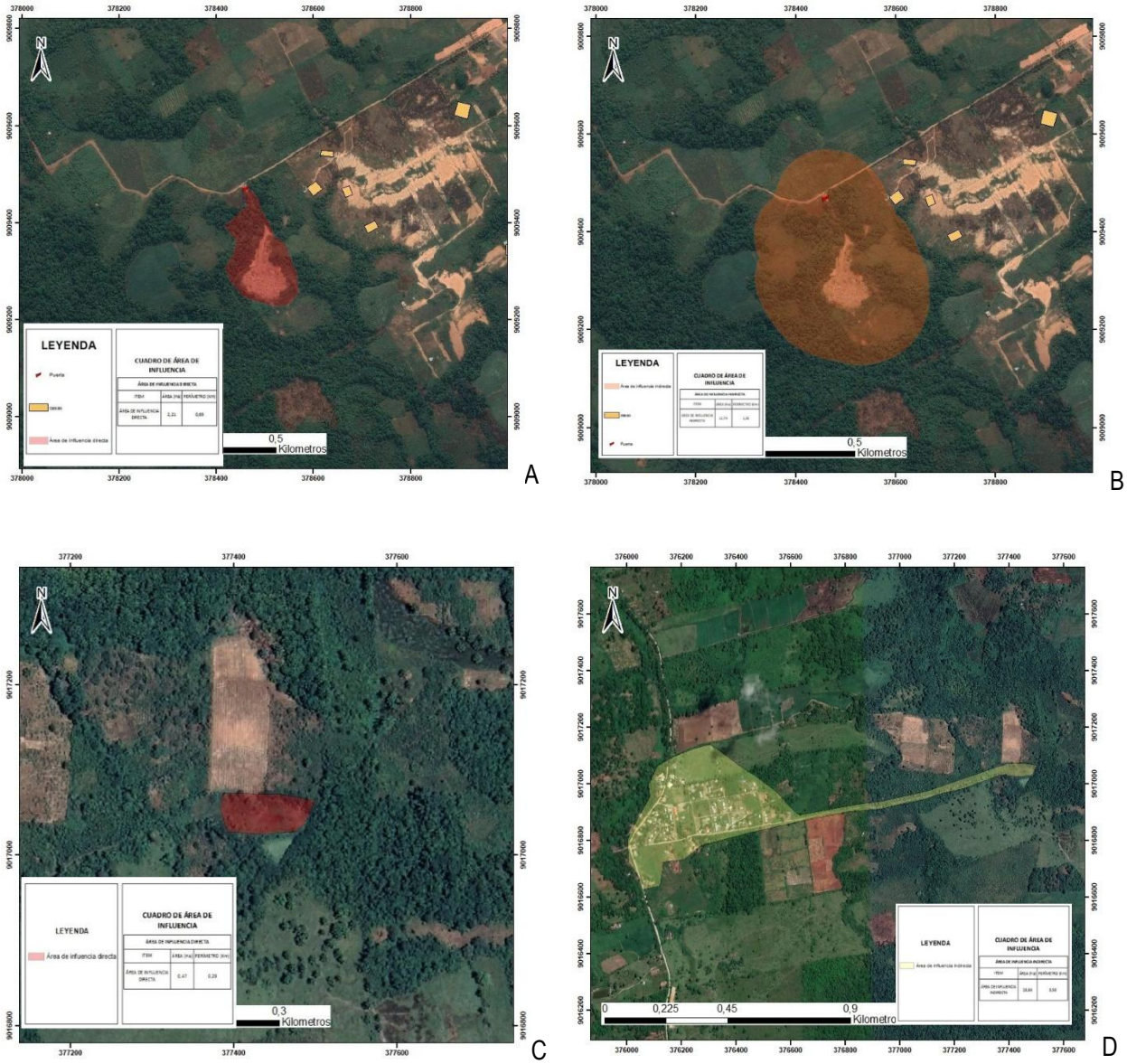


Figura 1. *Áreas de influencia directa e indirecta (0–500 m) de los botaderos Nuevo Copal (paneles A y B) y Las Mercedes (paneles C y D). Mapa multipanel elaborado con Sistemas de Información Geográfica.*

En términos demográficos, junto a Nuevo Copal se censaron 60 viviendas (45 encuestadas); junto a Las Mercedes se estimaron 160 (114 encuestadas) (Tabla 2). Registros municipales, en validación cruzada, arrojaron órdenes de magnitud compatibles: familias en precariedad socioeconómica, con infraestructura básica limitada. La cobertura alcanzada superior a 70 % en ambas zonas, respaldó la representatividad de la muestra efectiva.

