

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**“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**

**PRESENTADA POR:**

**NELY ELMA TORRES QUISPE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**

**PROMOCIÓN: 2017- I**

**PUNO – PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**\*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**

**PRESENTADA POR:**

**NELY ELMA TORRES QUISPE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 17 DE OCTUBRE DEL 2018**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**



**PRESIDENTE**

**:**

Ing. Ernesto Ingaluque Incacari

**PRIMER MIEMBRO**

**:**

Ing. Julio Mendoza Maica

**SEGUNDO MIEMBRO**

**:**

Dr. Sc. Ernesto Javier Chura Yupanqui

**DIRECTOR / ASESOR**

**:**

Dr. Sc. Flavio Ortiz Calcina

**PUNO - PERÚ**

**2018**

**Área : Ciencias agrícolas**

**Tema : Cambio climático y agricultura**

## DEDICATORIA

Este trabajo de investigación principalmente se lo dedico A Dios por su infinito amor y por fortalecerme en todo momento y bendecirme con personas maravillosas que fueron un apoyo en mi vida profesional.

A mis amados padres Justo Vicente Torres y Paula Quispe por su apoyo incondicional en mi formación profesional y por ser guía en mi camino en todo momento, y por brindarme su amor infinito, esta tesis gracias a ti mamita Paula se llevó a cabo.

A mis queridos hermanos y hermanas por su apoyo en todo momento para lograr mis metas y en especial a mi amada hermana Eufracia que es como mi segunda madre.

A mi director de mi tesis al Mg. Flavio Ortiz a quien agradezco por su apoyo y al Ing. Samuel Elias Ari y a mis amigos y amigas que hicieron posible esta investigación.

## AGRADECIMIENTOS

- Primeramente quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y por permitirme concluir una parte esencial de mi vida profesional y mis amados padres por aliento y esfuerzos que hicieron posible esta investigación.
  
- Agradecer a la Universidad Nacional Del Altiplano, y en principalmente a la Faculda de Ciencias Agrarias a la Escuela Profesional de Ingenieria Agronomica y a su plana docente.
  
- A mi director de tesis Mg. Flavio Ortiz Calcina, por su apoyo y por las sugerencias constructivas que me brindo durante la elaboraci3n de mi tesis y al Ing. Samuel Elias Ari.
  
- A los se1ores miembros de jurados, por las sugerencias que permitieron mejorar la calidad de mi borrador de tesis.
  
- A todos mis amigos (as) y compa1eros (as) que me apoyaron de una y otra manera para realizar esta investigaci3n.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN</b> .....	12
<b>ABSTRACT</b> .....	14
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	16
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	20
2.1. ANTECEDENTES .....	20
2.1.1. EN AMÉRICA .....	20
2.1.2. EN PERÚ .....	21
2.1.3. EN LA REGIÓN DE PUNO .....	23
2.2. MARCO TEÓRICO.....	24
2.2.1. BOTADERO DE BASURA .....	24
2.2.2. RESIDUOS URBANOS .....	25
2.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS.....	26
2.2.4. CONTAMINACIÓN DEL SUELO .....	26
2.2.5. AGUA CONTAMINADA .....	27
2.2.6. SITIO CONTAMINADO. ....	27
2.2.7. METAL PESADO.....	28
2.2.8. ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR METALES PESADOS .....	29
2.2.9. MOVILIZACIÓN DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO .....	31
2.2.10. MOVILIZACIÓN DE LOS METALES PESADOS EN FORMA NATURAL POR EL VIENTO Y AGUA .....	37
2.2.11. EFECTO DE LOS METALES PESADOS COMO CADMIO, MERCURIO, PLOMO, ARSÉNICO Y COBRE. ....	38
2.2.12. FACTORES QUE AFECTAN LA ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS .....	45
2.2.13. ANTECEDENTES DE LA ESPECTROSCOPIA ATÓMICA.....	49

2.3.	MARCO LEGAL.....	49
2.3.1.	LEY GENERAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	49
2.3.2.	LEGISLACIÓN AMBIENTAL INTERNACIONAL.....	50
2.3.3.	ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL.....	50
2.3.4.	LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EL SUELO SEGÚN LAS NORMAS DE PERÚ.....	52
2.3.5.	ESTÁNDARES DE CALIDAD PARA SUELOS (ECAS).....	52
2.4.	MARCO CONCEPTUAL.....	55
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>57</b>
3.1.	ÁREA DEL ESTUDIO.....	57
3.1.1.	LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN POLÍTICA.....	57
3.1.2.	UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	58
3.1.3.	PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS.....	60
3.1.4.	DELIMITACIÓN SOCIAL.....	61
3.1.5.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	62
3.1.6.	ÉPOCA DE MUESTREO.....	62
3.1.7.	MATERIALES.....	62
3.1.8.	MATERIALES PARA EL MUESTREO.....	62
3.1.9.	MATERIALES PARA EL MUESTREO DE SUELO.....	63
3.1.10.	EQUIPOS (MATERIALES DE CÓMPUTO Y OTROS).....	63
3.1.11.	MAQUINARIAS Y TRASPORTE.....	64
3.2.	METODOLOGÍA.....	64
3.2.1.	EVALUACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN POR LAS CONCENTRACIONES DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO.....	64
3.2.3.	DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS.....	68
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>71</b>
4.1.1.	CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LOS SUELOS DEL BOTADERO.....	72
4.1.2.	CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN LOS SUELOS DEL BOTADERO.....	74

4.1.3. CONCENTRACIÓN DE COBRE EN LOS SUELOS DEL BOTADERO .....	76
4.1.4. CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN LOS SUELOS DEL BOTADERO .....	78
4.1.5. CONCENTRACIÓN DEL MERCURIO EN LOS SUELOS DEL BOTADERO .....	80
4.2 GRAFICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS METALES PESADOS .....	82
<b>CONCLUSIONES</b> .....	96
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	97
<b>REFERENCIAS</b> .....	98
<b>ANEXOS</b> .....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1:</b> Dinámica de los metales pesados en el suelo.....	36
<b>Figura 2:</b> Movilización natural de metales pesados.....	37
<b>Figura 3:</b> Escala del ph, menor de 7, simboliza ácidos, mayor que 7 simboliza bácisco.....	46
<b>Figura 4:</b> Ubicación de los puntos de muestreo en los suelos del botadero.....	58
<b>Figura 5:</b> Lectura de la temperatura con el geotermómetro en uno de los puntos del muestreo.....	61
<b>Figura 6:</b> Perfil del suelo a los 40 centímetros.....	66
<b>Figura 7:</b> Comportamiento del arsénico en los suelos del botadero.....	73
<b>Figura 8:</b> Comportamiento del cadmio en los suelos del botadero.....	75
<b>Figura 9:</b> Comportamiento del cobre en los suelos del botadero.....	77
<b>Figura 10:</b> Comportamiento del plomo en los suelos del botadero.....	79
<b>Figura 11:</b> Comportamiento del mercurio en los suelos del botadero.....	81
<b>Figura 12:</b> Comportamiento del cobre en relación a la distancia al botadero.....	84
<b>Figura 13:</b> Comportamiento del plomo en relación a la distancia al botadero....	87
<b>Figura 14:</b> Comportamiento del mercurio en relación a la distancia al botadero.	89
<b>Figura 15:</b> Comportamiento del cadmio en relación a la distancia al botadero...92	92
<b>Figura 16:</b> Comportamiento del arsénico en relación a la distancia al botadero.	94
<b>Figura 17:</b> Vista panorámico del botadero de cancharani desde el cerro.....	108
<b>Figura 18:</b> Inicio de levantamiento de puntos geográfico en la parte alta del botadero de canchara.....	108
<b>Figura 19:</b> Punto de inicio de levantamiento geográfico en la parte baja del botadero.....	109



