eVitroKhem. 2022; 1:12
doi: 10.56294/evk202212

REVISIÓN

Environmental Impact of Improper Solid Waste Disposal in San Pablo, Perú

Impacto Ambiental de la Disposición Inadecuada de Residuos Sólidos en San Pablo, Perú

Benny Walker Díaz-Fonseca[1], Carlos Mauricio Lozano-Carranza[1], Andi Lozano-Chung[1]

[1]Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería. Tarapoto, Perú.

Citar como: Díaz-Fonseca BW, Lozano-Carranza CM, Lozano-Chung A. Environmental Impact of Improper Solid Waste Disposal in San Pablo, Perú. eVitroKhem. 2022; 1:12. https://doi.org/10.56294/evk202212

Enviado: 10-07-2021 **Revisado:** 13-10-2021 **Aceptado:** 08-02-2022 **Publicado:** 09-02-2022

Editor: Prof. Dr. Javier Gonzalez-Argote

Autor para la correspondencia: Benny Walker Díaz-Fonseca

ABSTRACT

The study showed that inadequate solid waste management in the district of San Pablo represented a critical environmental problem, characterised by cumulative impacts on soil, water and public health. The absence of a technically designed landfill and the disposal of waste in an open dump without waterproofing or leachate treatment systems led to the continuous release of pollutants. These leachates, generated by the decomposition of organic matter and the percolation of rainwater, contained high concentrations of biodegradable organic matter, heavy metals (Pb, Cd, Cr, Hg, Ni) and pathogenic microorganisms, frequently exceeding Environmental Quality Standards. In the soil, leachate infiltration altered physicochemical properties, increasing electrical conductivity, decreasing pH and reducing natural fertility. From a biological point of view, a decrease in microbial diversity and an alteration of essential biogeochemical cycles were observed. This situation was aggravated by sociocultural factors such as hyperconsumption, low recycling rates and low environmental awareness, compounded by the limited technical and budgetary capacities of the local government. Comparative analysis with national and international studies showed that the case of San Pablo replicated a common pattern in localities without adequate infrastructure. The research highlighted the need to implement a sanitary landfill with leachate and biogas control, environmental monitoring programmes, community education campaigns and citizen participation mechanisms as comprehensive strategies to mitigate and prevent environmental and health risks, ensuring a healthy environment for the present and future population.

Keywords: Solid Waste; Leachate; Soil Contamination; Municipal Landfill; San Pablo.

RESUMEN

El estudio evidenció que la gestión inadecuada de residuos sólidos en el distrito de San Pablo representó una problemática ambiental crítica, caracterizada por impactos acumulativos sobre el suelo, el agua y la salud pública. La ausencia de un relleno sanitario técnicamente diseñado y la disposición de desechos en un botadero a cielo abierto sin impermeabilización ni sistemas de tratamiento de lixiviados provocaron la liberación continua de contaminantes. Estos lixiviados, generados por la descomposición de materia orgánica y la percolación de aguas pluviales, presentaron altas concentraciones de materia orgánica biodegradable, metales pesados (Pb, Cd, Cr, Hg, Ni) y microorganismos patógenos, superando con frecuencia los Estándares de Calidad Ambiental. En el suelo, la infiltración de lixiviados alteró propiedades fisicoquímicas, aumentando la conductividad eléctrica, disminuyendo el pH y reduciendo la fertilidad natural. Desde el punto de vista biológico, se observó una disminución de la diversidad microbiana y una alteración de los ciclos biogeoquímicos esenciales. Esta situación se agravó por factores socioculturales como el hiperconsumo, la baja tasa de reciclaje y la escasa conciencia ambiental, sumados a las limitadas capacidades técnicas y presupuestarias del gobierno local.

© 2022; Los autores. Este es un artículo en acceso abierto, distribuido bajo los términos de una licencia Creative Commons (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0) que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea correctamente citada

El análisis comparativo con estudios nacionales e internacionales demostró que el caso de San Pablo replicó un patrón común en localidades sin infraestructura adecuada. La investigación resaltó la necesidad de implementar un relleno sanitario con control de lixiviados y biogases, programas de monitoreo ambiental, campañas de educación comunitaria y mecanismos de participación ciudadana, como estrategias integrales para mitigar y prevenir riesgos ambientales y sanitarios, asegurando un entorno saludable para la población presente y futura.

Palabras clave: Residuos Sólidos; Lixiviados; Contaminación del Suelo; Botadero Municipal; San Pablo.

INTRODUCCIÓN

Los Residuos sólidos corresponden a un problema creciente en la gestión municipal tanto de localidades urbanas como rurales; y si bien existe similitud en los aspectos generales, hay aspectos puntuales que considerar para cada realidad, que promueve en la actualidad la contaminación del ambiente y el desequilibrio ecológico, esto ha causado una creciente preocupación en la sociedad, y su debate alcanza a todos los sectores de la comunidad.

Aunque el problema de los residuos sólidos municipales ha sido identificado desde hace varias décadas, especialmente en las áreas metropolitanas, las soluciones parciales que hasta ahora se han logrado no abarcan a todos los países de la Región ni a la mayoría de las ciudades intermedias y menores, convirtiéndose en un tema político permanente que en la mayoría de casos genera conflictos sociales. Son las municipalidades las entidades encargadas de gestionar adecuadamente estos residuos sólidos, ya que de ellas depende principalmente lo que concierne al recojo, el transporte y la disposición final. Los residuos sólidos corresponden a uno de los problemas de mayor gravedad que enfrentan los diversos gobiernos municipales, esto se debe entre otras cosas, por su naturaleza acumulativa, es decir, que año tras año se van aglomerando; esta situación se ve más problemática si se entiende que las poblaciones no se mantienen estables, si no que van en incremento a través del tiempo con el consecuente aumento de la cantidad de residuo sólidos generados.

