

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES



Análisis de la cantidad de metales pesados producidos por los
residuos sólidos del botadero Municipal del Distrito de Pardo
Miguel - Naranjos

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES

Patricia Yanela Bautista Fernández

Merlin Palomino Fuentes

ASESOR

Johnny Souza Pérez

Rioja, Perú

2024

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos de los Autores****Autor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores**Asesor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado

Presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 026 - 2024/UCSS/FCAA/DI

Siendo las 12:00 m. del jueves 30 de mayo de 2024 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------|
| 1. Wilfredo Mendoza Caballero | presidente |
| 2. Katerin Manuelita Encina Oliva | primer miembro |
| 3. Alejandro Ruiz Janje | segundo miembro |
| 4. Johnny Souza Pérez | asesor(a) |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada:

Análisis de la cantidad de metales pesados producidos por los residuos sólidos del botadero Municipal del Distrito de Pardo Miguel – Naranjos

Que presentan las bachilleres en **Ciencias Ambientales**:

Patricia Yanela Bautista Fernández
Merlin Palomino Fuentes

Cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el jurado acuerda:

APROBAR **X**

DESAPROBAR ...

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente acta al decanato de la Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Lima, 30 de mayo de 2024.



Wilfredo Mendoza Caballero
Presidente



Katerin Manuelita Encina Oliva
1° miembro



Alejandro Ruiz Janje
2° miembro



Johnny Souza Pérez
Asesor(a)

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR DE TESIS CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Nueva Cajamarca, 13 de setiembre del 2024

Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales

Reciba un cordial saludo.

2015101953@ucss.pe

Sirva el presente para informar que la tesis, bajo mi asesoría, con título: Análisis de la cantidad de metales pesados producidos por los residuos sólidos del botadero Municipal del Distrito de Pardo Miguel - Naranjos, presentado por **Patricia Yanela Bautista Fernández**, con código de estudiante 2015101953 y DNI 73527802 y **Merlin Palomino Fuentes**, con código de estudiante 2015102045 y DNI 73486222 para optar el título profesional de INGENIERO AMBIENTAL ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



Firma

Johnny Souza Pérez

DNI N°: 00118433

ORCID: 0000-0001-9992-6257

Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales - UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

DEDICATORIA

A Dios por darnos la vida y fortaleza para seguir adelante y cumplir nuestras metas trazadas.

A mi hermano Ricardo, a mis padres Edy Isabel Fernández Montenegro y Fausto Bautista Campos por su apoyo incondicional para mi formación profesional.

Patricia Yanela Bautista Fernández

A mi hermana Liliana, a mis padres María Isabel Fuentes Coronel y Carlos Palomino Rafael por su apoyo incondicional para mi formación profesional.

Merlin Palomino Fuentes

AGRADECIMIENTO

Al gobierno peruano que mediante el programa Beca 18 nos concedió la oportunidad de estudiar una carrera profesional, permitiéndonos contribuir al desarrollo de nuestro país y cumplir nuestro sueño de ser profesionales.

A la Universidad Católica Sedes Sapientiae principalmente a la facultad de Ingeniería Agraria y su plana docente.

Al Ingeniero Johnny Souza Pérez asesor de la tesis, por su apoyo y sugerencias constructivas que permitieron finalizar nuestro trabajo de investigación.

Al ingeniero Herlin Vásquez Romero e Ing. Nelson Mendoza Cortegana por su orientación y apoyo incondicional en este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.1.1. Internacionales.....	4
1.1.2. Nacionales.....	6
1.2. Bases teóricas especializadas.....	12
1.2.1. El suelo.....	12
1.2.2. Contaminación del suelo.....	13
1.2.3. Calidad del suelo.....	14
1.2.4. Botadero.....	15
1.2.5. Botaderos en el Perú.....	17
1.2.6. Metal pesado.....	20
1.2.7. Origen de la contaminación del suelo por metales pesados.....	21
1.2.8. Movilización de metales pesados en el suelo.....	23
1.2.9. Mecanismo de movilización de los metales en el suelo.....	24
1.2.10. Movilización natural de los metales pesados.....	25
1.2.11. Factores que afectan la acumulación de metales pesados.....	25
1.2.12. Características y efectos de los metales pesados.....	27
1.2.13. Muestreo de suelo.....	29
1.2.14. Muestreo de identificación.....	30
1.2.15. Marco Legal.....	33
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
2.1. Diseño de la investigación.....	35
2.2. Lugar y fecha.....	35
2.3. Población y muestra.....	37

2.4. Técnica e instrumento de recolección de datos	37
2.5. Descripción de la investigación	37
2.5.1. Fase preliminar	37
2.5.2. Fase de campo	38
2.6. Identificación de variables y su mensuración.....	42
2.7. Análisis estadístico de datos	43
2.8. Materiales y equipos.....	44
CAPÍTULO III: RESULTADOS	45
3.1. Determinación de los niveles de concentración de los metales pesados totales (Cr, Cd y Pb) del suelo contaminado por residuos sólidos arrojados en el botadero municipal del Distrito de Pardo Miguel – Naranjos.....	45
3.1.1. Comparación de concentración total de Pb, Cr y Cd obtenido con los valores del ECA para suelo agrícola y parques	49
3.2. Determinación de la relación de la concentración de los metales pesados en los suelos contaminados a una profundidad de 30 cm del suelo afectado con la cantidad de los residuos arrojados en el área del botadero municipal.....	53
3.2.1. Análisis de correlación entre los residuos sólidos totales arrojados, residuos plásticos, residuos metales más baterías, pH y la Conductividad Eléctrica con los metales pesados encontrados en el botadero.	56
3.3. Propuesta de Plan de clausura o cierre para áreas degradadas con la finalidad de disminuir la contaminación del suelo producto de lixiviados del botadero municipal.	59
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN.....	61
4.1. Determinación de los niveles de concentración de los metales pesados totales (Cr, Cd y Pb) del suelo contaminado por residuos sólidos arrojados en el botadero municipal de Pardo Miguel.	61
4.2. Determinación de la relación entre la concentración de metales pesados identificados en los suelos contaminados y la profundidad de 30 cm del suelo afectado con la cantidad de los residuos arrojados en el área del botadero municipal de Pardo Miguel	62
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	68
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS	70
TERMINOLOGÍA	78
APÉNDICES	81

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Enfermedades causadas por los vectores del botadero</i>	17
Tabla 2. <i>Composición de los lixiviados</i>	19
Tabla 3. <i>Efectos en la salud de diferentes compuestos</i>	21
Tabla 4. <i>Número mínimo de puntos para el muestreo de identificación</i>	31
Tabla 5. <i>Profundidad del muestreo según el uso del suelo</i>	31
Tabla 6. <i>Características generales para la recolección y conservación de muestras</i>	32
Tabla 7. <i>Identificación de las variables</i>	43
Tabla 8. <i>Concentración de los metales pesados encontrados en las muestras de suelo</i>	45
Tabla 9. <i>Comparación de metales pesados dentro del botadero con el ECA</i>	49
Tabla 10. <i>Comparación de metales pesados fuera del botadero con el ECA</i>	50
Tabla 11. <i>Composición física de los residuos sólidos</i>	53
Tabla 12. <i>Metales pesados encontrados dentro y fuera del área degradada</i>	55
Tabla 13. <i>Coefficiente de correlación múltiple</i>	58
Tabla 14. <i>Comparación del promedio de valores encontrados de Cd, Cr y Pb con respecto al ECA establecido por el MINAM</i>	59

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Mapa de ubicación del Distrito de Pardo Miguel – Naranjos	36
<i>Figura 2.</i> Diseño de la distribución de puntos establecidos para el muestreo	38
<i>Figura 3.</i> Área en estudio (Botadero Municipal distrito de Pardo Miguel - Naranjos)	39
<i>Figura 4.</i> Limpieza del área a muestrear	40
<i>Figura 5.</i> Excavación de hoyos de 30 cm de profundidad	40
<i>Figura 6.</i> Recolección de las muestras	41
<i>Figura 7.</i> Pesado de las muestras	41
<i>Figura 8.</i> Diagrama Ishikawa.....	42
<i>Figura 9.</i> Resultados generales del plomo en las diez muestras	46
<i>Figura 10.</i> Resultados generales del cromo total en las diez muestras	47
<i>Figura 11.</i> Resultados generales del cadmio en las diez muestras.....	48
<i>Figura 12.</i> Resultados de las concentraciones de plomo (Pb) con el ECA.....	51
<i>Figura 13.</i> Resultados de las concentraciones de cromo total con el ECA.....	52
<i>Figura 14.</i> Resultados de las concentraciones de cadmio con el ECA	53

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Componentes ambientales afectado por lixiviados	81
Apéndice 2. Movilización natural de metales pesados.....	81
Apéndice 3. Coordenadas de las muestras de suelo	82
Apéndice 4. Modelo para rotular muestras.....	83
Apéndice 5. Resultado de análisis de las muestras de suelo	84
Apéndice 6. Factura de costo por análisis de las muestras de suelo.....	85
Apéndice 7. Propuesta de forestación para el área degradada del botadero Municipal del Distrito de Pardo Miguel	86

RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el nivel de concentración del suelo por metales pesados, producidos por los residuos sólidos del botadero municipal del distrito de Pardo Miguel; en el cual, se analizaron metales pesados totales como: cadmio (Cd), cromo total (Cr) y plomo (Pb). El tipo de investigación fue no experimental, correlacional y transeccional. El muestreo de suelos se realizó en base a la Guía del Ministerio del Ambiente utilizando como técnica el muestreo sistemático, el cual constó de la recolección de 10 muestras de suelo, 1 kg por cada punto estratégico para luego ser enviadas al laboratorio de la Universidad Nacional de San Martín, analizadas mediante Digestión acida nítrica-perclórica, lectura absorción atómica (EPA 3050). La población objetivo fueron los caseríos cercanos al botadero (Villa Rica y Tres de Mayo) (0,5 ha). Los resultados obtenidos determinaron que solo el cadmio superó los valores establecidos por los ECAs con 10,52 mg/kg del valor máximo 1,4 mg/kg; mientras que, el plomo y cromo estuvieron por debajo de los límites con 39 y 213,56 mg/kg de 70 – 400 mg/kg respectivamente. Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos se planteó un plan de recuperación mediante la forestación del área degradada con “eucalipto torrellano”.

Palabras Claves: *Botadero municipal, ECAs, metales pesados, muestreo sistemático, residuos sólidos.*

ABSTRACT

The objective of the research work was to evaluate the level of soil concentration of heavy metals, produced by solid waste from the municipal dump in the Pardo Miguel district; in which, total heavy metals such as: cadmium (Cd), total chromium (Cr) and lead (Pb) were analyzed. The type of research was non-experimental, correlational and transectional. Soil sampling was carried out based on the Guide of the Ministry of the Environment using systematic sampling as a technique, which consisted of the collection of 10 soil samples, 1 kg for each strategic point and then sent to the laboratory of the National University. of San Martín, analyzed by nitric-perchloric acid digestion, reading atomic absorption (EPA 3050). The target population was the hamlets near the dump (Villa Rica and Tres de Mayo) (0.5 ha). The results obtained determined that only cadmium exceeded the values established by the RCTs with 10.52 mg/kg of the maximum value 1.4 mg/kg; while, lead and chromium were below the limits with 39 and 213.56 mg/kg from 70 – 400 mg/kg respectively. Finally, according to the results obtained, a recovery plan was proposed through afforestation of the degraded area with “eucalyptus Torrellano”.

Keywords: Municipal dump, ECAs, heavy metals, systematic sampling, solid waste.

INTRODUCCIÓN

La disposición final de los residuos generados a nivel global es uno de los problemas que enfrenta la sociedad en la actualidad, donde la gestión inadecuada de estos desechos está produciendo la contaminación de los océanos del mundo, obstruyendo los drenajes y causando inundaciones, los cuales terminan perturbando el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos y alterando el equilibrio de los ecosistemas; asimismo, la descomposición de los residuos sólidos dispuestos directamente en los suelos origina lixiviados, los cuales perjudican a este cuerpo natural, alterando sus características físicas, químicas y biológicas; además de la contaminación del agua superficial y subterránea; por lo que la gestión adecuada de los residuos sólidos municipales, es uno de los principales problemas que aquejan y afectan a los componentes ambientales suelo, agua y aire (Burbano, 2017).

En nuestro país estos problemas son consecuencias de la falta de cultura y educación ambiental, ya que su población tiene el hábito de usar y desechar inadecuadamente el residuo sin un tratamiento previo; sumado a esto, que las autoridades locales, regionales y nacionales, muestran poco interés por solucionar los problemas relacionados a la gestión ambiental, a pesar de la existencia de normativas y leyes que están enfocados en la mitigación y minimización de la generación de los residuos. En el Perú se produce cerca de 23 000 t de residuos sólidos diarios, donde solamente el 15 % es aprovechable (reciclado) y casi el 90 % de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos terminan en los más de 1 850 botaderos ilegales que existen a lo largo del territorio peruano; asimismo, sólo existen 12 rellenos sanitarios autorizados a nivel nacional, los cuales cuentan con las condiciones necesarias para la disposición final de estos desechos (Gestión, 2017).

En relación con esto, el distrito de Pardo Miguel - Naranjos no se encuentra ajeno a esta problemática, puesto que, la disposición de residuos sólidos municipales se realiza en un botadero a cielo abierto, los cuales son generados por la población, con una generación de 7,3 t/día, haciendo un total de 2 664,5 t/año de residuos sólidos (Gerencia de Desarrollo Económico y Medio Ambiente [GDEyMA], 2019). La problemática radica en la contaminación que se origina del botadero municipal del distrito; ya que, por su elevada

presencia de diversos residuos, tiene un efecto directo en el medio ambiente (suelo, agua y aire) y en la salud de la población de los caseríos Tres de Mayo y Villa Rica, debido a la presencia de metales pesados totales como cromo (Cr), cadmio (Cd) y plomo (Pb), los cuales a través del proceso de infiltración, escorrentía, lavado o arrastre, son expandidos por diferentes espacios, contaminando las fuentes naturales (Quispe *et al.*, 2019).

Ante esta problemática mencionada, se planteó como objetivo principal evaluar el nivel de concentración del suelo por efecto de los metales pesados producidos por los residuos del botadero municipal del distrito de Pardo Miguel - Naranjos; asimismo, se planteó tres objetivos específicos: el primero consistió en determinar los niveles de concentración de los metales pesados totales (cromo, cadmio y plomo) y la profundidad medida de 30 cm del suelo contaminado por residuos sólidos arrojados en el botadero municipal; el segundo consistió en determinar la relación entre la cantidad de los metales pesados identificados en los suelos contaminados y la profundidad de 30 cm del suelo afectado con la cantidad de los residuos arrojados en el área del botadero municipal; finalmente, se propuso un Plan de forestación del área para clausura y poder disminuir la contaminación del suelo producto de lixiviados del botadero (GDEyMA, 2019).

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el nivel de contaminación del suelo por metales pesados incorporados por los residuos sólidos del botadero municipal del Distrito de Pardo Miguel – Naranjos.

Objetivos específicos

- Determinar los niveles de concentración de los metales pesados totales (Cr, Cd y Pb) a una profundidad de 30 cm del suelo contaminado por residuos sólidos arrojados en el botadero municipal del Distrito de Pardo Miguel - Naranjos.
- Determinar si existe relación entre la concentración de los metales pesados identificados en los suelos contaminados y la profundidad de 30 cm del suelo afectado con la cantidad de los residuos arrojados en el área del botadero municipal de Pardo Miguel - Naranjos.
- Proponer un plan de forestación de clausura para áreas degradadas producido por los lixiviados del botadero municipal del Distrito de Pardo Miguel - Naranjos.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Internacionales

Romero (2017) realizó un estudio de investigación sobre la “Contaminación por plomo en una planta de reciclaje de baterías cerrada de Freire, IX región”, Chile; tuvo como objetivo evaluar la existencia de riesgos para su población y la contaminación de los cuerpos de agua adyacentes por medio de la filtración. La metodología consistió en la recolección de diecisiete muestras simples de suelo a una profundidad de 0-20 cm (500 g para cada uno), los cuales fueron dispuestos en bolsas plásticas previamente rotuladas, determinándose nueve puntos de muestreo dentro del sitio de la planta y ocho designados por las letras “NB”. Seguidamente, las muestras fueron evaluadas en los Laboratorios de Química Ambiental del centro Nacional de Medio Ambiente (CENMA), con la utilización del equipo de espectrometría de plasma acoplado inductivamente con detector óptico (ICP-OES). El análisis estadístico de los datos fue realizado mediante los softwares ProUCL, IEUBK y software R. Los resultados obtenidos determinaron que no hubo asociaciones estadísticamente significativas entre las variables pH, humedad y materia orgánica en relación con las concentraciones de plomo, los cuales no siguieron una distribución normal en ninguno de los grupos, cuyas medias fueron de 47,435; 06 y 38,48 mg/kg, superando los niveles basales y la normativa de referencia elegida (400 mg/kg – EPA). Asimismo, las concentraciones de plomo lixiviado por cuatro de las nueve muestras fueron superiores a la concentración máxima permisible (5 mg/L), de acuerdo al DS 148. El autor concluyó que las concentraciones de Pb en el sitio superaron ampliamente los niveles basales, clasificándolo como residuo peligroso que no deben permanecer en el sitio bajo las condiciones actuales, considerándolo como un riesgo potencial al que está expuesto la población y el medio ambiente.

Sánchez (2010) realizó un estudio de investigación sobre la “Contaminación por metales pesados en el botadero de Moravia Medellín”, Colombia. El objetivo de estudio consistió en identificar la concentración de metales pesados de Hg, Pb, Cr, Cd y Ni en las capas superficiales de la matriz de residuos, el cual priorizó la caracterización de la fauna y flora presente del botadero. La investigación presentó un diseño de bloques completos al azar (DCA). La metodología consistió en la toma de catorce muestras de especies vegetales en cada lote del basurero (14 lotes) que presentó un proceso de revegetación, las cuales fueron codificadas; seguidamente, las muestras fueron prensadas entre dos láminas de cartón, dentro de una hoja de periódico, para la determinación de metales pesados en las muestras de la matriz de residuos; asimismo, incluyeron los lotes que presentaron vegetación, en la que cada uno recibió un código (M1 a M14), de las que tomó entre dos y tres muestras de cada lote, fueron rotuladas y enviadas al laboratorio. El análisis estadístico de los datos fue mediante el ANOVA independiente, donde las medias fueron separadas a través de la prueba de Duncan. Los resultados determinaron la identificación de sesenta y cinco especies vegetales (herbáceas), agrupadas en veintiocho familias, donde el contenido de metales pesados (MP) de catorce diferentes muestras de residuos, presentaron variaciones considerablemente, observándose valores altos como 121 mg/kg de Hg y 9 600 mg/kg de Pb; asimismo, el contenido promedio de MP en la matriz de residuos, siguió el siguiente orden: $Pb > Ni > Cr > Hg > Cd$. Además, el contenido de MP en las especies vegetales, alcanzó niveles máximos de 1,0; 123,7 y 263,7 mg/kg para Hg, Pb y Cr, respectivamente. La caracterización de la fauna mostró una gran cantidad de artrópodos (insectos), se encontraron nueve órdenes, cincuenta y una familias, setenta y cinco morfoespecies y cinco familias de arañas, los especímenes de *Mus musculus* tenían el contenido más alto de Pb (45,05 mg/kg) y las arañas (familia *Gasteracantha*) tenían el contenido más alto de Cd (10,31 mg/kg). El autor llegó a la conclusión de que, a pesar de haber estado cerrado durante 24 años, el botadero de Moravia tenía una alta concentración de MP en sus capas superficiales, lo que era perjudicial para la salud de su población.

Granizo y Márquez (2007) realizaron una investigación sobre “Concentraciones de Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn en un botadero antiguo denominado, El Valle”, Ecuador. El propósito era estudiar los metales pesados presentes en la región y su potencial impacto en el medio ambiente, en el área de Cochabamba, donde se cultivan "kikuyo" para pastoreo y comercio, "frejol", "habas" y "maíz", en un área de 18 ha. La metodología consistió en dividir el área

de estudio en tres zonas: Zona 1, Zona 2 y Zona 3, para el reconocimiento del área de estudio y la determinación de puntos estratégicos, donde cada uno presentó veinte cuadrantes de 100 m²; seguidamente, para las muestras de suelo fueron tomadas al azar diez cuadrantes para extraer varias submuestras de 40 g para cada una y luego ser unida en una sola. A continuación, tomaron diez muestras de agua, cinco por cada época (seca y lluviosa) de tres fuentes distintas. Para la toma de muestras de vegetales (planta) que fueron recolectadas al azar en cada una de las tres zonas. Los resultados determinaron que los valores de Cd en los cuerpos de agua, excedieron los límites máximos permisibles en todas las zonas analizadas (0,95 ppm); para Cr del suelo en las zonas 2 y 3 (lixiviados y residuos), excedieron los LMP, con valores de 30,71 y 43,61 ppm; para el Cd los mayores valores fueron en la zona 1 y 2, con 4,67 y 9,60 ppm; asimismo, para Cu y Zn, los mayores valores fueron en la zona 2 con 27,65 y 21,14 ppm, respectivamente; pero la mayoría de Cr se encontró insoluble, formando precipitados o adsorbiéndose en la fracción sólida de los suelos y sedimentos; Además, debido a que el material de cobertura era mayor y los lixiviados no recircularon por el lugar, este metal no estaba presente en el área del botadero. El autor concluyó que el Cd fue el elemento más común en toda la zona del botadero del Valle y que estos estuvieron asociados a vertederos y rellenos sanitarios; asimismo, los análisis de metales en vegetales determinaron la presencia del Cu y Zn.

1.1.2. Nacionales

Pilco (2021) realizó un estudio de investigación sobre la “Influencia de los lixiviados en la concentración de metales pesados del botadero de Moyobamba”, Perú. El objetivo de estudio fue determinar las concentraciones de metales como cadmio (Cd), arsénico (As) y plomo (Pb) en lixiviados y suelos. La metodología implementada consistió en el desarrollo de tres etapas: de gabinete, campo, laboratorio y de etapa final. Para el muestreo de lixiviados recolectó tres muestras y para el muestreo de suelo utilizó la guía de muestreo de suelos del MINAM (DS N° 002-2013 MINAM) recolectando nueve muestras (tres por cada metal pesado), el Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Foliare de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín realizó los análisis. Para el análisis y procesamiento de los datos obtenidos, aplicó la estadística descriptiva y la estadística inferencial. Los resultados determinaron que las concentraciones para plomo (Pb) fueron de 0,070 mg/L, para cadmio (Cd) la concentración fue de 0,025 mg/L, para el primer muestreo; asimismo, en el segundo muestreo la concentración de Pb fue de 0,068 mg/L; para Cd fue

de 0,045 mg/L; finalmente, para el tercer muestreo obtuvo para el Pb una concentración de 0,252 y el Cd obtuvo un valor de 0,214 mg/L. El autor llegó a la conclusión de que, de los tres puntos muestreados, el tercero tenía una concentración más alta de metales pesados en comparación con los otros dos; además, al determinar los niveles de concentración de metales con la ayuda de los Estándares de Calidad Ambiental para el Suelo (ECA), el autor estableció niveles de cadmio (Cd), arsénico (As) y plomo (Pb) en los tres puntos muestreados, que no superaron los ECA.