<b>Figura 20:</b> Medición de la distancia a 20 metros del botadero para el primer punto de muestreo.....	109
<b>Figura 21:</b> Apertura de 40 cm de suelo para luego realizar el muestreo del suelo.....	110
<b>Figura 22:</b> Luego del muestreo del suelo.....	110
<b>Figura 23:</b> Capa freática en uno de los puntos de muestreo.....	111
<b>Figura 24:</b> Concentración de residuos sólidos en uno de los puntos de muestreo.....	111
<b>Figura 25:</b> Contaminación del suelo con la emanación del polvo.....	112
<b>Figura 26:</b> Pastoreo de los vacunos en suelos del botadero.....	112
<b>Figura 27:</b> Concentración de los lixiviados en los suelos producto del botadero y la cercanía de una cabaña.....	113
<b>Figura 28:</b> Generación de los lixiviados el botadero.....	113

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1:</b> Estándares de Calidad Ambiental para el Suelo – Perú y los Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental.....	51
<b>Tabla 2:</b> Estándares de calidad ambiental para suelo del ministerio de ambiente.....	53
<b>Tabla 3:</b> Ubicación de los puntos y codificación de cada uno de los puntos.....	65
<b>Tablas 4:</b> Métodos de análisis de metales pesados en el suelo.....	67
<b>Tabla 5:</b> Resultados de la concentración de arsénico.....	72
<b>Tabla 6:</b> Resultado de la concentración de cadmio.....	74
<b>Tabla 7:</b> Resultados de la concentración de cobre.....	76
<b>Tablas 8:</b> Resultado de las concentraciones de plomo.....	78
<b>Tabla 9:</b> Resultado de las concentraciones de mercurio.....	80
<b>Tabla 10:</b> Distribución y concentración del cobre.....	83
<b>Tabla 12:</b> Distribución y concentración del plomo.....	85
<b>Tabla 13:</b> Distribución y concentración del mercurio.....	88
<b>Tabla 14:</b> Distribución y concentración del cadmio.....	90
<b>Tabla 15:</b> distribución y concentración del arsénico.....	93

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>LPM.</b>	: Límites máximos permisibles.
<b>ECA.</b>	: Estándares de calidad ambiental.
<b>CE.</b>	: Conductividad eléctrica.
<b>As.</b>	: Arsénico.
<b>Cu.</b>	: Cobre.
<b>Cd.</b>	: Cadmio.
<b>Pb.</b>	: Plomo.
<b>Hg.</b>	: Mercurio.
<b>μS/cm.</b>	: Micro siems por centímetro.
<b>Mg/kg.</b>	: Miligramos por kilogramo.
<b>Mg/l.</b>	: Miligramos por litro.
<b>pH.</b>	: Potencial de hidrogeno.
<b>MINAN.</b>	: Ministerio del ambiente.
<b>DIGESA.</b>	: Dirección general de salud ambiental.
<b>MINSA.</b>	: Ministerio de salud.
<b>EPA.</b>	: Agencia de protección ambiental.
<b>RSU.</b>	: Residuos sólidos urbanos

## RESUMEN

En la ciudad de Puno actualmente la contaminación por la actividad humana es uno de los problemas fundamentales en el marco ambiental. En los últimos años la cantidad de residuos sólidos ha incrementado por la actividad de consumo y acumulación de la población tanto material orgánico e inorgánico las cuales no reciben un tratamiento previo a la disposición final al botadero que está ubicado en Cancharani. El presente trabajo se realizó con el propósito de determinar la concentración de los metales pesados como el As, Cd, Cu, Pb y el Hg en los suelos próximos al botadero de Cancharani. Y comparar con los Estándares de Calidad Ambiental para el Suelo. Los objetivos específicos fueron: a) Determinar el grado de contaminación por las concentraciones de los metales pesados (cadmio, cobre, plomo, mercurio y arsénico) en los suelos del botadero de Cancharani. b) Graficar la distribución de concentración de los metales pesados. Para ello se realizó un muestreo de suelo en 9 puntos estratégicos a una profundidad de 40 cm, a diferentes distancias en los márgenes del botadero analizándose la concentración de los metales en cada punto por el método de espectrometría de absorción atómica y horno de grafito y para la distribución se utilizó el modelo Kriging. Los resultados obtenidos fueron que las concentraciones de los metales pesados plomo (Pb), cadmio (Cd) y cobre (Cu) en los suelos del botadero de Cancharani sobrepasan los límites máximos permisibles a excepción del arsénico (As) y mercurio (Hg) que se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para un suelo agrícola. En cuanto al gráfico de la distribución de los metales pesados Se concluye también que los metales pesados cadmio, plomo, mercurio, cobre a medida que se alejan del centroide del botadero disminuyen los niveles de la concentración, a excepción

del metal arsénico que aumenta su nivel de concentración a medida que se aleja del botadero. En el estudio realizado se comprueba que el botadero de Cancharani está contaminando el suelo del lugar.

**Palabras Clave:** botadero Cancharani, metales pesados, suelos contaminados.

## ABSTRACT

In the city of Puno, contamination by human activity is currently one of the fundamental problems in the environmental framework. In recent years, the amount of solid waste has increased due to the accumulation of the population, both organic and inorganic material, which do not receive previous treatment to the final disposal to the dump located in Cancharani. The present work was carried out with the purpose of determining the concentration of heavy metals such as As, Cd, Cu, Pb and Hg in the soils near the Cancharani dump. And compare with the Environmental Quality Standards for Soil. The specific objectives were: a) To determine the degree of contamination by the concentrations of heavy metals (cadmium, copper, lead, mercury and arsenic) in the land of the Cancharani dump. b) Graph the concentration distribution of heavy metals. To do this, a soil sampling was carried out in 9 strategic points at a depth of 40 cm, at different distances in the dump margins, analyzing the concentration of metals at each point by the atomic absorption spectrometry and graphite furnace method. the distribution was used the Kriging model. The results obtained were that the concentrations of the heavy metals lead (Pb), cadmium (Cd) and copper (Cu) in the soils of the Cancharani dump exceed the maximum permissible limits except for arsenic (As) and mercury (Hg) that are within the Environmental Quality Standards for Soil. With regard to the distribution of heavy metals, it is stated that cadmium Cd has a concentration of 2.10 mg / kg at a distance of 304 m, in case Cu a concentration of 134.37 mg / kg at a distance of 161.93 m , in the case of the metal Pb has a concentration of 76.64 mg / kg at a distance of 272.49 m, the case of Hg has a concentration of 0.48 mg / kg at a distance of 81.92 m, the As has a concentration of 27.11 mg / kg at a distance of

342.87 m. In the study carried out it is verified that the Cancharani dump is contaminating the soil of the place.

**Key Words:** heavy metals, contamination soil, cancharani dump.

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de actividades industriales, ha contribuido cada vez más a la generación de residuos con elementos potencialmente tóxicos que en concentraciones altas pueden tener efectos nocivos a la salud de la población y sus afectaciones al equilibrio ecológico y el ambiente. Uno de los problemas más señalados por la sociedad a nivel mundial que ocupa un lugar prominente, es la progresiva degradación de los recursos naturales causada por la gran diversidad de contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos, tanto en la atmósfera, agua, suelo y subsuelo, procedentes de diversas actividades naturales y antropogénicas generando un irremediable deterioro en el ambiente. El crecimiento de las urbes genera el volumen de materiales residuales, lo cual constituye una gran dificultad ya que dichos materiales se van acumulando sin que los agentes naturales puedan estabilizar toda esa materia, debido a la velocidad con que esta se genera (Pineda, 2006).