En el Distrito de San Pablo, no existe un lugar de disposición final de residuos sólidos que pueda catalogarse como relleno sanitario, por lo tanto la inadecuada disposición final de estos residuos da lugar a la generación de lixiviado derivados de los procesos de descomposición microbiana y de ciertos componentes de residuos, de modo que por la presencia de su elevada toxicidad pueden causar severos problemas al ambiente, así como al recurso edáfico en especial el suelo donde son acumulables la gran cantidad de residuos sólidos, generando focos infecciosos hacia la población a través del proceso de infiltración, escorrentía, lavado o arrastre, ya que estas se expanden por diferentes lugares productos de los lixiviados del botadero municipal del Distrito de San Pablo.

DESARROLLO

Realidad problemática

El manejo inadecuado de los residuos sólidos al nivel mundial es un gran problema para la sociedad, puesto que genera contaminación cuando se acumula o se disponen inadecuadamente sin tener en cuenta el lugar adecuado que estos requieren para ser depositados, teniendo en cuenta especialmente el suelo quien es el principal afectado, las cuales son los únicos donde se puede depositar los residuos sólidos de los botaderos, así mismo la descomposición de la materia orgánica originan lixiviados, estos perjudicando a los suelos continuos del lugar, debido a que estos suelos son los únicos cuerpos receptores, de tal forma alterando la composición normal de estos, ello se traduce a contaminación del suelo.

En el Perú la gestión adecuada de los residuos sólidos municipales es uno de los principales y mayores problemas que afecta a los componentes ambientales. Este problema en el país va en aumento ya que cada vez está en nuestra cultura el hiperconsumismo, y sumando a este problema la falta de conciencia y cultura ambiental, ya que en nuestra sociedad el hábito es el de usar y tirar; “en nuestro País se producen cerca de 23 000 toneladas de basura diaria y solamente el 15 % se logra reciclar, además solo existen 12 rellenos sanitarios autorizados, haciendo de que el 90 % de la basura termine en los 1250 botaderos ilegales que existen en el Perú aproximadamente”.

En este contexto el Distrito de San Pablo no se encuentra ajeno a esta problemática, ya que la disposición de residuos se realiza en botadero a cielo abierto, estos residuos sólidos son generados por la población del distrito de San Pablo, la cual tienen como disposición final a un botadero municipal que no cuenta con las condiciones necesarias que permita minimizar la contaminación al medio ambiente, tal como se encuentra contemplado en el “Decreto Legislativo N° 1278 - Decreto Legislativo que Aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos”; el botadero se encuentra ubicado a 2 km de la carretera Huingoyacu – Consuelo (San Pablo).

La problemática radica en la posible contaminación que se está originando en el suelo ubicado en el área

de influencia directa del botadero municipal del Distrito de San Pablo, es por ello que mediante el presente proyecto se pretende evaluar el nivel de contaminación del suelo; que permita plantear y/o establecer una alternativa de solución que minimice la contaminación del suelo producto de los lixiviados.

Trabajos previos

A nivel internacional

Álvarez en su trabajo de investigación titulado: Diagnóstico y propuesta de mejora del tiradero municipal de Villa Victoria Estado de México. Tesis de pregrado. Universidad Autónoma del Estado de México. Villa Victoria – México. 2016. El autor concluye diciendo que:

- Después de haber revisado tanto el área de estudio como la legislación vigente para el establecimiento de lugares de disposición final en los municipios, hemos concluido que en Villa Victoria Estado de México no se cuenta con un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos apegado a la legislación.

Romero en su trabajo de investigación titulado: Estudio de la contaminación por plomo en suelos de una planta de reciclaje de baterías cerrada en Freire, IX región. Tesis de pregrado. Universidad de Chile. Santiago – Chile. 2017. Concluye diciendo:

- Se determinó la concentración de plomo en las muestras de suelo tanto del sitio como de los niveles basales, encontrándose que existían diferencias estadísticamente significativas entre las medias de ambos grupos. Las concentraciones de plomo en el sitio superaban ampliamente los niveles basales y la normativa de referencia elegida (400 [mg/Kg] EPA).

Sanchez en su trabajo de investigación titulado: Contaminación por metales pesados en el botadero de basuras de Moravia en Medellín: transferencia a flora y fauna y evaluación del potencial fitorremediador de especies nativas e introducidas. Tesis de posgrado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá – Colombia. 2010. El autor concluye diciendo que:

- A pesar de haber transcurrido 24 años desde su cierre, el antiguo botadero de basuras de Moravia presenta en sus capas superficiales una alta concentración de Pb, Ni, Cr, Hg y Cd, con valores que exceden por un amplio rango los límites permisibles en suelos agrícolas, en enmiendas para aplicación en suelos agrícolas, e incluso reportes previos de rellenos sanitarios. Debe recordarse que a pesar de su clausura desde 1984, la matriz de residuos ha estado la mayor parte del tiempo cubierta de casas, por lo que la infiltración y movilidad de los metales pesados ha sido casi nula.

