

Influence of the Inadequate Disposal of Solid Waste from the Rumiallana Dump on Soil Quality.

Magda Velásquez Marín, Mtr. ¹, Julio Cachay Chavez, Bach. ¹, and Víctor Robles Ulloa Víctor, Bach. ¹

¹Universidad Privada del Norte, Perú, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Ambiental
correo-e: magda.velasquez@upn.edu.pe, N00242085@upn.pe, N00134163@upn.pe

Abstract–

The present investigation arises with the purpose of determining whether the inadequate final disposal of solid waste from the Rumiallana dump influences the quality of the soil through a quantitative approach, non-experimental design and with an explanatory scope. An identification sampling was carried out consisting of four monitoring stations within the area of influence and a field target control sample located 500 meters away; A 60 cm excavation was carried out, collecting 3 kg of soil to be transported to the laboratory accredited by INACAL for the determination of inorganic parameters (Cadmium (Cd), Lead (Pb), Arsenic (As), Barium (B), Chromium VI, Mercury (Hg), Free Cyanide), in the same way the pH, electrical conductivity and percentage of organic matter are calculated. The results obtained concerning inorganic parameters were compared to DS 011-2017-MINAM while for pH it was taken as a reference DS N° 016-2009-AG. Concluding that the inadequate final disposal of solid waste influences the soil quality of the Rumiallana dump, as it was found that the heavy metals of Cadmium (Cd), Lead (Pb) and Arsenic (As) are above the ECAs, and the pH is acidic, the electrical conductivity is high and the percentage of organic matter is low, and they are found to be contaminated and not suitable for use for agriculture or residential purposes.

Keywords-- Final disposal, solid waste, soil quality, inorganic parameters, Environmental quality standards.

Influencia de la Inadecuada Disposición de Residuos Sólidos del Botadero Rumiallana en la Calidad Suelo.

Magda Velásquez Marín, Mtr. ¹, Julio Cachay Chavez, Bach. ¹, and Víctor Robles Ulloa Víctor, Bach. ¹

¹Universidad Privada del Norte, Perú, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Ambiental

correo-e: magda.velasquez@upn.edu.pe, N00242085@upn.pe, N00134163@upn.pe

Resumen–

La presente investigación emerge con la finalidad de determinar si la inadecuada disposición final de residuos sólidos del botadero Rumiallana influye en la calidad de suelo, mediante un enfoque cuantitativo, diseño no experimental y con un alcance explicativo. Se realizó un muestreo de identificación que consta de cuatro estaciones de monitoreo dentro del área de influencia y una muestra control de blanco de campo localizado a 500 metros; se realizó una excavación de 60 cm recolectándose 3 kg de suelo para ser transportados al laboratorio acreditado por INACAL para la determinación de parámetros inorgánicos (Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Arsénico (As), Bario (B), Cromo VI, Mercurio (Hg), Cianuro Libre), de la misma manera se determinó el pH, conductividad eléctrica y porcentaje de materia orgánica. Los resultados obtenidos concerniente a parámetros inorgánicos se comparó DS 011-2017-MINAM mientras que para pH se tomó como referencia DS N° 016-2009-AG. Concluyendo que la inadecuada disposición final de residuos sólidos influye en la calidad de suelo del botadero Rumiallana, al encontrarse que los metales pesados de Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Arsénico (As) se encuentran por encima de los ECAs, además se determinó que el pH es ácido, la conductividad eléctrica alta y el porcentaje en materia orgánica bajo, encontrándose contaminados sin aptitud de uso para agricultura o residencial.

Keywords-- Disposición final, residuos sólidos, calidad de suelo, parámetros inorgánicos, Estándares de calidad ambiental.

Abstract–

The present investigation arises with the purpose of determining whether the inadequate final disposal of solid waste from the Rumiallana dump influences the quality of the soil through a quantitative approach, non-experimental design and with an explanatory scope. An identification sampling was carried out consisting of four monitoring stations within the area of influence and a field target control sample located 500 meters away; A 60 cm excavation was carried out, collecting 3 kg of soil to be transported to the laboratory accredited by INACAL for the determination of inorganic parameters (Cadmium (Cd), Lead (Pb), Arsenic (As), Barium (B), Chromium VI, Mercury (Hg), Free Cyanide), in the same way the pH, electrical conductivity and percentage of organic matter are calculated. The results obtained concerning inorganic parameters were compared to DS 011-2017-MINAM while for pH it was taken as a reference DS N° 016-2009-AG. Concluding that the inadequate final disposal of solid waste influences the soil quality of the Rumiallana dump, as it was found that the heavy metals of Cadmium (Cd), Lead (Pb) and Arsenic (As) are above the ECAs, and the pH is acidic, the electrical conductivity is high and the percentage

of organic matter is low, and they are found to be contaminated and not suitable for use for agriculture or residential purposes.

Keywords-- Final disposal, solid waste, soil quality, inorganic parameters, Environmental quality standards.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes desafíos ambientales que emergen en la actualidad a nivel nacional es el manejo de residuos sólidos y la ausencia de sitios adecuados para la disposición final. Estas prácticas inadecuadas contribuyen al deterioro del ambiente y tienen una afectación directa a la salud de la población. En el Perú para el año 2014 se generaron 7 497 482 toneladas de residuos sólidos de gestión municipal de los cuales el 64% son domiciliarios y un 26% no domiciliarios; de la generación del 53.16% de los residuos sólidos son de tipo orgánico, 18% son no aprovechables, 18.64% reaprovechables y 6.83% son compuestos reciclables; menos del 50% de la cantidad total de residuos sólidos generados fueron depositados en áreas apropiadas, como un relleno sanitario, lo que indica que fueron dispuestos de manera inadecuada en el ambiente [1].