Olores ofensivos, polvo, vectores y escorrentía potencialmente contaminada se concentraron en viviendas del área directa; el área indirecta exhibió una exposición menor aunque persistente. Una fracción relevante de hogares del área directa conservó parcelas agrícolas o crianzas menores dentro del radio de riesgo con doble vía de exposición, residencial-ambiental y productiva-alimentaria.

Tabla 2. *Viviendas en el área de influencia y muestra encuestada por zona de estudio.*

Zona	Viviendas estimadas (N)	Encuestas aplicadas (n)	Cobertura muestral (%)
Nuevo Copal (radio 0–500 m)	60	45	75,0
Las Mercedes (radio 0–500 m)	160	114	71,3
Total	220	159	72,3

Nota. Muestreo con fórmula para poblaciones finitas, 95 % de confianza y 5 % de margen de error. La delimitación espacial se realizó con SIG (Figura 1) y se validó con registros municipales.

En la Tabla 3 se presenta una marcada asimetría en la percepción comunitaria entre los botaderos estudiados. Mientras que, en Nuevo Copal, sitio activo, la mayoría de los encuestados (95.56%) percibe afectaciones económicas y riesgos para la salud pública, en Las Mercedes, sitio clausurado, prevalece la negación o indiferencia (40.35% en desacuerdo). Esta divergencia perceptual, pese a que la inspección técnica evidenció deficiencias comunes, sugiere que la exposición continua a olores, vectores y residuos visibles en un botadero activo intensifica la conciencia del riesgo, mientras que el cierre administrativo genera una falsa sensación de seguridad en la población aledaña, ocultando la persistencia de pasivos ambientales.

En este sentido, los datos de Nuevo Copal reflejan una comunidad que asocia directamente la operación del botadero con la degradación de sus medios de vida. La alta concordancia en los ítems de contaminación (66.67% de acuerdo) y afectación económica (95.56% entre de acuerdo y totalmente de acuerdo) se alinea con el marco de justicia ambiental, donde las poblaciones vulnerables soportan desproporcionadamente las externalidades negativas. La cercanía física a la celda activa, junto con la falta de infraestructura de contención de lixiviados y gases, materializa un riesgo tangible que los hogares agricultores traducen en pérdida de seguridad alimentaria y limitaciones para el riego de cultivos y abrevado de animales.

Por el contrario, la percepción en Las Mercedes evidencia una brecha crítica entre la realidad técnica y la subjetividad comunitaria. A pesar de que el sitio inactivo mantiene impactos persistentes por falta de cobertura y control de lixiviados, más del 70% de los residentes rechaza la idea de que el botadero contamine el agua, aire o suelo. Esta normalización del riesgo o amnesia ambiental posterior al cierre administrativo constituye un desafío metodológico y de salud pública, pues la ausencia de monitoreo participativo impide que la comunidad reconozca la migración de contaminantes hacia suelos agrícolas y acuíferos, perpetuando la exposición silenciosa a metales pesados y sales.

Desde una perspectiva agroecológica y de salud única, esta divergencia perceptual subraya la necesidad de trascender los enfoques meramente declarativos. La falta de monitoreo ambiental en ambos sitios, señalada en los resultados, agrava la injusticia procedimental, ya que las comunidades carecen de información objetiva para validar o refutar sus percepciones. La transferencia suelo-planta-animal, documentada en la literatura, exige que la recuperación de áreas degradadas no solo contemple obras de ingeniería, sino también estrategias de comunicación de riesgos y vigilancia epidemiológica. La aceptación comunitaria de los planes de cierre, registrada en ambas zonas, representa un activo social que debe capitalizarse para implementar sistemas de monitoreo participativo.