Márquez[1] en su trabajo de investigación titulado: Evaluación de la Contaminación de suelos agrícolas por Lixiviados de un botadero municipal en la parte central de México. Tesis de pregrado. Universidad del Valle de Toluca. México. 2010. El autor concluye con:

- El LX contamina áreas circunvecinas del sitio de disposición como principalmente el suelo y los vegetales adyacentes. Una herramienta para medir el potencial de contaminación de un LX es el Índice de contaminación de lixiviados (ICL).

Hernández[2] en su trabajo de investigación titulado: Evaluación del índice de Lixiviados de vertederos de Residuos sólidos urbanos a cielo abierto en la ciudad de La Habana. Tesis de pregrado. Universidad Tecnológica de La Habana, "José Antonio Echeverría" Cuba. 2009. Concluyo:

- Que los vertederos provinciales y municipales tienen trabajadores y supervisores. Sin embargo, en los vertederos de período especial, los controladores no siempre están presentes, a pesar que deben estarlo por reglamento.

Ámbito nacional

Falcón[3] en su trabajo de investigación titulado: Afectación del suelo como consecuencia de la disposición de residuos sólidos municipales en el botadero Roma- Casa Grande. Tesis de Pregrado. Universidad Cesar Vallejo. Trujillo – Perú. 2016. El autor concluye diciendo que:

- La inadecuada disposición final de los residuos sólidos municipales que ocasiona presencia de metales pesados como el plomo, cadmio y cromo VI donde sus concentraciones excedieron los Estándares de Calidad Ambiental para suelo por lo cual, provocó diversos impactos negativos sobre el medio ambiente, social, productivo y económico en los sectores locales, regional y nacional.

Champi[4] en su trabajo de investigación titulado: Evaluación de la Contaminación por Disposición Final de Residuos Sólidos en los Centros Poblados de Pisac, Coya, Lamay y Calca- Región Cusco. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Cusco – Perú. 2014. Los autores concluyeron diciendo:

- El análisis físico-químico de los lixiviados generados por la disposición final de residuos sólidos de

los botaderos de la localidad de Pisac (Matara) y Calca (Kaytupampa), presentan un alto contenido de materia orgánica en suspensión, por consiguiente, valores elevados de DBO y DQO, convirtiéndose en un potencial contaminante del recurso edáfico e hídrico. Respecto a los metales pesados en los lixiviados, se encontraron en valores traza en los cuatro botaderos y por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP) propuestos por el MINAM. El análisis bacteriológico de los lixiviados muestra la presencia elevada de Coliformes totales en los botaderos de Pisac, Coya, Lamay y Calca superando así los LMP, indicando contaminación bacteriológica, por ende, estaría afectando al recurso suelo.

Vivanco en su trabajo de investigación titulado: Evaluación de la contaminación del suelo producida por el botadero municipal de Abancay y sus impactos negativos en el entorno y la salud humana. Tesis de pregrado. Universidad alas peruanas, filial Abancay. Abancay – Perú. 2012. Concluyo diciendo que:

- La mala disposición final de los residuos sólidos, los cuales son arrojados en el botadero municipal, los mismos que emiten gases tóxicos, además de la producción de lixiviados, conduciendo a la liberación de peligrosos contaminantes, constituyendo un grave problema sanitario, causante de efectos adversos al suelo y la salud humana.

Rojas[5] en su trabajo de investigación titulado: Evaluación de la calidad físico química del suelo vertidos con lixiviados del botadero de residuos sólidos y sus efectos en la salud pública de la población de la zona periférica del botadero de Cancharani - Puno. Tesis de posgrado. Puno – Perú. 2016.

A nivel regional

Ramírez[6] en su trabajo de investigación titulado: Determinación de los Niveles de Contaminación del Agua por la Disposición Final de Residuos Sólidos Generados en la Ciudad de Moyobamba- 2014. Tesis de pregrado. Universidad Nacional De San Martin Tarapoto. Moyobamba – Perú. 2014. El autor concluye diciendo que:

- La Quebrada El Paraíso resultó la más contaminada manifestado por lo lixiviados provenientes del Botadero Municipal, en la cual los bajos niveles de pH y altas concentraciones de sólidos disueltos totales resultaron ser la mayor limitante.

Rojas[5] en su trabajo de investigación titulado: Evaluación Ambiental y Económica de la Disposición Final de residuos sólidos urbanos municipales de Moyobamba – 2015. Tesis de pregrado. Universidad Nacional De San Martin - Tarapoto. Moyobamba – Perú. 2016. Concluye diciendo:

- En cuanto a la evaluación de la fase de disposición final de residuos sólidos municipales ubicado en el tramo de la carretera Moyobamba – Yantaló, y según el número de incidencias de impactos ambientales identificados nos arroja q los componentes del ambiente de mayor afectación, es el suelo agua y aire principalmente.

Vásquez[7] en su trabajo de investigación titulado: Evaluación del índice de calidad del agua en el área de influencia del botadero municipal de Tarapoto sector Yacucatina – San Martin – Perú. Tesis de posgrado. Universidad Nacional De San Martin Tarapoto. Tarapoto – Perú. 2010. El autor concluye diciendo:

- Todos los puntos muestreados tienen contaminación por coliformes totales y coliformes termotolerantes, superando los estándares de calidad para aguas.