Mientras que el departamento de Pasco generó 36 mil toneladas el año 2022 de residuos sólidos municipales de los cuales solo el 14,59% fueron dispuestos adecuadamente [2]; en el departamento de Pasco para el año 2023 se identificaron 24 áreas degradadas producto de la disposición final inadecuada de los residuos sólidos de gestión municipal, las cuales se destinadas a procesos de recuperación y abarcan una extensión de 14.44 hectáreas Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [3].

El botadero Rumiallana es sitio de disposición final para dos distritos Chaupimarca y Simon Bolívar ambos localizados en la provincia de Pasco. En el distrito de Chaupimarca para el año 2022 se generaron 3.089,01 toneladas de residuos sólidos domiciliarios, con una generación per cápita de 0,32 kg/hab/día; en lo concerniente a su caracterización el 59.71 % son residuos orgánicos, 2.33 % de residuos de papel, 3.65 % son residuos de cartón, 1.14 % son residuos de vidrio, 3.55 % son residuos de plástico, 0.10 % son residuos inorgánicos,

2.99 % son residuos con características metálicas y 26.57 % son residuos no aprovechables; de la misma manera se contabiliza que para el año 2022 tuvo una generación de 4.132,78 t/año de residuos sólidos no domiciliarios. Del total recolectado de residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios fue de 1.239,86 t/año en año 2022 destinados para disposición final [4]. Mientras que el distrito de Simon Bolívar en su proceso de recolección de residuos sólidos para disposición final se contabilizó 1.882,67 t/año de las cuales 21,90 t/año fueron residuos provenientes del barrido, 72,27 t/año fueron residuos provenientes del almacenamiento y 1.788,50 t/año fueron residuos municipales recolectados en el año 2022 [5]. A diferencia del distrito de Chaupimarca el distrito de Simon Bolívar no proporciona detalles de la composición de los residuos sólidos municipales, ya que no dispone de un Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos (ECRS).

La disposición final inapropiada de los residuos sólidos produce diversos impactos negativos sobre calidad ambiental del suelo y agua; el proceso de descomposición de residuos sólidos genera sustancias tóxicas, microorganismos patógenos, metales pesados e hidrocarburos policíclicos que se acumulan en el suelo que son procedentes de la lixiviación. [6]. Los lixiviados son el resultado del proceso de percolación de los residuos sólidos que afloran o infiltran mostrando movimientos horizontales o verticales afectando las superficies colindantes como los suelos, agua superficial y subterránea [6].

Los impactos ambientales negativos de origen antrópico como resultados de las actividades industriales, agrícolas o de servicios, generan múltiples efectos perjudiciales al ambiente; la forma de contaminación y desequilibrio de las propiedades del suelo es producto de diferentes vertidos ajenos a la composición inicial y depende de las características físicas y químicas del suelo que tiene una influencia directa sobre la reactividad de estos contaminantes [7]. Los residuos sólidos municipales (RSM) son todos aquellos que provienen de las viviendas, sitios de servicio y establecimientos comerciales [8], por RSM se hace referencia a los residuos sólidos de generación doméstica, comercial, limpieza urbana y productos de actividades similares. Según el INEI [9] aproximadamente el 93% de los RSM se gestionan de forma directa, 6% de forma mixta y el 1% de forma tercerizada; es importante que la gestión y manejo de los RSM sea de manera adecuada puesto que existe una relación directa en la producción de múltiples impactos negativos para el ambiente y salud de la sociedad. La responsabilidad de una buena gestión y manejo de RSM recae principalmente en los gobiernos locales.

Los RSM están compuestos por residuos sólidos orgánicos e inorgánicos. Los residuos orgánicos hacen referencia a los que provienen de restos de alimentos (cáscaras de frutas, verduras y hortalizas) y restos vegetales del

mantenimiento de áreas verdes (maleza, hojas, tallo, grass y otros similares). En el Perú estos representan el 56% [1]. Los residuos sólidos orgánicos pueden provocar perturbaciones al ambiente manifestándose en la disminución de la calidad de suelo. Mientras que los residuos sólidos inorgánicos son aquellos cuya descomposición dura muchos años, estos han sido fabricados artificialmente en procesos industriales; sin embargo, pueden ser reaprovechados y transformados, en el Perú se genera un 21% de este grupo de residuos [1].

Es por eso, que la presente investigación permite evaluar la calidad de suelo del botadero Rumiallana como resultado de la disposición final inadecuada de los residuos sólidos. Puesto que no existe información sobre Estándares de Calidad Ambiental del Suelo del botadero Rumiallana, los resultados de la investigación permitirán conocer la calidad de suelo para que dicha información pueda ser utilizada como base para proponer medidas preventivas o de mitigación ante los procesos negativos contaminantes que pueden afectar a los habitantes en su ámbito de influencia. Así mismo, los resultados permitirán generar información para encontrar el tipo de tecnología para recuperar el área degradada por residuos sólidos. Por otro lado, permitirá orientar políticas ambientales fomentadas por parte de la población o instituciones en diferentes niveles de gobierno para planear y ejecutar proyectos de remediación ambiental. Finalmente, servirá de base científica para futuras investigaciones, considerando las limitaciones de esta.

II. METODOLOGÍA

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo puesto que presenta un conjunto de procesos secuenciales de manera probatoria [9]. nos indica que las investigaciones de enfoque cuantitativo se refieren a la recolección de datos para demostrar hipótesis mediante mediciones estadísticas.

El diseño de esta investigación es no experimental puesto que se basa en observar fenómenos en su estado natural para un posterior análisis de la misma manera, se desarrolla sin manipular deliberadamente variables, en decir que en esta investigación no hacemos cambios de las variables independientes de forma intencional para el análisis de su efecto sobre las otras variables [10]. Y se evaluarán los fenómenos en su entorno natural de la misma manera será transversal puesto que se investigará las mismas muestras durante un solo periodo de tiempo.