Tabla 3. *Percepción comunitaria de los impactos de los botaderos (porcentajes globales de ambas zonas).*

Afirmación	Botadero	Totalmente en desacuerdo (%)	En desacuerdo (%)	Ni de acuerdo ni en desacuerdo (%)	De acuerdo (%)	Totalmente de acuerdo (%)
1. El botadero tiene impactos negativos en mi	Las Mercedes	4,39%	22,81%	17,54%	50,00%	5,26%
	Nuevo Copal	2,22%	4,44%	4,44%	44,44%	44,44%

vida personal y en la comunidad						
2. El botadero genera contaminación del agua, aire y suelo	Las Mercedes	16,67%	71,93%	4,39%	6,14%	0,88%
	Nuevo Copal	0,00%	20,00%	13,33%	66,67%	0,00%
3. El botadero ha afectado mis actividades económicas	Las Mercedes	8,77%	40,35%	19,30%	21,05%	10,53%
	Nuevo Copal	4,44%	0,00%	0,00%	48,89%	46,67%
4. El botadero representa un riesgo para la salud pública a corto y largo plazo.	Las Mercedes	8,77%	40,35%	19,30%	21,05%	10,53%
	Nuevo Copal	4,44%	0,00%	0,00%	48,89%	46,67%

Nota. n = 159 jefes de hogar. Los porcentajes corresponden al agregado de ambas zonas; la desagregación por botadero no estuvo disponible en la base de datos recuperada. Los ítems se parafrasean en tercera persona.

La escasa cobertura de material constituyó la brecha principal en ambos botaderos. La secuencia técnica propuesta: limpieza del terreno, perfilado y compactación de residuos, nivelación con cobertura, mitiga olores, impacto visual y proliferación de vectores. Tras la cobertura, se plantearon aislamiento con geosintéticos, capa orgánica, revegetación final y obras de cunetas, chimeneas y pozas (Figura 2).

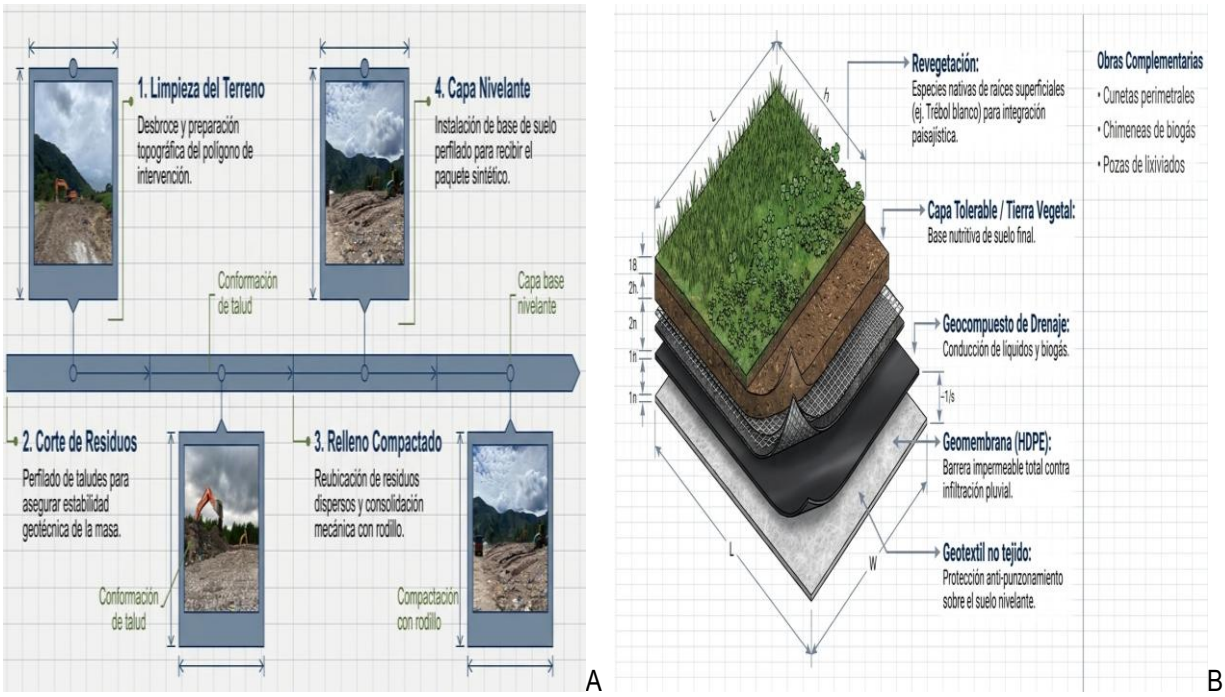


Figura 2. *Ciclo técnico de cobertura y estabilización. A: limpieza del terreno, perfilado, compactación, nivelación con material de cobertura, aislamiento con geosintéticos, capa orgánica y revegetación final, con cunetas, chimeneas y pozas complementarias. B: Ciclo técnico de aislamiento ambiental y revegetación.*