La contaminación del suelo por metales pesados está fundamentalmente relacionada con diferentes tipos de actividades humanas. Es evidente que los impactos ambientales de mayor importancia que se pueden generar durante la operación de un sistema de disposición final de residuos sólidos en un Relleno Sanitario, son sin duda alguna los lixiviados (Pagnanelli *et al.*, 2004).

La gestión y manejo de residuos sólidos, es un instrumento ambiental que surge de un proceso coordinado y concertado entre autoridades y funcionarios municipales, representantes de instituciones públicas y privadas, promoviendo una adecuada gestión y manejo de los residuos sólidos, asegurando eficacia, eficiencia y sostenibilidad, desde su generación hasta su disposición final,



incluyendo procesos de minimización: reducción, reutilización y reciclaje de residuos sólidos (Saravia y Gabriel, 2014).

Los metales pesados tienen la cualidad de permanecer durante largos períodos de tiempo en los suelos, transfiriéndose a la flora y microorganismos que en este habitan, lo que ocasiona un riesgo potencial de salud, ya que pueden entrar en la cadena alimenticia y al ambiente afectando así animales y al hombre (Pagnanelli *et al.*, 2004).

Una vez en el suelo, los metales pesados pueden quedar retenidos en el mismo pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Pagnanelli *et al.*, 2004).

La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo al agua subterránea y difiere de si su origen es natural o antrópico y, dentro de este último, al tipo de fuente antrópica (Antonia María, 2005).

Los metales pesados en los suelos pueden tener un origen geogénico o antropogénico. En principio, los contenidos de metales en suelos son debidos a la meteorización del material originario. Además, la erosión de los minerales provocada por el viento y la lluvia, y la descomposición de las rocas, son los principales procesos naturales por los cuales los metales pueden incorporarse al ciclo hidrológico. La liberación de cationes de una roca por meteorización depende de diferentes parámetros como clima, topografía, permeabilidad, tiempo, y actividad biológica, particularmente de los microorganismos (Granizo, 2007).

Los metales pesados más comunes y ampliamente distribuidos como contaminantes ambientales incluyendo plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y arsénico (As). El plomo, por ejemplo, es un contaminante ambiental altamente tóxico, su presencia en el ambiente se debe principalmente a las actividades antropogénicas como la industria, la minería y las fundición (O'Reilly, 1979).

La gestión de los residuos sólidos en el país tiene como finalidad su manejo integral y sostenible, mediante la articulación, integración, compatibilización de las políticas, planes, programas, estrategias y acciones de quienes intervienen en la gestión y el manejo de los residuos sólidos (Ronald, 2018).

Los botaderos contaminan las aguas superficiales y subterráneas, el suelo y el aire; generando malos olores y es un lugar de proliferación de insectos y roedores que ocasionan enfermedades. Además, los botaderos no están permitidos por la ley (Dentro de la VI Disposición Complementaria de la nueva Ley General de Residuos Sólidos 1278).

En consecuencia para el presente trabajo de investigación se estableció los siguientes objetivos.

### **OBJETIVO GENERAL**

- 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.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el grado de contaminación por las concentraciones de los metales pesados (cadmio, cobre, plomo, mercurio y arsénico) en los suelos del botadero de Cancharani.
- Determinar la relación entre la contaminación de metales pesados y la distancia.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. ANTECEDENTES

#### 2.1.1. EN AMÉRICA

En este estudio se determinaron las concentraciones de metales pesados en ciertos elementos del ecosistema para conocer su posible incidencia en la red trófica y sus riesgos potenciales. En esta investigación se concluye que los metales pesados están asociados a los vertederos y los rellenos sanitarios, que representaron concentraciones de Cd y Cr que sobrepasan los límites máximos permisibles en suelo, Hg y Cd en agua y lixiviados (Granizo, 2007).

María Polo, (2001), en este estudio se determinaron las concentraciones de metales pesados en ciertos elementos del ecosistema para conocer su posible incidencia en la red trófica y sus riesgos potenciales. Cd y Cr sobrepasan los límites permisibles en el suelo Hg y Cd en agua y lixiviados. También se encontró Cu y Zn en vegetales pero dentro de los límites permisibles.

Jaramillo, J. (1997), indica que la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), determinaron que las poblaciones que laboran manipulando residuos sólidos, se encuentran afectadas en su salud, destacando la presencia de fiebre tifoidea, salmonelosis, lepra, malaria, peste bubónica, rabia etc.

### 2.1.2. EN PERÚ

Yarleque, M.J. (2013), en su investigación de programa de adecuación y manejo ambiental para el relleno sanitario de kehuar-anta (cusco). El propósito de este trabajo fue realizar el estudio de línea base del Relleno Sanitario, identificar los principales impactos y proponer acciones de adecuación y manejo para los factores ambientales impactados. En esta investigación se concluye que la identificación de metales pesados muestra que el Cromo se encuentra en un nivel traza mientras que el Plomo y Cadmio presentan niveles por encima del nivel traza.

Rosario, O. (2017), el trabajo fue realizado en condiciones ex situ, con muestras de suelo del botadero El Milagro de la ciudad de Trujillo, entre los meses de abril a junio de 2016. Las concentraciones de los metales en las muestras de suelo fueron determinadas mediante Espectroscopia de Emisión Atómica de Plasma Acoplado por Inducción (ICP-AES). Las concentraciones de As, Cd y Cu disminuyeron significativamente en las muestras de suelo mediante el cultivo de geranio. Se observó una tolerancia significativa del geranio hacia el As, con una disminución significativa, hasta del 74% con respecto al nivel inicial, mientras que, para el Cd y Cu, se logró disminuciones de hasta 79% y 55%, respectivamente. Lo cual demuestra que la fitorremediación es una interesante alternativa para la recuperación de ecosistemas contaminados con metales pesados.

Verga, G.J. (2012), el presente estudio evalúa el nivel de contaminación por metales pesados en el Río el Toro de la Provincia de Sánchez Carrión del departamento de la Libertad, donde se están extrayendo minerales de oro de

forma artesanal. Para el estudio se identificaron cuatro estaciones de muestreo, con un total de 28 muestras analizadas durante el periodo de estudio de setiembre de 2009 a setiembre de 2010. El análisis de agua se hizo por el método de espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados obtenidos en la estación N° 03 con valores de 1.122, 1.153 y 1.172 ppm de hierro y estación N° 04 con valores 1.171, 1.187 y 1.252 ppm de hierro, en ambos casos para los meses de Mayo, Julio y Setiembre de 2010 respectivamente, estos valores sobrepasan los Límites Máximos Permisibles (LMP) para clase de agua III, según la nueva Ley General de Gestión Integral de Recursos Hídricos de Aguas D.L. 17752.

Ortega, A. F. (2001), en la investigación el pediatra y la Incineración de Residuos Sólidos, conceptos básicos y efectos adversos en la salud humana, su objetivo fue promover las enfermedades y efectos adversos sobre la salud humana, especialmente durante los primeros años de vida, asociados a los contaminantes medioambientales generados por la incineración de los residuos sólidos, concluyeron indicando que la incineración emite diversos contaminantes atmosféricos como: materia particulada, compuestos gaseosos (óxido de nitrógeno, cloruro de hidrogeno, monóxido de carbono y dióxido de carbón), aerosoles ácidos, metales (cadmio, plomo, mercurio, cromo, arsénico y berilio), compuestos orgánicos (dioxinas y furanos, policlorofenilos e hidrocarburos policíclicos aromáticos), originando la mortalidad.