La investigación también tiene un alcance explicativo, de acuerdo con Hernández [11] este tipo de estudio usualmente explica situaciones y eventos, es decir de cómo es su comportamiento y manifestación, en los estudios explicativos, se busca determinar la relación causa y efecto de fenómenos que permiten generalizar en una realidad geográfica diferente, analizando sus propiedades, características, procesos o cualquier otro fenómeno que se examine detenidamente, en el presente estudio llegamos a evaluar la influencia de la

inadecuada disposición final de residuos sólidos en el botadero Rumiallana sobre calidad ambiental del suelo.

De acuerdo con Bernal [12], la población es el conjunto de todas las unidades a los cuales se refiere la investigación y se desea hacer un análisis o inferencias. La población de la presente investigación comprende el área directa e indirecta del botadero Rumiallana donde se realiza la disposición final inadecuada de los residuos sólidos. Localizado en el ámbito territorial de los municipios Simon Bolívar y Chaupimarca.

La muestra es el subconjunto de la población seleccionada, de la cual se adquiere la información para llevar a cabo la investigación y analizar las variables bajo estudio [13]. Para la presente investigación se realizó la toma de muestras de 3 kg en 5 calicatas de 60x60 cm de área con una profundidad de 60cm en el área de influencia del botadero Rumiallana.

La técnica de muestreo es no probabilística, por conveniencia puesto que la naturaleza del fenómeno en análisis es frecuente y permitirá generar información nueva que será replicada en otras regiones similares. Para el proceso de muestreo se utilizaron los siguientes equipos y materiales de campo.

Equipos: GPS, Cámara fotográfica y Brújula.

Herramientas: lampas, picota, pico, barreta de acero, bandeja plástica y espátula de plástico.

Materiales: balde, jarra, bandeja de plástico, agua potable, agua ultrapura (destilada), picetas, detergente libre de fosfatos, cepillos, costales de nylon 0.5x0.30m, papel toalla, wincha de 2m, bolsas ziplock, frascos de plástico, guantes de nitrilo, guantes de cuero, mascarillas con filtros para polvo, cuaderno de campo, coolers, ice packs, Stretch film y cutter.

Para el procedimiento de muestro se utilizó la Guía para el Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente (2014) en conformidad con el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM que aprueba los ECAs para suelo.

Para la ubicación y determinación de estaciones de muestreo se realizó visitas técnicas de inspección y conocimiento del área de investigación donde se efectuó el muestreo a fin de establecer con precisión el tamaño del perímetro, área, accesibilidad vial, metodologías a emplear, así como los peligros y los riesgos de exposición. También se revisó información literaria del botadero Rumiallana localizado en los distritos de Simon Bolívar y Chaupimarca, provincia de Pasco, departamento de Pasco.

Aplicando la metodología de la Guía para el Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente (2014) se realizó el procedimiento para la toma de muestras en el botadero Rumiallana; utilizando el tipo de muestreo de identificación conforme a nuestro objetivo de investigar la existencia de contaminación en la zona de influencia con la finalidad comparar si el suelo supera ECAs establecidos en el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM, la técnica de muestreo se aplicó muestreo superficial mediante calicatas. Para la estimación de los números de estación de muestreo se consideró la Resolución Ministerial 085-2014-MINAM, se determinó 4 estaciones de toma de muestra ya que la zona de

influencia directa del botadero Rumiallana es menor a 0.1 hectáreas, asimismo la profundidad de excavación es de 60 centímetros puesto que el área ocupado por el botadero según zonificación municipal pertenecen a suelos agrícolas, posteriormente, se recolectó 3 kg de suelo para hacer el traslado al laboratorio, de la misma manera se realizó el muestreo de la muestra control en un área sin influencia del botadero.

TABLA I
COORDENADAS DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO DE SUELO DEL BOTADERO

Estación de muestreo	Profundidad (cm)	Coordenadas WGS 84 Zona 18S UTM		
		Este	Sur	m.s.n.m
SU-BR01	60	361969.88	8820874.93	4 341
SU-BR02	60	361965.97	8820846.50	4338
SU-BR03	60	361965.49	8820824.53	4335
SU-BR04	60	361968.99	8820793.99	4331
BKC-BR	60	362002.22	8820831.56	4342

El análisis de parámetros inorgánicos en el laboratorio acreditado se realizó de acuerdo con el anexo del Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM.

TABLA II
PARÁMETROS PARA ANÁLISIS DE LABORATORIO.

Parámetro	Unidad	Método de análisis
pH	-	
Conductividad eléctrica	dS/m	
Materia orgánica	%	Walkley&Black
Bario (B)	mg/kg	ICP
Arsénico (As)	mg/kg	ICP
Cadmio (Cd)	mg/kg	ICP
Cromo VI	mg/kg	ICP
Mercurio (Hg)	mg/kg	ICP
Plomo (Pb)	mg/kg	ICP
Zinc (Zn)	mg/kg	ICP
Cianuro Libre	mg/kg	ICP

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este apartado presentamos los resultados del monitoreo, analizados en laboratorio, tabulados y representado en gráficos para la determinar la influencia de la disposición final inadecuada de residuos sólidos en el botadero Rumiallana y su contrastación con los ECAs. Para determinar los valores de pH y la conductividad eléctrica del suelo en las muestras tomadas en las 5 estaciones de muestreo (SU-BR01, SU-BR02, SU-BR03, SU-BR04, BKC-BR). Se empleó un equipo multiparámetro de marca de fabricación HACH, específicamente el modelo HQ40d perteneciente serie

160900004118. De cada muestra de 2 kg de suelo se realizó la homogeneización y tamizado, paso seguido se tomó 100 g de suelo para mezclar con 200 ml de agua ultrapura en un vaso de precipitados, se procedió agitar la mezcla por 5 minutos con un reposo de 15 minutos para introducir los electros y realizar la medición como lo presentamos en las Fig. 1 y Fig. 2.