Dada la complejidad fisiográfica y geomorfológica del terreno, la captación y el tratamiento de lixiviados mediante pozos ocuparon prioridad máxima (Figura 3). Esta infraestructura persigue tres fines: reducir la infiltración hacia suelo y cuerpos de agua, facilitar el monitoreo de lixiviados y habilitar la recuperación progresiva bajo gestión más segura y sostenible.



Figura 3. *Esquema de pozo para la captación y el tratamiento de lixiviados propuesto para los botaderos Nuevo Copal y Las Mercedes.*

Discusión

Los hallazgos confirman que el principal vector de contaminación en ambos botaderos fueron los lixiviados sin contención. La literatura describe en lixiviados jóvenes alta carga orgánica y amoniacal, y en maduros, sales y metales recalcitrantes [9,24]. Migraciones hacia aguas subterráneas, con plumas persistentes, se reportaron donde no hubo impermeabilización [10,25]; caracterizaciones en vertederos urbanos excedieron límites de descarga en parámetros fisicoquímicos y biológicos [26].

La mitigación continúa como desafío abierto lo cual es advertido en revisiones recientes por variabilidad de caudales y contaminantes emergentes [27]. Nuevo Copal y Las Mercedes, sin pozos de captación, reproducen con exactitud ese escenario de riesgo. La coincidencia entre deficiencias locales y patrones de la literatura otorga robustez a esta interpretación.

El trópico agrava el cuadro. Bajo alta pluviosidad, sales, metales y compuestos orgánicos alcanzan los suelos agrícolas de forma continua y degradan fertilidad, estructura y biota, con efecto directo sobre cultivos de sustento [11]. Baja movilidad aparente y alta persistencia caracterizan a metales pesados: el suelo opera como reservorio de largo plazo que los transfiere a plantas [17].

En el Perú, los Estándares de Calidad Ambiental para suelo fijan umbrales regulatorios para uso agrícola [21]. Sin muestreo edáfico analítico en este estudio, la convergencia entre percepción comunitaria, inspección técnica y literatura basta para priorizar el monitoreo de suelos agrícolas en los 0 a 500 metros. La textura y la materia orgánica de suelos tropicales modulan, en ese proceso, la retención y la movilidad de metales.

Como vía de riesgo sanitario inmediato, la contaminación del agua ocupa el primer lugar. Plumas de lixiviados llegan a acuíferos someros y quebradas usadas para consumo, riego y abrevado [10]; los parámetros de riesgo en agua de bebida enfrentan valores estrictos internacionales [28]. Cercanía a vertederos y efectos reproductivos, respiratorios y dermatológicos aparecen asociados en revisiones epidemiológicas [12], lo que coincide coherentemente con afecciones autopercibidas en José Crespo y Castillo. La vigilancia sanitaria en poblaciones expuestas a disposición incontrolada encuentra respaldo en evidencia regional sobre residuos y salud [14].

Estudios de cohorte sobre vecindarios de vertederos hallaron excesos de bajo peso al nacer y malformaciones congénitas junto a los sitios [29]. Revisiones ulteriores corroboraron vínculos con efectos reproductivos y

respiratorios, si bien con heterogeneidad metodológica [30]. Tras revisión sistemática, la literatura sobre residuos peligrosos y salud calificó la evidencia de sugestiva y demandó diseños con mejor caracterización expositiva [31].

El caso italiano del denominado triángulo de la muerte ilustró el extremo posible tras una disposición ilegal prolongada [32]. Ante ese panorama, niveles de preocupación superiores a 70 %, como los aquí registrados, resultan epidemiológicamente verosímiles y socialmente legítimos. La convergencia de diseños diversos como cohortes, revisiones y estudios de caso, refuerzan la plausibilidad biológica de la asociación.