Izquierdo[8] en su trabajo de investigación titulado: Evaluación de la contaminación de las fuentes de agua ubicadas en el área de influencia del botadero municipal de la ciudad de Yurimaguas. Tesis de pregrado. Yurimaguas – Perú. 2013. Las conclusiones fueron que:

- De los análisis Fisicoquímicos ninguno de los parámetros sobrepasa los valores establecidos en los ECAs para agua, D.S. Nº 015-2015, por lo tanto, esta agua no se encuentra contaminada para el uso que se da en los cuerpos de aguas investigados, excepto los sólidos totales que sobrepasan los ECAs (Puntos 2,4).
- Los cuerpos de agua estudiados contienen trazas de contaminantes por metales pesados Cadmio, Cromo y Plomo de las cuales los dos últimos mencionados sobrepasan los ECAs para el uso que se da a estas fuentes de agua, acabe resaltar si existen pequeñas trazas de Cadmio, que posiblemente se deba a la disposición de residuos sólidos de origen eléctrico, electrónico y residuos provenientes de pilas y baterías.

Teorías relacionadas al tema

¿Qué es el suelo?

Martinez[9] dice que el suelo es la "capa superior de la superficie sólida del planeta, formada por meteorización de las rocas en la que están o pueden estar enraizadas las plantas y que constituye un medio ecológico particular para ciertos tipos de seres vivos."

"Otra aceptación del concepto suelo es: mezcla más o menos resulta de pequeños fragmentos de roca y materiales de origen orgánico, junto con líquidos y gases en proporción variable de sus respectivos componentes, con una determinada capacidad productiva".[9]

Composición del suelo

Fase sólida

"La fase solida es la responsable del comportamiento del suelo, dentro de ella se distinguen dos tipos de componentes: la fracción mineral derivada del material original y la fracción orgánica procedente de los restos de los seres vivos que habitan tanto con en el interior del suelo".[9]

"Dentro de la fase solida mineral se consideran las sustancias de carácter salino, solubles y que por lo tanto presentan una menor estabilidad que los silicatos, que son los constituyentes primordiales. Los componentes de la fase sólida se dividen en:[9]

- Componentes minerales: "La fracción mineral del suelo deriva directamente del material original de este y existen tres tipos principales que son: la arena, limo y arcilla".[9]
- Componentes orgánicos: "La materia orgánica del suelo procede de los restos de organismos caídos sobre su superficie, principalmente hojas y residuos de plantas. Este material es conocido como "materia orgánica fresca" y su cantidad varia con el uso o vegetación que cubra el suelo".[9]

Fase líquida

"La fase líquida se conoce como "agua del suelo" y es así por su procedencia de las lluvias o de mantos freáticos elevados, una vez en contacto con la fase sólida se incorporan a ella sustancias en solución y en suspensión procedentes de aquella".[9]

"Es en esta fase que se desarrollan los procesos de formación y evolución del suelo, siendo de especial importancia los relativos a la interface sólido-liquido. También actúa como vehículo de transporte de sustancias ya sea dentro del suelo como desde el al exterior".[9]

Fase gaseosa

"Esta fase está constituida por un gas de composición parecía al aire cualitativamente, pero con proporciones diferentes de sus componentes. Ella permite la respiración de los organismos del suelo y de las raíces de las plantas".[9]

"El intercambio gaseoso entre el suelo y la atmosfera se produce por difusión entre ambos. La importancia de la respiración de los organismos en la composición de la atmosfera del suelo, se pone en manifiesto por las diferencias estacionales que se observan en el contenido del dióxido de carbono".[9]

Contaminación del suelo

"El efecto ambiental más obvio del manejo inadecuado de los residuos sólidos municipales lo constituye el deterioro estético de las ciudades, así como del paisaje natural, tanto urbano como rural. La degradación del paisaje natural, ocasionada por la basura arrojada sin ningún control, va en aumento; es cada vez más común observar botaderos a cielo abierto o basura amontonada en cualquier lugar".

"Otro efecto negativo fácilmente reconocible es el deterioro estético de los pueblos y ciudades, con la consecuente desvalorización, tanto de los terrenos donde se localizan los botaderos como de las áreas vecinas, por el abandono y la acumulación de basura. Además, la contaminación o el envenenamiento de los suelos es otro de los perjuicios de dichos botaderos, debido a las descargas de sustancias tóxicas y a la falta de control por parte de la autoridad ambiental".

Fuentes de contaminación y contaminantes

Causas de la contaminación del suelo

Según Rodríguez[10] "Son diversas las causas de los problemas de contaminación de suelos, algunas de las cuales resultan difícilmente controlables y escapan a una clasificación sistemática, como los derrames accidentales de substancias peligrosas y los vertidos ilegales efectuados de forma clandestina."

"Por su significación cuantitativa, cabe destacar entre los focos más importantes de contaminación de suelos, los vertederos de residuos industriales mal acondicionados o abandonados, las conducciones y los depósitos de hidrocarburos y substancias químicas en general y las actividades minero metalúrgicas. Esto por lo que se refiere a la contaminación de carácter localizado".[10]

Principales causas de la contaminación:

- "La disposición inadecuada de residuos peligrosos en terrenos baldíos, bodegas, almacenes e instalaciones industriales".
- "Las fugas de materiales peligrosos (en especial los hidrocarburos y sus derivados) de tanques,

contenedores subterráneos, tuberías y ductos".