Díaz (2019) en el estudio “Evaluación de la contaminación del suelo por lixiviados del botadero municipal del distrito de San Pablo, Provincia de Tarapoto, Departamento de San Martín – 2018”; tuvo como objetivo evaluar la contaminación del suelo por lixiviados en el botadero municipal del distrito de San Pablo, donde analizó las concentraciones de cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr + 6). El diseño de la investigación fue no experimental, con un enfoque descriptivo. La población fue el suelo del botadero municipal y la muestra consistió en el suelo tomado de tres distintos puntos (parte alta, baja y punto de control) dentro del botadero. La metodología consistió en realizar un muestreo estructurado en tres etapas: gabinete inicial, laboratorio y/o campo y gabinete final; asimismo, el muestreo fue desarrollado en tres áreas diferentes pertenecientes al botadero (suelo agrícola, suelo central y suelo inicial del botadero), tomando 1 kg de suelo por cada área de estudio. Finalmente, las muestras fueron enviadas al laboratorio de suelos, para los respectivos análisis. Para el procesamiento de los datos aplicó la estadística experimental, a través del análisis de los parámetros en estudio. Los resultados determinaron que la concentración para el Cd fue de 18,752 mg/kg, seguido del Pb con 16,25 mg/kg y trazas de cromo total con 0,0363 mg/kg; para el punto dos el Cd alcanzó un valor de 15,126 mg/kg, seguido del Pb con 12,037 mg/kg; finalmente, en el punto tres, el Pb alcanzó una concentración de 11,123 mg/kg, seguido del Cd con un valor de 6,321 mg/kg. Asimismo, en el segundo muestreo determinó que el Cd presentó una concentración de 19,36 mg/kg, seguido del Pb con 17,36 mg/kg, ambos reportes correspondientes al punto uno. En el Punto dos, el metal que presentó mayor concentración en el suelo fue el Cd, con un valor de 16,21 mg/kg; seguido del Pb con 14,25 mg/kg. Finalmente, en el punto tres el Pb presentó una concentración de 11,69 mg/kg, seguido del Cd con 7,45 mg/kg. El autor concluyó que los niveles de concentración de los metales pesados comparados con los ECA para suelo permitieron establecer que el Cd en los tres puntos superaron los estándares establecidos.

Quispe y Silvestre (2019) realizaron un estudio sobre el “Nivel de concentración de metales pesados en relación a los estándares de calidad ambiental (ECAs – suelo), en el suelo del área de influencia del botadero de Pampachacra, Distrito, provincia y departamento de Huancavelica”, Perú; el cual tuvo como objetivo determinar los niveles de concentración del arsénico (As), mercurio (Hg), cadmio (Cd), cromo (Cr) y plomo (Pb) en el suelo del área de influencia directa del botadero de Pampachacra, Huancavelica. La investigación fue no experimental – transversal y método científico, de tipo aplicada, con un nivel descriptivo. La población estuvo constituida por 13 ha de área del botadero y la muestra compuesta por 20 áreas de muestreo. La metodología consistió en realizar muestreo de suelo en dos épocas del año (lluviosa y seca), donde tomaron tres submuestras (500 g), a una profundidad de 45 cm, hasta obtener una muestra compuesta (1 kg) de toda el área de influencia; seguidamente, las muestras fueron colocadas en bolsas de polietileno, fueron rotuladas y enviadas al laboratorio para sus análisis respectivos. El análisis de los datos fue realizado en el programa de cálculo Microsoft Excel versión 2016 y el estadístico PAST 3,20 y S10; asimismo, para el análisis inferencial aplicaron el T-Student y para los datos paramétricos y no paramétricos, utilizaron el estadístico Wilcoxon. Los resultados determinaron en ambas épocas un nivel de concentración de Cd, Pb y Cr, entre 0,9 - 1,34; 3,6 – 32,74 y 1,19 – 60,6 mg/kg PS, respectivamente; es decir, estos valores no superaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo de uso agrícola; con respecto al arsénico (As), la concentración osciló entre el rango de 7,6 y 222,4 mg/kg PS (según los estándares, el límite mínimo es de 50 mg/kg PS), por lo que lograron establecer que existieron puntos que superaron los ECAs; asimismo, en cuanto al Hg la concentración determinada osciló entre 0,01 y 22,7 mg/kg PS (valor límite es de 6,6 mg/kg PS). El autor concluyó que los metales pesados Cr, Cd y Pb no superaron a los estándares en ambas épocas; sin embargo, en cuanto a concentraciones de As y Hg, existieron puntos que superaron los ECAs para suelo de uso agrícola.

Sánchez (2019) en el estudio “Evaluación de los lixiviados generados en el botadero de Carhuashjirca y los impactos ambientales generados en la quebrada Vientojirca-Independencia – Huaraz – Áncash - 2018”, Perú; tuvo como objetivo evaluar los lixiviados generados en el botadero de Carhuashjirca e identificar los impactos ambientales generados en la quebrada Vientojirca. El diseño de la investigación fue cuasi experimental, de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo. La población considerada fue la quebrada Vientojirca, ubicado en el centro poblado de Eslabón, Ancash, y la muestra fue el lixiviado procedente

del botadero controlado de Carhuashjirca (21 834,62 m²) y el cuerpo de agua de la quebrada Vientojirca. La metodología consistió en el desarrollo de tres etapas estructuradas (diagnóstico, planificación y ejecución), donde la técnica empleada fue la observación directa realizada al cuerpo de agua con indicios de contaminación por lixiviados; entrevista libre aplicado a las autoridades y pobladores de la localidad de Eslabón, toma de muestras de suelo y agua, y análisis en laboratorio; asimismo, las muestras de lixiviado fueron tomadas en dos épocas distintas (estiaje y lluvia) para poder observar el comportamiento de cada muestra. El análisis de los datos fue realizado mediante la comparación con la normativa vigente (Decreto Supremo N°-2009 – MINAM). Los resultados determinaron que los parámetros físicoquímicos de los lixiviados estuvieron dentro de los límites máximos permisibles (LMP); sin embargo, los parámetros de metales totales, microbiológicos y bioquímicos sobrepasaron los LMP de la normativa; asimismo, en la época de estiaje y lluvia, las muestras tomadas del botadero registraron una concentración de 0,009 y 0,32 mg/kg para Cd; para Pb fue de 0,011 y 4,1 mg /kg, respectivamente. El autor concluyó que los impactos sociales y económicos afectaron directamente a la población del centro poblado, donde los parámetros sobrepasaron LMP, convirtiendo a este lixiviado en una sustancia potencialmente contaminante para la quebrada Vientojirca y el agua de este cuerpo natural no fue apta para consumo humano.

Rojas (2019) realizó un trabajo de investigación sobre los “Impactos del botadero de residuos sólidos de la ciudad de Guadalupe en la calidad ambiental del área de influencia”, Trujillo, Perú; tuvo como objetivo demostrar los principales indicadores de contaminación en agua, aire, paisaje y salud de la población del Asentamiento Humano Los Jardines en comparación con el botadero de desechos sólidos mencionado anteriormente. La investigación fue descriptiva-no experimental, de diseño transeccional, correlacional-causal. La población del área de estudio fue el asentamiento humano Los Jardines, con un total de 117 familias y la muestra representativa fueron 90 familias encuestadas. La metodología consistió en un primer momento en la caracterización del botadero y la elaboración de un diagnóstico global del asentamiento humano; seguidamente, realizó la identificación y evaluación de los impactos ambientales generados por el botadero (agua, aire, paisaje y salud de la población). Posteriormente aplicó un cuestionario a la población, cuyos datos fueron analizados y representados en tablas. Los hallazgos mostraron que la calidad ambiental de la región se vio afectada negativamente, la generación per cápita de desechos sólidos municipales fue de

0,60 kg/hab/día, con una generación estimada de 24,13 t/día, el agua tenía parámetros físicos, químicos y microbiológicos que cumplían con los estándares para el consumo humano; sin embargo, las concentraciones de Cd superaron el LMP (0,0062 mg/L). En cuanto a la calidad del aire, la concentración de material sólido sedimentable llegó a 13,7 t/km²/mes, superando los límites máximos permitidos (5 t/km²/mes). Sin embargo, descubrió que el botadero tuvo un gran efecto en el paisaje, incluyendo el asentamiento humano mencionado. El autor llegó a la conclusión de que la inadecuada disposición de desechos sólidos en el botadero de la ciudad de Guadalupe causó efectos perjudiciales en el agua, el aire, el suelo, el paisaje y la salud, lo que requiere la creación de un relleno sanitario.

Irigoín y Zaldivar (2018) desarrollaron una investigación sobre la “Clarificación fisicoquímica de lixiviados mediante procesos de coagulación, floculación y sedimentación del botadero municipal de la provincia de Moyobamba – 2016”, Moyobamba, Perú; tuvo como objetivo clarificar fisicoquímicamente los lixiviados del botadero municipal de la provincia mediante el uso de procesos de coagulación, floculación y sedimentación. El diseño del estudio fue preexperimental, también conocido como diseño en sucesión, en línea o de preprueba-postprueba, con un solo grupo adaptado por los autores. La técnica consistió en tratar fisicoquímicamente el lixiviado eliminando las partículas suspendidas mediante la acción de dos productos, el sulfato de aluminio tipo A y el cloruro férrico, mediante procesos de coagulación, floculación y sedimentación. Para el análisis y procedimiento del éxito de este proceso, se ha determinado la dosis ideal del coagulante y el pH ideal donde se produce la mayor remoción de turbidez y DBO₅. Después de un pre tratamiento de sedimentación física y floculación biológica, se ha realizado el análisis y procedimiento. Los resultados de la investigación muestran que la clarificación fisicoquímica es una tecnología adecuada para este tipo de lixiviado, ya que se logró una disminución significativa de la carga orgánica evaluada. Las eficiencias de las pruebas con lixiviado pre tratado muestran una disminución de la turbidez de 43,75 a 51,88 % y la DBO₅ de 91,78 a 96,3 %, lo que significa una disminución significativa de los parámetros fisicoquímicos en los lixiviados y ofreciendo una solución alternativa a esta situación y la falta de un relleno sanitario en la provincia de Moyobamba; además, los valores de pH para el lixiviado crudo durante los meses de investigación fueron de 4,30; 4,14; 5,0 y 4,53, lo que indica que los lixiviados se encuentran en la etapa ácida de la descomposición, caracterizada por la presencia de ácidos orgánicos, que reduce el pH a valores menores de 6,5.

Torres (2018) desarrolló una investigación sobre la “Evaluación de la concentración de metales pesados en el botadero de Cancharani de la ciudad de Puno”, Perú; tuvo como objetivo evaluar las concentraciones de metales pesados como As, Cu, Cd, Hg y Pb y el grado de contaminación en los suelos del botadero a cielo abierto de Cancharani (4 000 m s.n.m.). La investigación fue no experimental, de tipo cuantitativa y geoestadístico. La metodología consistió en la identificación de tres zonas (zona de seguridad del botadero, zona central y zona del margen derecho), donde seleccionó nueve puntos de muestreo (tres de cada zona); seguidamente, realizó la toma de muestras de suelo (300 g) a una profundidad de 40 cm, en bolsas de polietileno transparente, el cual fue rotulado con sus respectivos datos para ser enviadas al laboratorio para el análisis de los metales pesados presentes, mediante espectrometría por emisión atómica. Para el análisis y procesamiento de los datos utilizó el software Excel; asimismo, para la distribución de los metales pesados utilizó el Arc Gis. Los resultados determinaron que las concentraciones de Pb, Cd y Cu presentes en los suelos del botadero, superaron los límites máximos permisibles cuyos valores fueron de 90, 2,2 y 153 mg/kg, respectivamente; sin embargo, los metales pesados como el arsénico (As) y mercurio (Hg) estuvieron por debajo de los LMP (31 y 0,37 mg/kg). Asimismo, estableció que a medida que las muestras tomadas estaban más lejos del centroide del botadero, la concentración de los metales disminuyó (Cd= 2,10 mg/kg a una distancia de 304 m; Pb= 76,64 mg/kg a una distancia de 272,49 m; Hg= 0,48 mg/kg a una distancia de 81,92 m; y Cu= 134,37 mg/kg a una distancia de 161,93 m), con excepción del arsénico (As), el cual obtuvo 27,11 mg/kg a una distancia de 342,87 m. El autor concluyó que los análisis realizados comprobaron que el botadero de Cancharani presentó una incidencia significativa en el nivel de contaminación del suelo del lugar, donde el Pb, Cd y Cu estuvieron por encima de los límites máximos permisibles.

Champi y Villalba (2014) en el estudio “Evaluación de la contaminación por disposición final de residuos sólidos en los centros poblados de Pisac, Coya, Lamay y Calca – Región Cusco”, Perú; tuvieron como objetivo evaluar la contaminación por disposición final de residuos sólidos y realizar el análisis físico-químico del suelo de los botaderos en estudio. La investigación fue de tipo no experimental, el cual fue desarrollada entre los meses de febrero y noviembre de 2013. La metodología utilizada consistió en la caracterización y categorización del botadero y su área de influencia; seguidamente, procedieron a la recolección de muestras de suelo en dos épocas distintas (verano y lluvia); para lo cual,

establecieron tres puntos estratégicos (suelo blanco, de botadero y lixiviado). Seguidamente, recolectaron las muestras de suelo a una profundidad de 30 cm, haciendo un total de 1 kg de muestra obtenida; posteriormente, estas fueron puestas en bolsas debidamente rotuladas y enviadas al laboratorio para sus respectivos análisis físicos y químicos del suelo. Para la determinación de los metales pesados se utilizaron los métodos normalizados según APHA, AWWA y WPCF; asimismo, para el plomo (Pb) utilizaron el método de polarografía, para cromo (Cr) emplearon el método de absorción atómica y para cadmio (Cd) el método utilizado fue la ditizona. Los resultados determinaron que las concentraciones de Pb en todos los puntos de muestreo y en ambas épocas estuvieron por debajo de los estándares de calidad ambiental; asimismo, con respecto al Cd y Cr tomados en todos los puntos de muestreo de Pisac, Coya, Lamay y Calca, las concentraciones estuvieron por debajo de los estándares de calidad ambiental (0,4 mg/kg). En los botaderos, se encontraron valores de lixiviado entre 0,02 y 0,1 mg/kg; por último, el análisis bacteriológico reveló la presencia de coniformes totales y termo tolerantes, cuyos valores superaron los ECA, lo que indicaba una contaminación bacteriológica. El autor llegó a la conclusión de que, debido a las variaciones en el pH, la concentración de cromo (Cr) era mayor en los suelos de botadero que en los suelos de lixiviado.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. El suelo

El suelo es la capa superior de la superficie sólida del planeta, formada por la meteorización de las rocas en las que se encuentra o puede estar enraizada la vegetación, y proporciona un entorno ecológico específico para ciertos tipos de seres vivos. Además, el suelo constituye un cuerpo natural viviente capaz de brindar diversos servicios ambientales como el almacenamiento y filtración del agua, reserva de biodiversidad, fuente de materia primas, intervención en los ciclos biogeoquímicos, etc., los cuales, al interactuar, permiten el crecimiento de una gran diversidad de organismos de flora y fauna (Martínez, 2016).

a. Composición del suelo

Según Martínez (2016) la composición del suelo se encuentra estructurado en tres fases: sólida, líquida y gaseosa, los cuales son imprescindibles para mantener el equilibrio ecosistémico. A continuación, se detalla cada una de las fases mencionadas:

- ✓ **Fase sólida.** Esta fase es responsable del comportamiento del suelo y comprende dos tipos de componentes o fracciones: la fracción mineral que proviene del material original y la fracción orgánica que proviene de los restos de los seres vivos que se forman como resultado de su metabolismo.

- ✓ **Fase líquida.** Esta fase se conoce como "agua del suelo" porque proviene de las lluvias o mantos freáticos elevados, que una vez en contacto con la fase sólida agregan sustancias en solución y en suspensión. Además, en esta fase se desarrollan los procesos de formación-evolución del suelo, que actúa como vehículo de transporte de sustancias.

- ✓ **Fase gaseosa.** Esta fase permite la respiración de los organismos del suelo y de las raíces de las plantas que cubren la superficie; se compone de un gas de composición parecido al aire cualitativamente, pero con proporciones diferentes de sus componentes.

1.2.2. Contaminación del suelo

La contaminación del suelo es una degradación de la calidad de su capacidad, el cual se encuentra asociado a la presencia de diversos residuos que contienen sustancias químicas, los cuales son capaces de provocar cambios perjudiciales en el desarrollo de la vida (flora y fauna) y la salud de las personas. El impacto ambiental más evidente del manejo inadecuado de los desechos sólidos municipales es la degradación estética de las ciudades y del paisaje natural, urbano y rural. Cada vez es más común ver botaderos a cielo abierto o basura amontonada en cualquier lugar, lo que contribuye a la degradación del paisaje natural (Jaramillo, 2002).

Se habla de contaminación del suelo cuando se introducen sustancias o elementos de tipo sólido, líquido o gaseoso que ocasionan que se afecte la biota edáfica, las plantas, la vida

animal y la salud humana. El suelo generalmente se contamina de diversas formas: cuando se rompen tanques de almacenamiento subterráneo, cuando se aplican pesticidas, por filtraciones del alcantarillado y pozos ciegos, o por acumulación directa de productos industriales o radioactivos (Jaramillo, 2002). Los productos químicos más comunes incluyen derivados del petróleo, solventes, pesticidas y otros metales pesados. Este fenómeno está estrechamente relacionado con el grado de industrialización e intensidad del uso de productos químicos (Jaramillo, 2002).

Los principales causantes de la contaminación del suelo son: los plásticos arrojados sin control, vertidos incontrolados de materia orgánica proveniente de depuradoras o actividades agropecuarias, aplicación de plaguicidas (insecticidas, herbicidas, fungicidas) sin seguir las instrucciones de seguridad o sustancias radioactivas provenientes de ensayos nucleares o de instalaciones industriales que contaminan el suelo natural o artificial. La contaminación del suelo se ha establecido como una importante alteración que se ve reflejada directamente en la superficie terrestre, a partir de diferentes causas que estiman empeorar con el paso del tiempo si no se toman las medidas respectivas (Jaramillo, 2002).

1.2.3. Calidad del suelo

La calidad de los suelos es fundamental para mantener un equilibrio ecosistémico; es decir, un suelo sano y de alta calidad es fértil, mantiene una buena estructura y es biológicamente activo; además, un suelo en óptimas condiciones provee a las plantas los nutrientes necesarios para que pueda desarrollarse hasta alcanzar su estado de clímax, donde las propiedades físicas del suelo, como su estructura y sus agregados, permiten que el agua y el oxígeno lleguen a las raíces de las plantas. La calidad del suelo abarca los componentes físicos, químicos y biológicos y sus interacciones, por lo que se deben medir todos los parámetros, como vegetación, microorganismos, flora y fauna, para comprender la naturaleza completa de la calidad del suelo. Esto se debe a que no todos los parámetros tienen la misma relevancia para todos los suelos o situaciones (Luters y Salazar, 2000).

La calidad de los suelos también se refiere a su capacidad para mantener el funcionamiento y la sostenibilidad de la producción de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire y preservar la salud y la vida humana. La fertilidad de los suelos permite

proporcionar los nutrientes necesarios para que la flora pueda desarrollarse (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio), donde los organismos edáficos a través de su actividad de supervivencia permiten mantener una textura adecuada (aireación y porosidad del suelo), ayudando a maximizar la presencia de otros organismos, que también intervienen en la disponibilidad y ciclado de nutrientes (ciclos biogeoquímicos) (Burbano, 2017).

1.2.4. Botadero

Un botadero es un espacio físico sin las condiciones mínimas de seguridad y salubridad, donde se realiza la disposición final de los residuos sólidos sin ningún control o tratamiento previo (segregación). Los desechos que se colocan en estos lugares no se compactan ni se cubren con frecuencia, lo que resulta en la producción de olores desagradables, gases y líquidos contaminantes (lixiviados). Además, facilitan la propagación de animales como perros, ratas, gallinazos y porcinos, quienes aprovechan estos lugares para buscar comida sin dificultad (Huiman, 2019).

Con el aumento de la población y la calidad de los desechos dispuestos, que varía según los productos que consumen las personas, los botaderos se agravan o intensifican. En Perú, los botaderos municipales suelen almacenar desechos sólidos recolectados como parte de su competencia, incluyendo desechos de origen hospitalario. Estos desechos son peligrosos y representan un alto riesgo para las personas que se dedican a la segregación informal (en algunos casos con la aprobación del municipio y otros con total impunidad), debido al contacto con la piel, inhalación del polvo o ingestión accidental de alimentos. Es importante destacar que las casas cercanas y otras nuevas se han construido sobre antiguos botaderos, lo que hace que la gente del área esté expuesta indirectamente a los contaminantes filtrados (Huiman, 2019).

➤ Impactos que generan los botaderos al ambiente y la salud

Según Chávez y Leonardo (2018) los efectos ambientales del botadero sobre la mayoría de los factores ambientales de su entorno se califican como negativos, calificativos y muy significativos, y se ha encontrado una contaminación significativa del suelo, el aire, el agua,

el paisaje, la flora y la fauna, alcanzando un impacto negativo de -333, que en algunos casos puede ser reversible si se cambia la forma de tratamiento y disposición final de los desechos sólidos. Además, la exposición a los contaminantes de los rellenos sanitarios y los botaderos a cielo abierto se ha relacionado con el desarrollo de una variedad de efectos perjudiciales en la salud, como fatiga, somnolencia, alergias, estrés psicológico e incluso malformaciones congénitas y algunos tipos de cáncer, los cuales son más evidentes en grupos de población vulnerable, como adultos mayores y niños (1-3) (Girón *et al.*, 2009).

La Tabla 1 muestra que las vías indirectas son la principal causa de riesgos indirectos para la salud de la población. En los depósitos de desechos sólidos, los transmisores de enfermedades encuentran las condiciones adecuadas y la fuente de alimento necesaria para su propagación, lo que resulta en la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, el suelo y el aire. (Jaramillo, 2002).

Tabla 1*Enfermedades causadas por los vectores del botadero*

Vector	Forma de transmisión	Enfermedad
Mosca	Por vía mecánica (a través de las alas, patas y cuerpo) A través de las heces y la saliva	Fiebre tifoidea, salmonelosis, disenterías, diarrea infantil, cólera, amebiasis, giardiasis
Mosquito	A través de la picazón del mosquito hembra	Malaria, leishmaniasis, fiebre amarilla, dengue, encefalitis vírica, filiarisis
Cucaracha	Por vía mecánica (a través de las alas, patas y cuerpo) y por las heces	Fiebre tifoidea, gastroenteritis, infecciones intestinales, disenterías, diarrea, lepra, intoxicación alimentaria
Ratas	A través del mordisco, orina y heces A través de las pulgas que viven en el cuerpo de la rata	Peste bubónica, tifus murino, leptosperosis (enfermedad de Weil), fiebre de Harverhill, rickettsiosis vesiculosa, enfermedades diarreicas, disenterías, rabia
Cerdos	Por ingestión de la carne contaminada	Teniasis y cisticercosis, toxoplasmosis y triquinosis
Aves	A través de las heces	Toxoplasmosis

Nota. Tomado de Jaramillo (2002).**1.2.5. Botaderos en el Perú**

El manejo y disposición final adecuado de los residuos sólidos en el Perú es un problema para sus habitantes, debido a la ineficiente gestión de las instituciones del estado (municipalidades), donde más de la mitad de los desechos no llega a ser dispuesto en un relleno sanitario; si no que, estos son dispuestos en lugares inadecuados como los botaderos, causando malestar a la población circundante, que luego afectan su salud y la del medio ambiente. La falta de implementación de rellenos sanitarios permite la aparición de botaderos de manera ilegal, donde los residuos son depositados sin ningún control previo, los cuales generan focos infecciosos y tienen un impacto negativo en la salud de las personas y en el entorno (Radio Programas del Perú [RPP], 2019).

El Informe de la Defensoría también señala que, según el Ministerio del Ambiente, el 73 % de los residuos sólidos generados son aprovechados; sin embargo, el 80 % de la basura es destinada a los botaderos y un 14,8 % son quemados o incinerados (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2016). Asimismo, un estudio de la OEFA determinó que existen 1 585 botaderos de basura en todo el país, de los cuales el 98 % deben ser clausurado lo antes posible y un 25 % puede convertirse en un relleno sanitario. Estos 1 585 botaderos representan 1 973 hectáreas de tierras degradadas (Gestión, 2019).