### 2.1.3. EN LA REGIÓN DE PUNO

Delvi, V. (2017), El presente estudio se realizó en la comunidad de Ñaupapampa, Distrito de Asillo, Provincia de Azángaro, Departamento de Puno – Perú. Con el objetivo de evaluar el grado de contaminación de metales pesados en los suelos con riego y sin riego de la comunidad de Ñaupapampa del Distrito de Asillo – Puno. Y comparar con los estándares nacionales para calidad de suelo aprobada mediante Decreto Supremo N° 026-2013-MINAM, calidad de agua de riego para vegetales Decreto Supremo N°015-2015-MINAM y para cultivos de Alfalfa Var. W - 350 y Avena Var. Tayko. Los resultados exceden los niveles permisibles en series de suelos con riego, respecto a As que se encuentra por encima de los LMP según el DS-002-2013.MINAM, las aguas de la irrigación asillo no exceden los LMP, Los niveles de concentración de metales pesados en los cultivos de alfalfa Var – 350 y avena Var. Tayko. Se encontraron donde el contenido de mercurio 1.6mg/kg en cultivo de alfalfa en S1R1 y S2R2 1.31mg/kg y cadmio en cultivo de avena Cd 0.61mg/kg en S1R1 y en cultivo de alfalfa Cd 1.15mg/kg en S2R2 y en cultivo de avena Cd 1.26mg/kg en S2R2.

Raúl, Q. (2017), el presente trabajo se realizó en el río Coata, el objetivo de este trabajo fue evaluar la presencia y el grado de contaminación de las concentraciones de los metales pesados (cadmio, cromo y plomo) en los sedimentos superficiales, para ello se han realizado muestreos en dos épocas (avenidas y estiaje) en cinco puntos estratégicos, analizándose la concentración de los metales en mención en cada punto por el método de Espectrometría por emisión atómica. La concentración mínimo de Cadmio fue

0.00 mg/kg, del cromo 4.10 mg/kg y del plomo 3.75 mg/kg; siendo cromo la que se encuentra por encima, mientras cadmio y plomo se encuentran por debajo de las Estándares de Calidad Ambiental para suelo del Ministerio del Ambiente. Y se determinó que si hay contaminación en el rio Coata.

Rojas, M. (2004), en la investigación sobre la cantidad y disposición final de residuos sólidos en la ciudad de Puno, concluye que la producción de residuos sólidos es de 89 247 kg/día, con una incidencia en horas de la noche a partir de las 6:30 pm teniendo una PPC de 0.74 kg/día los mismos que son producidos por viviendas, instituciones, comercio, hoteles, colegios, mercados.

## **2.2.MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. BOTADERO DE BASURA**

Se le denomina botadero al sitio donde los residuos sólidos se abandonan sin separación ni tratamiento alguno, ese espacio funciona sin criterios técnicos en una zona de recarga situada junto a un cuerpo de agua, un drenaje natural, etc. En ese lugar no existe ningún tipo de control sanitario ni se impide la contaminación del ambiente. El aire, el agua y el suelo son deteriorados por la formación de gases y líquidos lixiviados, quemas, humos, polvo y olores nauseabundos (Tchobanoglus *et al.*, 1994).

El concepto de residuo comúnmente llamado “basura” pueden tener diferentes significados, algunos los definen como todo aquello que resulta de las actividades humanas pero que se rechaza por considerarlo inútil o inservible. También se define como residuo aquella materia originada en las diferentes



actividades cotidianas y que carecen de valor económico para quien la produce (Tchobanoglus *et al.*, 1994).

La Dirección General de Saneamiento Ambiental (DIGESA), define los residuos como un producto no intencionado derivado de las actividades individuales y colectivas cuya peligrosidad se evidencia para la sociedad cuando su manejo compromete la salud, el ambiente y el bienestar de la persona.

### **2.2.2. RESIDUOS URBANOS**

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son los que provienen de las actividades domésticas, comerciales, oficinas administrativas, colegios y otras entidades que generan residuos similares en los núcleos urbanos. Un RSU se convierte en municipal cuando entra en el sistema de recolección y/o disposición que la jurisdicción municipal establezca. Los RSU pueden ser agrupados de acuerdo a su origen, fuente o procedencia en domiciliarios y no domiciliarios. Los residuos domiciliarios incluyen los residuos domésticos, comerciales, institucionales, demoliciones o de construcción. Los residuos no domiciliarios son los que proceden de la limpieza de calles, parques, plazas, poda de árboles, etc (CEPIS/OPS/OMS, 2002).

De acuerdo a la Ley 1278 los RSU son todo aquello “generado en las casas resultado de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques. Incluye, además, los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares

públicos, siempre que no sean considerados por la Ley como residuos de otra índole”.

### 2.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS

- Según su procedencia, la Ley 1278 los clasifica en:
  - Residuo domiciliario.
  - Residuo comercial.
  - Residuo de limpieza de espacios públicos.
  - Residuo de establecimiento de atención en salud.
  - Residuo industrial.
  - Residuos de las actividades de construcción.
  - Residuos agropecuarios.
- Por su naturaleza los residuos pueden ser:
  - Urbanos.
  - Agrícolas.
  - Industriales.

### 2.2.4. CONTAMINACIÓN DEL SUELO

La contaminación del suelo consiste en la introducción de elementos extraños al sistema suelo o la existencia de un nivel inusual de uno propio que, por sí mismo o por su efecto sobre los restantes componentes, genera un efecto nocivo para los organismos del suelo, sus consumidores, o es susceptible de transmitirse a otros sistemas (Antonia María, 2005).

Actualmente, y en el ámbito nacional, la Ley 22/2011 de 28 Julio de residuos y suelos contaminados, define un suelo contaminado como: “Aquel cuyas

características han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes químicos de carácter peligroso procedentes de la actividad humana, en concentración tal que comporte un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente, de acuerdo con los criterios estándares que se determinen por el Gobierno, y así se haya declarado mediante resolución expresa.

### **2.2.5. AGUA CONTAMINADA**

El agua es una sustancia indispensable para la vida y por lo que se considera como el recurso natural más apreciado en el planeta y constituye una necesidad primordial para la salud por ello debe considerarse uno de los derechos humanos básicos (Acuario *et al.*, 1997).

La mala disposición de los residuos puede generar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, además de contaminar la población que habita en estos medios. La contaminación de los ríos y aguas subterráneas se debe a la percolación de los lixiviados a través del suelo por efecto de las lluvias, es uno de los problemas de contaminación más importantes que provoca la disposición inadecuada de los RSU. Además, el agua también se contamina por el vertido directo de RSU pudiendo llegar a modificar incluso el sistema de drenaje y el curso de los ríos (Acuario *et al.*, 1997).

### **2.2.6. SITIO CONTAMINADO**

Según la Guía para muestreos de suelos (RM N° 085-2014-MINAM); un sitio contaminado es: “Aquel suelo cuyas características químicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias químicas contaminantes

depositadas por la actividad humana, en concentraciones tal que en función del uso actual o previsto del sitio y sus alrededores representa un riesgo a la salud humana o el ambiente”.

### **2.2.7. METAL PESADO**

El término de metal pesado refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros (Lucho *et al.*, 2005).