- "La lixiviación de residuos peligrosos en sitios de almacenamiento y en sitios donde se desarrollan actividades de manejo de residuos peligrosos".
- "Los derrames de sustancias químicas por accidentes de transporte".
- "La disposición inadecuada de residuos peligrosos o sólidos contaminados con éstos en los sitios de disposición final para residuos sólidos urbanos".

Funciones importantes del suelo:

- "Actuar como filtro regulador durante la recarga de acuíferos y protección de éstos".
- "Es el lugar donde se llevan a cabo los ciclos biológicos, biogeoquímicos y de la red trófica".
- "Constituye un hábitat biológico y de reserva para la preservación de especies, y por ende, de la diversidad genética".
- "Es la base física para la producción de alimentos agrícolas y pecuarios".
- "Es un productor de recursos forestales".
- "Es la base física para la construcción de edificaciones y servicios".

Contaminación Difusa

Según [10] "La contaminación difusa, con el ejemplo típico de los suelos agrícolas, constituye otro ámbito del problema, diferente tanto por sus características como por la naturaleza de sus posibles soluciones, circunscritas básicamente al ámbito de la prevención, dada la inviabilidad técnico-económica de la aplicación de soluciones correctivas."

Pérdida de nutrientes del suelo por lixiviados

Según Fernández "El concepto de lixiviación se utiliza para describir un fenómeno característico de climas húmedos, que provoca la pérdida de nutrientes en algunas capas del suelo, al arrastrar el agua sustancias básicas del terreno como arcilla, sales, hierro o humus."

"Este concepto también se utiliza para indicar el desplazamiento hacia ríos y mares de los desechos y otros contaminantes, y el proceso de lavado de un estrato de terreno o capa geológica por el agua".

"La vegetación, en especial la forestal, sirve de protección natural contra la lixiviación, de ahí que, si se destruye, dicho proceso se acelera considerablemente. El empleo de fertilizantes muy ácidos, el riego excesivo y los cultivos que retienen muchos nutrientes del suelo contribuyen también a incrementar este problema".

Calidad del suelo

Según [11] "La calidad del suelo abarca los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo y sus interacciones. Por esto, para captar la naturaleza holística de la calidad, o salud, del suelo, deberán ser medidos todos los parámetros. Sin embargo, no todos los parámetros tienen la misma relevancia para todos los suelos, o situaciones".

Muestreo de suelos

"El muestreo es la actividad por la que se toman muestras representativas que permiten caracterizar el suelo en estudio, en tanto que la muestra puede ser definida como una parte representativa que presenta las mismas características o propiedades del material que se está estudiando y las muestras que serán enviadas al laboratorio, constituyen las muestras elegidas para ser analizadas de acuerdo a los objetivos establecidos".

"La técnica del muestreo a aplicar depende, entre otros, del objetivo del estudio, de las condiciones edáficas, meteorológicas, geológicas e hidrogeológicas en el sitio, la profundidad y accesibilidad de la contaminación en estudio y de los requerimientos analíticos acerca de la cantidad y calidad de las muestras".

"Para muestras superficiales: Para la toma de muestras superficiales (hasta una profundidad de aproximadamente un metro) se pueden aplicar sondeos manuales. Este sistema es relativamente fácil, rápido de usar y de bajo costo, siendo poca la cantidad de suelo que se puede extraer con esta técnica, será necesario obtener muestras compuestas de varios sondeos. Otras técnicas alternativas para la toma de muestras superficiales pueden ser hoyos o zanjas".

"Para muestras en profundidad: En un sitio potencialmente contaminado puede existir también una distribución espacial en profundidad de las sustancias contaminantes. Esta puede resultar de la interacción entre las características y propiedades del suelo a lo largo del perfil con las características y propiedades de las propias sustancias contaminantes. Por ello, es esencial que el muestreo refleje también la posible variabilidad espacial en profundidad de las sustancias contaminantes. De otra forma, las decisiones tomadas pueden no resultar adecuadas."

Los residuos sólidos y su impacto en el ambiente

"Se sabe que la disposición inadecuada de desechos sólidos municipales en botaderos ocasiona impactos

negativos en la salud humana y en el ambiente."

"Los factores que determinan la forma e intensidad del impacto están relacionados con el tipo predominante de residuo, distancia entre las zonas pobladas y los botaderos, profundidad de la napa freática, distancia y características de las fuentes de agua superficial que podrían verse afectados."

"Los contaminantes pueden surgir como gases en el aire y suelos o como lixiviados en las aguas superficiales y subterráneas. Si no se detecta contaminación en la zona del vertedero, es importante definir la ruta de movimiento del contaminante, el camino, desde el vertedero hasta el punto de detección".[12]

"En el caso de las aguas superficiales, el camino es a menudo es el canal de un riachuelo o una superficie erosionada; para las aguas subterráneas normalmente, el camino es el acuífero superior de las aguas subterráneas".[12]

"Una vez establecido el camino, la práctica común es identificar todas las actividades, humanas y otras a lo largo del camino para poder completar una valoración de los impactos de los contaminantes".[12]

"Igualmente importante en el control del movimiento del lixiviado es la gestión de todas las aguas superficiales, incluyendo la lluvia, la escorrentía, los arroyos intermitentes y los manantiales artesianos." donde estos por su recorrido contaminan el suelo.[12]