En San Martín, el clima es predominantemente subtropical y tropical, con dos temporadas distintas: una seca de junio a septiembre y otra lluviosa de octubre a mayo. La precipitación media anual es de 1500 mm y las temperaturas oscilan entre 23 y 27 °C (Huiman, 2019).

➤ **Lixiviados**

Los lixiviados son productos contaminantes que se producen durante la descomposición y fermentación de materia orgánica, debido a la propia humedad de los residuos y al agua de lluvia que se filtra entre los residuos y que arrastra materiales biológicos y compuestos químicos; asimismo, la contaminación en las fuentes de agua subterráneas, ríos y costas que ejercen los lixiviados de los residuos sólidos urbanos de los vertederos, ocasionan serios problemas al medio ambiente y representan un grave e irreversible peligro para la salud humana (Espinoza *et al.*, 2016). Para Giraldo (2014) la composición de los lixiviados en el suelo varía dependiendo de la edad del botadero, por lo que se pueden encontrar las siguientes composiciones (Tabla 2).

Tabla 2*Composición de los lixiviados*

Características	Lixiviado joven	Lixiviado viejo
DBO	Muy alto	Bajo
DQO	Muy alto	Alto
Amoniaco	Muy alto	Alto
Fósforo	Deficiente	Alto
PH	Muy alto	Bajo
Detergentes	Muy alto	Bajo
Sales disueltas	Muy alto	Bajo (relativamente)
Agentes incrustantes	Muy alto	Bajo
Metales pesados	Muy alto	Bajo

Nota. Adaptado de Giraldo (2014).

➤ **El problema de los lixiviados**

Los lixiviados ponen en peligro las fuentes de agua naturales debido a su alta contaminación. Sus características agresivas ponen en peligro la salud pública y el equilibrio medioambiental. El aumento de la población y la expansión de las sociedades ha generado una mayor cantidad de desechos, algunos de los cuales tienen una composición más compleja y, por lo tanto, requieren un tratamiento más complejo. Esto da como resultados lixiviados más peligrosos y con compuestos como metales pesados, los cuales pueden contribuir al desarrollo de enfermedades mortales como el cáncer. Sin embargo, el costo de la tecnología utilizada para la estabilización de estos desechos es poco considerado en la gestión y manejo de los desechos, lo que lleva a los rellenos sanitarios a descargarlos en botaderos, lo que contraviene su responsabilidad de proteger la salud pública (Giraldo, 2014).

Si los desechos no se mantienen bajo control y se dejan en botaderos a cielo abierto, la escorrentía y la lluvia causan una gran cantidad de lixiviación, lo que genera corrientes hacia las aguas superficiales más cercanas. En la mayoría de los casos, estas corrientes se infiltran y contaminan los estratos que atraviesan. Las características y tasas de producción de lixiviados son únicas para cada sitio y tipo de basura porque dependen de la composición de

los desechos sólidos dispuestos en el lugar, de la temperatura, la humedad y el pH de los desechos, así como de la calidad y cantidad de agua superficial y subterránea que ingresa al área de basura (Giraldo, 2014).

➤ **Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH de un lixiviado es una medida de su acidez o alcalinidad. Un pH inferior a 7,0 muestra una inclinación hacia la acidez, mientras que un pH superior a 7,0 muestra una inclinación hacia lo alcalino. El pH de una muestra de lixiviado será bajo durante la fase ácida de descomposición, mientras que, durante la fase de fermentación del metano, el pH estará entre 6,5 y 7,5. El pH del lixiviado dependerá tanto de la concertación de ácidos como de la presión parcial del CO₂ en el gas producido que está en contacto con el lixiviado. Por la gran cantidad de ácidos grasos volátiles producidos, el pH de los lixiviados generalmente es bajo (Romero, 2017).

➤ **Componentes ambientales afectados por la presencia de lixiviados: suelo y agua**

Según Pilco (2021), La Tabla N°17 muestra cómo el lixiviado afecta el suelo y el agua, teniendo un impacto en los componentes físicos, químicos y biológicos. Además, la presencia de metales pesados (cadmio, arsénico y plomo) altera el equilibrio natural del ambiente. Estos metales son los más venenosos y tóxicos (Ver Apéndice 1).

1.2.6. Metal pesado

Para Pilco (2021), cualquier elemento químico metálico que tenga una densidad relativa o alta y que sea tóxico o venenoso incluso en concentraciones muy bajas se conoce como metal pesado. Entre los metales pesados se incluyen algunos elementos como el plomo, el cadmio, el cromo, el mercurio, el zinc, el cobre, la plata y otros. Aunque algunos de estos son esenciales para las células, las concentraciones elevadas pueden ser perjudiciales para las plantas, animales, organismos del suelo y humanos. Además, el autor destaca que las características contaminantes únicas de los metales pesados han llamado la atención:

- Se acumulan y no disminuyen con el tiempo.

- A ciertos niveles, son esenciales y beneficiosos para las plantas y otros seres vivos, pero su excesiva concentración también puede ser peligrosa.
- Siempre están presentes en el suelo a niveles de concentración conocidos como niveles fondos. Su origen no es externo, sino que se origina en el material parental originario de las rocas y su transformación.

Espinoza *et al.* (2016), menciona que los lixiviados contienen metales pesados como el plomo y el cadmio. La concentración de estos metales pesados aumenta en niveles tróficos superiores porque son bioacumulativos, es decir, se almacenan en los tejidos de los organismos sin poder ser eliminados (Tabla 3). El cadmio proviene de las pilas, mientras que el plomo proviene principalmente de baterías, vidrios, plásticos, cerámicas y pigmentos.

Tabla 3

Efectos en la salud de diferentes compuestos

Metal	Efecto negativo
Arsénico	Sistema cardiovascular, respiratorio, nervioso periférico, reproductivo, daños en el hígado, riñón, cancerígeno; potencialmente teratogénico
Cadmio	Sistema nervioso central, reproductivo y respiratorio, riñón, probable cancerígeno, teratogénico, embriotóxico
Cromo	Sistema respiratorio, alergias, irritación en ojos, cancerígenos, probable mutagénico
Plomo	Sistema nervioso central y reproductivo, en células de la sangre, probable teratogénico
Mercurio	Sistema nervioso central, cardiovascular y respiratorio, riñón y ojos, teratogénico
Níquel	Sistema respiratorio, alergias, irritación ojos, piel, hígado, riñón, probable cancerígeno y teratogénico

Nota. Tomado de Corena (2008).

1.2.7. Origen de la contaminación del suelo por metales pesados

El origen de los metales pesados presentes en el suelo puede ser antropogénico o geogénico (natural). En general, la presencia de metales en el suelo se debe principalmente a la meteorización del material original, la erosión de los minerales causada por el viento, la lluvia y la descomposición de las rocas. Estos son los principales procesos naturales que

permiten que los metales se integren en el ciclo hidrológico. La meteorización influye en la liberación de cationes de una roca. Estos factores incluyen el clima, la topografía, la permeabilidad, el tiempo y la actividad biológica, especialmente de los microorganismos (Granizo y Márquez, 2007).

a. Origen natural

La porción del contenido total de un elemento o compuesto químico de un material terrestre que puede liberarse a la superficie o cerca de la superficie (biosfera) por procesos mecánicos, químicos o biológicos se conoce como biodisponibilidad. Los metales pesados biodisponibles son aquellos que se liberan a través de la meteorización de la roca madre y se encuentran en el suelo, junto con otros que provienen de emisiones volcánicas y mineralizaciones lixiviadas, los geogénicos (Alloway, 2012).

b. Origen antropogénico

Los desechos sólidos domésticos o las actividades industriales pueden contaminar el suelo.

- **Residuos domésticos.** Los metales representan aproximadamente el 10% de la basura. El enterramiento puede contaminar las aguas subterráneas, mientras que la incineración puede contaminar la atmósfera al liberar metales volátiles, contaminando el suelo. Además, la basura no controlada es una fuente importante de contaminantes en el suelo y las aguas superficiales (Alloway, 2012).
- **Actividades industriales.** Las fábricas de hierro y acero son los principales contaminantes porque emiten metales relacionados con las minas de hierro (Fe) y níquel (Ni). En general, todas las industrias que fabrican productos químicos, fármacos, pigmentos y tintes, que incluyen arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb), contaminan el suelo, el agua y el aire (Alloway, 2012).

Vélez (2007) señaló que la aplicación de biosólidos en el suelo agrícola revela un alto contenido de metales pesados como Zn, Pb, Cu y Cd a una profundidad de 30 o 40 centímetros, con un aumento máximo en los primeros 5 centímetros de la superficie. El

problema es determinar si la parte asimilable para las plantas sigue el mismo proceso o si su distribución es completamente diferente. Concluyendo, los metales contaminantes del suelo son persistentes e irreversibles, especialmente el Cd, que se asimila por la vegetación, lo que puede causar perturbaciones significativas tanto a las plantas como a los mamíferos que los consumen.

1.2.8. Movilización de metales pesados en el suelo

El desarrollo de diversas actividades antrópicas está fuertemente relacionado con la contaminación del suelo por la presencia de metales pesados. Cuando se depositan en el suelo, se distribuyen entre los componentes de la fase sólida, lo que provoca una rápida retención inicial y reacciones lentas que varían según el tipo de metal, las propiedades del suelo, el tiempo y el nivel de introducción. Los metales pesados se acumulan en las partículas sólidas una vez que caen en el suelo, pero también pueden liberarse en la solución del suelo a través de una variedad de procesos biológicos y químicos (Pagnanelli *et al.*, 2004).

Según Sauquillo *et al.* (2003), los siguientes factores contribuyen a la movilización de metales pesados en el suelo:

- **Características del suelo.** El pH, el potencial redox, la composición iónica de la solución del suelo, la capacidad de cambio, la presencia de carbonatos, la materia orgánica, la textura y otros factores son variables.
- **Naturaleza de la contaminación.** Origen de los metales pesados (actividad generadora) y forma de deposición.
- **Condiciones medioambientales.** Acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad, etc.

De acuerdo con García y Dorronsoro (2005), los metales pesados pueden adherirse al suelo de tres formas y mecanismos distintos:

- Las plantas pueden absorberlos e incorporarlos en las cadenas tróficas.

- Pueden pasar a la atmósfera por volatilización.
- Es posible que se muevan a las aguas superficiales o subterráneas.

1.2.9. Mecanismo de movilización de los metales en el suelo

a. Rutas para el transporte de elementos traza en el suelo

Los metales pesados pueden entrar en el suelo de cuatro maneras diferentes. Por un lado, pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo u ocupando sitios de intercambio. Por otro lado, pueden adsorberse específicamente sobre los componentes inorgánicos del suelo. Por último, pueden precipitarse como sólidos puros o mixtos. Además, tienen la capacidad de ser absorbidos por las plantas e incorporarse a las cadenas tróficas. También pueden ingresar a la atmósfera a través de la volatilización y ser transportados a las aguas superficiales o subterráneas (García y Dorronsoro, 2005)

b. Dinámica de los metales pesados en el suelo

Los metales pesados presentes en los suelos siguen unas pautas generales de movilidad en lugar de comportarse como elementos estáticamente inalterables. Según Sauquillo (2003), hay cuatro formas de resumir la dinámica de los metales pesados en el suelo.

- Transporte a aguas superficiales o subterráneas.
- Transfiere a la atmósfera a través de la volatilización.
- Se absorbe por las plantas y se incorpora a las cadenas tróficas.
- La retención de metales pesados en el suelo puede ocurrir de tres maneras diferentes: disueltos o fijados, precipitación y adsorción.

El pH, el potencial redox, la composición iónica de la solución del suelo, la capacidad de intercambio (catiónico y/o aniónico), la presencia de carbonatos, la materia orgánica y la textura son características del suelo que afectan la movilización de metales pesados en el suelo. La acidificación, los cambios en las condiciones redox, la variación de la temperatura y la humedad en el suelo son causados por la naturaleza de la contaminación, el origen de los metales, las formas de deposición y las condiciones ambientales (Sauquillo, 2003).

c. Precipitación

Un agente químico, generalmente aniones como fosfatos, carbonatos o sulfatos, puede precipitar los iones metálicos en una solución de suelo. Al reaccionar con los iones de la solución, también pueden precipitar como hidróxidos. La precipitación es poco probable en condiciones ácidas, excepto cuando hay grandes cantidades de cationes y aniones, por ejemplo, en suelos neutros y ácidos, excepto cuando hay altas concentraciones de carbonatos, sulfatos o fosfatos (Sauquillo, 2003).

1.2.10. Movilización natural de los metales pesados

La actividad biológica, las interacciones sólido-líquido y la acción del agua contribuyen a la movilidad natural de los metales pesados en el suelo. El balance hídrico del agua en el suelo afecta la circulación de metales con el agua. Las propiedades fisicoquímicas del suelo afectan la cantidad de precipitación, evaporación, escorrentía e infiltración del agua. Dado que la mayoría de los elementos traza, con la excepción de Mo, As y Se, son más móviles en condiciones de acidez creciente, es importante destacar la influencia que ejerce el pH del suelo (Alloway, 2012).

La movilización de material particulado transportado por el aire tiene importantes implicaciones desde el punto de vista de la salud, principalmente a través de la inhalación de partículas de 10 micras de diámetro o menos que pueden absorberse en la región alveolar del pulmón. Por lo tanto, la movilización de material particulado también es transportada por el aire representa una amenaza para la salud pública (Alloway, 2012).

1.2.11. Factores que afectan la acumulación de metales pesados

Según Casanova (2005), los factores del suelo más importantes que influyen en la acumulación y disponibilidad de metales son:

a. Potencial de hidrógeno. Es uno de los parámetros que tienen más impacto en los procesos edáficos, la reactividad del suelo y la movilidad de contaminantes. En general, cuando el pH del suelo aumenta, la solubilidad de muchos metales pesados disminuye y

la concentración de elementos traza es menor en la solución de suelos neutros y básicos en comparación con los suelos ligeramente ácidos.

- b. Materia orgánica.** La materia orgánica puede adsorber muy bien metales como el cadmio, el plomo y el arsénico, por lo que algunas plantas que crecen en suelos ricos en materia orgánica tienen una falta de elementos como el Cd, el Pb y el Zn. Sin embargo, esto no significa que el suelo no esté contaminado porque las poblaciones microbianas se reducen. La textura facilita la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo; por ejemplo, la arcilla tiende a adsorber los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio; en contraste, los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, que pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos.
- c. Textura.** La arcilla adsorbe los metales y los retiene en sus posiciones de cambio.
- d. Conductividad eléctrica.** Dado que la conductividad eléctrica está directamente relacionada con la concentración de iones en disolución, esta magnitud se utiliza para describir el grado de salinidad de un suelo. Los suelos con un pH básico suelen tener altas concentraciones de sal. Es un índice que muestra la cantidad total de sales disueltas presentes en el agua de riego y se basa en el principio de que la corriente transmitida por una solución con sales aumentará a medida que aumenta la concentración de sales en la solución. Hay dos formas en que el aumento de la salinidad puede aumentar la movilización de metales pesados. Para empezar, los cationes relacionados con las sales, como el sodio y el potasio, tienen la capacidad de reemplazar los metales pesados en los procesos de adsorción. En segundo lugar, con metales pesados como el cadmio y el mercurio, los aniones de cloruro pueden formar complejos solubles estables.
- e. Otros factores.** La biodisponibilidad de los metales en el suelo y su solubilidad en el suelo pueden verse afectadas por otros factores. La actividad microbiana del suelo, por ejemplo, tiene el potencial de inmovilizar metales mediante la promoción de la precipitación de sulfuros y óxidos de hierro hidratados. La biodisponibilidad está influenciada por las bacterias del suelo al adsorber metales a través de grupos orgánicos funcionales de su pared celular.

1.2.12. Características y efectos de los metales pesados

a. Cadmio (Cd)

El cadmio (Cd), un metal pesado blanco con un tono ligeramente azulado, blando, suave y resistente a la corrosión, se encuentra entre los elementos más contaminantes. Se encuentra en el grupo IIB de la Tabla Periódica de Elementos Químicos, tiene un número atómico de 48, una masa atómica de 111,4 y una densidad relativa de 8,65 (Emsley, 2001). La alta concentración de Cd en el suelo puede afectar los procesos microbianos y todo el ecosistema del suelo. Cuando el Cd es absorbido por los biosólidos, puede viajar a largas distancias, lo que lo convierte en un potente contaminante en las aguas superficiales y los suelos (Lue-Hing et al., 1992). Las concentraciones de Cd en el suelo oscilan entre 0,3 y 0,6 mg/kg, mientras que en los biosólidos alcanzan 3,28 mg/kg (Ortiz *et al.*, 1999).

El Cd en el suelo puede ser muy peligroso porque las plantas lo absorben por la raíz, lo que puede dañar a los animales que dependen de ellas para sobrevivir. Por lo tanto, este metal puede acumularse en sus cuerpos, especialmente cuando ingieren varios tipos de plantas, como las vacas (rumiantes), que pueden acumular cantidades significativas de Cd en sus riñones. Las lombrices y otros animales silvestres son muy susceptibles al envenenamiento por Cd y pueden fallecer a bajas concentraciones, lo que tiene un impacto significativo en la estructura del suelo. Además, cuando las concentraciones de este metal en el suelo son altas, puede afectar los procesos microbianos y poner en peligro todo el ecosistema (Martin, 2002).

Además de los efectos ambientales, el CD también puede causar problemas renales en los seres humanos. Estos problemas pueden afectar el hígado, los riñones, el páncreas, el tracto gastrointestinal y el pulmón, con el riñón siendo el órgano más afectado por la exposición crónica al CD. Las personas que trabajan en fábricas están más expuestas a niveles altos de Cd en el aire, y la exposición prolongada puede causar cáncer pulmonar (Arboleda, 2000).

b. Plomo (Pb)

Debido al peso molecular que posee el plomo, tiende a acumularse rápidamente en suelos, sedimentos y cuerpos de agua y permanecer en el ambiente como contaminante atmosférico, lo que lo convierte en el contaminante ambiental más importante para la salud humana y los ecosistemas. Las reacciones de adsorción controlan la retención de plomo en la superficie de arcillas, óxidos, hidróxidos y materia orgánica. Las concentraciones de Pb en el suelo oscilan entre 10 y 150 mg/kg. Las áreas que tienen concentraciones más altas se denominan áreas contaminadas o degradadas (Torres, 2018).

Además, este metal puede entrar en el cuerpo por varias vías, como inhalar partículas de Pb en el aire o comer alimentos y agua contaminados. Según estudios, se ha determinado que la exposición a Pb puede causar síntomas que van desde pequeños dolores de cabeza, irritabilidad y dolor abdominal hasta síntomas relacionados con el sistema nervioso. Además, la exposición al Pb tiene efectos tanto a largo como a corto plazo, incluso a concentraciones muy bajas. Se ha demostrado que una exposición prolongada a bajas concentraciones de metales pesados puede causar tumores cancerígenos, con el cáncer más frecuente en el pulmón y el estómago. De esta manera, la exposición prolongada a Pb está relacionada con la disminución de la capacidad intelectual en niños, desordenes neuropsiquiátricos (deficiencia de atención y comportamiento antisocial), y la reducción de la capacidad reproductiva y otras enfermedades cardiovasculares en adultos (Rey *et al.*, 2017).

c. Cromo total (Cr)

El cromo es un elemento que normalmente se encuentra en rocas, animales, plantas y suelo y puede existir en diferentes formas (estado líquido, sólido o gas). Las concentraciones de Cr de hasta 40 mg/kg se encuentran naturalmente en el suelo. Se utilizan en el cromado, los colorantes y pigmentos, el curtido del cuero, la preservación de la madera y las barrenas de extracción de petróleo, los inhibidores de corrosión, la industria textil y el tóner para copadoras en cantidades pequeñas (Molina *et al.*, 2010).

Las actividades humanas contaminan el aire y el agua con Cr. La quema de petróleo y carbón, la producción de acero, la soldadura de acero inoxidable, la fabricación de productos químicos y el uso de productos que contienen Cr pueden aumentar la concentración de este metal en el aire en forma de material particulado. La descarga de desechos producidos por la producción de colorantes y pigmentos para el curtido de cuero contamina las aguas. La mayoría de estos desechos van al fondo y solo una pequeña parte se diluye en el agua. Además, las cenizas de carbón de las plantas generadoras de electricidad y los desechos industriales pueden contaminar el suelo (Molina *et al.*, 2010).

La influencia negativa del Cr en la salud de los seres vivos depende del nivel de valencia del elemento en el momento de la exposición y de la solubilidad del compuesto. La absorción del compuesto se produce principalmente por tres vías: oral, respiratoria y dérmica. Una vez que ingresan al cuerpo, se distribuyen a la médula ósea, los pulmones, los ganglios linfáticos, el bazo, el riñón y el hígado. Además, respirar niveles altos de Cr puede causar irritación del revestimiento interno de la nariz, úlceras nasales, secreción nasal y problemas respiratorios como asma, tos, falta de aliento o respiración jadeada (Molina *et al.*, 2010).

1.2.13. Muestreo de suelo

Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2014), el muestreo es el proceso de obtener muestras representativas para caracterizar el suelo en estudio. Sin embargo, una muestra puede ser un componente representativo con las mismas características o características del material que se está estudiando, y las muestras serán enviadas al laboratorio para ser analizadas de acuerdo con los objetivos establecidos. La técnica de muestreo a utilizar depende del objetivo del estudio, las condiciones edáficas, meteorológicas, geológicas e hidrológicas del sitio, la profundidad y accesibilidad de la contaminación en estudio y los requerimientos analíticos de calidad y cantidad de muestras.

Los procedimientos para la toma de muestras de suelo se describen a continuación en la Guía para el muestreo de suelo de MINAM (2014):

a. Muestras superficiales. Se pueden utilizar sondeos manuales para recopilar muestras superficiales (hasta una profundidad de aproximadamente un metro). Dado que es

necesario obtener muestras compuestas de varios sondeos, este sistema es relativamente simple, rápido de usar y de bajo costo. Las zanjas o los hoyos son métodos alternativos para recolectar muestras superficiales.

b. Muestras en profundidad. La distribución espacial en profundidad de las sustancias contaminantes en un sitio potencialmente contaminado puede ser el resultado de la interacción entre las características y propiedades del suelo a lo largo del perfil y las características y propiedades de las propias sustancias contaminantes. Por lo tanto, es fundamental que el muestreo refleje la posible variabilidad espacial en profundidad de los contaminantes. En caso contrario, las decisiones tomadas podrían no ser apropiadas.

1.2.14. Muestreo de identificación

Para determinar si el suelo cumple con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos en el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, se utilizan muestras representativas para investigar la contaminación del suelo. El MINAM (2014) enumera las siguientes consideraciones que deben tenerse en cuenta:

a. Número mínimo de puntos de muestreo

El número mínimo de puntos de muestreo se establece en función de cada área potencialmente interesada del predio de estudio. La Tabla 4 muestra la cantidad total de puntos de muestreo en función del área de potencial interés (área de toma de muestras compuestas), mientras que la Tabla 5 muestra la profundidad del muestreo en función del uso del suelo.

Tabla 4*Número mínimo de puntos para el muestreo de identificación*

Área de potencial interés (ha)	Puntos de muestreo total
0,1	4
0,5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

Nota. Tomado del MINAM (2014).**Tabla 5***Profundidad del muestreo según el uso del suelo*

Usos del suelo	Profundidad del muestreo (capas)
Suelo agrícola	0 – 30 cm (1) 30 – 60 cm
Suelo residencial/parques	0 – 10 cm (2) 10 – 30 cm (3)
Suelo comercial/industrial/extractivo	0 – 10 cm (2)

Nota. Tomado del MINAM (2014).