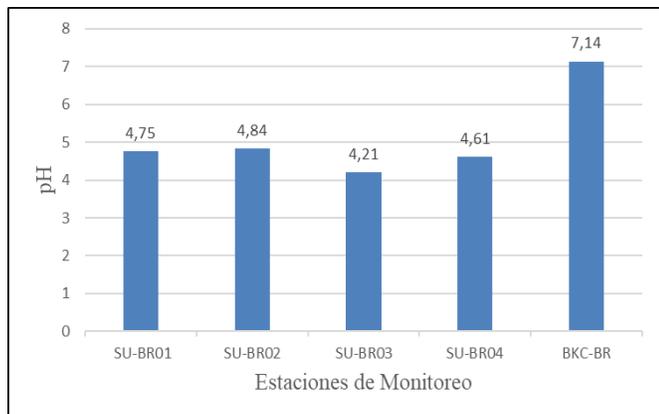


Fig. 1 Resultados de medición de pH del suelo del botadero Rumiallana.

La estación SU-BR01, registró un pH del suelo de 4.75, en SU-BR02 de 4.48, y en SU-BR03 de 4.21, mientras que SU-BR04 exhibió un valor de 4.61. En contraste, la estación BKC-BR que presentó un pH más neutro de 7.14. Estos datos indican claramente la presencia de niveles ácidos en las estaciones de muestreo localizadas dentro de la zona de influencia del botadero Rumiallana, oscilando entre 4.21 y 4.75. Es importante destacar que el blanco de campo, representado por BKC-BR, muestra un pH neutro de 7.14.

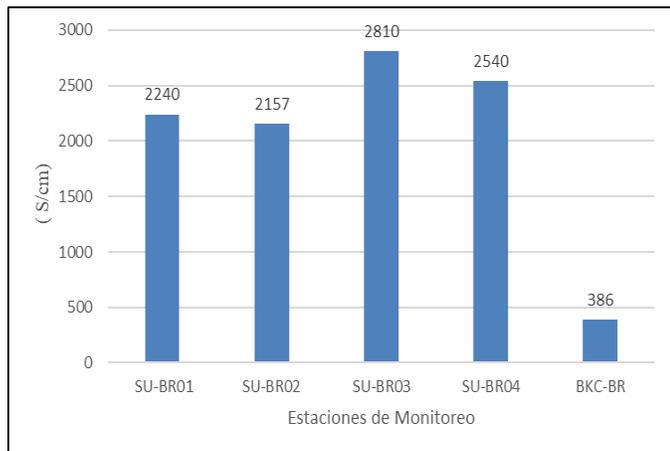


Fig. 2 Resultados de medición de conductividad eléctrica del suelo del botadero Rumiallana.

Las mediciones de conductividad eléctrica del suelo adquiridos de las estaciones localizadas dentro del área de influencia del botadero Rumiallana varían de manera mínima. Se observaron los siguientes valores: 2240 S/cm en SU-BR01,

2157 S/cm en SU-BR02, 2810 S/cm en SU-BR03 y 2540 S/cm en SU-BR04. En contraste, la estación BKC-BR presentó un valor notablemente menor de 386 S/cm. Estos datos revelan una alta conductividad eléctrica en la zona de estudio, con valores oscilando entre 2157 y 2810 S/cm. Es importante destacar que la muestra de blanco de campo (BKC-BR) muestra un nivel significativamente más bajo.

Se empleó el método Walkley & Black para calcular el porcentaje de materia orgánica para las 5 estación de muestreo (SU-BR01, SU-BR02, SU-BR03, SU-BR04, BKC-BR); los resultados de los análisis de las muestras de suelo se pueden observar en la Fig. 5.

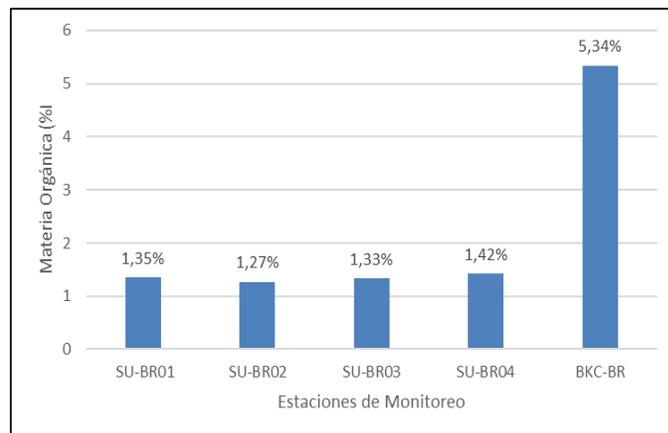


Fig. 3 Determinación del porcentaje de materia orgánica del suelo del botadero Rumiallana

Los resultados de la determinación de materia orgánica en el suelo del botadero Rumiallana registraron los siguientes valores: 1.35% en SU-BR01, 1.27% en SU-BR02, 1.33% en SU-BR03 y 1.42% en SU-BR04. En contraste, la estación BKC-BR, representativa de condiciones naturales, presentó un contenido de materia orgánica del 5.34%. Estos datos indican una oscilación en los niveles de materia orgánica en las estaciones de muestreo, que varían desde 1.27% hasta 1.42%. Es importante destacar que la muestra de blanco de campo (BKC-BR) muestra un contenido significativamente mayor de materia orgánica, alcanzando el 5.34%.

Para la determinación de los valores de los parámetros inorgánicos (Cadmio, Plomo, Arsénico, Bario, Cromo VI, Mercurio y Cianuro Libre) en las estaciones (SU-BR01, SU-BR02, SU-BR03, SU-BR04, BKC-BR), las muestras fueron enviadas al laboratorio Greenlab Perú S.A.C acreditado por INACAL. Los resultados se presentan a continuación.