Se consideran entre los metales pesados elementos como el plomo, el cadmio, el cromo, el mercurio, el zinc, el cobre, la plata, entre otros, los que constituyen un grupo de gran importancia, ya que algunos de ellos son esenciales para las células, pero en altas concentraciones pueden resultar tóxicos para los seres vivos, organismos del suelo, plantas y animales, incluido el hombre (Spain, 2003).

Los metales pesados han sido objeto de atención por sus características contaminantes peculiares (Facchinelli A., 2001):

- Poseen carácter acumulativo, su concentración no disminuye con el tiempo.
- Son necesarios y beneficiosos para las plantas y otros organismos a determinados niveles, pero también son tóxicos cuando exceden unos niveles de concentración.

- Están siempre presentes en los suelos a unos niveles de concentración denominados niveles fondo, cuyo origen no es externo, sino que proviene del material parental originario de las rocas y su transformación.
- Con frecuencia se encuentran como cationes que interactúan fuertemente con la matriz del suelo, lo que en ocasiones se traduce en Determinación de metales pesados en que incluso a altas concentraciones pueden encontrarse en forma química no dañina o inerte. Sin embargo estos metales pueden movilizarse y cambiar de forma química debido a cambios en las condiciones medioambientales. Por esta razón se les ha catalogado como bomba de relojería química (STIGLIANI, 1993).

#### **2.2.8. ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR METALES PESADOS**

Los metales pesados en los suelos pueden tener un origen geogénico o antropogénico. En principio, los contenidos de metales en suelos son debidos a la meteorización del material originario. Además, la erosión de los minerales provocada por el viento y la lluvia, y la descomposición de las rocas, son los principales procesos naturales por los cuales los metales pueden incorporarse al ciclo hidrológico. La liberación de cationes de una roca por meteorización depende de diferentes parámetros como clima, topografía, permeabilidad, tiempo, y actividad biológica, particularmente de los microorganismos (Granizo, 2007).

En los estudios de contaminación, no basta con detectar la presencia de contaminantes sino que se han de definir los máximos niveles admisibles y además se han de analizar posibles factores que puedan influir en la respuesta

del suelo a los agentes contaminantes entre ellos la biodisponibilidad del contaminante y su carga crítica. Los elementos traza en los suelos pueden ser geogénicos o antropogénicos. Los primeros dependen en gran medida de lo que se ha llamado geodisponibilidad (Alloway, 2013).

#### a) ORIGEN NATURAL

La geodisponibilidad de un elemento o compuesto químico de un material terrestre es aquella porción de su contenido total que puede liberarse a la superficie o cerca de la superficie (o biosfera) por procesos mecánicos, químicos, o biológicos. Por tanto, los metales pesados geodisponibles son los que pasan de la roca madre a los suelos tras ser liberados por meteorización, y constituyen, junto a otros procedentes de emisiones volcánicas y lixiviadas de mineralizaciones, los denominados como geogénicos (Alloway, 2013).

Los suelos que proceden de rocas básicas y ultrabásicas (anfíbolitas, serpentinas o granulitas) presentan altos contenidos en Cr, Ni, Cu y Mn. Estos metales se mantienen unidos a las rocas en formas muy estables y difícilmente asimilables por los organismos (Alloway, 2013).

#### b) ORIGEN ANTROPOGENICO

Las principales fuentes antropogénicas de metales pesados en suelos, son los siguientes:

- **Residuos domésticos:** aproximadamente el 10% de la basura está compuesta por metales. Su enterramiento puede contaminar las aguas subterráneas, mientras que la incineración puede contaminar la atmósfera al liberar metales volátiles y como consecuencia contaminar los suelos. Por otra parte, las basuras

no controladas obviamente son una importante fuente de contaminantes para el suelo y las aguas superficiales (Alloway, 2013).

- **Actividades agrícolas:** riego, fertilizantes inorgánicos, pesticidas, estiércol, enmiendas calizas y, sobre todo, lodos residuales de depuradoras.
- **Actividades industriales:** las principales industrias contaminantes son las fábricas de hierro y acero, que emiten metales asociados a las menas de Fe y Ni. La fabricación de baterías produce cantidades considerables de Pb. Las industrias de productos químicos, fármacos, pigmentos y tintes, etc. Producen distintos tipos de contaminantes. En general las áreas altamente industrializadas incluyen As, Cd, Hg y Pb (Alloway, 2013).

En la aplicación de biosólidos sobre el suelo agrícola se presenta un alto contenido de metales pesados como: Zn, Pb, Cu y Cd en el suelo hasta una profundidad de 30 o 40 centímetros, apareciendo su máximo incremento en los primeros 5 centímetros de la superficie. El problema está en saber si la parte asimilable para las plantas sigue el mismo proceso o si, por el contrario, su distribución es totalmente diferente. Según varios autores, los metales como contaminantes del suelo son persistentes e irreversibles, especialmente el Cadmio, el cual es asimilado por la vegetación, lo que puede perturbar gravemente a las plantas y a los mamíferos que las consuman (Vélez, 2007).

### 2.2.9. MOVILIZACIÓN DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO

Una vez en el suelo, los metales pesados pueden quedar retenidos en el mismo, pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Pagnanelli *et al.*, 2004).

Los metales pesados adicionados a los suelos se redistribuyen y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida. Dicha redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, dependiendo de las especies del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo (Han, 2003).

En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: la primera, quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo u ocupando sitios de intercambio; segunda, específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo; tercera, asociados con la materia orgánica del suelo y cuarta, precipitados como sólidos puros o mixtos. Por otra parte, pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pueden pasar a la atmósfera por volatilización y pueden ser movilizados a las aguas superficiales o subterráneas (García y Dorronsoro, 2005).

Los factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son: (Sauquillo *et al.*, 2003).

- Características del suelo: pH, potencial redox, composición iónica de la solución del suelo, capacidad de cambio, presencia de carbonatos, materia orgánica, textura, etc.
- Naturaleza de la contaminación: origen de los metales y forma de deposición.
- Condiciones medioambientales: acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad, etc.



**En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir tres diferentes vías** (García y Dorronsoro, 2005).

- Pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas.
- Pueden pasar a la atmósfera por volatilización.
- Pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

## **1. MECANISMO DE MOVILIZACIÓN DE LOS METALES EN EL SUELO**

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

En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: la primera, quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo u ocupando sitios de intercambio; segunda, específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo; tercera, asociados con la materia orgánica del suelo y cuarta, precipitados como sólidos puros o mixtos. Por otra parte, pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pueden pasar a la atmósfera por volatilización y pueden ser movilizados a las aguas superficiales o subterráneas (García y Dorronsoro, 2005).

La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo hacia las aguas subterráneas y difiere de si su origen es natural o antrópico y, dentro de este último, al tipo de fuente antrópica (Burt, y otros, 2003).

### **b. Dinámica de los metales pesados en el suelo**

Los metales pesados presentes en los suelos no se comportan como elementos estáticamente inalterables, sino que siguen unas pautas de movilidad generales. La dinámica de los metales pesados en el suelo puede clasificarse resumidamente en cuatro vías (Sauquillo *et al.*, 2003).