1) Profundidad de aradura

2) Capa de contacto oral o dermal de contaminantes

3) Profundidad máxima alcanzable por niños

b. Materiales para guardar y transportar muestras

Las características del recipiente deben ser compatibles con el material del suelo y los agentes contaminantes en estudio a muestrear (Tabla 6); asimismo, deben ser resistentes a la ruptura y evitar reacciones químicas con la muestra y/o pérdidas por evaporación.

Tabla 6

Características generales para la recolección y conservación de muestras

Parámetro	Tipo de recipiente	Temperatura de preservación (°C)	Tiempo máximo de conservación (días)
Compuestos orgánicos volátiles			
BTEX			
Hidrocarburos			
Fracción ligera			
Hidrocarburos			
Fracción media	Frasco de vidrio boca ancha,	4	14
Hidrocarburos	con tapa y sello de teflón		
Fracción pesada			
Compuestos Orgánicos Semivolátiles			
COSVs y Plaguicidas			
Metales pesados y metaloides	Bolsas de polietileno densa	Sin restricciones	Sin restricciones
Mercurio	Frasco de vidrio con tapa de teflón que asegure la integridad de las muestras hasta su análisis	4	14
PCB	Viales de vidrio con cierre de teflón	4	14
PAH	Viales de vidrio con cierre de teflón	4	14

Nota. Tomado del MINAM (2014).

c. Ficha de muestreo

Incluye la información recolectada en el campo, incluida la técnica de muestreo, las condiciones del punto de muestreo y una descripción de las muestras tomadas en el Anexo 2 (D.S. N° 002-2013-MINAM).

1.2.15. Marco legal

a. Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos y su reglamento

El artículo 2 de la Ley N° 27314 (Ley General de Residuos Sólidos), tal como se menciona en el Decreto Legislativo N° 1278 (2017), establece que la prevención o minimización de la generación de residuos sólidos en origen es su objetivo principal en lugar de cualquier otra opción. En segundo lugar, en cuanto a los desechos producidos, se prioriza la recuperación, la valorización material y energética de los desechos, incluyendo la reutilización, reciclaje, compostaje, coprocesamiento y otras opciones, siempre y cuando se garantice la protección del medio ambiente y la salud.

Asimismo, el objeto del reglamento del Decreto Legislativo N° 1278 (aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos), es garantizar la maximización constante de la eficiencia en el uso de materiales mediante la regulación de la gestión y manejo de desechos sólidos, que comprende la minimización de la producción de desechos sólidos en la fuente, la valorización material y energética de los desechos sólidos, la disposición adecuada de los desechos sólidos y la sostenibilidad de los servicios de limpieza pública.

b. Estándares de calidad ambiental

El estándar de calidad ambiental (ECA) es la medida que establece el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, según el parámetro en particular a que se refiera. La concentración o el grado también puede expresarse en máximos, mínimos o rangos (Decreto Supremo N°002-2013-MINAM).

➤ ***Estándares de calidad ambiental para suelos (ECAS)***. La Resolución Ministerial N°225-2012-MINAM aprobó los estándares de calidad ambiental del suelo. El estándar de calidad ambiental (ECA) se define como la medida que establece el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa un riesgo significativo para la salud de las personas y el ambiente. La política ambiental y el Decreto Supremo N°002-2013-MINAM también la aprobaron, incluyendo el control integrado de la contaminación y los parámetros de contaminación para el mantenimiento y control de la calidad del suelo.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

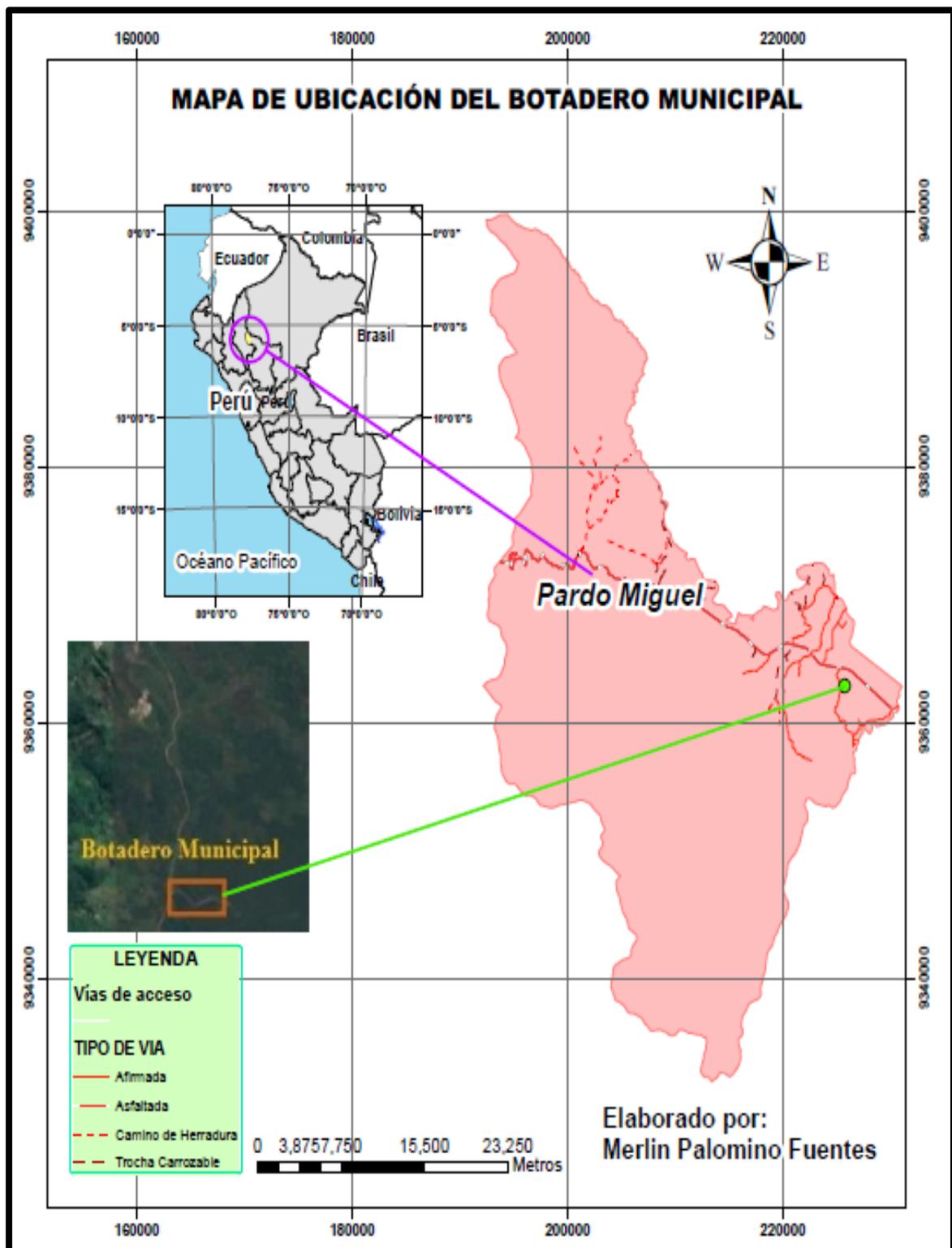
La investigación utilizó un diseño transeccional, correlacional y no experimental. Montano (2021) describe este tipo de investigación no experimental como aquella en la que no se controlan ni manipulan las variables del estudio; para desarrollar la investigación, se observan los fenómenos a estudiar en su ambiente natural, se obtienen los datos directamente y luego se analizan. Además, Suarez (2016) establece que la investigación es correlacional porque analiza el comportamiento de las variables en relación con la cantidad de metales pesados, la cantidad de desechos sólidos arrojados y la profundidad del suelo contaminado en el botadero; finalmente, transeccional porque los datos se recopilaban en un momento determinado.

2.2. Lugar y fecha

El presente trabajo de investigación se realizó en el botadero municipal del distrito, el cual se encuentra bajo administración de la Municipalidad Distrital de Pardo Miguel - Naranjos. El botadero a cielo abierto está ubicado a 3 km de la carretera Fernando Belaunde de Terry entre los caseríos de Tres de Mayo y Villa Rica, con una extensión de 0,5 ha (Figura 1). Asimismo, el estudio de investigación se ejecutó el 16 de diciembre del 2020, donde se realizó la toma de muestras de suelo, las cuales fueron enviadas al laboratorio de la Universidad Nacional de San Martín (UNSM), para su análisis y posterior interpretación de resultados.

Figura 1

Mapa de ubicación del Distrito de Pardo Miguel – Naranjos



Nota. El rectángulo naranja representa el área de estudio (botadero a cielo abierto).

2.3. Población y muestra

La población considerada en la presente investigación estuvo constituida por todo el suelo que estuvo alrededor y dentro de la fuente de contaminación; es decir, las 0,5 ha del botadero a cielo abierto, del distrito de Pardo Miguel - Naranjos.

La cantidad de muestras que se recolectó fueron seis (6), 1 kg de muestra por cada punto, a una profundidad de 30 cm del suelo para el recojo respectivo de cada muestra. Este muestreo de identificación permitió investigar la existencia de contaminación del suelo por metales pesados, para determinar si el suelo cumplió con los estándares de calidad ambiental con respecto a la cantidad de metales (mg/kg) establecidos en la Guía para el muestreo de suelos del MINAM (2014), en cumplimiento del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM.

2.4. Técnica e instrumento de recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizó la técnica de observación directa, el cual consistió en un registro sistemático, válido y confiable de conductas. Mediante esta técnica se pueden visualizar y recolectar datos al observar la muestra de estudio (Hernández *et al.*, 2014). Asimismo, como instrumento se utilizó la ficha técnica de observación, la cual se define como un conjunto de preguntas elaboradas, basadas en objetivos e hipótesis de la investigación a elaborar, permitiendo recolectar datos cronológicos, prácticos y certeros del problema planteado (Hernández *et al.*, 2014).

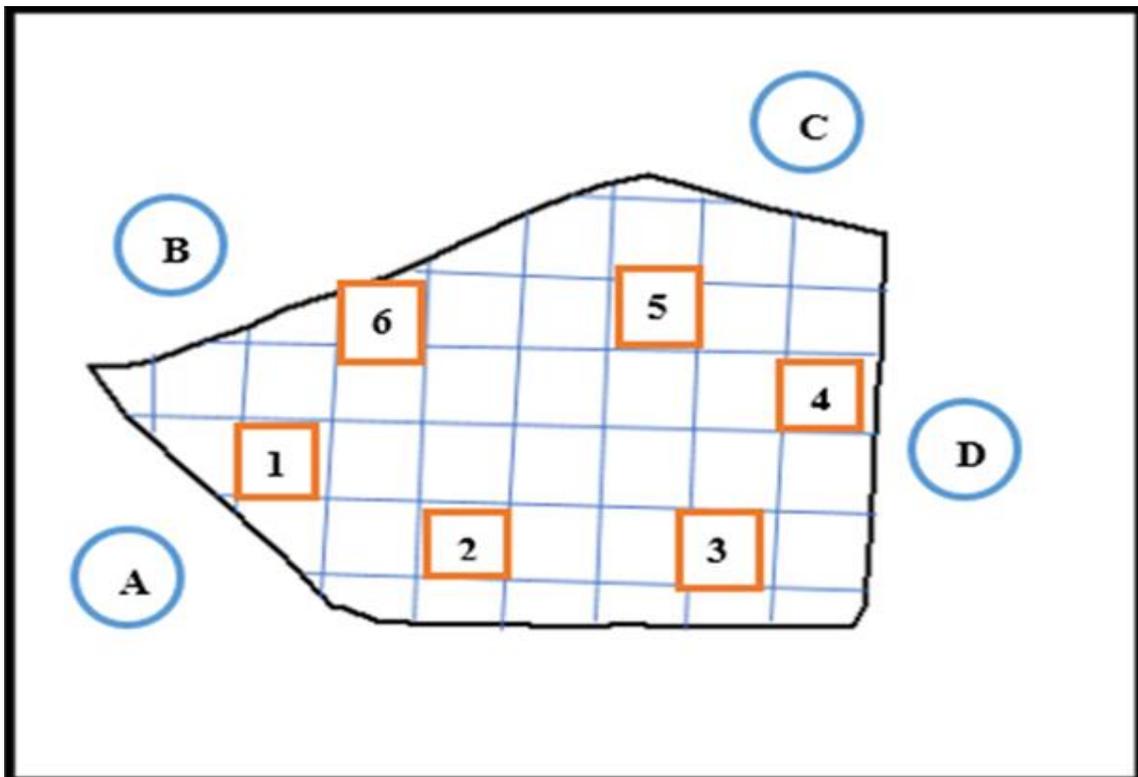
2.5. Descripción de la investigación

2.5.1. Fase preliminar

Se realizó el reconocimiento del área en investigación, luego se elaboró un mapa base de la zona con la ubicación de los puntos de muestreo (Figura 2); seguidamente, se aplicaron las fichas para la recolección de datos en campo.

Figura 2

Diseño de la distribución de puntos establecidos para el muestreo



Los seis cuadrados de color naranja (enumerados del 1-6) fueron los puntos de muestreos establecidos al azar, dentro del botadero y los cuatro círculos de color azul (A, B, C y D) representan a las muestras tomadas alrededor del botadero (cerca de cultivos), los cuales sirvieron para comparar con las muestras contaminadas que fueron tomadas dentro del botadero. Los puntos A y B se encontraron en pendientes más altas en comparación con los puntos C y D; estos datos fueron tomados en cuenta para determinar si los suelos con pendientes bajas estuvieron más susceptibles a ser contaminados. cabe recalcar que para el diseño del área se realizó la toma del área compactada mediante maquinaria pesada que fue realizada por la entidad.

2.5.2. Fase de campo

En la fase de campo se realizó la localización de los puntos y el recojo de las muestras, los cuales fueron desarrolladas siguiendo la Guía para el Muestreo de Suelos del MINAM (2014). A continuación, se detallan cada una de las actividades realizadas:

a. Establecimiento de puntos para la toma de muestras

En esta sección se realizó la ubicación y reconocimiento del botadero a cielo abierto, donde se determinó que el área total fue de 0,5 ha, la misma donde se observa que por medio del área del botadero se estableció una carretera para seguir disponiendo los residuos hacia la parte del fondo del área nueva habilitada (Figura 3); seguidamente, se registró los puntos para el recojo de las muestras con ayuda de un GPS (ver Apéndice 3).

Figura 3

Área en estudio (Botadero Municipal distrito de Pardo Miguel - Naranjos)



b. Procedimiento para el recojo de las muestras

- Primero, una vez definidos los puntos de muestreos en la zona objeto de estudio, se procedió a realizar una limpieza general alrededor de cada uno de los puntos establecidos (10 puntos), retirando los elementos que se encontraron en el lugar (hojarascas secas, raíces, bejucos, etc.) (Figura 4).

Figura 4

Limpieza del área a muestrear



- Seguidamente, haciendo uso de una palana y pico, se cavaron hoyos de 30 cm de profundidad (Figura 5), de donde se tomaron muestras de suelo (1 kg), las cuales fueron ubicadas en bolsas blancas de polietileno (Figura 6). Este procedimiento fue aplicado para cada uno de los puntos de muestreos considerados en la investigación.

Figura 5

Excavación de hoyos de 30 cm de profundidad



Figura 6

Recolección de las muestras



- Posteriormente, las muestras puestas en las bolsas (Figura 7), fueron pesadas y rotuladas con los datos necesarios para su catalogación (nombre del titular, ubicación del muestreo, fecha del muestreo, predio o lugar, etc.) (ver Apéndice 4).

Figura 7

Pesado de las muestras



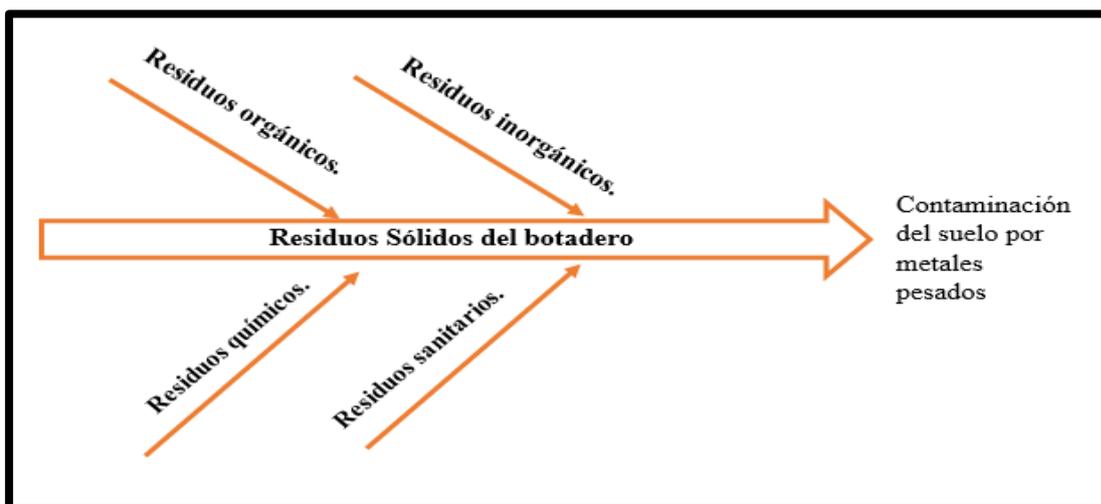
- Finalmente, todas las muestras fueron puestas en una caja para ser enviada al laboratorio de la Universidad Nacional de San Martín, donde realizaron el análisis de los parámetros establecidos.

2.6. Identificación de variables y su mensuración

En la Figura 8 se presenta el diagrama de Ishikawa creado por el Ingeniero Kaoru Ishikawa según el autor Viera (2019), el cual representa el efecto de la variable independiente sobre la variable dependiente. Asimismo, en la Tabla 7 se muestran las variables y su mensuración respectiva.

Figura 8

Diagrama Ishikawa



Nota. Elaboración basada en Calderón (2014)

Tabla 7*Identificación de las variables*

Variable	Indicador	Unidades	Metodología
Dependiente	Contaminación del suelo por metales pesados		
	Nivel de concentración Pb	mg/kg muestra suelo	Muestreo de suelo establecido en el D.S. N°002-2013-MINAM
	Nivel de concentración Cr	mg/kg muestra suelo	
	Nivel de concentración Cd	mg/kg muestra suelo	
	Nivel de concentración otros	mg/kg muestra suelo	
Profundidad de suelo contaminado	Centímetros (cm)		
Independiente	Residuos sólidos del botadero municipal de Pardo Miguel		Muestreo (MINAM, 2013)
	Residuos inorgánicos	t/mes	Reglamento para la extracción de muestras de suelos
	Residuos orgánicos		
	Residuos químicos		
	Residuos sanitarios		

2.7. Análisis estadístico de datos

Para el análisis estadístico se emplearon las medidas de dispersión, media aritmética y varianza y derivación típica, en el software Excel 2013.

A continuación, se presentan las fórmulas para el cálculo de la media aritmética, varianza y desviación típica:

a. Cálculo de la media aritmética

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

b. Cálculo de la varianza

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}$$

c. Cálculo de la desviación típica

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

2.8. Materiales y equipos

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizaron los siguientes materiales:

- 1 balanza electrónica
- 1 cartón
- 10 bolsas
- 4 cartulinas
- 4 pares de guantes
- 1 wincha de 50 m
- 1 palana
- 1 GPS
- 1 tijera

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Determinación de los niveles de concentración de los metales pesados totales (Cr, Cd y Pb) del suelo contaminado por residuos sólidos arrojados en el botadero municipal del Distrito de Pardo Miguel – Naranjos

La Tabla 8 muestra los resultados de análisis de metales pesados extraídos del botadero municipal de Naranjos, donde determinó que las concentraciones más altas de Cd y Cr total fueron en la muestra síes (6) con un valor de 10,52 y 213,56 mg/kg, respectivamente; mientras que, para Pb, el valor más elevado fue encontrado en la muestra 3 con una concentración de 39 mg/kg; sin embargo, las concentraciones más bajas para Cd se presenta en la muestra uno (1) con 4,7 mg/kg, mientras que, tanto para Cr y Pb presentan en la muestra (2) con 112,35 y 21,52 mg/kg respectivamente (ver Apéndice 5 y 6).

Tabla 8

Concentración de los metales pesados encontrados en las muestras de suelo

Muestra	Cd total (mg/kg)	Cr total (mg/kg)	Pb total (mg/kg)
1	4,7	125,3	23,25
2	5,36	112,35	21,52
3	6,12	135,25	39
4	7,89	145,26	32,5
5	5,63	189,23	28
6	10,52	213,56	34
A	7,53	145,26	38
B	9,23	196,23	25
C	6,25	203,5	32,5
D	8,52	165,23	31,25

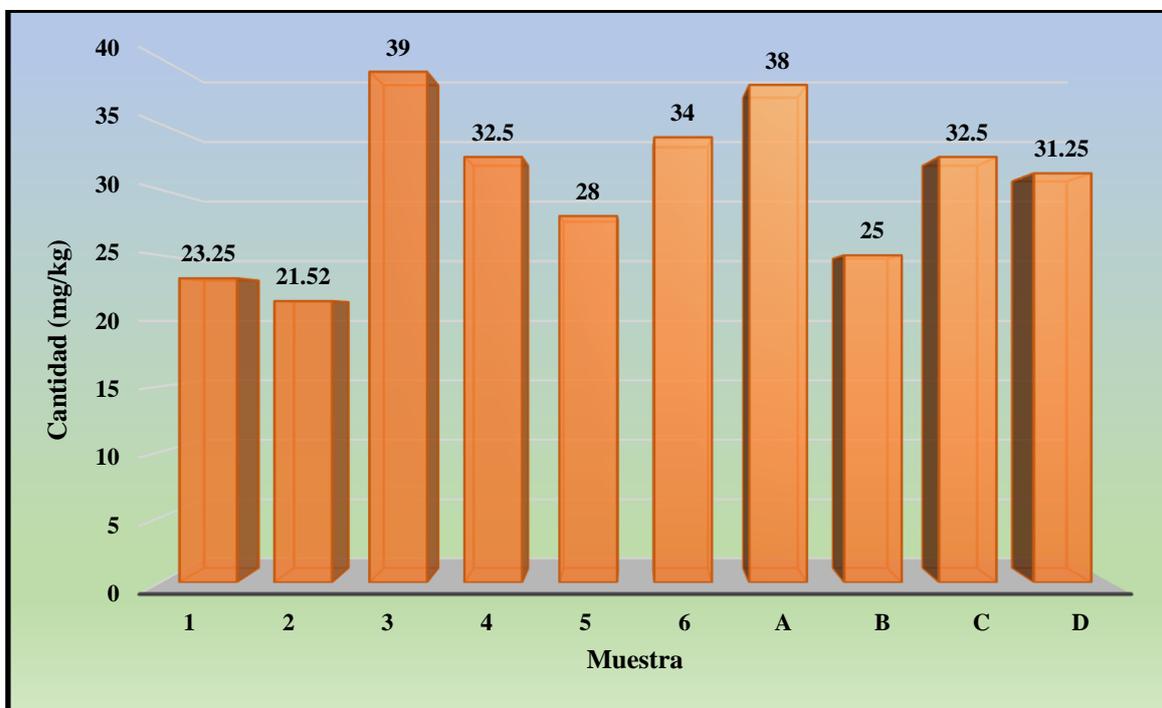
A continuación, se interpretan las cantidades de los metales totales objeto de estudio (Pb, Cr y Cd), en cada una de las muestras consideradas en la investigación.

a. Plomo total (Pb)

La Figura 9 muestra los niveles de Pb obtenidos, según los análisis realizados a cada una de las 10 muestras establecidas. Los niveles más altos de este metal se observaron en la muestra tres (3), el cual obtuvo un valor de 39 mg/kg, seguido de la muestra (A) con 38 mg/kg; asimismo, las muestras 4, 6, C y D alcanzaron valores de 32,5; 34; 32,5 y 31,25 mg/kg, respectivamente, los cuales estuvieron por encima de los 30 mg/kg; mientras que, las demás muestras estuvieron entre los rangos de 21 a 28 mg/kg, estos resultados por encontrarse en pendiente más bajas y por la presencia de lixiviados al acumularse en esta área, además que según Torres (2018) el suelo contiene concentraciones de plomo normal (10-150 mg/kg) por lo que se determina que no es un área contaminada o degradada por dicho metal.