El perfil de riesgo atmosférico lo completan disposición incontrolada y quema abierta. Material particulado, dioxinas y gases ácidos liberados por estas prácticas dañan la respiración de vecinos en países en desarrollo [3]. Vertederos sin captura de gases ni cobertura diaria concentran emisiones y olores, como confirman revisiones sobre gestión [33]. La migración de gases y lixiviados como rutas dominantes ya figuraba en análisis clásicos de impactos del relleno [34]. Sin cobertura en ambos botaderos huanuqueños, olores y polvo reportados por la comunidad encuentran explicación.

Mención aparte merece el metano generado por descomposición anaeróbica de orgánicos [35]. Su potencial de calentamiento supera ampliamente al del dióxido de carbono, y el sector residuos aporta una porción significativa de emisiones antropogénicas [35]. Captura de biogás, compostaje y menor enterrado de orgánicos figuran entre medidas prioritarias del informe de mitigación intergubernamental [36].

Mientras análisis globales proyectan un costo de la inacción en rápido ascenso [5], las revisiones tecnológicas muestran una doble ganancia en digestión anaeróbica y aprovechamiento energético. Menos emisiones y menos pasivos resultan de valorizar la fracción orgánica en lugar de enterrarla [37]. Sin chimeneas ni sistemas de captura, ambos sitios estudiados liberan sus emisiones directamente a la atmósfera.

Lo que distingue este caso de estudios urbanos es su dimensión agropecuaria. El daño declarado a la agricultura de sustento enlaza contaminación edáfica y seguridad alimentaria local. Al degradarse, los suelos rinden menos, admiten menor diversificación y exponen a familias a pérdidas económicas y nutricionales [11]. Residuos descubiertos y vectores asociados [38] suman riesgo zoonótico para crianzas y personas; el seguimiento de estas comunidades reclama, por ello, enfoque de salud única [13].

Infraestructura, gobernanza y participación combinadas sostienen soluciones duraderas, como enseñan revisiones de sistemas integrados [39]. En esa línea, la pérdida de autoabastecimiento expone a volatilidad de precios y a inseguridad nutricional estacional.

En parcelas vecinas al botadero, la transferencia suelo-planta-animal opera por dos rutas simultáneas. Los cultivos de consumo directo absorben metales y sales, mientras animales de traspatio ingieren agua, pastos y restos de cosecha del área de influencia. Aun sin cuantificación analítica local, la literatura advierte que esta doble ruta prolonga la exposición más allá del contacto residencial. La vía alimentaria traslada el riesgo a la dieta familiar [11,17]. La restricción voluntaria del riego y del abrevado, declarada por temor a contaminarse, protege la salud, pero reduce la producción y encadena efectos nutricionales y económicos.

Cierre técnico y justicia procedimental deben articularse en la respuesta de política. Eficiencia del cierre, gobernanza local y empleo mejoran con gestión centrada en la comunidad: monitoreo participativo, compostaje doméstico, vigilancia social [40]. Tal orientación concuerda con derechos de acceso del Acuerdo de Escazú [15] y metas de salud, agua y ciudades sostenibles de la Agenda 2030 [16]. La aceptación comunitaria de los planes, registrada en ambas zonas, ofrece un activo social que facilita la continuidad del monitoreo participativo más allá del horizonte temporal del proyecto.

El centro de la agenda de recuperación debe ocuparlo la protección del suelo agrícola. Valores máximos admisibles según uso del suelo definen los estándares nacionales [21]; la remediación de suelos con metales,

enseña la experiencia internacional, cuesta cara y tarda [17]. De ahí una secuencia eficiente: contención inmediata de la fuente (cobertura, captación de lixiviados) y monitoreo de suelos y cultivos. La restricción precautoria del riego con aguas sospechosas y la asistencia en prácticas agroecológicas restituyen materia orgánica y actividad biológica [11]. Salud, producción y compromisos con seguridad alimentaria [16] quedan protegidos a la vez.

La priorización de la fuente sobre el síntoma reduce costos de largo plazo y evita transferencias de contaminación entre medios. La asistencia técnica priorizará prácticas de bajo costo compatibles con la agricultura familiar. Incorporación de materia orgánica, cobertura vegetal, diversificación de cultivos y protección de fuentes prediales restauran la biota edáfica mientras avanza la contención [11]. El monitoreo de suelos y cultivos, comparado periódicamente con los valores de los ECA [21], permitirá decidir con evidencia cuándo levantar restricciones precautorias y cuándo mantenerlas.