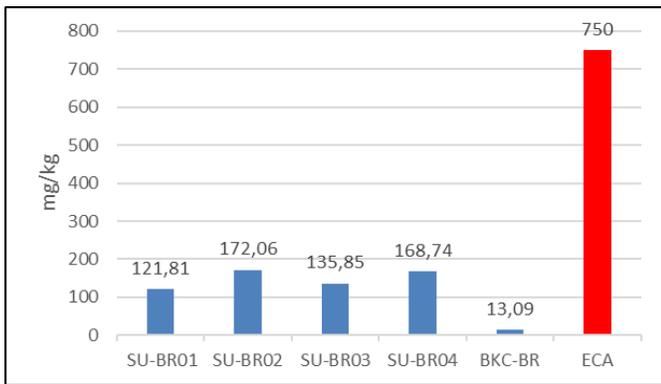


Fig. 4 Resultados de la concentración de Bario y comparación con el ECA.

Los niveles de concentración de bario en el suelo de las estaciones dentro del área de influencia del botadero Rumiallana registraron los siguientes valores: 121.81 mg/kg en SU-BR01, 172.06 mg/kg en SU-BR02, 135.85 mg/kg en SU-BR03 y 168.74 mg/kg en SU-BR04. En contraste, la estación de muestreo BKC-BR mostró una concentración significativamente menor, con 13.09 mg/kg. Estos datos revelan una diferencia sustancial en la concentración de bario en BKC-BR en comparación con las demás estaciones de muestreo. Importante destacar que todos estos valores se encuentran por debajo del límite de 750 mg/kg establecido en el DS 011-2017-MINAM.

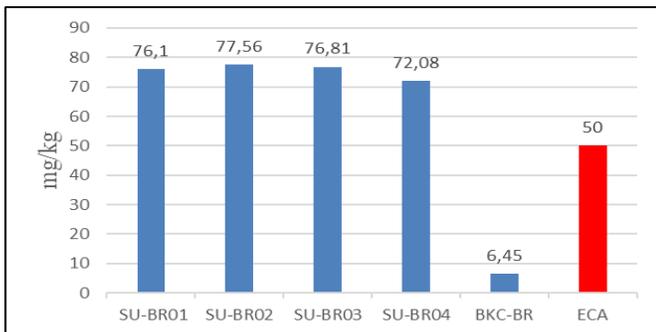


Fig. 5 Resultados de la concentración de Arsénico y comparación con el ECA.

Los resultados de la concentración de arsénico en el suelo del botadero Rumiallana revelan los siguientes valores: 76.10 mg/kg en SU-BR01, 77.56 mg/kg en SU-BR02, 76.81 mg/kg en SU-BR03 y 72.08 mg/kg en SU-BR04. En contraste, la estación BKC-BR exhibió una concentración notablemente más baja de 6.45 mg/kg. Se destaca una diferencia significativa entre la concentración de arsénico en BKC-BR y las otras estaciones de muestreo. Es crucial señalar que los valores en las estaciones dentro de la zona de influencia del botadero superan el estándar de 50 mg/kg establecido en el DS 011-2017-MINAM para arsénico, mientras que la estación BKC-BR, se encuentra por debajo de dicho estándar.

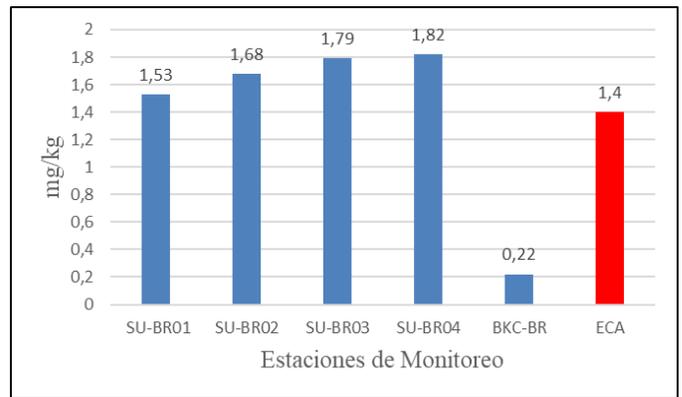


Fig. 6 Resultados de la concentración de Cadmio y comparación con el ECA

Los resultados de la concentración de arsénico en el suelo del botadero Rumiallana en las estaciones dentro del área de influencia os valores fueron los siguientes: 76.10 mg/kg en SU-BR01, 77.56 mg/kg en SU-BR02, 76.81 mg/kg en SU-BR03 y 72.08 mg/kg en SU-BR04. En contraste, la estación BKC-BR exhibió una concentración notablemente más baja de 6.45 mg/kg. Se destaca una diferencia significativa entre la concentración de arsénico en BKC-BR y las otras estaciones de muestreo. Es importante señalar que los valores en las estaciones dentro de la zona de influencia del botadero superan el estándar de 50 mg/kg establecido en el DS 011-2017-MINAM para arsénico, mientras que la estación BKC-BR, ubicada a 500 metros, se encuentra por debajo de dicho estándar.

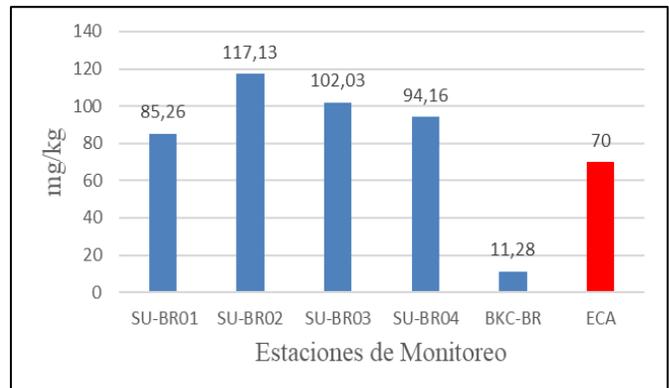


Fig. 7 Resultados de la concentración de Plomo y comparación con el ECA.