Figura 9

Resultados generales del plomo en las diez muestras

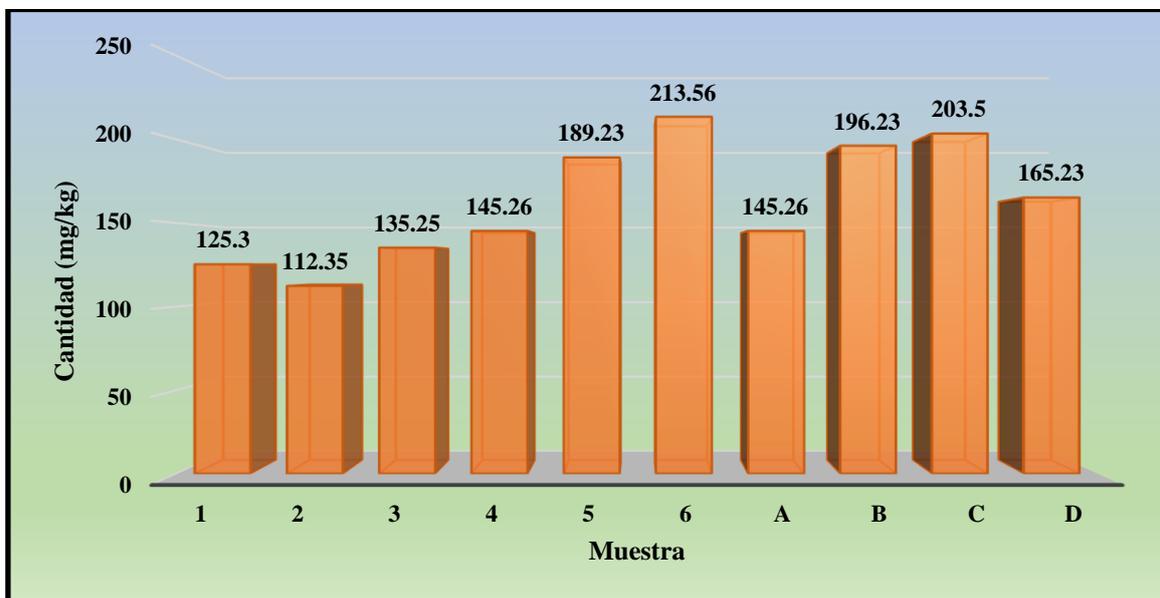


b. Cromo total (Cr)

La Figura 10 muestra los niveles de Cr obtenidos, según los análisis realizados a cada una de las 10 muestras establecidas. Los niveles más altos de este metal se observaron en la muestra seis (6), el cual obtuvo un valor de 213,56 mg/kg, seguido de la muestra (C) con 203,5 mg/kg; muestra (B) con 196,3 mg/kg y la muestra cinco (5) con 189,23 mg/kg; mientras que, las demás muestras estuvieron en un rango de 112,35 a 165,23 mg/kg, respectivamente, siendo estos los resultados para las 10 muestras de cromo total (Cr), estos resultados fueron obtenidos por la acumulación de mayor cantidad de residuos de soldadura, productos químicos, residuos de industrias (cables de energía que contienen cromo) y que al degradarse se acumularon en estas áreas, por lo que según Molina (2010) en el suelo la concentración natural es de 40 mg/kg y que se puede concluir que esta área del botadero está contaminada.

Figura 10

Resultados generales del cromo total en las diez muestras



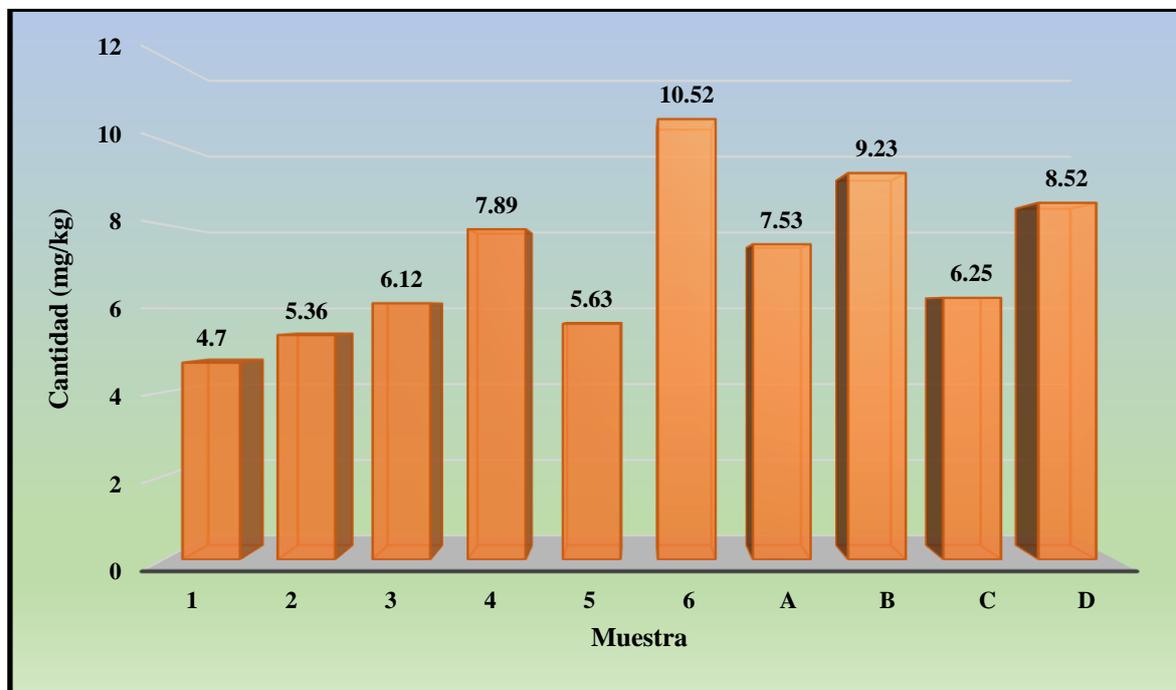
c. Cadmio total (Cd)

La Figura 11 muestra los niveles de Cd obtenidos, según los análisis realizados a cada una de las 10 muestras establecidas. Los niveles más altos de este metal se observaron en la muestra seis (6), el cual obtuvo un valor de 10,52 mg/kg, seguido de la muestra (B) con

9,23 mg/kg; muestra (D) con 8,52 mg/kg y la muestra cuatro (4) con 7,89 mg/kg; mientras que, las demás muestras estuvieron en un rango de 4,7 a 7,53 mg/kg, siendo estos los resultados para las 10 muestras de cadmio (Cd), estos resultados por encontrarse en pendiente más bajas, mayor disposición de residuos sólidos (vegetales y comidas de mar) y por la presencia de lixiviados transportados por los biosólidos al acumularse en esta área, además que según Ortiz (1999) el suelo contiene concentraciones de cadmio natural (0,23-3,28 mg/kg) por lo que se determina que es un área contaminada o degradada por dicho metal.

Figura 11

Resultados generales del cadmio en las diez muestras



3.1.1. Comparación de concentración total de Pb, Cr y Cd obtenido con los valores del ECA para suelo agrícola y parques

Seguidamente, con los resultados obtenidos de las evaluaciones a las muestras de suelo, se procedió a realizar la comparación de los valores de cada una de las 10 muestras consideradas, con los valores de los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para suelo agrícola y parques, establecidos en el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM.

En la Tabla 9 se muestran los resultados de los análisis de las seis (6) muestras de suelos seleccionadas dentro del botadero municipal, teniendo en cuenta cada uno de los metales considerados (Pb, Cr y Cd), los cuales fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental, establecidos en el Decreto Supremo N°002-2013-MINAM. Asimismo, en la Tabla 10, se muestran los resultados de las concentraciones de los metales pesados (Pb, Cr total y Cd) de las cuatro (4) muestras de suelo tomadas fuera del botadero municipal del distrito de Pardo Miguel – Naranjos, los cuales fueron comparados con los valores establecidos por el ECA para suelo agrícola y parques.

Tabla 9

Comparación de metales pesados dentro del botadero con el ECA

Metal	ECA (mg/kg)	Resultados obtenidos en el botadero Pardo Miguel – Naranjos (mg/kg)					
		1	2	3	4	5	6
Pb total	70	23,25	21,52	39	32,5	28	34
Cr total	400	125,3	112,35	135,25	145,26	189,23	213,56
Cd total	1,4	4,70	5,36	6,12	7,89	5,63	10,52

Tabla 10

Comparación de metales pesados fuera del botadero con el ECA

Metal	ECA	Resultados obtenidos alrededor del botadero (mg/kg)			
		A	B	C	D
Pb total	70	38	25	32,5	31,25
Cr total	400	145,26	196,23	203,5	165,23
Cd total	1,4	7,53	9,23	6,25	8,52

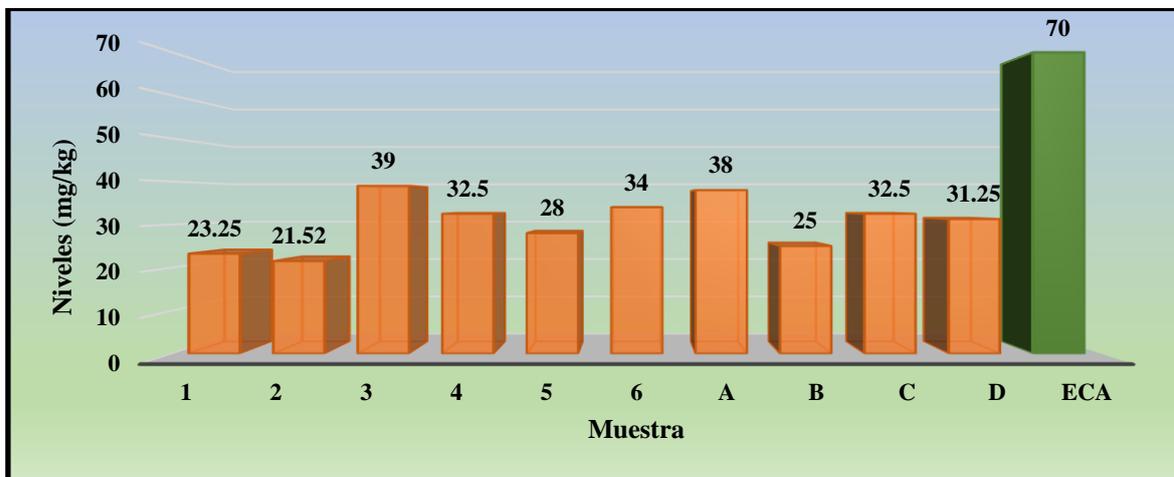
A continuación, se muestra detalladamente los resultados de la concentración de cada metal pesado (Pb, Cr y Cd) y su comparación con los valores del ECA para suelo agrícola y parques.

a. Plomo total (Pb)

En la Figura 12 se muestran los niveles de plomo (Pb) en las diez (10) muestras de suelo, encontrándose por debajo de los valores establecidos por el ECA para un suelo agrícola, los cuales determinaron un límite máximo de 70 mg/kg; siendo la muestra 3 la que presentó una mayor concentración de este metal, con un valor de 39 mg/kg, y la de menor cantidad fue la muestra 2 con 21,52 mg/kg; por lo que se puede concluir que es un suelo apto para cultivos agrícolas.

Figura 12

Resultados de las concentraciones de plomo (Pb) con el ECA

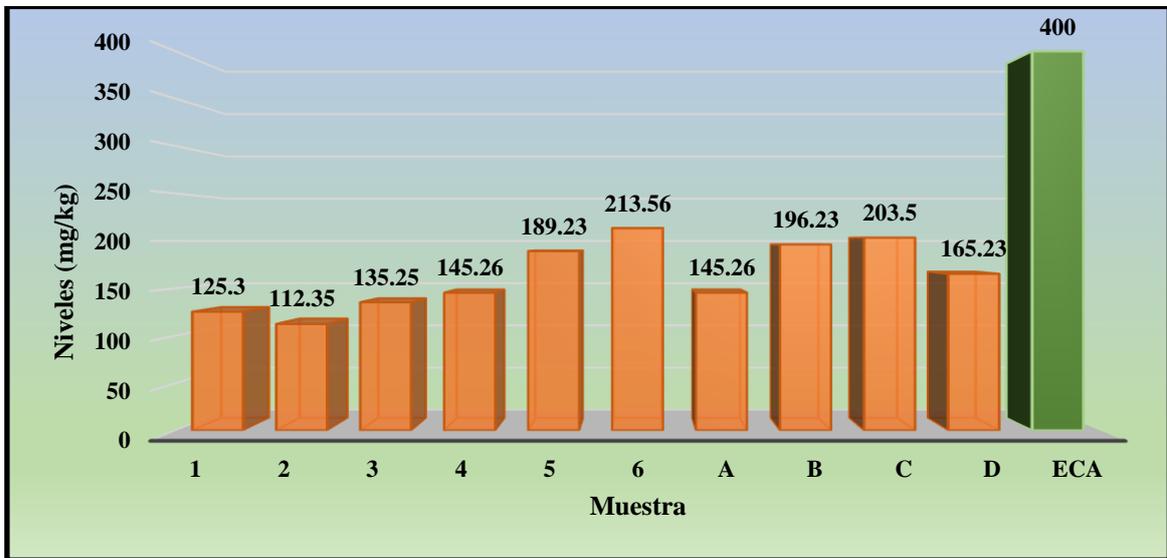


b. Cromo total (Cr)

En la Figura 13 se muestran los niveles de cromo total (Cr) en las diez (10) muestras de suelo, encontrándose por debajo de los valores establecidos por el ECA para un suelo de parque, los cuales determinaron un límite máximo de 400 mg/kg; siendo la muestra 6 la que presentó una mayor concentración de este metal, con un valor de 213,56 mg/kg, y la de menor cantidad fue la muestra 2 con 112,35 mg/kg, por lo que se puede concluir que es un suelo apto para construcción de parque.

Figura 13

Resultados de las concentraciones de cromo total con el ECA

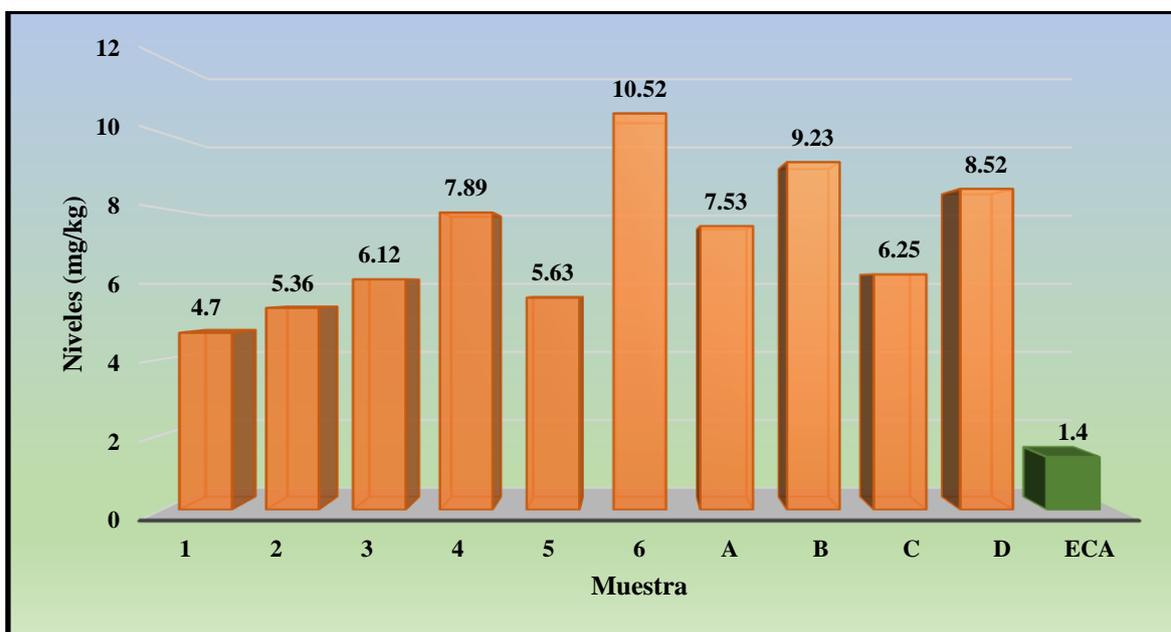


c. Cadmio total (Cd)

En la Figura 14 se muestran los niveles de cadmio (Cd) en las diez (10) muestras de suelo, encontrándose muy por encima de los valores establecidos por el ECA para suelo agrícola, los cuales determinaron un límite máximo de 1,4 mg/kg; siendo la muestra 6 la que presentó una mayor concentración de este metal, con un valor de 10,52 mg/kg, y la de menor cantidad fue la muestra 1 con 4,7 mg/kg, por lo que puede concluir que esta área del botadero es un suelo contaminado y/o degradado no apto para producción agrícola

Figura 14

Resultados de las concentraciones de cadmio con el ECA



3.2. Determinación de la relación de la concentración de los metales pesados en los suelos contaminados a una profundidad de 30 cm del suelo afectado con la cantidad de los residuos arrojados en el área del botadero municipal

A continuación, se presentan tablas con los resultados de las muestras analizadas para determinar si existe relación entre la cantidad de los metales pesados identificados en los suelos contaminados dentro del área y las que fueron tomadas alrededor del área. Las cantidades comparadas mediante datos tomados del Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos Domiciliarios de la Localidad de Naranjos, Distrito de Pardo Miguel, en la que las cantidades son obtenidos de una evaluación de recolección de residuos desde la fuente de generación (vivienda), para ser clasificado de acuerdo al tipo y característica del residuo recolectado, y finalmente pesado y el análisis estadístico para determinar la generación per cápita por persona al tipo de residuo generado de la población de Naranjos (Tabla 11) (GDEyMA, 2019).

Tabla 11

Composición física de los residuos sólidos

TIPO DE RESIDUOS SÓLIDOS	Composición								Composición porcentual
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Total	
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	
1 residuos aprovechables	109,64	151,56	195,28	173,00	215,29	187,17	128,79	1160,74	93,16
1.1. Residuos Orgánicos	98,21	139,32	178,27	159,81	190,82	173,23	110,55	1050,21	84,29
Residuos de alimentos (restos de comida, cascara, restos de frutas, verduras, hortalizas y otros similares)	90,21	129,66	169,02	149,57	180,91	160,33	100,25	979,95	78,65
Residuos de maleza y poda (restos de flores, hojas, tallos, grass, otros similares)	5,03	4,26	3,16	3,01	2,01	7,00	2,20	26,67	2,14
Otros orgánicos (estiércol de animales menores, huesos y similares)	2,97	5,40	6,09	7,93	7,90	5,90	8,10	43,59	3,50
1.2. Residuos inorgánicos	11,43	12,24	17,02	13,19	24,47	13,94	18,24	110,53	8,87
1.2.1 Papel	0,45	0,79	0,36	1,78	2,30	2,58	3,27	11,53	0,93
Blanco				1,20	2,10	2,20	0,26	5,76	0,46
Periódico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mixto (páginas de cuaderno, revistas)	0,45	0,79	0,36	0,58	0,20	0,38	3,01	5,77	0,46
1.2.2. Cartón	6,69	2,12	3,92	4,24	4,38	3,12	3,36	27,83	2,23
Blanco (liso y cartulina)				1,44	0,02	0,90		2,36	0,19
Marrón (corrugado)	4,66	1,84	2,91		2,20		3,36	14,97	1,20
Mixto (tapas de cuaderno, revistas, otros similares)	2,03	0,98	1,01	2,80	2,16	2,22		10,50	0,84
1.2.3. Vidrio	0,00	2,70	4,40	0,82	0,23	1,33	1,49	10,97	0,88
Transparente		2,36	4,40	0,82		0,33	1,03	8,94	0,70
Otros colores (marrón-ámbar, verde, azul, entre otros)		0,34						0,34	0,03
Otro (vidrio de ventana)					0,23	1,00	0,46	1,69	0,14
1.2.4. Plástico	1,64	4,15	3,90	2,83	5,93	3,39	6,52	28,36	2,28
PET-Tereftalato de polietileno (1) (aceite y botellas de bebidas y agua, entre otros similares)	1,34	1,64	1,04	1,56	1,98	1,60	1,02	10,18	0,80
PEAD-Polietileno de alta densidad (2) (botellas de lácteos, shampoo, detergente líquido, suavizante)		0,48	0,52	0,58	0,96	0,40	0,44	2,68	0,22

PEBD-Polietileno de baja densidad (4) (empaques de alimentos, empaques de plástico de papel higiénico, empaques de detergente, empaque film)	1,00	1,47	0,17	0,78	1,20	3,10	7,72	0,62	
PP-Polietileno (5) (baldes, tinas, rafia, estuches negros de CD, tapas de bebidas, tapers)			0,29	1,90	0,19	1,10	3,48	0,28	
PS-Poliestireno (6) (tapas cristalinas de CD, micas, vasos de yogurt, cubetas de helado, envases de lavavajilla)	0,30	1,03	0,87	1,23	1,01	0,86	4,30	0,35	
PVC-Policloruro de vinilo (3) (Tuberías de agua, desagüe y eléctricas)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1.2.5. Tetra brik (envases multicapa)	0,35	0,15	0,80	0,20	0,50	0,65	0,40	3,05	0,24
1.2.6. Metales	0,70	1,60	2,46	2,83	2,29	1,24	1,70	12,82	1,03
Latas-hojalata (latas de leche, atún, entre otros)	0,70	1,60	2,28	2,40	2,02	0,52	1,70	11,22	0,90
Acero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fierro					0,27	0,34		0,61	0,05
Aluminio	0,00			0,43				0,43	0,03
Otros metales			0,18				0,38	0,56	0,04
1.2.7. Textiles (telas)	1,32	0,52	1,18	0,38	8,84	0,60	1,50	14,34	1,15
1.2.8. Caucho, cuero, jebe	0,28	0,21		0,11		1,03		1,63	0,13
2. Residuos no aprovechables	8,57	10,44	11,09	15,22	15,39	10,53	13,96	85,20	6,84
Bolsas plásticas de un solo uso	6,44	7,06	7,88	9,84	6,80	5,18	6,30	49,50	3,97
Residuos sanitarios (Papel higiénico/pañales/toallas/sanitarias, excretas de mascotas)				1,20	2,37	2,40	1,20	7,17	0,58
Pilas	0,70	0,87			0,41		1,50	3,48	0,28
Tecnopor (Poliestireno expandido)	0,06	0,18	0,04	0,20	0,14	0,02	0,64	1,28	0,10
Residuos inertes (tierra, piedras, cerámicos, ladrillos, entre otros)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Restos de medicamentos		0,17	0,42	0,12	0,17		0,30	1,18	0,09
Envolturas de snacks, galletas, caramelos, entre otros	1,28	0,78	0,87	1,42	1,32	1,43	2,10	9,20	0,74
Otros residuos no categorizados	0,09	1,38	1,88	2,44	4,18	1,50	1,92	13,39	1,07
TOTAL	118,21	162,00	206,38	188,22	230,68	197,70	142,75	1245,94	100,00

Nota. Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos Domiciliarios de la Localidad de Naranjos – 2019.