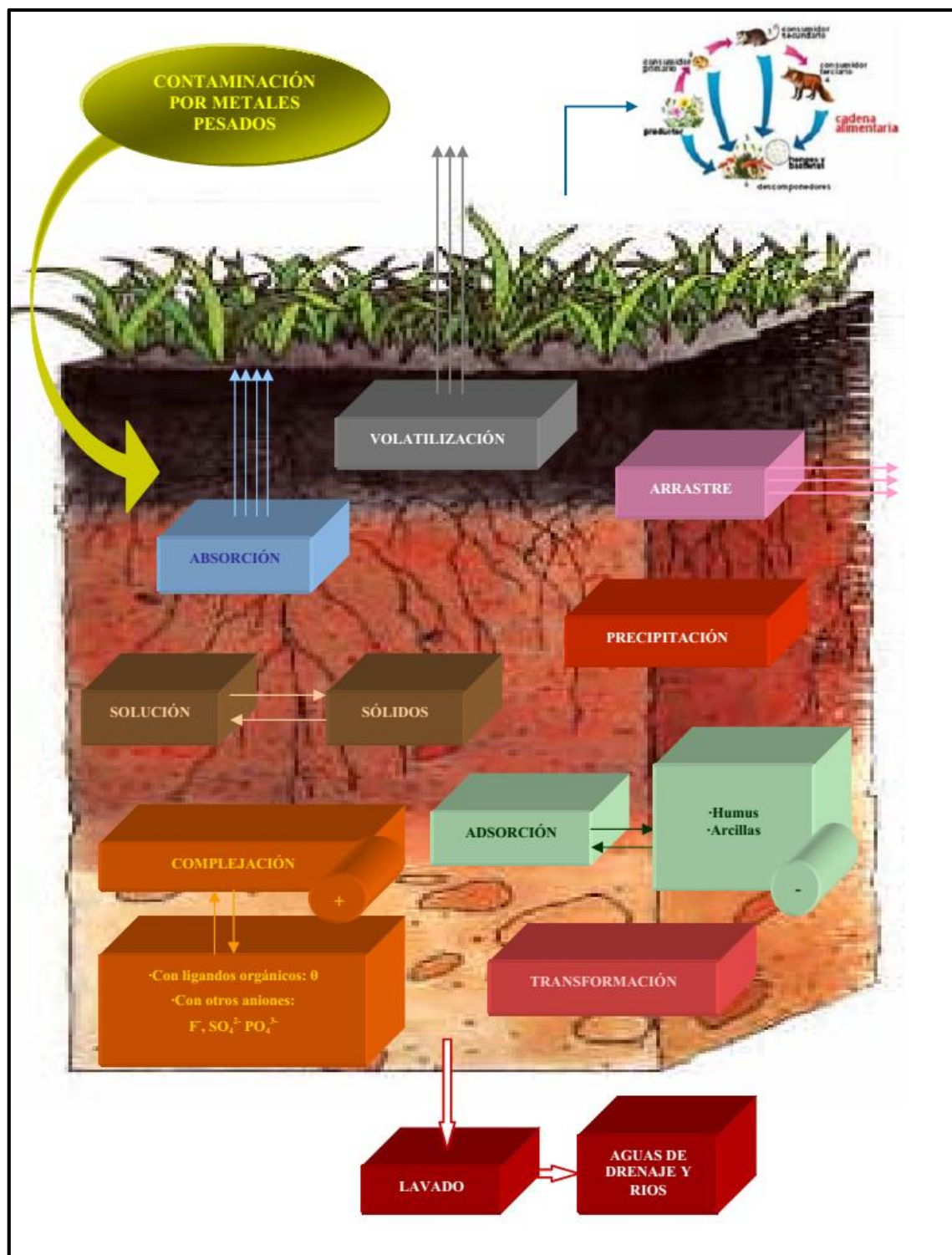
- Movilización a las aguas superficiales o subterráneas.
- Transferencia a la atmósfera por volatilización.
- Absorción por las plantas e incorporación a las cadenas tróficas.
- Retención de metales pesados en el suelo de distintas maneras: disueltos o fijados, retenidos por adsorción, complejación y precipitación.

Los factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son características del suelo: pH, potencial redox, composición iónica de la solución del suelo, capacidad de intercambio (catiónico y/o aniónico), presencia de carbonatos, materia orgánica, textura, entre otras. La naturaleza de la contaminación y el origen de los metales y formas de deposición y condiciones medio ambientales producen acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad en los suelos (Sauquillo *et al.*, 2003).

### **c. Precipitación**

Los iones metálicos en la solución suelo pueden precipitar con un agente químico, generalmente aniones como fosfatos, carbonatos o sulfatos (Rieuwerts *et al.*, 1998).

También pueden precipitar como hidróxidos al reaccionar con los iones de la solución. La precipitación es improbable que suceda en condiciones ácidas, excepto cuando hay grandes cantidades de cationes y aniones, por ejemplo la precipitación de Cd es poco probable que ocurra en suelos neutros y ácidos, excepto cuando hay altas concentraciones de carbonatos, sulfatos o fosfatos (Boekhold *et al.*, 1993).



**Figura 1:** Dinámica de los metales pesados en el suelo. Modificado de (García y Dorronsoro, 2005).

## 2.2.10. MOVILIZACIÓN DE LOS METALES PESADOS EN FORMA NATURAL POR EL VIENTO Y AGUA

### MOVILIZACIÓN NATURAL DE LOS METALES PESADOS

La movilidad natural de los metales pesados en los suelos es consecuencia de la actividad biológica, de las interacciones sólido-líquido y de la acción del agua.

La circulación de metales con las aguas está influenciada por el balance hídrico del agua en el suelo, donde interviene la cantidad de precipitación, evaporación, escorrentía e infiltración del agua, en función de las propiedades físicoquímicas del suelo. Es de resaltar la influencia que ejerce el pH del suelo, ya que la mayoría de los elementos traza, con la excepción de Mo, As y Se, son más móviles en condiciones de acidez creciente (Alloway, 2013), en la siguiente figura 2 podemos observar la movilización natural de los metales pesados.

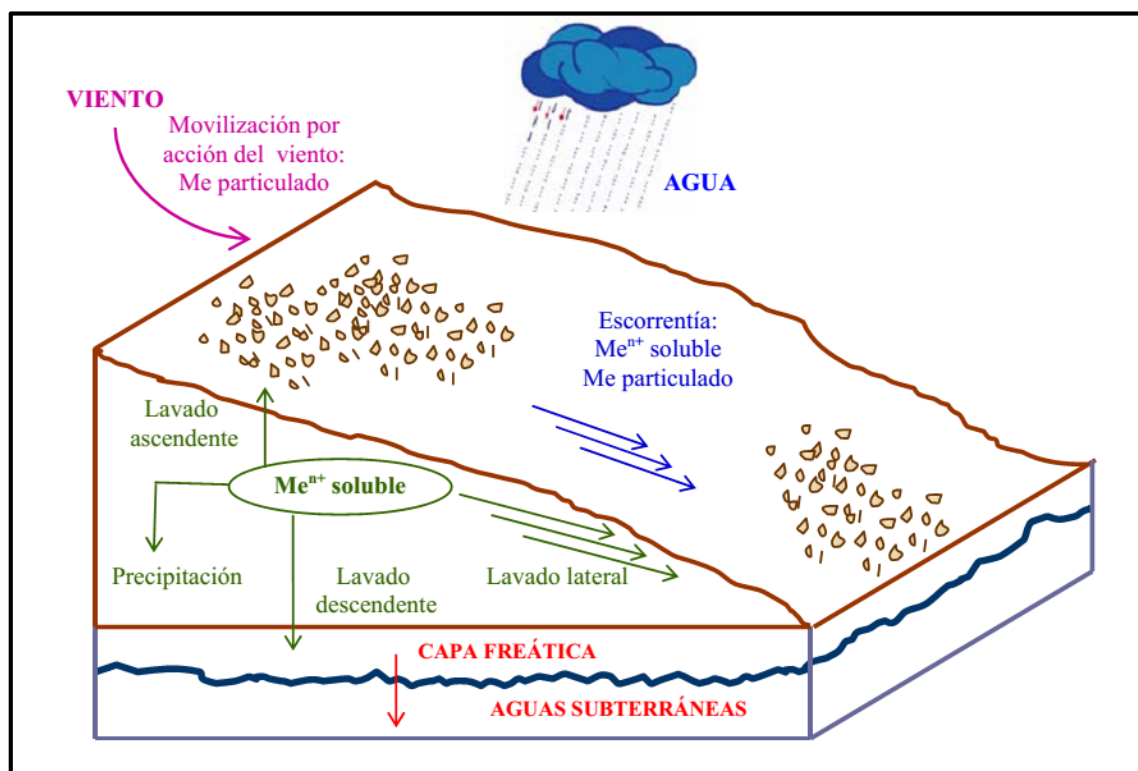


Figura 2: Movilización natural de metales pesados.