"El Impacto ambiental es un conjunto de efectos positivos y negativos que una actividad económica, en marcha o proyectada, ejerce sobre el nivel de vida y el ambiente físico de su zona de influencia".[13]

"La cuestión de los residuos afecta en general y de forma horizontal a todas las actividades, personas y espacios, convirtiéndose en problema no sólo por lo que representa en términos de recursos abandonados sino por la creciente incapacidad para encontrar lugares que permitan su acomodo correcto desde un punto de vista ecológico".[13]

Los efectos negativos se dan sobre diferentes factores ambientales:

Agua:

- "Producción de lixiviados y fenómenos de escorrentía con el consiguiente peligro de contaminación de los suelos expuestos al foco contaminante".[13]
- "Contaminación por descarga puntual son los suelos superficiales utilizados como receptores".[13]
- "Contaminación por escorrentías hacia suelos de cultivos agrícolas, etc".[13]
- "Lixiviación de productos químicos, pesticidas vertidos de envases y restos que quedan en los recipientes vertidos al suelo que llegan a afectar acuíferos superficiales y subterráneos".[13]
- "Contaminación de acuíferos subterráneos como consecuencia de percolación de lixiviados, provenientes de botaderos y rellenos sin control".[13]
- "La contaminación química por residuos industriales, ocasiona perdida del recurso para consumo humano o recreación, deteriorando el paisaje y destruyendo la fauna de la superficie terrestre".[13]

Deterioro del paisaje:

- "La contaminación del paisaje consigo la disminución de la calidad de vida en términos del espacio y del horizonte, además de afecciones graves sobre el paisaje, acentuados por el vertimiento indiscriminado de residuos sólidos".[13]

Flora y Fauna:

- "Alteraciones de comunidades vegetales como consecuencia de la aparición indiscriminada de vertederos incontrolados".[13]
- "Contaminación de pastos y forrajes para la alimentación animal".[13]
- "Modificación o disminución de la cubierta vegetal y por tanto, peligro de erosión del suelo".[13]
- "Generación de focos de infección como consecuencia de acumulación de materia orgánica".[13]
- "Animales de consumo doméstico alimentados con residuos y desechos vegetales en contacto con residuos industriales, con los consiguientes peligros de incorporación de pesticidas y tóxicos al metabolismo animal y posterior transmisión al hombre mediante leche y carne".[13]
- "Incremento de plagas de insectos y roedores".[13]
- "Cambios de pauta de alimentación de determinadas especies animales".[13]

Contaminación por Lixiviados

"Los lixiviados son líquidos que se generan por la liberación del exceso de agua de los residuos sólidos y por la percolación de agua pluvial a través de los estratos de residuos sólidos que se encuentran en las fases de composición. El lixiviado es considerado como el principal y gran contaminante generado en un relleno".

"Los lixiviados son todos aquellos líquidos que han entrado en contacto con los desechos de rellenos sanitarios, y se producen por la disolución de uno o más compuestos de los residuos sólidos urbanos en contacto con el suelo, o por la propia dinámica de descomposición de los residuos".

"En la mayoría de vertederos el lixiviado está formado por el líquido que entra en el vertedero desde

fuentes externas (drenaje superficial, lluvia, aguas subterráneas, aguas de manantiales subterráneos), y en su caso el líquido producido por la descomposición de los residuos." Contaminando de una manera indiscriminada el suelo.[12]

"El lixiviado generado en un botadero es producto de múltiples factores, tales como: composición de la basura, edad del botadero, balance de agua, diseño y operación del relleno sanitario, solubilidad de los desechos, procesos de conversión microbiológica y química y la interacción del lixiviado con el medio ambiente."

"El caudal generado varía de acuerdo con el estado de avance y el tipo de operación del relleno, y la composición también varía en el tiempo."

Composición del lixiviado

"Al filtrarse el agua a través de los residuos sólidos en descomposición, se lixivian en solución materiales biológicos y constituyentes químicos. Este proceso da lugar a la aparición de unas corrientes líquidas caracterizadas principalmente por un gran número de sustancias, con valores a menudo extremos de pH, alta carga orgánica y metales pesados, así como por su intenso mal olor".[12]

"En condiciones normales, el lixiviado se encuentra en el fondo de los botaderos. Desde allí el movimiento es a través de los estratos subyacentes, aunque también ocurre algún movimiento lateral, dependiendo de las características del material circundante y de la forma del suelo que soporta el lleno (topografía, pendiente, tipo de suelo, forma de la cuenca)".[12]

"Existen diferencias marcadas entre los lixiviados provenientes de vertederos nuevos (menos de 2 años) y maduros (mayores de 10 años), especialmente en los valores registrados para la DBO, la DQO y los sólidos suspendidos".[12]

Físicos	Constituyentes orgánicos	Constituyentes inorgánicos	Biológicos
Aspecto	Químicos orgánicos	Sólidos en suspensión (SS), sólidos totales disueltos (STD)S.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
pH	Fenoles	Sólidos volátiles en suspensión (SVS), sólidos volátiles disueltos (SVD).	Bacterias coliformes (total, fecal, fecal estreptococo).
Potencial de reducción oxidación	Demanda química de oxígeno (DQO).	Cloruros	Recuento sobre placas estándar.
Conductividad.	Carbono orgánico total (COT).	Sulfatos.	
Color	Acidos volátiles	Fosfatos.	
Turbicidad	Taninos, ligninas.	Alcalinidad y acidez.	
Temperatura	N-Orgánico.	N-Nitrato	
Olor	Solubles en éter (aceite y grasa)	N-Nitrito.	