Los niveles de concentración de plomo en el suelo del botadero Rumiallana presentan los siguientes valores: en la estación SU-BR01, se registra una concentración de 85.26 mg/kg, mientras que en SU-BR02 alcanza los 117.13 mg/kg, la estación SU-BR03 presenta un valor de 102.03 mg/kg, y en SU-BR04 se observa una concentración de 94.16 mg/kg. En contraste, la estación de muestreo BKC-BR muestra un nivel sustancialmente menor, con 11.28 mg/kg. Es relevante destacar que las concentraciones de plomo en las estaciones

muestreadas dentro de la zona de influencia del botadero superan el estándar establecido en el DS 011-2017-MINAM, el cual es de 70 mg/kg para este parámetro. Sin embargo, es relevante notar que la estación BKC-BR, ubicada a 500 metros de distancia, presenta una concentración inferior a este estándar, situándose por debajo de los 70 mg/kg estipulados para el plomo. Estos resultados resaltan la disparidad en los niveles de contaminación dentro y fuera de la zona de influencia directa del botadero Rumiallana.

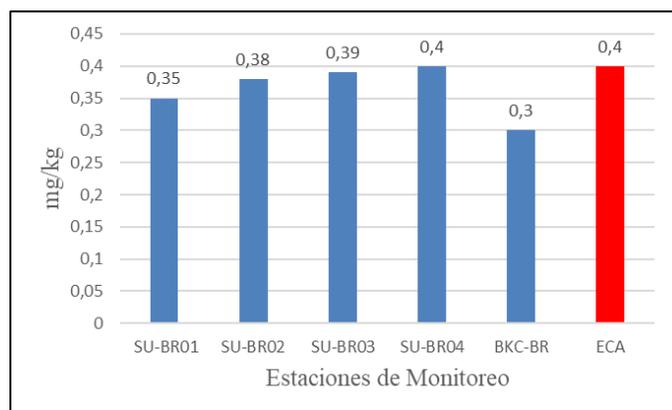


Fig. 8 Resultados de la concentración de Cromo Hexavalente y comparación con el ECA.

Los resultados de concentración de cromo hexavalente en el suelo del botadero Rumiallana presentan los siguientes valores: en la estación SU-BR01 presenta una concentración de 0.35 mg/kg, en SU-BR02 es de 0.38 mg/kg, SU-BR03 registra 0.39 mg/kg y en SU-BR04 es de 0.40 mg/kg. En contraste, la concentración en la estación de muestreo BKC-BR es de 0.30 mg/kg, evidenciándose una diferencia significativa con respecto a las demás estaciones. Es importante analizar que los valores mencionados se sitúan al límite de sobrepasar el estándar de 0.40 mg/kg establecido en el DS 011-2017-MINAM. Estos resultados indican que, a nivel de cromo hexavalente, el suelo en el área de muestreo del botadero Rumiallana cumple con las normativas establecidas por el mencionado reglamento.

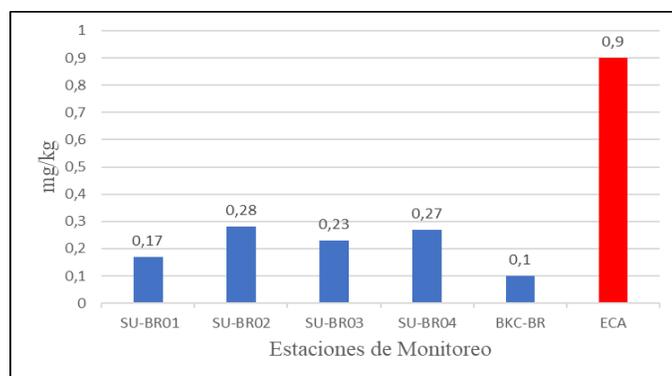


Fig. 9 Resultados de la concentración de Cianuro Libre y comparación con el ECA

Los resultados de concentración de cianuro libre en el suelo del botadero Rumiallana presentan los siguientes valores: en la estación SU-BR01 registra una concentración de 0.17 mg/kg, en SU-BR02 es de 0.28 mg/kg, SU-BR03 presenta un valor de 0.23 mg/kg, y en SU-BR04 se observa una concentración de 0.27 mg/kg. En contraste, la estación de muestreo BKC-BR muestra una concentración significativamente menor, con 0.10 mg/kg, marcando una diferencia considerable con respecto a las demás estaciones. Es relevante mencionar que todos estos valores se sitúan por debajo del estándar de 0.90 mg/kg establecido en el DS 011-2017-MINAM. Estos resultados indican que, en cuanto al cianuro libre, el suelo en la zona de muestreo del botadero Rumiallana cumple con su ECA.

Los resultados de los análisis de suelo en el botadero Rumiallana revelan variaciones notables en las concentraciones de bario, arsénico, cadmio, plomo, cromo hexavalente y cianuro libre en las diferentes estaciones de muestreo con respecto al blanco de campo. Estos resultados indican una preocupación especialmente en cuanto a la presencia de metales pesados (arsénico, cadmio, plomo) en las estaciones cercanas al botadero, destacando la importancia de tomar medidas para mitigar la contaminación en estas áreas específicas.

En la Fig. 1 se observa la medición de pH para las cuatro estaciones de monitoreo (SU-BR01, SU-BR02, SU-BR03, SU-BR04) y blanco de campo (BKC-BR), notándose una diferencia significativa en los valores de pH en las estaciones muestreadas en la zona de influencia directa del botadero Rumiallana, presentan una tendencia de pH ácido que varía de 4.84 el valor más alto a 4.21 el valor más bajo, mientras que la muestra de blanco de campo presenta una tendencia a la neutralidad de 7.14. El Decreto Supremo N° 016-2009-AG considera 3.6 a 5.0 pH extremadamente ácido a muy fuertemente ácido, mientras que de 6.6 a 7.3 de pH se considera neutro. Rufino [13] En su investigación sobre el botadero municipal “La Muyuna” en la provincia de Leoncio Prado, se determinó que los suelos en el área de contaminación por residuos sólidos exhiben una tendencia hacia la acidez. Este hallazgo sugiere que la presencia de los desechos está afectando directamente las características del suelo, generando condiciones ácidas en la zona afectada; concluyendo que los factores ambientales son perjudicados de manera severa por la inadecuada disposición final residuos sólidos. Se puede apreciar que los suelos son ácidos en las muestras tomadas en el área de influencia del botadero Rumiallana; esto es debido a que es un botadero donde se mezcla todos los residuos dispuestos. El proceso de descomposición de residuos orgánicos genera una acumulación de nitrógeno amoniacal, sulfatos y metales pesados que acidifican los suelos. El pH ácido tiene efectos significativos sobre el suelo, siendo uno de los más importantes la disminución de la actividad microbiana.