La Tabla 12 muestra los resultados de los metales pesados encontrados en las muestras de suelo (mg/kg) tomadas dentro y fuera del botadero a una profundidad de 30 cm en comparación con los residuos sólidos totales arrojados, cantidad de residuos plásticos, residuos metales más baterías, pH y la conductividad eléctrica obtenida, datos obtenidos mediante el estudio de caracterización en la municipalidad del distrito de Pardo Miguel.

Tabla 12

Metales pesados encontrados dentro y fuera del área degradada

Muestra	Cd total (mg/kg)	Cr total (mg/kg)	Pb total (mg/kg)	Residuos sólidos totales (t)	Residuos plásticos	Residuos metales más baterías (t)	pH	CE (µs/cm)
1	4,7	125,3	23,25	105,85	0,139	0,035	3,79	91,3
2	5,36	112,35	21,52	158,78	0,208	0,053	4,15	204,2
3	6,12	135,25	39	211,70	0,278	0,071	3,75	70,2
4	7,89	145,26	32,5	238,16	0,313	0,079	3,94	110,5
5	5,63	189,23	28	158,78	0,313	0,079	3,96	1 297,23
6	10,52	213,56	34	555,71	0,208	0,053	4,72	322,12
A	7,53	145,26	38	238,16	0,730	0,185	3,22	54,4
B	9,23	196,23	25	423,40	0,556	0,141	3,25	64,5
C	6,25	203,5	32,5	211,70	0,278	0,071	3,26	86,5
D	8,52	165,23	31,25	344,01	0,452	0,115	3,08	96,32
TOTAL				2,646.25	3,475	0,882		

- En el botadero municipal de distrito de Pardo Miguel con respecto a residuos de plástico se encontró un total de 3,475 t, considerando cada una de las muestras de la investigación; asimismo, con relación a los residuos de metales y baterías presentes en el botadero municipal objeto de estudio, se encontró un total de 0,882 t considerando cada una de las muestras establecidas en la presente investigación.
- Las muestras tomadas dentro y fuera del botadero presentaron características ácidas, ya que los pH obtenidos estuvieron por debajo del valor siete (neutro), los cuales oscilaron de 3,08 a 4,15. Asimismo, con relación a los residuos sólidos obtenidos, los resultados

determinaron un total de 2 646,25 t obtenidos durante todo el año 2020, siendo el punto seis (6) donde encontró la mayor cantidad con 555,71 t.

- Los resultados de los residuos sólidos totales arrojados, los metales pesados contaminantes y la conductividad eléctrica (CE) del suelo, encontrados en el botadero del distrito de Pardo Miguel - Naranjos, donde la muestra cinco (5) presentó la CE más alta con un valor de 1 297,23; mientras que, la más baja lo obtuvo la muestra A, con 54,4; asimismo, con respecto a los residuos sólidos totales durante el año 2020, los resultados determinaron un total de 2 646,25 t.

3.2.1. Análisis de correlación entre los residuos sólidos totales arrojados, residuos plásticos, residuos metales más baterías, pH y la conductividad eléctrica con los metales pesados encontrados en el botadero

La Tabla 13 muestra los resultados del coeficiente de correlación obtenidos, los mismos que se analizan a detalle a continuación:

- Los metales pesados contaminantes del suelo y el total de residuos sólidos, presenta una relación directa alta (0,959) entre el total de residuos sólidos arrojados al botadero de cielo abierto de Pardo Miguel - Naranjos y la cantidad de Cd encontrado como metal pesado contaminante en el suelo. Además, existe una relación de nivel media (0,657) entre el total de residuos sólidos y la cantidad de Cr encontrado como metal pesado contaminante en el suelo. Por otro lado, existe una relación de nivel baja (0,238) entre el total de residuos sólidos y la cantidad de Pb encontrado como metal pesado contaminante en el suelo.
- Los residuos plásticos arrojados y la cantidad de metales pesados encontrados en el botadero municipal determinaron que no existió una relación o fue muy baja la relación (0,38; 0,12 y 0,34).
- Se obtuvo resultados donde no existió una relación o la relación es muy baja (0,065; 0,005 y -0,120) entre el pH del suelo contaminado, con los metales pesados encontrados (Cd,

Cr y Pb). Además, no existió una relación o la relación es muy baja (0,178) entre el pH del suelo contaminando, con los residuos sólidos totales arrojados al botadero.

- Hubo una relación baja (0,205; 0,305 y -0,171) entre la CE del suelo con la presencia de metales pesados (Cd, Cr y Pb) en el botadero municipal. Asimismo, existió una relación baja (-0,157) entre la CE del suelo contaminado, con el volumen de residuos sólidos totales arrojados al botadero del distrito.

Tabla 13*Coefficiente de correlación múltiple*

	Cd total (mg/kg)	Cr total (mg/kg)	Pb total (mg/kg)	Residuos sólidos totales (t)	Residuos plásticos	Residuos metales más baterías (t)	pH	CE (µs/cm)
Cd total (mg/kg)	1							
Cr total (mg/kg)	0,5966	1						
Pb total (mg/kg)	0,3264439	0,1758459	1					
Residuos sólidos totales (t)	0,959978	0,6577874	0,2389527	1				
Residuos plásticos	0,3841103	0,1219938	0,3466862	0,2247179	1			
Residuos metales más baterías (t)	0,3854763	0,1231659	0,3491219	0,2269663	0,9999722	1		
pH	0,0652917	0,0054925	-0,120961	0,1781388	-0,662496	-0,664118545	1	
CE (µs/cm)	-0,205136	0,3057942	-0,171668	-0,15773	-0,173507	-0,176795954	0,3482461	1

Finalmente, la Tabla 14 presenta los resultados del Cd promedio encontrado (7,18 mg/kg), el cual representó a un valor de 5,1 veces por encima del parámetro del ECA establecido por el MINAM (1,4 mg/kg); asimismo, en cuanto al Cr promedio encontrado fue de 163,12 mg/ kg, el cual representó el 59,2 % menor al límite del ECA (400 mg/kg); por último, con respecto al Pb promedio, las evaluaciones determinaron un valor de 30,5 mg/kg, el cual correspondió al 56,4 % menor al límite del estándar de calidad ambiental (70 mg/kg).

Tabla 14

Comparación del promedio de valores encontrados de Cd, Cr y Pb con respecto al ECA establecido por el MINAM

Valor	Metales pesados		
	Cd total	Cr total	Pb total
Promedio (mg/kg)	7,18	163,2	30,5
ECA (mg/kg)	1,4	400	70
Porcentaje del promedio con respecto al ECA (%)	512,8	40,78	43,57

3.3. Propuesta de plan de clausura o cierre para áreas degradadas con la finalidad de disminuir la contaminación del suelo producto de lixiviados del botadero municipal

El botadero municipal cuenta con una extensión de 0,5 ha ubicado entre los caseríos Tres de Mayo y Villa Rica; donde el camión compactador de su jurisdicción realiza la disposición final de residuos sólidos municipales a cielo abierto, lo cual propicia la presencia de animales carroñeros, roedores, moscas, zancudos y malos olores. Es por ello por lo que se propone un plan de recuperación, el cual tiene como finalidad contrarrestar los posibles daños causados al ambiente y a la población aledaña por la disposición final de los residuos sólidos municipales y la proliferación de vectores. Dicho plan consistirá en la utilización de maquinaria para esparcir los montículos de basura, luego cubrir con una capa de 10 cm de arcilla de alta densidad para compactar a los residuos sólidos generados, posteriormente cubrir con una segunda capa de tierra negra y finalmente poder reforestar con plantas de “eucalipto torrellano” (Propuesta en detalle Apéndice 7).

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Determinación de los niveles de concentración de los metales pesados totales (Cr, Cd y Pb) del suelo contaminado por residuos sólidos arrojados en el botadero municipal de Pardo Miguel

Los lixiviados son productos contaminantes que se producen durante la descomposición y fermentación de materia orgánica, debido a la propia humedad de los residuos y al agua de lluvia que se filtra entre los residuos y que arrastra materiales biológicos y compuestos químicos; asimismo, la contaminación en las fuentes de agua subterráneas, ríos y costas que ejercen los lixiviados de los residuos sólidos urbanos de los vertederos, ocasionan serios problemas al medio ambiente y representan un grave e irreversible peligro para la salud humana (Espinoza *et al.*, 2016). Los principales causantes de la contaminación del suelo son: los plásticos arrojados sin control, vertidos incontrolados de materia orgánica proveniente de depuradoras o actividades agropecuarias, aplicación de plaguicidas (insecticidas, herbicidas, fungicidas) sin seguir las instrucciones de seguridad o sustancias radioactivas provenientes de ensayos nucleares o de instalaciones industriales que contaminan el suelo natural o artificial (biótico y abiótico). La contaminación del suelo se ha establecido como una importante alteración que se ve reflejada directamente en la superficie terrestre, a partir de diferentes causas que estiman empeorar con el paso del tiempo si no se toman las medidas respectivas (Jaramillo, 2002).

La concentración alta de metales pesados de Cd, Cr y Pb en el Botadero Municipal de Naranjos fueron de 10,52 mg/kg superior al valor de los ECAs (muestra 6), Cr con 213,56 mg/kg (muestra 6) y Pb 38 mg/kg (muestra A) valores por debajo de los ECAs. En cambio, Quispe y Silvestre (2019) obtuvieron concentraciones de Cd con 1,33 mg/kg, Cr de 56,74 mg/kg y 31,43 mg/kg para Pb; estos resultados difieren por las profundidades en que fueron tomadas las muestras de 30 cm para Naranjos y 45 cm para el Botadero de Pampachacra - Huancavelica, también que las muestras tomadas se realizaron en dos épocas

el año (lluviosa y seca) a diferencia de Naranjos que fue en época de verano, además que el área estudio de la investigación fue de 0,5 ha a diferencia de Pampachacra de 13 ha, lo cual indica que los residuos acopiados no fueron en grandes cantidades de montículos, sino, con mayor esparcimiento a diferencia de Naranjos que se acopian en grandes pilas de basura por el área habilitada para disponer, lo que generaría menor concentración de metales para los citados autores. En ambas investigaciones, los valores obtenidos de Cr y Pb en el suelo del área objetivo no superaron los ECAs para suelo agrícola.

Torres (2018) obtuvo una concentración para Cd de 2,2 mg/kg y para Pb de 90 mg/kg, los cuales superaron las concentraciones establecidas por los ECAs para un suelo de uso agrícola (1,4 y 70 mg/kg); sin embargo, para un suelo de parque o residencial, los valores estuvieron por debajo de los rangos (10 y 140 mg/kg). Además, Díaz (2019) tuvo una concentración de Cd que superó ampliamente los niveles establecidos por el ECA para suelo agrícola de 18,752 mg/kg, frente a los 1,4 mg/kg permitidos; sin embargo, en cuanto al Pb, la concentración alcanzada estuvo notoriamente por debajo de los valores permitidos por la normativa, el cual fue de 17,6 mg/kg. Por lo que, en la presente investigación, el Cd obtenido en todas las muestras tomadas también superó los valores del ECA para suelo de uso agrícola, con similitud a las dos investigaciones anteriores. La presencia alta del Cd en estas investigaciones se debió principalmente a la generación y acumulación de distintos residuos sólidos de origen tecnológico como computadoras, teléfonos celulares, impresoras, pilas, cartuchos, etc. y el uso de combustibles fósiles para la fabricación de estos y otros materiales; en cuanto al Pb, estos estuvieron muy por debajo de los valores establecidos por la normativa, el cual se debió principalmente a la poca presencia de residuos metálicos en el botadero, quienes son las mayores fuentes de contaminación del suelo, por la presencia de Pb dentro de su composición, seguidos de las baterías y restos o envase de pinturas.

Los resultados presentados en relación con la concentración de metales pesados (cadmio, cromo y plomo) evaluados con el ECA para suelo, permitió establecer que los niveles de Cd en las 10 muestras de la presente investigación y en casi todos los otros estudios, superaron los valores establecidos para un suelo agrícola; sin embargo, con respecto al Pb y Cr, estos no excedieron los límites establecidos. En función a lo antes mencionado, la similitud de resultados fue debido a que estos fueron realizados en el mismo laboratorio y utilizando la

misma metodología de análisis de laboratorio como la Digestión acida nítrica-perclórica, lectura absorción atómica (EPA 3050).

4.2. Determinación de la relación entre la concentración de metales pesados identificados en los suelos contaminados y la profundidad de 30 cm del suelo afectado con la cantidad de los residuos arrojados en el área del botadero municipal de Pardo Miguel

Los resultados de las evaluaciones realizadas a las muestras de suelo tomadas del botadero municipal arrojaron valores diferentes según la muestra y metal pesado evaluado (Cr, Cd y Pb) seguidamente, con estos datos se procedió a encontrar la concentración media (cálculo de media aritmética) de cada uno de los metales en evaluación, donde se obtuvo 7,175 mg/kg para el cadmio (Cd); 163,117 mg/kg para cromo (Cr); y 30,502 mg/kg para plomo (Pb).

Con relación al cadmio (Cd), la concentración promedio encontrado en las muestras de suelo fueron de 7,175 mg/kg, valores que según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos en el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, estuvo por encima de los rangos permitidos para un suelo de uso agrícola (1,4 mg/kg); sin embargo, el valor promedio obtenido estuvo por debajo de los rangos para un suelo de tipo residencial/parques, el cual establece un ECA de 10 mg/kg; además, para un suelo comercial/industrial/extractivos, la normativa estableció un ECA de 22 mg/kg, el cual, el promedio obtenido también estuvo por debajo de dichos valores.

Los resultados del cálculo de la media aritmética para el Cr determinaron una concentración promedio de 163,117 mg/kg, valores que según los ECAs estuvo muy por debajo de lo establecido para la calidad de un suelo de uso agrícola (400 mg/kg), clasificándolo en un nivel bajo (< 200 mg/kg). Resultados superiores encontró Sánchez (2010), quien encontró una concentración de 263,7 mg/kg para cromo (Cr), los cuales, según la normativa nacional, estuvieron por debajo de los 400 mg/kg (ECA), clasificándose en un nivel medio de contaminación, ya que los valores encontrados superaron los 200 mg/kg. Con relación a la concentración encontrada en la presente investigación, esta representó el 65,92 % del total permitido por los ECAs.

Con respecto al plomo (Pb), la concentración promedio encontrado de las muestras de suelo, fueron de 30,502 mg/kg, valor que, según los ECAs estuvo por debajo de los rangos permisibles para la calidad de un suelo de uso agrícola (70 mg/kg), representando el 43,57 del porcentaje total, el cual lo clasifica en un nivel bajo; asimismo, el valor promedio obtenido estuvo por debajo de los ECAs para un suelo de uso residencial/parques, ya que el resultado no supero los valores establecidos (140 mg/kg); finalmente, los rangos máximos establecidos por la normativa para un suelo comercial/industrial/extractivos fue de 1 200 mg/kg; donde los valores obtenidos significaron solo el 2,54 % (30,502 mg/kg). Resultados similares encontró Romero (2017) quien obtuvo una concentración promedio de este metal pesado de 38,48 mg/kg, el cual, al ser comparado con la normativa vigente, tampoco superó los valores del ECA para un suelo agrícola, residencial y comercial.

Estos resultados encontrados en todas las investigaciones presentaron diferencias en las concentraciones, debido a que en los botaderos objetos de estudio, influyeron una serie de factores en la movilización y acumulación de los metales pesados en el suelo, estos incluyen el pH, el potencial redox, la composición iónica de la solución del suelo, la capacidad de intercambio catiónico y/o aniónico, la presencia de carbonatos, el nivel de materia orgánica, la textura, la porosidad, entre otros factores. Además, la naturaleza de la contaminación, el origen de los metales pesados, las formas de deposición y las condiciones ambientales pueden causar acidificación, cambios en las condiciones redox; la actividad biológica, las interacciones sólido-líquido y la acción del agua, junto con la cantidad de precipitación, evaporación y escorrentía, contribuyen a la movilidad de los metales pesados en el suelo (Torres, 2018).

La presencia y sobreacumulación de estos y otros metales pesados presentes en los suelos de los botaderos, se debe principalmente a la acumulación constante y continua de grandes cantidades de desechos y contaminantes orgánicos e inorgánicos, tanto en los botaderos a cielo abierto y los rellenos sanitarios, los cuales pasan por un proceso de transformación/desintegración, liberando los elementos que le componen, incluyendo los elementos metálicos, quienes debidos a su alta densidad ($> 6 \text{ g/cm}^3$), su condición de no degradabilidad y bioacumulación en los diferentes componentes de la red alimenticia, presentan efectos adversos sobre el ambiente y la salud de la población circundante

(Sánchez, 2010). Además, los metales pesados que se encuentran en el suelo pueden absorberse por las plantas e incorporarse a las cadenas tróficas, pasar por la atmósfera a través de la volatilización y llegar a los cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos (Pilco, 2021).

Asimismo, la correlación múltiple entre la cantidad de residuos sólidos arrojados al botadero con la concentración de Cd, Cr y Pb encontrados (Tabla 12). Se encontró una correlación significativa (0,959) entre el total de residuos sólidos arrojados y el Cd; y una correlación no significativa (0,238) entre el total de residuos sólidos arrojados al botadero y la concentración del Pb encontrado.

Además, las concentraciones de cromo (Cr) y plomo (Pb) obtenidos en los análisis en todas las muestras (10), no superaron los ECAS por dos razones fundamentales: la profundidad del muestreo (< 30 cm), ya que estos metales pueden encontrarse en mayores concentraciones a mayores profundidades; y la fuente de generación de estos metales, que fueron depositados en cantidades mínimas o inexistentes en los puntos establecidos para el recojo de la muestra, ya que dicho metal es generado a partir de residuos inorgánicos como vidrios, plásticos y cerámicas (Espinoza *et al.*, 2016).

Los valores de pH para el lixiviado crudo durante los meses de estudio fueron de 4,30; 4,14; 5,00 y 4,53 en la investigación de Irigoín y Zaldivar (2018). Existe una relación entre la teoría y los hallazgos de la investigación actual y los antecedentes mencionados. Los valores de pH, con valores mínimos de 3,25 y valores máximos de 4,72, indican que se encuentran en la etapa ácida de la descomposición, caracterizada por la presencia de ácidos orgánicos, que reduce el pH a valores menores de pH neutro 7.

Los resultados indican una correlación baja (0,35) entre las concentraciones de metales pesados y la conductividad eléctrica. Debido a la intervención de factores como el pH y la textura del suelo, en las diez muestras de suelo realizadas en Naranjos, los niveles de concentración de metales pesados en el suelo son menor a los valores de conductividad eléctrica. Si el pH de los lixiviados y el suelo es más ácida, habrá una mayor concentración

de metales pesados. Si el suelo tiene una textura arcillosa, esto se debe a que tienen la capacidad de concentrar metales pesados debido a su adsorción e impermeabilidad. Estos dos factores tienen un impacto significativo en la determinación de la concentración de metales pesados en cada muestreo realizado. Además, un pH bajo dificulta la absorción de nutrientes como el potasio, el calcio, el magnesio y el molibdeno por las plantas.

La retención de metales pesados en el suelo puede ocurrir de varias maneras, incluida la disolución o fijación, la adsorción, la complejación y la precipitación. El pH, el potencial redox, la composición iónica de la solución del suelo, la capacidad de intercambio (catiónico y/o aniónico), la presencia de carbonatos, la materia orgánica y la textura son características del suelo que afectan la movilización de metales pesados en el suelo. La acidificación, los cambios en las condiciones redox, la variación de la temperatura y la humedad en el suelo son causados por la naturaleza de la contaminación, el origen de los metales, las formas de deposición y las condiciones ambientales (Sauquillo, 2003). La digestión ácida nítrica-perclórica y la lectura de absorción atómica (EPA 3050) se utilizaron para determinar los valores de pH de esta investigación. Se encontró en un pH ácido, lo que significa que a medida que aumenta el pH del suelo, la solubilidad de muchos metales pesados disminuye y la concentración de elementos traza es menor en la solución de suelos neutros y básicos en comparación con suelos ligeramente ácidos.

Para el autor Casanova (2005), menciona que la materia orgánica puede adsorber tan bien ciertos metales, como el cadmio, el plomo y el arsénico, que pueden quedar no adsorbidos por las plantas. Como resultado, algunas plantas que crecen en suelos ricos en materia orgánica presentan una falta de elementos como el Cd, el Pb y el Zn, pero esto no significa que el suelo no esté contaminado porque las poblaciones microbianas disminuyen. La textura facilita la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo; por ejemplo, la arcilla tiende a adsorber los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio; en contraste, los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, que pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos. Debido a esto, se tiene relación con los resultados porque, según el estudio de caracterización de desechos sólidos de GDyMA (2019), la composición de desechos orgánicos en la localidad de Naranjos fue del 84,29%.

En la selva alta, la región San Martín recibe una precipitación media anual de 1500 mm (Huiman, 2019). El balance hídrico del agua en el suelo afecta la circulación de metales con el agua, que depende de las propiedades fisicoquímicas del suelo y afecta la cantidad de precipitación, evaporación, escorrentía e infiltración del agua. Dado que la mayoría de los elementos traza, con la excepción de Mo, As y Se, son más móviles en condiciones de acidez creciente, es importante destacar la influencia que ejerce el pH del suelo. Casanova (2005) afirma que la mayor cantidad de sal puede aumentar la movilización de metales pesados de dos maneras: los cationes asociados con las sales (sodio y potasio) pueden reemplazar a los metales pesados en lugares de adsorción, y los aniones de cloruro pueden formar complejos solubles estables con metales pesados como cadmio y mercurio.

4.3. Propuesta de un plan de forestación de clausura o cierre para áreas degradadas con la finalidad de disminuir la contaminación del suelo producto de lixiviados del botadero municipal

Después de haber realizado las evaluaciones respectivas, se determinó la concentración de los metales pesados Cr, Cd y Pb, de cada una de las 10 muestras de suelo, luego se comparó con los valores establecidos por los ECAs (D.S. N°002-2013-MINAM), donde el autor Jaramillo (2002) menciona que se habla de contaminación del suelo cuando se introducen sustancias o elementos de tipo sólido, líquido o gaseoso que ocasionan que se afecte la biota edáfica, las plantas, la vida animal y la salud humana, y además que dichas concentraciones de los metales evaluados se encuentra por encima de las concentraciones de manera natural en los suelos; por lo que se procedió a la elaboración de un plan de forestación del área degradada, para disminuir la contaminación del suelo producto de lixiviados del botadero municipal, el cual deberá ser implementado posterior a la aprobación por parte de las autoridades competentes del mencionado distrito. Este plan tiene como finalidad reforestar el área degradada perteneciente al botadero municipal, con plantas forestales de *Eucalyptus torrelliana* F. Muell. “eucalipto torrellano” en el área contaminada por los metales, de tal manera que permita recuperar la materia orgánica, mejorar las características físicas y químicas del suelo (humedad, porosidad, temperatura, pH, etc.).

Paredes (2021) En Marabamba, Huánuco, se desarrolló un plan para reducir la contaminación y mejorar la calidad del suelo utilizado como vertedero de desechos sólidos

mediante fitorremediación con dos variedades de ortiga (*Urtica urens* L. y *Urtica dioica* L.) El presente proyecto realizado permitió identificar los metales pesados antes y después del tratamiento, sumado a esto los análisis realizados a las muestras de suelo antes y después del proyecto, para determinar la efectividad de las plantas en el tratamiento de agentes contaminantes externos, a causa de la disposición descontrolada de residuos o desechos. Asimismo, el propósito de esta investigación guarda relación con el plan de forestación a implementar en el botadero municipal del distrito de Pardo Miguel, donde también se busca contrarrestar y/o minimizar los posibles impactos ambientales causados a los ecosistemas y a la población aledaña, por la disposición final de los residuos sólidos municipales.