Como todo estudio descriptivo de corte transversal, deben reconocerse limitaciones. Sin muestreo analítico de suelos, aguas ni aire, la caracterización contaminante permanece cualitativa y perceptual. Por indisponibilidad de la base desagregada por zona, los porcentajes de encuesta se informan agregados, y las coordenadas de sitios revisten carácter referencial. La verificación de injusticia ambiental no queda invalidada, pero la inferencia causal se acota. La agenda pendiente incluye muestreo edáfico e hídrico cotejado con ECA, vigilancia epidemiológica y topografía de precisión, con cadena de custodia y blancos de campo.

En síntesis, Nuevo Copal y Las Mercedes replican patrones internacionales: lixiviados metálicos, emisiones sin control, costos crecientes y gestión comunitaria como salida. Lo hacen bajo especificidad amazónica de trópico húmedo y población rural dependiente de suelo y agua para subsistir. Gestionar botaderos en la Amazonía peruana compete a la agronomía y la veterinaria por derecho propio, como demuestra el caso. Lejos de reducirse a lo sanitario-urbano, su lugar en la agenda de estas ciencias queda justificado.

La evidencia complementaria refuerza la lectura agroalimentaria del caso. En cultivos expuestos a suelos con metales pesados se documentaron alteraciones metabólicas, menor crecimiento y acumulación en tejidos vegetales [41]. El análogo más directo como es el caso de un vertedero activo rodeado de tierras agrícolas, demostró que defectos de impermeabilización dirigen la escorrentía contaminada hacia parcelas vecinas [42]. La transferencia suelo-planta, modulada por especiación y materia orgánica, permite que aun cargas edáficas moderadas eleven metales en alimentos de autoconsumo [43]. Finalmente, la comparación entre lixiviados de sitios activos y clausurados halló mayor generación y potencial contaminante en los clausurados [44], patrón coherente con la exposición persistente observada en Las Mercedes.

Conclusiones

Quedaron caracterizadas condiciones ambientales críticas comunes a ambos botaderos: suelos alterados, proximidad a cuerpos hídricos, ausencia de control de lixiviados y gases, y cobertura deficiente. El cierre técnico mostró avance desigual, con distancia entre marco normativo y aplicación en campo. Sin obra de ingeniería, el cierre administrativo no detiene el pasivo: el sitio clausurado no exhibió mejores condiciones que el activo.

Por otro lado, poblaciones expuestas quedaron delimitadas en el radio de 0 a 500 metros: 60 viviendas en Nuevo Copal y 160 en Las Mercedes, con 159 encuestas aplicadas. Así se confirmó un reparto desigual de impactos, propio de injusticia ambiental, sobre hogares vulnerables cuya subsistencia depende del suelo y agua del entorno. Asimismo, la percepción de afectaciones en el entorno por 68 % de la población y preocupación sanitaria en más del 70 % quedaron verificadas. También se verificó daño declarado a la agricultura de sustento y deterioro de aire, agua y suelo, hipoteca para la seguridad alimentaria local y la sanidad de crianzas.

La recuperación exige cierre técnico por etapas: cobertura, geosintéticos, revegetación, pozos de lixiviados, monitoreo participativo y enfoque agroecológico bajo salud única. Esta ruta, transferible a otros botaderos andino-amazónicos, deja una lección general: sin contención de la fuente ni vigilancia basada en estándares, la equidad ambiental permanece en el papel.

Acerca de

Contribución de los autores: Los autores contribuyeron en la conceptualización del estudio, desarrollo metodológico, análisis e interpretación de los datos, redacción del manuscrito y revisión crítica de su contenido intelectual.

Financiamiento: Los autores declaran que no recibió financiamiento para esta investigación.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

Consideraciones éticas: El estudio incluyó encuestas a jefes de hogar y visitas técnicas, por lo que corresponde garantizar el consentimiento informado, la participación voluntaria, la confidencialidad de la información y el respeto a los principios éticos de la investigación.