De la misma manera se realizó la medición de conductividad eléctrica para las cuatro estaciones de monitoreo (SU-BR01, SU-BR02, SU-BR03, SU-BR04) y blanco de campo (BKC-BR) como se observa en la Figura 8, se puede evidenciar una diferencia significativa en los valores de las muestras tomadas en la zona de influencia del botadero Rumiallana con una variación desde 2 157 uS/cm a 2 810 uS/cm con respecto al blanco tomado a 500 metros que presentó un valor de 386 uS/cm; la conductividad eléctrica es alta, debido a la acidez del suelo y alto contenido de metales pesados afectando varias propiedades como la capacidad de retención de agua y nutrientes volviéndolos de baja productividad.

En la Fig. 3 se muestra el porcentaje de materia orgánica de las estaciones de monitoreo (SU-BR01, SU-BR02, SU-BR03, SU-BR04) presentando valores menores a 1.42% lo que se considera con bajo contenido de MO, mientras que la estación (BKC-BR) correspondiente al blanco de campo presenta un valor de 5.34% considerado alto. Quintero et al. [14] en su investigación sobre los impactos de los lixiviados de residuos sólidos en calidad de los suelos tropicales en relleno sanitario del municipio “El Santuario” en el departamento de Antioquia-Colombia, obtuvieron valores de MO bajos, evidenciando cambios significativos en las propiedades físicas y químicas del suelo. En el botadero Rumiallana los suelos tienen un pH ácido como se muestra en la Fig.3 lo que disminuye la materia orgánica, también la quema de desechos es un factor de disminución de MO, influyendo de forma negativa la disponibilidad de nutriente y retención de agua, afectando a las plantas, animales, microorganismos y aves.

Finalmente, con el propósito de evaluar la influencia de la disposición inadecuada de residuos sólidos en la calidad del suelo en el botadero Rumiallana, se llevó a cabo una comparación de una muestra de referencia tomada a 500 metros de la zona de influencia. Se garantizó que esta muestra, obtenida después de una exhaustiva visita técnica de inspección, reflejara las condiciones naturales del entorno. Este enfoque permitirá analizar y comprender mejor los cambios en los parámetros inorgánicos del suelo debido a la presencia de residuos sólidos. En las Fig. 5, 6 y 7 se evidencia una diferencia significativa con respecto al blanco de campo (BKC-BR) para los parámetros Arsénico, Cadmio y Plomo en las 4 estaciones de monitoreo (SU-BR01, SU-BR02, SU-BR03, SU-BR04) los resultados muestran valores significativamente elevados en comparación con la muestra de control, superando los ECAs.

Según el estudio de Rimarachín y Villanueva [15], en sus resultados de concentración de arsénico y plomo del suelo en el botadero municipal “San Antonio de Cumbaza” sobrepasan los ECAs. Se concluye que los suelos del botadero “Rumiallana” son afectados por la inadecuada disposición final de residuos sólidos municipales, perjudicando de manera

severa los ecosistemas, siendo los componentes ambientales de flora y faunas los que tienen mayor impacto negativo.

El botadero Rumiallana es punto de disposición final de residuos sólidos municipales y no municipales, estos se componen principalmente de residuos provenientes de vidrios, fertilizantes y cerámicas, los cuales contienen niveles de arsénico. Asimismo, se hallan en cantidades significativas desechos derivados de plásticos, pinturas y pilas, que presentan concentraciones de plomo. Paralelamente, observamos residuos derivados de lubricantes, baterías recargables conductores de cobre los cuales contienen cadmio; por último se encuentran residuos generales de procesos de minería, metalurgia, construcción y demolición debido a que estas industrias crean residuos con altos niveles de arsénico, plomo y cadmio.

En la Fig. 4 se evidencia que las 4 estaciones de monitoreo (SU-BR01, SU-BR02, SU-BR03, SU-BR04) se encuentran por debajo de los ECAs para bario (Ba), pero existe una diferencia significativa con respecto al blanco de campo (BKC-BR). Según la investigación realizada por Ferradas y Guerra [16] en sus resultados de monitoreo de calidad de suelo en el botadero “San Idelfonso” en la ciudad de Trujillo para el parámetro de bario (Ba) no sobrepasa los ECAs en sus 4 estaciones de monitoreo, encontrándose las concentraciones más elevadas que en la muestra control; concluyendo que existe metales pesados en los suelos. Los residuos sólidos que contienen bario (Ba) son los derivados de lubricantes, aditivos anticorrosivos, tapas de botellas de cristal y algunos tipos de pilas. Como podemos evidenciar existe concentración de metales pesados en el suelo del botadero Rumiallana debido a la inadecuada disposición final de residuos sólidos, por ello se recomienda un adecuado procedimiento en la segregación y disposición final.