El presente proyecto de investigación fue planteado como solución a la problemática de la contaminación ambiental, como consecuencia de los efectos negativos que ha causado el inadecuado almacenamiento de residuos sólidos generados por la población del distrito y su disposición final en espacios naturales, entre los caseríos de Tres de Mayo y Villa Rica. Mediante el análisis de muestras llevadas a cabo en el laboratorio de la Universidad Nacional de San Martín, se determinó que es de vital importancia desarrollar un plan de forestación para recuperar en cierta medida el área boscosa de años anteriores, generando así un ambiente más sano y equilibrado para la población y otros seres vivos.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

- El botadero municipal del distrito de Pardo Miguel - Naranjos determinó que solo el cadmio superó los valores establecidos por los ECAs con 10,52 mg/kg del valor máximo 1,4 mg/kg; mientras que, el plomo y cromo estuvieron por debajo de los límites con 39 y 213,56 mg/kg de 70 – 400 mg/kg respectivamente. Se concluye que el botadero municipal se encuentra contaminado y/o degradado por la presencia de cadmio.
- La concentración promedio del cadmio (Cd) en el suelo fue de 7,175 mg/kg, superior al valor límite permisible del ECA (1,4 mg/kg), lo que indicó una contaminación significativa del suelo de 5,1 veces. Para la concentración promedio del cromo (Cr) en el suelo fue de 163,117 mg/kg, inferior al ECA (400 mg/kg), el cual indicó un nivel no significativo de contaminación del suelo de 2,45 veces. Para la concentración de plomo (Pb) identificado en el suelo, la concentración promedio fue de 30,502 mg/kg, inferior al valor establecido por el ECA para un suelo agrícola (70 mg/kg); el cual indicó un nivel no significativo de contaminación de 2,29 veces.
- La propuesta del plan de forestación del área degradada del botadero municipal del distrito de Pardo Miguel - Naranjos, es una buena alternativa de recuperación ya que tiene antecedentes donde se realizaron plantaciones de “eucalipto torrellano” y que se obtuvieron buenos resultados en cuanto a su adaptabilidad y desarrollo de la especie, lo cual permite contrarrestar y/o minimizar los posibles impactos ambientales causados a los ecosistemas y a la población aledaña, por la disposición final de los residuos sólidos municipales; asimismo, se reducirá la posible transmisión de patógenos (virus, bacterias, hongos, protozoos y nematodos) asociados a las moscas, perros, ratones ,etc., causando así posibles enfermedades en la salud humana; por lo tanto, el plan propuesto tendrá una nueva forma de estrategia de carácter local en asumir la recuperación del ambiente degradado.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- Realizar análisis de suelos a diferentes profundidades mayor a 30 cm, con la finalidad de que estos contribuyan a dar más información y veracidad de la existencia de metales pesados en suelos contaminados.
- Realizar estudios sobre la presencia de otros metales pesados que no han sido evaluados en el presente trabajo de investigación, como, por ejemplo: arsénico (Ar), mercurio (Hg), cobre (Cu) y astato (As).
- La pronta construcción de un relleno sanitario que presente las condiciones adecuadas para la disposición final y segura de los residuos sólidos generados; asimismo, implementar los programas de manejo y clasificación con la participación de la ciudadanía.
- A los estudiantes de pregrado y posgrado, de diferentes universidades, incrementar los estudios de este trabajo de investigación para la conservación y recuperación de los suelos contaminados por lixiviados y metales pesados generados por el manejo inadecuado de los residuos sólidos municipales.

REFERENCIAS

- Alloway, B. (2012). Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability [Metales pesados en suelos: Metales traza y metaloides en suelos y su biodisponibilidad]. Springer Science Y Business, 22(1), 450-597. https://books.google.com.pe/books?id=Soovc_GOk48C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Arboleda, J. y Rendon, A. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua (3° edición). McGraw Hill Interamericana S.A. ISBN: 958-41-0012-2
- Bellver, E. (2020). Contaminación: ¿Qué son los Lixiviados? *Tendenzimas.com*. <https://tendenzias.com/eco/contaminacion-que-son-los-lixiviados/>
- Burbano, O. H. (2017). La calidad y salud del suelo influyen sobre la naturaleza y la sociedad. *Tendencias*, 18(1), 118-126. <http://www.scielo.org.co/pdf/tend/v18n1/v18n1a07.pdf>
- Calderon, F. (2014). *Diagnóstico y propuesta de mejora del proceso de control de la calidad en una empresa que elabora aceites lubricantes automotrices e industriales utilizando herramientas y técnicas de la calidad* [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú de Lima]. Repositorio institucional PUCP. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5462/CALDERON_FRANCISCO_MEJORA_PROCESO_CONTROL_CALIDAD_LUBRICANTES_INDUSTRIALES.pdf?sequence=1
- Champi, V. y Villalba, M. (2014). *Evaluación de la contaminación por disposición final de residuos sólidos en los centros poblados de Pisac, Coya, Lamay y Calca-región Cusco* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de San Antonio de Abad de Cusco]. Repositorio institucional UNSAAC. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/963/253T20140009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chávez, M. y Leonardo, C. (2018). Impacto Ambiental Generado por el Botadero de Residuos Sólidos en un caserío de la ciudad de Chota. *Revista de Investigación y Cultura UCV-HACER*, 7(2), 25-34. ISSN: 2414-8695. <https://orcid.org/0000-0003-1270-0402>
- Coelho, F. (2013). Impacto ambiental. ¿Qué es el impacto ambiental? <https://www.significados.com/impacto-ambiental/>

- Corena, M. (2008). *Sistemas de tratamiento para lixiviados generados en rellenos sanitarios* [Tesis de grado, Universidad de Sucre]. Repositorio institucional UNISUCRE.
<https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/304/2/628.44564C797.pdf>
- Decreto Legislativo (2017) [Ministerio de Justicia]. Decreto legislativo que aprueba la ley de gestión integral de residuos sólidos. 24 de abril de 2017.
<https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Decreto-Legislativo-N%C2%B0-1278.pdf>
- Decreto Supremo (2013) [Ministerio del Ambiente]. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo y Establecen Disposiciones Complementarias. 25 de marzo de 2013. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/D-S-N-002-2013-MINAM.pdf>
- Díaz, B. (2019). *Evaluación de la contaminación del suelo por lixiviados del botadero municipal del distrito de san pablo – 2018* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional UCV
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/31560/D%c3%adaz_FBW.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Emsley, J. (2001). Propiedades químicas del Cadmio - Efectos del Cadmio sobre la salud - Efectos ambientales del Cadmio. *Lenntech*.
<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm>
- Espiago, J. (2016). Proyecciones cartográficas; sistemas UTM – ETRS89. *Cartografía para la Geografía. Fundamentos*, 1, 40-60.
<http://guiadigital.uam.es:90/funda/pdf/Espiago%202016%20Cartograf%C3%ADa%20para%20la%20Geograf%C3%ADa%20-%20Proyecciones.pdf>
- Espinoza, M. C., López, M., Fernández, A. y Pellón, A. (2016). Lixiviados de Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos. Centro de Investigaciones Científicas.
<https://www.researchgate.net/publication/303677305>
- Facsa (2017). Metales pesados. *Facsa, ciclo integral del agua*.
<https://www.facsa.com/metales-pesados/>
- Flores, E. (2009). Efecto de las plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.) sobre los suelos de comunidades asentadas en la red ferroviaria Cochabamba-Cliza. *Acta Nova*, 4(2-3), 338-355. http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v4n2-3/v4n2-3_a12.pdf

- García, I. y Dorronsoro, C. (2005). Contaminación por metales pesados en tecnología de suelos. *Departamento de Edafología y Química Agrícola*. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.Htm>
- Gerencia de Desarrollo Económico y Medio Ambiente (2019). Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios 2019. Municipalidad Distrital de Pardo Miguel – Naranjos.
- Gestión (2017). Perú solo recicla el 15% de la basura que genera diariamente. *Gestión*. <https://gestion.pe/economia/empresas/peru-recicla-15-basura-genera-diariamente-143243-noticia/>
- Gestión (2019). En Lima existen 631 puntos críticos para el recojo de basura. *Gestión*. <https://gestion.pe/economia/en-lima-existen-631-puntos-criticos-para-el-recojo-de-basura-noticia/?ref=gesr>
- Giraldo, E. (2014). Tratamiento De Lixiviados De Rellenos Sanitarios: Avances Recientes. *Revista de ingeniería*, (14), 44-55. <http://dx.doi.org/10.16924%2Friua.v0i14.538>
- Girón, S., Mateus, J. y Méndez, F. (2009). Impacto de un botadero a cielo abierto en el desarrollo de síntomas respiratorios y en costos familiares de atención en salud de niños entre 1 y 5 años en Cali. *Biomédica*, 29(3), 392-402. <https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/11/12>
- Granizo, P. y Márquez, R. (2007). *Análisis de Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn en el antiguo botadero de "El Valle"* [Tesis de grado, Universidad del Azuay]. Repositorio institucional UAZUY. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/126/1/06600.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación (6° edición). McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. ISBN: 978-1-4562-2396-0. https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Huiman, A. (2019). La creciente preocupación de los botaderos de residuos sólidos. *INTE PUCP*. <https://inte.pucp.edu.pe/noticias-y-eventos/noticias/opinion-la-creciente-preocupacion-de-los-botaderos-de-residuos-solidos/>
- Instituto Nacional de Estadística Informática. (2016). Generación y gestión de residuos. INEI (Eds.). *Anuario de Estadísticas ambientales*. pp. 409-424.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1416/cap03.pdf

Irigoin, S. y Zaldivar, J. (2018). *Clarificación fisicoquímica de lixiviados mediante procesos de coagulación, floculación y sedimentación del botadero municipal de la provincia de Moyobamba – 2016* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional UNSM. <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/2602/1/SANITARIA%20-%20Stanler%20Irigoin%20y%20Junior%20E.%20Zaldivar.pdf>

Jaramillo, J. (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Organización Mundial de la Salud. <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf>

Lara, L. (2016). *La educación ambiental y el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos en el mercado modelo de la ciudad de Huánuco, periodo 2015* [Tesis doctoral, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH. http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/199/T_047_22976192_D.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ley 27314 de 2000. Ley General de Residuos sólidos. (2000). Diario Oficial El peruano. <http://hrlibrary.umn.edu/research/Peru-LEY27314.pdf>

Lue-Hing, C., Zenz, D. y Kuchenrither, R. (1992). Sewage Sludge management, processing, utilization and disposal. [Manejo, procesamiento, aprovechamiento y disposición de lodos de depuradora]. Technomic, 69(1), 653.

Luters, A. y Salazar, J. (2000). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. Instituto de suelos CRN-CNIA-INTA. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA). <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>

Margulis, L. y Sagan, D. (2008). El proceso de nutrición en las plantas. Fundamentos de fisiología vegetal, 242-258. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55576546/elementos-libre.pdf?1516307488=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DElementos.pdf&Expires=1693323761&Signature=a1393vw12~deYmZIXifDy1g9tVgFpWkXbKnwesqSXRGznGTiPIVgl2bmUi76aSexiq~x4nQ6MA8f7YJ~fG~4B2RaxEcKtAQ1Mp7VvfgijtMX6e1mdYVSh2AVY0iSb3EA->

iFrRuQKLgirTimJWzKr9vf~gVpgHIFhxHkNnlQcVw4kakwM9wzGJ0yPIThNcl0f
gzRIcoL5Z3pCw~SIyCb4ufMXGVxorEszqk89Ld-
V81qobwJTjMiLQ1QVtlnA7ZMHicvUNjwVp9ARsr52KIw0HMzH1T39ArGLH
7s1TkVxO5ZF0TVGIJ6hB6UWvbNY5mNW9RY5P2Y7Gtvt4ecFc93Ww__&Key
-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Martin, S. (2002). Aplicación de lodos residuales municipales en cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en suelos agrícolas del Valle de Toluca, 2020.

Martínez, F. (2016). Edafología y fertilidad de suelos. Instituto Tecnológico Superior “Juan Montalvo Loja – Ecuador. https://issuu.com/gabrielamunoz76/docs/modulo_edafologia_y_fertilidad_de_s/1

Mendoza, B., Torres, D., Merú, L., Gómez, C., Estanga, M. y García, Y. (2021). Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *TecnoLógicas*, 24(51), 4-15. <https://doi.org/10.22430/22565337.1738>

Ministerio del Ambiente (2014). Guía para Muestreo de Suelos. En el marco del Decreto Supremo 002 de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo (LC/PUB.2014/11-P). https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/300594/d155225_opt.pdf?v=1553194068

Miranda, A. y Torres, D. (2010). Plan de forestación de predios pertenecientes al municipio de Tenjo (Cundinamarca). https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1058&context=administracion_agronegocios

Molina, N., Aguilar, P. y Cordovez, C. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia y Tecnología para la salud visual y ocular*, 8(1), 77-88. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1058&context=svo>

Montano, J. (2021). Investigación No Experimental. *Lifeder*. <https://www.lifeder.com/investigacion-no-experimental/>

Nova, G. y Caro, F. (1991). Forestación de microcuencas. Trazado para la siembra. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. https://repositorio.sena.edu.co/sitios/reforestacion_microcuencas/pdf/Reforestacion_Vol6.pdf

- Organización Panamericana de la Salud (2003). Gestión de Residuos Sólidos en Situaciones de Desastre. Organización Mundial de la Salud. <http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/libros/residuos-completo.pdf>
- Ortiz, M., Sánchez, E. y Gutiérrez, M. (1999). Efectos de la adición de lodos residuales sobre un suelo agrícola y un cultivo de maíz. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 15(2), 69-77. <https://www.redalyc.org/pdf/370/37015202.pdf>
- Pagnanelli, F., Moscardini, E., Giuliano, V. y Toro, L. (2004). Sequential extraction of heavy metals in river sediments of an abandoned pyrite mining area: pollution detection and affinity series [Extracción secuencial de metales pesados en sedimentos de río de un área minera de pirita abandonada: detección de contaminación y series de afinidad]. *Environmental Pollution*, 132 (2), 189-201. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.05.002>
- Paredes, E. (2021). *Efecto de la fitorremediación con dos variedades de ortiga (Urtica urens L.) y (Urtica dioica L.) en la calidad del suelo usado como botadero a cielo abierto, Marabamba, provincia y departamento de Huánuco – 2021* [Tesis de grado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/3187/Paredes%20Tello%20C%20Erick%20El%20C3%ADAs.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pilco, N. (2021). *Determinación de la influencia de los lixiviados en la concentración de metales pesados del suelo del botadero municipal de Moyobamba, 2020* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional UNSM. <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/4040/1/ING.%20AMBIENTAL%20-%20Noe%20Justo%20Pilco%20Isuiza.pdf>
- Quispe, A. y Silvestre, S. (2019). *Nivel de concentración de metales pesados en relación a los Estándares de Calidad Ambiental (Ecas-suelo), en el suelo del área de influencia directa del botadero de Pampachacra, distrito, provincia y departamento de Huancavelica* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio institucional UNH. <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/597765a6-bbe7-4503-a283-1ce6af51e704/content>
- Quispe, Y., Raul F., Belizario, G., Chui, H. N., Huaquisto, S., Mendoza, A. P. y Yábar, P. S. (2019). Concentración de metales pesados: cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 36(2), 83-90. <https://www.redalyc.org/journal/4263/426360705003/html/>

- Radio ProgramaS del Perú (2019). ¿Dónde acaba la basura que botas? *RPP*. 9 páginas <https://rpp.pe/peru/actualidad/donde-acaba-la-basura-que-botat-ciudades-con-futuro-noticia-1235619?ref=rpp>
- Resolución Ministerial 225 (2012). [Ministerio del Ambiente]. Apruébese el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el periodo 2012 – 2013 y otros. 28 de agosto de 2012. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/rm_225-2012-minam.pdf
- Rey, A., Luna, L., Cantillo, G. y Espinosa, M. (2017). Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 35(3), 251-271. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubinbio/cib-2016/cib163f.pdf>
- Rojas, A. (2019). *Impactos del botadero de residuos sólidos de la ciudad de Guadalupe en la calidad ambiental del área de influencia* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio institucional UNITRU <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/13250/ROJAS%20ALBITRES%2C%20RONY%20JEAMPIERE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romero, M. (2017). *Estudio de la contaminación por plomo en suelos de una planta de reciclaje de baterías cerrada en Freire, IX Región* [Tesis de grado, Universidad de Chile]. Repositorio institucional UCHILE. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/145390/Tesis%20Final%20-%20Mario%20Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, M. (2010). *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 doctoral, Pontificia Universidad Javeriana] Repositorio institucional PUJ. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.10554.837>
- Sánchez, W. (2019). *Evaluación de los lixiviados generados en el botadero de carhuashjirca y los impactos ambientales generados en la quebrada Vientojirca – independencia – Huaraz – Ancash – 2018* [Tesis de grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio Institucional UNASAM. https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4239/T033_70604812_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sauquillo, A., Rigol, A. y Rauret, G. (2003). Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments [Descripción general del uso de pruebas de lixiviación/extracción para la evaluación de riesgos de metales traza en suelos y sedimentos contaminados]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 22(3), 152-159. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(03\)00303-0](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(03)00303-0)

- Suárez, A. (2016). Los 16 tipos de investigación (y sus características). *EstiloNext*. <https://estilonext.com/cultura/tipos-investigacion>
- Torres, N. (2018). *Evaluación de la concentración de metales pesados como As, Cu, Cd, Hg y Pb en el botadero de Cancharani de la ciudad de Puno* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional UNAP. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/9412/Torres_Quispe_Nely_Elma.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Universidad Nacional de San Martín (2021). Informe de ensayo N°004-2021/LSFCA-UNSM-T. Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Foliaraes.
- Vélez, J. (2007). Los biosólidos: ¿una solución o un problema? *Producción más limpia*, 2(2), 57-71. http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/532/1/PL_V2N2_57-71_biosolidos.pdf
- Viera, D. (2019). Diagrama Ishikawa: conoce qué es y cómo te ayudará a identificar y resolver problemas en tu negocio. *Rockcontent*. <https://rockcontent.com/es/blog/que-es-diagrama-de-ishikawa/#:~:text=El%20nombre%20del%20m%C3%A9todo%20viene,problemas%20enfrentados%20en%20los%20procesos>.

TERMINOLOGÍA

- **Botadero a cielo abierto:** Es un espacio físico donde se realiza la disposición final de los residuos sólidos sin ningún control o tratamiento previo (segregación), generando olores desagradables, gases y líquidos contaminantes (lixiviados) (Huiman, 2019).
- **Contaminante:** Cualquier sustancia química que no es común en el suelo o cuya concentración supera el nivel de fondo puede ser perjudicial para el medio ambiente o la salud de las personas (MINAM, 2014).
- **Educación ambiental:** Consiste en enseñar, capacitar y mantener actualizados a los pobladores sobre temas ambientales para que aprendan más y se sientan más responsables (Lara, 2016).
- **Estándar de calidad ambiental (ECA):** Es el nivel de concentración de sustancias físicas, químicas y biológicas presentes en el aire, agua o suelo, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni el medio ambiente (Decreto Supremo N°002-2013-MINAM).
- **Impacto ambiental:** Conjunto de posibles efectos sobre el medio ambiente por una modificación del entorno natural, como consecuencia de obras u otras actividades ocasionadas por la intervención humana, (Coelho, 2013).
- **Lixiviados:** Son producidos por la acumulación de desechos orgánicos líquidos que se descomponen por calor, viento y humedad y se mezclan con los nitratos y fosfatos pulverizados del suelo (Bellver, 2020).

- **Metales pesados:** Son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta; es decir, son en general tóxicos para los seres humanos. Entre los más susceptibles de presentarse en el agua destacamos al mercurio, níquel (Ni), cobre (Cu), plomo (Pb) y cromo (Pb) (Facsá, 2017).

- **Punto de muestreo:** La ubicación (punto o área específica) del suelo donde se recolectan las muestras, ya sea superficial o de profundidad (MINAM, 2014).

- **Residuos sólidos municipales:** Es aquel residuo sólido o semisólido proveniente de origen residencial o doméstico, comercial, institucional, barrido, limpieza de calles, mercados, áreas públicas entre otros (Organización Panamericana de la salud [OPS], 2003).

- **Sistema de coordenadas cartográficas UTM:** Sistema de Coordenadas Transversal Universal de Mercator (en inglés Universal Transversal Mercator - UTM) que identifica un punto de la superficie terrestre y tiene como unidad de medida el metro (Espigó, 2016).

- **Suelo:** Desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diversos niveles de profundidad, el material no consolidado se compone de partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos (Decreto Supremo N°002-2013-MINAM).

- **Suelo agrícola:** Suelo de producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias; además, de flora y fauna nativa, como son las áreas naturales protegidas (Decreto Supremo N°002-2013-MINAM).

- **Suelo contaminado:** La actividad humana ha depositado sustancias contaminantes en el suelo, lo que ha afectado negativamente sus características químicas (Decreto Supremo N°002-2013-MINAM).

- **Suelo residencial/parques:** Áreas verdes y espacios para actividades recreativas y de esparcimiento que se utilizan por la población para construir sus hogares (Decreto Supremo N°002-2013-MINAM).