Historia del artículo: Artículo recibido 20 de julio 2026 | Aceptado 24 de agosto 2026 | Publicado 21 de octubre 2026

Referencias

1. Bullard RD. Dumping in Dixie: Race, Class, and Environmental Quality. 3rd ed. Boulder: Westview Press; 2000. https://www.routledge.com/Dumping-In-Dixie-Race-Class-And-Environmental-Quality-Third-Edition/Bullard/p/book/9780813367927

2. Mohai P, Saha R. Which came first, people or pollution? Assessing the disparate siting and post-siting demographic change hypotheses of environmental injustice. Environ Res Lett. 2015;10(11):115008. https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/115008

3. Ferronato N, Torretta V. Waste mismanagement in developing countries: a review of global issues. Int J Environ Res Public Health. 2019;16(6):1060. https://doi.org/10.3390/ijerph16061060

4. Kaza S, Yao L, Bhada-Tata P, Van Woerden F. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington, DC: World Bank; 2018. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317

5. United Nations Environment Programme. Global Waste Management Outlook 2024: Beyond an Age of Waste. Nairobi: UNEP; 2024. https://www.unep.org/resources/global-waste-management-outlook-2024

6. Ministerio del Ambiente (MINAM). Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos (SIGERSOL): reportes nacionales. Lima: MINAM. https://www.gob.pe/minam

7. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). Reportes de fiscalización de botaderos y áreas degradadas por residuos sólidos. Lima: OEFA. https://www.oefa.gob.pe

8. Kjeldsen P, Barlaz MA, Rooker AP, Baun A, Ledin A, Christensen TH. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. Crit Rev Environ Sci Technol. 2002;32(4):297-336. https://doi.org/10.1080/10643380290813462

9. Parvin F, Tareq SM. Impact of landfill leachate contamination on surface and groundwater of Bangladesh: a systematic review and possible public health risks assessment. Appl Water Sci. 2021;11:100. https://doi.org/10.1007/s13201-021-01431-3

10. Christensen TH, Kjeldsen P, Bjerg PL, Jensen DL, Christensen JB, Baun A, et al. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. Appl Geochem. 2001;16(7-8):659-718. https://doi.org/10.1016/S0883-2927(00)00082-2

11. Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations Environment Programme. Global Assessment of Soil Pollution: Report. Rome: FAO; 2021. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/fe5df8d6-6b19-4def-bdc6-62886d824574/content/cb4894en.html

12. Porta D, Milani S, Lazzarino AI, Perucci CA, Forastiere F. Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. Environ Health. 2009;8:60. https://doi.org/10.1186/1476-069X-8-60

13. Destoumieux-Garzón D, Mavingui P, Boetsch G, Boissier J, Darriet F, Duboz P, et al. The One Health concept: 10 years old and a long road ahead. Front Vet Sci. 2018;5:14. https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00014

14. World Health Organization. Waste and Human Health: Evidence and Needs. Copenhagen: WHO meeting report 5–6 November 2015: Bonn, Germany; 2015. https://www.who.int/publications/m/item/waste-and-human-health-evidence-and-needs

15. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe (Acuerdo de Escazú). Santiago: CEPAL; 2018. https://www.cepal.org/es/acuerdodeescazu

16. Organización de las Naciones Unidas. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Nueva York: ONU. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/

17. Alloway BJ, editor. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. 3rd ed. Dordrecht: Springer; 2013. https://www.springer.com

18. Hernández-Sampieri R, Fernández Collado C, Baptista Lucio P. Metodología de la Investigación. 6.ª ed. Ciudad de México: McGraw-Hill; 2014. https://biblioteca.ucuenca.edu.ec/digital/s/biblioteca-digital/ark:/25654/148#?c=0&m=0&s=0&cv=0

19. Ministerio del Ambiente (MINAM). Decreto Legislativo N.º 1278: Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Lima: El Peruano; 2016. https://www.gob.pe/minam

20. QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. https://www.qgis.org

21. Ministerio del Ambiente (MINAM). Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Lima: El Peruano; 2017. https://www.gob.pe/minam

22. Ministerio del Ambiente (MINAM). Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire. Lima: El Peruano; 2017. https://www.gob.pe/minam

23. Ministerio del Ambiente (MINAM). Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Lima: El Peruano; 2017. https://www.gob.pe/minam