Figura 1. Composición del Lixiviado
Fuente: [12]

Calidad de los lixiviados

"Sostiene que la calidad de los lixiviados es determinada fundamentalmente por los procesos de reacción bioquímica que tienen lugar en el botadero y por sus condiciones ambientales. En el suelo caen espontáneamente sustancias solubles y sustancias que se han hecho solubles en agua a través de los procesos bioquímicos, así como los productos finales correspondientes a los procesos de reacción bioquímica."

"Al filtrarse en el suelo a través de los residuos sólidos en descomposición, se lixivian en solución materiales biológicos y constituyentes químicos. En la figura 2, se presentan datos representativos sobre las características de los lixiviados en vertederos nuevos y antiguos".[12,13,14,15]

Constituyente	Valor en mg/L[b]		
	Vertedero Nuevo(menos de 2 años)		Vertedero maduro(mayor de 10 años)
	Rango [c]	Típico [d]	
DBO_5	2000 - 30000	10000	100 - 200
COT(carbono orgánico total	1500 - 20000	6000	80 - 160
DQO	30000- 60000	18000	100 - 500
Total de sólidos en suspensión	200 - 2000	500	100 - 400
Nitrógeno orgánico	10 - 800	200	80 - 120
Nitrógeno amoniacal	10 - 800	200	20 - 40
Nitrato	5 - 40	25	5 - 10
Fósforo total	5 - 100	30	5 - 10
Ortofosfato	4 - 80	20	4 - 8
Alcalinidad como Ca CO_3	1000 - 10000	3000	200 - 1000
pH	4,5 – 7,5	6	6,6 – 7,5
Dureza total como Ca CO_3	300 - 10000	3500	200 - 500
Calcio	200 - 3000	1000	100 - 400
Magnesio	50 – 1500	250	50 - 200
Potasio	200 - 1000	300	50 - 400
Sodio	200 - 2500	500	100 - 200
Cloro	200 - 3000	500	100 - 400
Sulfatos	50 - 1000	300	20 - 50
Hierro total	50- 1200	60	20- 200

Figura 2. Datos sobre la composición de los lixiviados procedentes de vertederos nuevos y maduros
Fuente: [12]

CONCLUSIONES

El presente estudio ha permitido establecer, con base en la revisión teórica, la evidencia empírica y el análisis contextual, que la gestión inadecuada de los residuos sólidos en el Distrito de San Pablo constituye una problemática ambiental de alta prioridad, caracterizada por su complejidad multicausal y sus impactos acumulativos sobre los componentes físicos, químicos y biológicos del medio. La inexistencia de un sistema de disposición final técnicamente diseñado y regulado conforme a lo dispuesto en el Decreto Legislativo N º 1278 ha derivado en la utilización de un botadero a cielo abierto carente de impermeabilización, sistemas de drenaje y captación de lixiviados, así como de mecanismos de control y monitoreo, lo cual ha generado un foco activo y sostenido de contaminación ambiental.

Los hallazgos de estudios previos, tanto en el ámbito internacional como nacional y regional, corroboran que las condiciones observadas en San Pablo reproducen un patrón recurrente en localidades que carecen de infraestructura para el manejo integral de residuos sólidos. En estos escenarios, los lixiviados —producto de la percolación de aguas pluviales y del proceso de descomposición microbiológica de la fracción orgánica de los residuos— presentan elevadas cargas contaminantes, incluyendo materia orgánica biodegradable, metales pesados (Pb, Cd, Cr, Hg, Ni) y altas concentraciones de microorganismos patógenos. Estos parámetros superan con frecuencia los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos para suelos y aguas, representando un riesgo latente para la integridad del recurso edáfico, la calidad del recurso hídrico y la salud de la población.

Desde el punto de vista del recurso suelo, la infiltración continua de lixiviados provoca alteraciones significativas en sus propiedades fisicoquímicas, tales como el incremento de la conductividad eléctrica, la disminución del pH, la acumulación de sales solubles y metales pesados, así como la reducción de su capacidad de intercambio catiónico y fertilidad natural. En términos biológicos, la presencia de contaminantes tóxicos altera la estructura y diversidad de las comunidades microbianas edáficas, interfiriendo con los ciclos biogeoquímicos esenciales y afectando la capacidad del suelo para cumplir sus funciones ecosistémicas.

Asimismo, la inexistencia de un sistema de gestión integral de residuos sólidos agrava la problemática debido a factores socioculturales y de gobernanza ambiental. Entre ellos destacan la persistencia de patrones de hiperconsumo, la baja tasa de segregación y reciclaje, la ausencia de incentivos para la valorización de residuos y la limitada conciencia ambiental de la población. A ello se suma la insuficiencia de capacidades técnicas y presupuestarias en el gobierno local para la implementación de prácticas sostenibles de manejo de residuos, lo cual contraviene los principios de prevención, minimización y responsabilidad compartida establecidos en la normativa vigente.