APÉNDICES

Apéndice 1

Componentes ambientales afectados por lixiviados

Componentes Ambientales Afectados Por Lixiviados		
Orden	Suelo	Agua
1	Alteración de la calidad de suelo	Alteración de la calidad de agua
2	Perdida de especies de la flora terrestre	Perdida de especies de la flora acuática
3	Perdida de especies de la fauna terrestre	Perdida de especies de la fauna acuática
4	Desvalorización del suelo	Perdida del acceso al recurso agua
5	Perdidas de nutrientes del suelo	Alteración del ecosistema acuático
6	Perdida de microorganismo del suelo	Aumento de la carga orgánica del agua
7	Alteración del ecosistema terrestre.	Disminución del oxígeno disuelto del agua

Nota: Tomado de Pilco (2021)

Apéndice 2

Movilización natural de metales pesados



Nota: Tomado de Alloway (2012)

Apéndice 3

Coordenadas de las muestras de suelo

Pun.	Distrito	Prov.	Dep.	Coordenadas		Altura msnm	Fecha	Hora
				X	Y			
1	Pardo Miguel	Rioja	San Martín	225416	9361614	955	16/12/2020	10:37 am
2	Pardo Miguel	Rioja	San Martín	225428	9361591	951	16/12/2020	11:02 am
3	Pardo Miguel	Rioja	San Martín	225462	9361558	961	16/12/2020	11:36 am
4	Pardo Miguel	Rioja	San Martín	225511	9361547	959	16/12/2020	12:02 pm
5	Pardo Miguel	Rioja	San Martín	225530	9361639	961	16/12/2020	12:25 pm
6	Pardo Miguel	Rioja	San Martín	225457	9361630	953	16/12/2020	12:44 pm
A	Pardo Miguel	Rioja	San Martín	225339	9361678	960	16/12/2020	10:05 am
B	Pardo Miguel	Rioja	San Martín	225372	9361715	967	16/12/2020	10:18 am
C	Pardo Miguel	Rioja	San Martín	225525	9361488	953	16/12/2020	11:45 am
D	Pardo Miguel	Rioja	San Martín	225554	9361500	963	16/12/2020	11:55 am

Apéndice 4

Modelo para rotular muestras

<p style="text-align: center;">TOMA DE MUESTRA DEL SUELO</p> <p>Predio o lugar: Botadero Municipal -Pardo Miguel</p> <p>Punto de muestreo: Muestra</p> <p>Ejecutado por:</p> <p style="padding-left: 40px;">Bautista Fernández Patricia Yanela</p> <p style="padding-left: 40px;">Palomino Fuentes Merlin</p> <p>Profundidad: 30 cm</p> <p>Fecha de muestreo: 16/12/2020</p> <p>Distrito: Pardo Miguel</p> <p>Provincia: Rioja</p> <p>Departamento: San Martín</p>

Apéndice 5

Resultado de análisis de las muestras de suelo

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUAS Y FOLIARES				
	Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto Jr. Amorrarca Cdra. 3 Ciudad Universitaria- Laboratorio de Suelos - FCA Morales - San Martín Telef. 985800927 cverde@unsm.edu.pe				
INFORME DE ENSAYO N°004 - 2021/LSFCA-UNSM-T					
Tesistas	: BAUTISTA FERNÁNDEZ PATRICIA YANELA				
Provincia	: PALOMINO FUENTES MERLIN				
Distrito	: RIOJA				
Presentación	: BOLSA PLÁSTICA ROTULADA				
Cantidad de muestra	: 1000 g				
Fecha de muestreo	: 16/12/2020				
Fecha de reporte	: 27/01/2021				
Predio o Lugar	: Botadero Municipal - Pardo Miguel				
Muestra	Cd (ppm) (mg/kg)	Cr (ppm) (mg/kg)	Pb (ppm) (mg/kg)	pH	C.E. µS/cm
Muestra 1	4.70	125.3	23.25	3.79	91.3
Muestra 2	5.36	112.35	21.52	4.15	204.2
Muestra 3	6.12	135.25	39	3.75	70.2
Muestra 4	7.89	145.26	32.5	3.94	110.5
Muestra 5	5.63	189.23	28	3.96	1297.23
Muestra 6	10.52	213.56	34	4.72	322.12
Muestra A	7.53	145.26	38	3.22	54.4
Muestra B	9.23	196.23	25	3.25	64.5
Muestra C	6.25	203.5	32.5	3.26	86.5
Muestra D	8.52	165.23	31.25	3.08	96.32
Estándares de calidad (ECA) para suelos					
Parámetros	Niveles (mg/kg / ppm PS)				
	Bajo	Medio	Alto		
Cromo (Cr)	0 - 200	200 - 400	> 400		
Cadmio (Cd)	0 - 1.40	1.40 - 10	> 10		
Plomo (Pb)	0 - 70	70 - 140	> 140		
Metodología					
Digestión ácida nítrica-perclórica, lectura absorción atómica (EPA 3050)					
 Ing. Carlos Verde Girbau Lab. de Análisis de Suelos y Aguas UNSM - TARAPOTO Facultad de Ciencias Agrarias					
Jr. Amorrarca Cdra. 3 - Telf. 042- 521402 - RPM: #985800927 CIUDAD UNIVERSITARIA - DISTRITO DE MORALES - SAN MARTÍN / www.unsm.edu.pe					

Apéndice 6

Factura de costo por análisis de las muestras de suelo

VERDE GIRBAU CARLOS JR. MARTINEZ DE COMPAGÑON 700 SAN MARTIN - SAN MARTIN - TARAPOTO				BOLETA DE VENTA ELECTRÓNICA R.U.C. 10011279487 EB01-5		
Fecha de Vencimiento: Fecha de Emisión: 2021-03-04 Señor(es): PATRICIA YANELA BAUTISTA FERNANDEZ : 73527802 Tipo de Moneda: Observación:						
CANTIDAD	UNIDAD MEDIDA	CODIGO	DESCRIPCION	VALOR UNITARIO (*)	DESCUENTO(*)	IMPORTE DE VENTA(**)
1.00	NIU		POR EJECUCION DE ANALISIS DE 10 MUESTRAS DE SUELO, 3 PARAMETROS CD, CR, PB, HACIENDO UN TOTAL DE 30 ANALISIS A UN COSTO UNITARIO DE 60 SOLES. INFORME DE ENSAYO 004-2021	1800.00	0.00	
						OTROS CARGOS 0.00
						OTROS TRIBUTOS 0.00
						IMPORTE TOTAL 1800.00
						OP.GRAVADA 0.00
						OP.EXONERADA 1800.00
						OP.INAFECTA 0.00
						ISC 0.00
						IGV 0.00
						OTROS CARGOS 0.00
						OTROS TRIBUTOS 0.00
						MONTO DE REDONDEO 0.00
						IMPORTE TOTAL 1800.00
(*) Sin impuestos. (**) Incluye impuestos, de ser Op. Gravada. SON: UN MIL OCHOCIENTOS Y 00/100 SOLES						
Esta es una representación impresa de la Boleta de Venta Electrónica, generada en el Sistema de la SUNAT. El Emisor Electrónico puede verificarla utilizando su clave SOL, el Adquirente o Usuario puede consultar su validez en SUNAT Virtual: www.sunat.gob.pe , en Opciones sin Clave SOL/ Consulta de Validez del CPE.						

Apéndice 7

Propuesta de forestación para el área degradada del botadero Municipal del Distrito de Pardo Miguel

1. Proyecto de forestación de un área contaminada por metales pesados con especies de *Eucalyptus torelliana* F. Muell. “eucalipto torrellano” en el botadero municipal de Pardo Miguel

b. Introducción

A nivel mundial, el manejo adecuado de los desechos sólidos es un gran problema para la sociedad porque causan contaminación cuando se acumulan o se disponen inadecuadamente, sin tener en cuenta el lugar adecuado para ser depositados. El suelo es el principal afectado, ya que es la única superficie donde se pueden depositar los desechos sólidos creados por el ser humano; de igual manera, los lixiviados se producen cuando la materia orgánica se descompone, lo que daña los suelos cercanos y altera su composición habitual, lo que resulta en la contaminación (RPP, 2019).

Los botaderos a cielo abierto generan gran contaminación del suelo, aire y agua, sumado a esto los malos olores que emanan, la proliferación de vectores tanto insectos y roedores que ocasionan enfermedades, etc. Uno de los impactos ambientales generados durante la operación de un sistema de disposición final de residuos sólidos de un botadero, son los metales pesados, los cuales tienden a permanecer y estar retenidos por largos periodos de tiempo, o suelen ser movilizados mediante la filtración hacia cuerpos de aguas superficiales y subterráneas, lo que ocasiona un riesgo potencial para la salud, ingresando a la cadena alimenticia mediante los cultivos para consumo humano y su riesgo respectivo (Alloway, 2012). Asimismo, la deforestación se define como la tala de árboles para generar espacios para cultivos y pasturas, principalmente, es el llamado cambio de usos del suelo y provoca una gran pérdida de biodiversidad; mientras que la forestación es la actividad de plantar árboles donde existió bosque hace 50 años o menos, donde su principal objetivo es la proliferación de especies dirigido a la conservación del medio ambiente, la recuperación de zona verdes y por ende el aumento de especies nativas, con el fin de encontrar un espacio

limpio que beneficie a toda la comunidad de Tres de Mayo y Villa Rica (Miranda y Torres, 2010).

En el presente plan, se consignan las bases fundamentales para impulsar el establecimiento de plantaciones forestales, nativas y endémicas en el área del botadero municipal a cielo abierto del distrito de Pardo Miguel - Naranjos, permitiendo así la recuperación de las áreas degradadas y garantizando la capacidad de uso de los suelos para el desarrollo de múltiples actividades ecológicas y sostenibles en el tiempo.

c. Justificación

Actualmente, unos de los problemas más significativos de contaminación principalmente en las zonas urbanas, es la generación por el inadecuado manejo de los residuos sólidos, los cuales no solo generan impactos negativos en el ambiente, sino también en la salud y desarrollo social y urbano de las poblaciones (Burbano, 2017). La contaminación del suelo en el área de influencia directa del botadero municipal del distrito de Pardo Miguel - Naranjos es el problema local.

La acumulación de desechos orgánicos líquidos que se descomponen por calor, viento y humedad se combina con nitratos y fosfatos pulverizados en el suelo, líquidos de envases plásticos o metálicos como detergentes, latas de acero y aluminio, aerosoles y otros químicos, que forman un líquido negro o amarillo de aspecto denso maloliente denominado lixiviado, generando así metales pesados como Cd, Cr y Pb (Burbano, 2017). A pesar que según nuestros resultados obtenidos los valores de cromo total y plomo se encuentran en estándares menores a los límites máximos permisibles en suelos agrícolas (ECA), excepto el cadmio, contaminan el ecosistema cuando se filtran a aguas superficiales y/o subterráneas y su expansión de toxicidad ha ocasionado problemas de salud y malestar de los pobladores aledaños que se encuentra cerca al botadero a cielo abierto, ya que este emana olores desagradables y es fuente de origen de focos infecciosos (moscas) los cuales ocasionan problemas de salud en las comunidades aledañas al área (Alloway, 2012).

Mediante el presente plan de forestación, proponemos la recuperación de zonas verdes y aumento de especies introducidas a la zona, como el “**eucalipto torrellano**” para disminuir

la contaminación del suelo producto de los lixiviados, mejorar el PH, y recuperar progresivamente la materia orgánica, generando un impacto directo sobre el recurso bosque y una compensación ambiental por los daños ocasionados; asimismo, este proyecto permitirá de manera indirecta el incremento de otras especies edáficas, los cuales permitirán y facilitaran la circulación de los nutrientes para que las especies vegetales puedan asimilar correctamente los elementos necesarios para su desarrollo. A pesar de que en el presente estudio encontramos contaminación de metales pesados, sólo el cadmio fue significativo.

d. Objetivos

➤ General

Realizar la forestación del área degradada del botadero Municipal a cielo abierto del distrito de Pardo Miguel - Naranjos.

➤ Específicos

- Recuperar la materia orgánica del suelo mediante plantación de especies inducidas en el área del botadero municipal del distrito.
- Mejorar la acidez del suelo óptimo con un pH mayor a 6 para tener productividad agrícola con proyección a futuro.
- Obtener una vista paisajística renovada y recuperada del área contaminada a forestar.

e. Alcances

El presente plan de propuesta de forestación para el área del botadero alcanza al distrito de Pardo Miguel – Naranjos, en específico a los Caseríos de Tres De Mayo y Villarrica.

f. Ubicación del distrito de Pardo Miguel - Naranjos

El distrito de Pardo Miguel - Naranjos se encuentra ubicado en la selva alta del Nor-oriental peruano, departamento de San Martín; su capital es la localidad de Naranjos con una altitud de 961 m s.n.m. a continuación se muestra la ubicación geográfica del distrito:

- Por el este y sur: Distrito de Awajún
- Por el noreste: Distrito de Moyobamba

- Por el este: Cuenca del Río Mayo
- Por el sur y oeste: Departamento de Amazonas

El distrito tiene una temperatura promedio que oscila entre 17 a 28 °C y una altitud que se encuentra entre los 870 y 2 200 m s.n.m., teniendo épocas marcadas, de diciembre a abril, meses de lluvia y de mayo a noviembre meses de verano, con una precipitación pluvial anual de 1 300 mm.

g. Identificación del proyecto

➤ Nombre del proyecto

Proyecto de forestación de media hectárea con *Eucalyptus torelliana* F. Muell. “**eucalipto torrellano**” en el área contaminada por los metales pesados, del botadero municipal del distrito de Pardo Miguel.

➤ Nombre y dirección de la Organización responsable

Municipalidad Distrital de Pardo Miguel – Naranjos, Departamento: San Martín

➤ Origen del proyecto

El proyecto nace como solución a la problemática de la contaminación ambiental, como consecuencia de los efectos negativos que ha causado el inadecuado almacenamiento de residuos sólidos generados por la población del distrito y su disposición final en espacios naturales entre los caseríos de Tres de Mayo y Villa Rica. Mediante el análisis de muestras llevadas a cabo en el laboratorio de la Universidad Nacional de San Martín, se determinó que es de vital importancia desarrollar un plan de forestación para recuperar en cierta medida el área boscosa de años anteriores, generando así un ambiente más sano y equilibrado para la población y otros seres vivos.

➤ **Características del proyecto**

El proyecto se desarrollará en un área de 0,5 hectáreas, el cual es el terreno ocupado por residuos sólidos en descomposición, para reforestar con plantaciones de “**eucalipto torrellano**”.

➤ **Beneficiarios**

Beneficiarios directos

En forma directa se beneficiarán 200 personas de los caseríos Tres De Mayo y Villa Rica afectados en el distrito de Pardo Miguel - Naranjos.

Beneficiarios indirectos

En forma indirecta se beneficiaría toda la población del Distrito de Pardo Miguel – Naranjos, que es igual a 17,088 personas (INEI, 2016).

➤ **Recursos disponibles**

Para la ejecución del presente proyecto se consideran disponibles los siguientes recursos.

Financieros

Para obtener el recurso financiero con el cual poder ejecutar el proyecto, se recurrirá a la municipalidad del Distrito de Pardo Miguel - Naranjos como ente financiero y co-ejecutor del proyecto de forestación.

Humanos

Tomando en cuenta que el proyecto requerirá de personal para realizar las actividades de siembra, se ha considerado como mano de obra potencial, al personal de Gerencia de

Desarrollo Económico y Medio Ambiente de la municipalidad de Pardo Miguel – Naranjos y habitantes voluntarios de ambos caseríos que deseen participar del proyecto, ya que serán beneficiarios directos con dicha actividad.

➤ **Estructura organizacional**

En la Figura 1 se muestra la estructura organizacional para la ejecución del proyecto de forestación con “eucalipto torrellano”, el cual estará dirigida por la Municipalidad Distrital de Pardo Miguel - Naranjos.

h. Estudio técnico

➤ **Tamaño del proyecto**

La duración del proyecto tendrá una duración de 4 meses, considerando desde la limpieza, nivelación de montículos y cubrimiento con tierra para la respectiva siembra de los plántones.

➤ **Localización del proyecto**

Macrolocalización

La Macrolocalización del proyecto estará definida por el municipio de Pardo Miguel - Naranjos, que se encuentra aproximadamente a 3 km hacia el botadero, presenta un excelente acceso durante todo el año; además, el área a reforestar presenta las condiciones básicas para el desarrollo de “eucalipto torrellano”.

Microlocalización

La Microlocalización se encuentra definida en medio de los dos caseríos de Tres de Mayo y Villa Rica, a una distancia promedio de 200 m hacia el botadero.

➤ Manejo de plantación

El suelo está constituido por pequeñas partículas de minerales y materia orgánica que albergan espacios rellenos de aire y de agua; del suelo, las plantas van a extraer agua y sales minerales. Solamente los minerales que están disueltos en agua pueden entrar en la raíz. Estos nutrientes son absorbidos a través de pelos radiculares especializados, llamados también pelos absorbentes, que se encuentran fundamentalmente en la zona pilífera de la raíz, posteriormente los nutrientes tienen que atravesar los distintos tejidos de la raíz hasta llegar a la xilema que, a su vez, los conducirá hasta el aparato fotosintético de la planta (Margulis y Sagan, 2008).

Eucalyptus torelliana “eucalipto torrellano”

El “eucalipto torrellano” es un árbol que ha colonizado gran parte del mundo, debido a su adaptabilidad a diferentes climas. El éxito del “eucalipto” como especie forestal se debe en gran parte a esta adaptabilidad y también a que en condiciones donde existe humedad y agua disponible, este árbol presenta un crecimiento muy rápido. Asimismo, el cultivo de esta especie forestal crece bien a pleno sol y temperaturas entre 18 y 30 °C en suelos arenosos, poseen copas que constituyen una superficie aerodinámica rugosa frecuentemente, con una superficie foliar relativamente grande, que facilita los intercambios de calor y vapor de agua con la atmósfera (Zanabria, 2002).

Los efectos de las plantaciones de **eucalipto** sobre el suelo han sido estudiados con relación a la reducción de nutrientes y los efectos negativos del mantillo sobre los microorganismos del suelo. Se ha propuesto que el eucalipto mejora la calidad del suelo a largo plazo. Las raíces penetran muy profundamente en la tierra y por eso absorben nutrientes a los que no llega ninguna otra especie forestal. Asimismo, este árbol no entra en competencia con otras plantas, ya que los nutrientes que están en lo más hondo de la tierra, no benefician a ninguna especie; sin embargo, el **eucalipto** tiene la capacidad de traerlos a la superficie para transformarlos; otra de las características propias de esta especie radica en que son capaces de aprovechar sus propios residuos; es decir, sus propias hojas marchitas caen al suelo y lo fertilizan (Zanabria, 2002).

Para Zanabria (2002) menciona que las plantas toman el agua del suelo por la raíz través de los pelos absorbentes, las sales minerales entran en la raíz disueltas en el agua y se transporta a través de los vasos leñosos que asciende por la raíz y el tallo hasta las hojas. Los eucaliptos echan raíces rápidamente incluso en terrenos arenosos y secos, por lo que son útiles para iniciar barreras contra el viento. En las zonas pantanosas en las que el nivel freático está en la superficie o cerca de ella se han utilizado algunas especies de eucaliptos para drenar el agua, que es absorbida por las raíces de los árboles.

Numerosas plantas pueden crecer en suelos que contienen concentraciones elevadas de ciertos iones, lo que indica que deben estar de alguna forma adaptadas a estas condiciones. Las plantas pueden evitar los efectos nocivos colonizando áreas donde la concentración de metales es menor en el área contaminada o mediante mecanismos de exclusión o absorción selectiva. Algunos vegetales presentan concentraciones elevadas de Zn, Pb, Ni, Cr, Cu, Co, Cd, Cr. A estas especies se las considera tolerantes a los metales pesados y algunas, incluso, se utilizan como indicadoras de yacimientos metálicos; como *Astragalus*, que acumula selenio.

No se conocen bien los mecanismos de resistencia, en el caso del Zn se ha encontrado que las plantas tolerantes acumulan el metal en las paredes celulares y así lo eliminan del interior de la célula. Una hipótesis interesante es la que supone que las plantas sintetizan agentes quelantes, que formarían complejos con los metales pesados de forma de transformarlos en inocuos. Estos quelantes podrían ser pequeños péptidos, ricos en cisteína (que contiene S, útil para unirse a los átomos de metal), llamadas fitoquelatinas

➤ **Trazabilidad para el sembrado del área**

Para la trazabilidad del sembrado, se empleará el método de trazabilidad en tresbolillo, utilizada por Nova y Caro (1991), el cual se describe a continuación:

Método de trazabilidad en tresbolillo

Este método se emplea generalmente en terrenos de pendiente moderada y terrenos planos. Permite obtener una distribución uniforme de las copas de los árboles que ingresa en un área determinada empleando la siguiente fórmula:

$$N^{\circ} = \frac{A}{(D * d) * 0.86}$$

Donde:

N° = Número de plantas

D = Distancia entre planta y planta (m)

d = Distancia entre fila y fila (m)

A = Área total con que se encuentra (m²)

0,86 = Constante

Lo usual de este método, es utilizar un mismo distanciamiento entre planta y planta y fila y fila, teniendo de esta manera un distanciamiento equilátero entre plantas y filas (Triángulo perfecto). El área de recuperación se recuperará con un distanciamiento de 3 x 3 como se muestra en la Figura 2.

➤ **Hoyado**

Una vez que se ha realizado las actividades de trazabilidad, se procederá a realizar los hoyos de 20 cm para cada planta; posteriormente, se procederá con la plantación.

➤ **Plantación**

Esta actividad se realizará posterior a la preparación del micrositio, donde el método de forestación será el sistema de tresbolillo a una distancia de 3 x 3 metros entre plantas, lográndose una densidad de 578 árboles de eucalipto por media hectárea, usando 20 sacos de compost. Con esta densidad se prevén pérdidas de hasta el 5 % por daños en el manipuleo de plantas y en el establecimiento de campo definitivo.

➤ **Resiembra**

Para esta actividad se realizará una supervisión de las plantas, identificando las secas para ser reemplazadas por nuevas.

➤ **Limpia general**

Esta actividad se llevará a cabo aproximadamente después de dos meses de haberse realizado la siembra, dependiendo del comportamiento de la maleza y la relación a su competitividad con la especie de planta sembrada.

➤ **Supervisión**

Esta actividad consiste en supervisar si la forestación en el área del botadero se cumplió al 100 %. Asimismo, si alguno no logró desarrollarse, se procederá a reemplazarlo con un plantón nuevo en el mismo lugar establecido para su siembra (GDEyMA, 2019)

i. Evaluación de impacto ambiental

Se plantea seguimiento y monitoreo de la calidad y salud del suelo, basado en la Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo, establecida por Lutens y Salazar (2000). Las siguientes mediciones se deben realizar después de tres años de forestación.

- Medición de Conductividad Eléctrica (CE): Mide la concentración salina en el suelo.
- Medición del PH: Mide la acidez o alcalinidad del suelo.
- Medición de nitratos de suelo: Mide el nivel de nitratos del suelo.
- Medición de lombrices en el suelo: Mide la cantidad de lombrices en el suelo.
- Medición de materia orgánica en el suelo.

j. Beneficio ambiental que brindará el área de forestación

Los beneficios económicos, sociales y ambientales directos e indirectos que las personas obtienen como resultado del buen funcionamiento de los ecosistemas se conocen como servicios ecosistémicos (Miranda y Torres, 2010). Cada uno de ellos se describe a continuación:

➤ **Regulación del clima y el amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales**

La forestación del área ayudará a revertir el daño causado; es decir, la siembra de las especies contribuirá a que dicho espacio sea más resistente a los desafíos futuros, como el cambio climático y los incendios forestales.

➤ **Provisión de agua en calidad y cantidad suficientes**

Mediante la forestación se logrará mantener la calidad de agua, y en algunas circunstancias, también a incrementar su cantidad disponible; es decir, por medio de la filtración, renovación de agua subterránea y mantenimiento de caudales naturales.

➤ **Generación de oxígeno**

A medida que los árboles crecen y consumen aire, eliminan los contaminantes nocivos del aire. La forestación ayudará a restablecer la cubierta forestal y mejorar nuestro filtro de aire natural.

➤ **Control de la erosión, generación, conservación y recuperación de suelos**

Al sembrar especies forestales nativas permitirá evitar la erosión del suelo; ya que, las raíces de los árboles son responsables de mantener el suelo en su lugar, funcionando como un marco que evita el desprendimiento; por lo tanto, al restablecer o incrementar la cobertura arbórea, se aumenta la fertilidad del suelo y se mejora su retención de humedad, estructura y contenido de nutrientes.

➤ **Captura de carbono y la asimilación de diversos contaminantes**

Los árboles permiten la captura del dióxido de carbono (CO₂) a través de la fotosíntesis; es decir, las plantas respiran y regresan a la atmósfera una fracción del carbono secuestrado, proveniente de la actividad de los microorganismos asociados con las raíces y la descomposición microbiana de la materia orgánica; con ello, los árboles extraen

contaminantes en dos formas principales, incorporando gases y contaminantes a través de las estomas en sus hojas o capturan partículas en la superficie. Los gases ingresan al interior de sus hojas donde hay mucha agua, donde se disuelven y cambian de estado, funcionando como fertilizantes.

➤ **Protección de la biodiversidad, los ecosistemas y las formas de vida**

El beneficio principal de estas áreas es la conservación de biodiversidad de especies (flora y fauna) y de los diversos ecosistemas, los cuales son importantes para la supervivencia del hombre; garantizando el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos.

➤ **La polinización de plantas y el control biológico de plagas**

Uno de los valores que con frecuencia se deja pasar por alto es la polinización ayudada por insectos; es decir, si los insectos no se proliferan, tampoco se proliferan las cosechas. Por lo tanto, las áreas de forestación también juegan un papel importante al ayudar en el ciclo ecológico, a polinizar las cosechas cercanas a las áreas protegidas y su contribución con la producción de productos de polinización (miel).

➤ **Belleza del paisaje y la recreación**

Las áreas de forestación están siendo reconocidas cada vez más como lugares importantes para promover la salud física y mental; asimismo, son considerados como recursos recreativos importantes. Los valores para la salud también pueden derivarse directamente de recursos medicinales que se obtiene de áreas similares.