En las figuras 8 y 9 se evidencia una diferencia moderada con respecto al blanco de campo (BKC-BR) para el parámetro Cromo Hexavalente (Cr VI) mientras que para Cianuro Libre se encuentra una diferencia significativa en las 4 estaciones de monitoreo (SU-BR01, SU-BR02, SU-BR03, SU-BR04) pero los valores no sobrepasan los ECAs; de acuerdo con los resultados de monitoreo para Cr VI de Díaz [17] indica que los suelos afectados por lixiviados de residuos sólidos en el botadero municipal del Distrito de San Pablo no sobrepasa los ECAs. Los residuos sólidos que contienen Cr VI en su composición son los derivados de industria textil, curtiembres, vidrios, soldaduras, cerámicas y pigmentos de la metalurgia; mientras que el Cianuro Libre lo podemos encontrar en los residuos derivados del aseo hospitalario, productos para la preservación de alimentos y farmacocósmica.

No se logró detectar mercurio en el suelo del botadero Rumiallana. Los residuos sólidos que contienen mercurio son

los derivados de la industria del petróleo, minería y metalurgia en grandes concentraciones.

IV. CONCLUSIONES

La calidad del suelo del botadero Rumiallana ha sido afectado severamente por la inadecuada disposición final de residuos sólidos municipales de los distritos Simon Bolívar y Chaupimarca.

Se determinó que los suelos del área de influencia del botadero Rumiallana son ácidos con valores de 4.21 a 4.85 de pH, así mismo los resultados de la medición para conductividad eléctrica son elevados presentados valores 2157 uS/cm a 2810 uS/cm, debido al contenido de sales minerales, metales pesados y ácidos del suelo y finalmente se determinó que el porcentaje de materia orgánica es bajo con valores de 1.35% a 1.42% considerándose suelos infértiles y contaminados, resultado de la inadecuada disposición final de residuos sólidos. Se detectó en el botadero Rumiallana la existencia de metales pesados, los cuales fueron comparados con el DS 011-2017-MINAM, los parámetros Arsénico (As), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) sobrepasando los Estándares de Calidad Ambiental 50 mg/kg, 1.40 mg/kg y 70 mg/kg respectivamente mientras que el parámetro Bario no excede el ECA de 750 mg/kg y finalmente el parámetro Mercurio (Hg) no fue detectado.

Se determinó que el parámetro inorgánico Cromo Hexavalente se encuentra al límite de exceder el ECA de 0.40 mg/kg en una estación de monitoreo, mientras que el parámetro Cianuro Libre se encuentra por debajo del valor 0.90 mg/kg establecido en el DS 011-2017-MINAM.

Se determinó que existe relación entre la calidad del suelo y la inadecuada disposición final de residuos sólidos municipales del botadero Rumiallana en sus parámetros físicos-químicos e inorgánicos, demostrado durante la comparación de una muestra blanco de campo tomado en condiciones naturales a 500 metros de la zona de influencia del botadero y en la comparación con el DS 011-2017-MINAM. Existen tres parámetros inorgánicos (cadmio, arsénico y plomo) que superan los valores establecidos en los ECAs. En conclusión, los suelos se encuentran contaminados y no presentan aptitud para desarrollar actividades como agricultura o residencial.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseamos expresar nuestra profunda gratitud a Dios por guiar nuestro camino, además de brindarnos salud y la capacidad necesaria para alcanzar con éxito este propósito que nos propusimos.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio del Ambiente (MINAM). Residuos sólidos orgánicos e inorgánicos aprovechables. [En línea]. Disponible: <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/763484-esto-debes-saber-sobre-los-residuos-solidos-organicos-e-inorganicos-aprovechables>.
- [2] Ministerio del Ambiente - MINAM. (2022). Reporte Estadístico Departamental diciembre 2022 - Pasco. Lima : Dirección General de Educación, Ciudadanía e Información Ambiental.
- [3] Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA. Estadística Ambiental, Fiscalización Ambiental. [En línea]. Disponible: <https://sinia.minam.gob.pe/informacion/estadisticas>.
- [4] Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos - SIGERSOL. (2022). Reporte Resumen General Municipalidad Detrital de Chaupimarca. Lima: Ministerio del Ambiente.
- [5] Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos - SIGERSOL. (2022). Reporte Resumen General Municipalidad Distrital de Simon Bolívar. Lima: Ministerio del Ambiente.
- [6] Organización de la Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura - FAO. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. Roma: FAO.
- [7] García, G., Zanuzzi, A., & Faz, A. (2005). Evaluation of heavy metal availability prior to an in situ soil phytoremediation program. *Biodegradation*, 187-194.
- [8] Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI. (2019). Acceso a los servicios básicos en el Perú, 2013-2019.
- [9] Fuentes, C., Carpio, J., Prado, J., & Sánchez, P. (2008). Gestión de residuos sólidos municipales. Lima: Universidad ESAN.
- [10] Hernández Sampieri, R., & Fernández Collado, C. (2010). Metodología de la investigación. México: Interamericana Editores, s.a. de c.v.
- [11] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). Metodología de la Investigación. México: Mc Graw-Hill Interamericana.
- [12] Bernal Torres, C. A. (2010). Metodología de la investigación. Bogotá: Pearson educación.
- [13] Ruiz G P. (2016). Físicoquímico del Suelo del Sistema de Andenería del Centro Poblado Caca Provincia de Yauyos. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [14] Quintero Ramírez, A., Valencia González, Y., & Lara Valencia, L. A. (2017). Efecto de los lixiviados de residuos sólidos en un suelo tropical. DYNA Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. , 283-290.
- [15] F. Rimarachín y D. Villanueva (2020) en su tesis Influencia de los Lixiviados del Botadero Municipal en la Calidad del Suelo para Uso Agrícola, Distrito de San Antonio de Cumbaza, Provincia de San Martín – San Martín. Universidad César Vallejo.
- [16] L. Ferradas y Y. Guerra (2019) indican en su tesis Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales y la Calidad del Suelo del Botadero San Idelfonso – Laredo. Universidad Privada del Norte.
- [17] B. Díaz (2019). Evaluación de la contaminación del suelo por lixiviados del botadero municipal del distrito de San Pablo – 2018. Universidad César Vallejo.