En consecuencia, la evaluación del nivel de contaminación del suelo en la zona de influencia directa del

botadero municipal no solo constituye un requisito metodológico esencial para determinar la magnitud del impacto ambiental, sino también una herramienta estratégica para la formulación de políticas y planes de acción orientados a la mitigación y remediación. Entre las medidas prioritarias que deben ser implementadas se identifican:

Construcción e implementación de un relleno sanitario técnicamente diseñado, con sistemas de impermeabilización, captación y tratamiento de lixiviados, así como control de biogases.

Fortalecimiento institucional y técnico del gobierno local, mediante capacitación especializada, asignación presupuestaria y adquisición de equipamiento para la recolección, transporte y disposición final.

Establecimiento de un programa permanente de monitoreo ambiental para suelos, aguas y aire, con indicadores de calidad y parámetros alineados a la normativa nacional e internacional.

Diseño e implementación de campañas de educación y cultura ambiental, con enfoque comunitario, orientadas a la reducción en la generación de residuos, la segregación en la fuente y el incremento de las tasas de reciclaje.

Fomento de la participación ciudadana en procesos de vigilancia ambiental y toma de decisiones sobre la gestión de residuos, bajo principios de corresponsabilidad y transparencia.

La resolución de la problemática identificada en el Distrito de San Pablo exige, por tanto, un abordaje integral que articule dimensiones técnicas, normativas, socioeducativas y de gestión institucional. La implementación de un sistema de gestión integral de residuos sólidos, respaldado por evidencia científica y ajustado a los marcos regulatorios vigentes, permitirá no solo mitigar los impactos negativos actuales, sino también prevenir futuros riesgos ambientales y sanitarios. De este modo, se contribuirá a la conservación del capital natural, al fortalecimiento de la resiliencia ecosistémica y al cumplimiento de los compromisos nacionales e internacionales en materia de desarrollo sostenible, garantizando así un entorno saludable y seguro para las generaciones presentes y futuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Márquez L. Evaluación de la Contaminación de suelos agrícolas por Lixiviados de un botadero municipal en la parte central de México. Tesis de pregrado. Universidad del Valle de Toluca; 2010. 45 p.

2. Hernández C. Evaluación del índice de Lixiviados de vertederos de Residuos sólidos urbanos a cielo abierto en la ciudad de La Habana. Tesis de pregrado. Universidad Tecnológica de La Habana, "José Antonio Echeverría"; 2009. 68 p.

3. Falcón M. Afectación del suelo como consecuencia de la disposición de residuos sólidos municipales en el botadero Roma- Casa Grande. Tesis de Pregrado. Universidad Cesar Vallejo; 2016. 51 p.

4. Champi V, Villalba Balsa M. Evaluación de la contaminación por disposición final de Residuos Sólidos en los centros poblados de Pisac, Coya, Lama y Y Calca- Región Cusco. Tesis de Pregrado. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO; 2014. 181 p.

5. Rojas XD. Evaluación Ambiental y Económica de la Disposición Final de residuos sólidos urbanos municipales de Moyobamba-2015. Tesis de pregrado. Universidad Nacional De San Martin - Tarapoto; 2016. 126 p.

6. Ramírez HJ. Determinación de los Niveles de Contaminación del Agua por la Disposición Final de Residuos Sólidos Generados en la Ciudad de Moyobamba- 2014. Tesis de pregrado. Universidad Nacional De San Martin Tarapoto; 2014. 92 p.

7. Vásquez F. Evaluación del índice de calidad del agua en el área de influencia del botadero municipal de Tarapoto sector Yacucatina-San Martin-Perú. Tesis de posgrado. Universidad Nacional De San Martin Tarapoto; 2010. 127 p.

8. Izquierdo N. Evaluación de la contaminación de las fuentes de agua ubicadas en el área de influencia del botadero municipal de la ciudad de Yurimaguas. Tesis de pregrado; 2013. 84 p.

9. Martinez F. Edafología y fertilidad de suelos. Instituto Tecnológico Superior "JUAN MONTALVO"; 2016. 92 p.

10. Rodríguez J. Hacia un uso sostenible de los recursos naturales. Andalucía - Sevilla; 2008. 99 p. ISBN: 978-84-7993-048-6.

11. Salazar J. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Argentina; 2000. 88 p.

12. Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil A. Gestión Integral de residuos sólidos. McGraw-Hill/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.; 1998. 1120 p. ISBN: 9788448118303.

13. ECORGÁNICAS. Problemas Ambientales, Medellín, Revista. Setiembre 2013, Vol 3. Disponible en: https://ecorganicas.com/Cont/index.php.

14. Higueras LG. Residuos sólidos, contaminación y efecto de lixiviados en suelo por el botadero municipal de la paz y creación de una norma específica que regule su tratamiento. Tesis de posgrado. Universidad Mayor De San Andrés; 2010. 95 p.

15. Ojeda R. Evaluación preliminar del impacto sobre el suelo del área de influencia directa del vertedero de residuos sólidos del municipio de Arauca. Tesis de pregrado. Universidad nacional de Colombia sede Arauca ingeniería ambiental; 2005. 45 p.

FINANCIACIÓN

Ninguna.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Benny Walker Díaz-Fonseca, Carlos Mauricio Lozano-Carranza, Andi Lozano-Chung.

Redacción – borrador original: Benny Walker Díaz-Fonseca, Carlos Mauricio Lozano-Carranza, Andi Lozano-Chung.

Redacción – revisión y edición: Benny Walker Díaz-Fonseca, Carlos Mauricio Lozano-Carranza, Andi Lozano-Chung.