La movilización de material particulado también es transportado por el aire tiene importantes implicaciones desde el punto de vista de la salud, básicamente a través de la inhalación de pequeñas partículas de 10 micras de diámetro o menos que pueden ser absorbidas en la región alveolar del pulmón por lo que representa una amenaza para la salud pública (Alloway, 2013).

### **2.2.11. EFECTO DE LOS METALES PESADOS COMO CADMIO, MERCURIO, PLOMO, ARSÉNICO Y COBRE**

El término de metal pesado refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros (Lucho *et al.*, 2005).

#### **a. Cadmio y sus efectos**

Dentro de los elementos más contaminantes, se encuentra el cadmio, metal pesado de color blanco con ligero matiz azulado, blando, dúctil y resistente a la corrosión, ubicado en el grupo IIB de la tabla periódica de elementos químicos, tiene como característica número atómico 48, masa atómica 111.4 y densidad relativa de 8,65, además de ser insoluble en agua y en disolventes orgánicos (Gonzales, 2004).

#### **El efecto del cadmio en el suelo**

Cuando la concentración del cadmio en el suelo son altas esto puede influir en los procesos del suelo de microorganismos y amenazar a todo el ecosistema del suelo. El Cd puede ser transportado a grandes distancias cuando es absorbido

por los biosólidos. Los biosólidos ricos en Cd pueden contaminar las aguas superficiales y los suelos (Lue-Hing *et al.*, 1992).

En el suelo las concentraciones de Cd se presentan en 0.3-0.6 mg kg<sup>-1</sup> y en biosólidos 3.28 mg kg<sup>-1</sup> (Ortiz *et al.*, 1999).

Cuando el Cd está presente en el suelo este puede ser extremadamente peligroso. En los suelos que son ácidos, aumenta la absorción de Cd por las plantas. Esto es un daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir. El Cd puede acumularse en sus cuerpos, especialmente cuando estos comen muchas plantas diferentes. Las vacas pueden acumular grandes cantidades de Cd en sus riñones debido a esto. Las lombrices y otros animales esenciales para el suelo son extremadamente sensibles al envenenamiento por Cd. Pueden morir a muy bajas concentraciones y esto tiene consecuencias en la estructura del suelo. Cuando las concentraciones de Cd en suelo son altas esto puede influir en los procesos del suelo por los microorganismos y amenazar a todo el ecosistema (Martin *et al.*, 2002).

### **Efectos causados por el Cd a la salud humana**

Se ha demostrado que el Cd puede ocasionar problemas renales en los seres humanos y puede concentrarse en el hígado, riñones y páncreas (Arboleda V., 2000).

Además del tracto gastrointestinal y el pulmón, es el riñón el órgano más afectado por exposición crónica al cadmio. Se ha observado que quienes trabajan en fábricas expuestos a niveles altos de cadmio en el aire son propensos a tener enfisema, además de que la exposición prolongada ocasiona cáncer pulmonar (Arboleda V., 2000).



### **b. Arsénico y sus efectos**

El arsénico es un elemento perteneciente al grupo V-A de la tabla periódica, de número atómico 33 y peso atómico 74,92 y se asemeja a la química elemental del fósforo (Bradl *et al.*, 2005).

#### **Efecto del As en el suelo**

En el caso del arsénico, múltiples factores edáficos afectan a su disponibilidad, tanto para plantas como para organismos: parámetros químicos (pH, presencia de óxidos de Fe, fósforo, materia orgánica etc), físicos (compactación, porosidad, etc), ambientales (clima, relieve, etc) y biológicos (cambios en la especiación). Todos estos factores van a condicionar el dinamismo y la complejidad del ciclo biogeoquímico del As en el suelo (Maz y Azcue, 1993).

#### **Efecto del As en la salud**

La exposición puede ocurrir a través del contacto con alimentos o agua que le contengan. El arsénico puede causar irritación al estómago e intestinos, disminución en los glóbulos rojos y blancos, infecciones en la piel, irritación en los pulmones, esterilidad y abortos, daños cerebrales y lesiones nerviosas. Puede intensificar las posibilidades de desarrollar el cáncer, especialmente de la piel, hígado y linfa (Palencia, 2007).

### **c. Mercurio y sus efectos**

El Hg es un elemento tóxico en concentraciones traza en el ambiente. Su forma química, movilización y redistribución son influenciado por procesos bióticos y abióticos (García y Dorronsoro, 2005).



El mercurio (Hg) genera uno de los mayores problemas ambientales actuales debido a su alta toxicidad y capacidad para bioacumularse y biomagnificarse por lo que altera el equilibrio ecológico y genera graves problemas de salud pública. El Hg es un metal que ocurre en forma natural en el ambiente y que tiene varias formas químicas. El Hg metálico es un líquido inodoro, de color blanco-plateado brillante. Al calentarlo se transforma en un gas inodoro e incoloro. Se combina con otros elementos, por ejemplo cloro, azufre u oxígeno para formar compuestos de Hg inorgánicos o "sales," las que son generalmente polvos o cristales blancos; también se combina con carbono para formar compuestos de Hg orgánicos. El más común, metilmercurio, es producido principalmente por organismos microscópicos en el suelo y en el agua. Mientras mayor es la cantidad de Hg en el medio ambiente, mayor es la cantidad de metilmercurio que estos organismos producen (García y Dorronsoro, 2005).

### **Efecto del mercurio en el suelo**

La acumulación de Hg en el suelo se encuentra controlada principalmente por la formación de complejos orgánicos y por la precipitación. El Hg se encuentra asociado a Cl<sup>-</sup>. En presencia de un exceso Cl<sup>-</sup> la adsorción de Hg<sup>+</sup> en las partículas minerales del suelo y la materia orgánica disminuye debido a la formación de complejos de Hg – Cl altamente estables que poco adsorbidos (Orozco *et al.*, 2003).

### **El efecto del mercurio en la salud**

Presenta los siguientes síntomas pérdida de apetito, irritación cutáneas, aumento de la secreción salivar, insuficiencia renal, anemia, depresión, insomnio, etc. (Orozco *et al.*, 2003). El mercurio líquido no es muy tóxico y la mayoría de lo que se ha ingerido se excreta por el cuerpo. En forma de vapor es altamente tóxico,

penetra en los pulmones donde se difunde a través del torrente sanguíneo que luego alcanza el cerebro. Las fuentes de contaminación más habituales están en ciertos alimentos, como el marisco o el atún, los cuales toman y acumulan el mercurio de entornos marinos contaminados por dicho metal; otras fuentes posibles son ciertos plásticos, los colores de impresión e insecticidas (Masters y Ela, 2008).