24. Renou S, Givaudan JG, Poulain S, Dirassouyan F, Moulin P. Landfill leachate treatment: review and opportunity. J Hazard Mater. 2008;150(3):468-493. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077

25. Mor S, Ravindra K, Dahiya RP, Chandra A. Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. Environ Monit Assess. 2006;118:435-456. https://doi.org/10.1007/s10661-006-1505-7

26. Naveen BP, Mahapatra DM, Sitharam TG, Sivapullaiah PV, Ramachandra TV. Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate. Environ Pollut. 2017;220:1-12. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.002

27. Wijekoon P, Koliyabandara PA, Cooray AT, Lam SS, Athapattu BC, Vithanage M. Progress and prospects in mitigation of landfill leachate pollution: risk, pollution potential, treatment and challenges. J Hazard Mater. 2022;421:126627. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126627

28. World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality. 4th ed. Geneva: WHO; 2017. https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950

29. Vrijheid M. Health effects of residence near hazardous waste landfill sites: a review of epidemiologic literature. Environ Health Perspect. 2000;108(Suppl 1):101-112. https://doi.org/10.1289/ehp.00108s1101

30. Mattiello A, Chiodini P, Bianco E, Forgione N, Flammia I, Gallo C, et al. Health effects associated with the disposal of solid waste in landfills and incinerators in populations living in surrounding areas: a systematic review. Int J Public Health. 2013;58:725-735. https://doi.org/10.1007/s00038-013-0496-8

31. Fazzo L, Minichilli F, Santoro M, Ceccarini A, Della Seta M, Bianchi F, et al. Hazardous waste and health impact: a systematic review of the scientific literature. Environ Health. 2017;16:107. https://doi.org/10.1186/s12940-017-0311-8

32. Triassi M, Alfano R, Illario M, Nardone A, Caporale O, Montuori P. Environmental pollution from illegal waste disposal and health effects: a review on the Triangle of Death. Int J Environ Res Public Health. 2015;12(2):1216-1236. https://doi.org/10.3390/ijerph120201216

33. Giusti L. A review of waste management practices and their impact on human health. Waste Manag. 2009;29(8):2227-2239. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.02.001

34. El-Fadel M, Findikakis AN, Leckie JO. Environmental impacts of solid waste landfilling. J Environ Manage. 1997;50(1):1-25. https://doi.org/10.1006/jema.1995.0131

35. Bogner J, Pipatti R, Hashimoto S, Diaz C, Mareckova K, Diaz L, et al. Mitigation of global greenhouse gas emissions from waste: conclusions and strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report. Working Group III (Mitigation). 2008;26(1):11-32. https://doi.org/10.1177/0734242X07088433

36. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press; 2022. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/

37. Nanda S, Berruti F. Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review. Environ Chem Lett. 2021;19(2):1433-1456. https://doi.org/10.1007/s10311-020-01100-y

38. Krystosik A, Njoroge G, Odhiambo L, Forsyth JE, Mutuku F, LaBeaud AD. Solid wastes provide breeding sites, burrows, and food for biological disease vectors, and urban zoonotic reservoirs: a call to action for solutions-based research. PLoS Negl Trop Dis. 2020;14(1):e0007953. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007953

39. Marshall RE, Farahbakhsh K. Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. Waste Manag. 2013;33(4):988-1003. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.12.023

40. Komane BL, Mathonsi TE. Design of a Smart Waste Management System for the City of Johannesburg. arXiv:2303.14436 (preprint). 2023. https://arxiv.org/abs/2303.14436

41. Nagajyoti PC, Lee KD, Sreekanth TV. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. Environ Chem Lett. 2010;8:199-216. https://doi.org/10.1007/s10311-010-0297-8

42. Vaverková MD, Elbl J, Koda E, Adamcová D, Bilgin A, Lukas V, et al. Chemical composition and hazardous effects of leachate from the active municipal solid waste landfill surrounded by farmlands. Sustainability. 2020;12(11):4531. https://doi.org/10.3390/su12114531

43. Smith SR. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. Environ Int. 2009;35(1):142-156. https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.06.009

44. Anand N, Palani SG. A comprehensive investigation of toxicity and pollution potential of municipal solid waste landfill leachate. Sci Total Environ. 2022;838(Pt 1):155891. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155891

Este artículo está bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0).