#### **d. Plomo y sus efectos**

Se ubica en el grupo IVA (metales) en la tabla periódica. Este elemento es una de las bases de la civilización tecnológica, ya que infinidad de industrias lo utilizan como materia prima o como componente básico de sus productos (Bradl et al., 2005).

#### **Efecto del Pb en el suelo**

El plomo está fuertemente retenido, ya sea por el humus, u por las fases sólidas arcillosas en donde se adsorbe químicamente, el Pb (II) puede ser retenido en la superficie de los suelos en arcillas, óxidos, hidróxidos, y materia orgánica, siendo controlados por reacciones de adsorción. Los metales en forma de iones libres o formando complejos, pueden ser transportados en el ambiente, pasando a través de los suelos y pueden introducirse en el agua por lixiviación, o formar precipitados en la fase sólida, o ser retenidos por difusión en los poros de los sólidos (Domenech y Peral, 2006).

#### **El plomo se adsorbe por la materia orgánica en el suelo**

Si el suelo tiene alto porcentaje de carbonato de Ca, se forma carbonato de Pb y disminuye la absorción por las plantas. Por tanto la sustitución de los cationes inorgánicos intercambiables de la montmorillonita por ligandos

orgánicos da lugar en la mayoría de los casos a una reducción de la capacidad adsorbente de las arcillas para el Pb (II), coincidiendo con resultados obtenidos por (Celis *et al.*, 2000).

El plomo es un contaminante mayor en el ambiente y que genera gran preocupación para la salud humana y los ecosistemas debido a que por peso molecular tiende acumularse en suelos, sedimentos y cuerpos de agua en forma rápida y a permanecer en el ambiente como un contaminante atmosférico (Ortiz *et al.*, 1999).

### **Efecto del Pb en la salud humana**

Este metal puede ingresar al cuerpo por medio de diversas vías tales como la inhalación de aire con partículas de plomo o el consumo de agua y alimentos contaminados. Según estudios, se ha determinado que los síntomas de una exposición a plomo varían desde ligeros dolores de cabeza, irritabilidad y dolor abdominal hasta síntomas relacionados con el sistema nervioso (Jarup, 2016).

Lo más preocupante es que los efectos de la exposición al plomo son visibles tanto a largo como a corto plazo, y no es necesaria la exposición a muy elevadas concentraciones para presentar síntomas. Así por ejemplo, se ha demostrado que una larga exposición a metales pesado en bajas concentraciones tiene una relación a la generación de tumoraciones cancerígenas siendo el cáncer al pulmón y al estómago los más reportados. Es muy mencionada la disminución de la capacidad intelectual en niños debido a la exposición prolongada a plomo así como desordenes neuropsiquiátricos como deficiencia de atención y comportamiento antisocial. Así mismo, se ha

asociado la reducción de la capacidad reproductiva a la exposición a plomo, así como otras enfermedades del tipo cardiovascular en adultos. (Jarup, 2016).

#### **e. Cobre y sus efectos**

El Cu pertenece al grupo IB de la tabla periódica. En el ambiente se encuentra comúnmente con una valencia de 2, pero puede existir con valencias 0, +1 y +3. En el suelo el cobre se encuentra en general en forma de sulfatos simples o complejos (Espinosa, y otros, 2010).

#### **Efecto del cobre en el suelo**

La fuerte absorción del elemento Cu puede conducir a la acumulación del mismo en la capa superior del suelo. La contaminación del suelo por Cu es de origen antrópico, ya que es el resultado de la utilización de fertilizantes, sprays, desechos municipales en la agricultura, así como de emisiones industriales que se vierten en ríos y son utilizados por los agricultores (Martínez, 2004).

En un estudio realizado por (Álvarez, 2004), el objetivo principal fue determinar si los biosólidos al interactuar con el suelo originaban un cambio en sus propiedades químicas. El suelo y los biosólidos se incubaron 7 semanas a temperatura y humedad constantes. Las concentraciones de Cu demostraron diferencias significativas por la influencia de factores como: el tipo de suelo, tiempo de incubación y dosis. Las concentraciones de Cu al día cero en el suelo y biosólidos fueron de 6.5 y 7 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, al día 30 en el suelo fueron de 7 y en biosólidos 8 mg kg<sup>-1</sup> y al día 49 en suelo y biosólidos 6.6 y 7.1 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente.

## **Efecto del Cu en el ser humano**

El cobre no posee efectos tóxicos de importancia en el ser humano, muy por el contrario es necesario, así como el hierro, para el buen funcionamiento del organismo como complemento de las vitaminas. Las plantas y los animales también requieren del cobre para mantener un crecimiento saludable que también beneficia al ser humano mediante la cadena alimenticia (Torres, 2005).

### **2.2.12. FACTORES QUE AFECTAN LA ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS**

Los principales factores del suelo que afectan la acumulación y disponibilidad de los metales son:

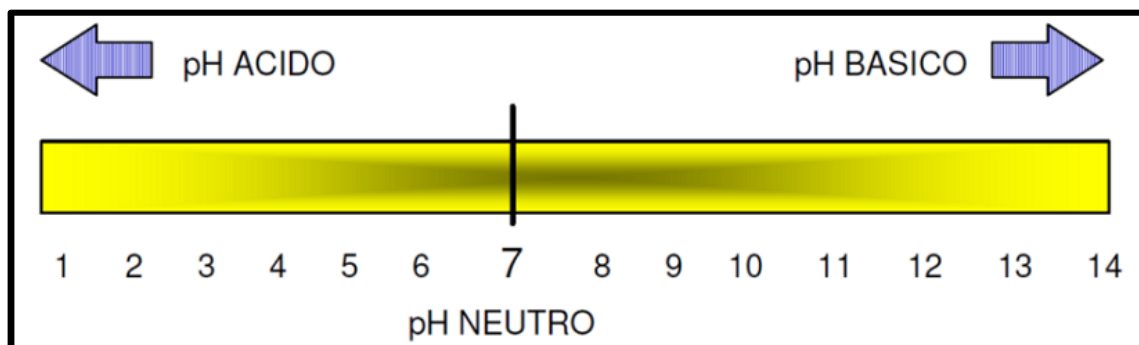
#### **a) pH.**

Es uno de los parámetros de más influencia en los procesos edáficos, en la reactividad del suelo y en la movilidad de los contaminantes (Kabata y Pendias, 2000). Esencialmente las fracciones más móviles de iones ocurren en los rangos menores de pH. Aunque la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido.

En general, con un aumento del 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 que aquellos ligeramente ácidos (Kabata y Pendias, 2000).

(Suave y Henderson, 2000) Han estudiado la variación en la solubilidad de cobre y cadmio en suelos contaminados en función de los niveles de metal presente en el suelo, el pH y el contenido en materia orgánica. La influencia del pH también se pone de manifiesto al estudiar la distribución de metales entre suelo y

disolución de suelo, observando un decrecimiento marcado de la disponibilidad del metal al incrementar el pH.



**FIGURA 3:** Escala del pH, menor de 7, simboliza ácidos, mayor que 7 simboliza básico.

El pH es por tanto, un parámetro importante para definir la movilidad de los diferentes componentes minerales, ya que su valor influye directamente en la solubilidad de los cationes. En algunos los fijara, disminuyendo su solubilidad aparente, con lo que las plantas no podrán absorberlos y por el contrario, en otros casos favorecerá su movilidad aumentando su solubilidad y haciendo que la concentración de las especies resultantes alcance niveles tóxicos (Krishnamurti *et al.*, 1997).

### **b) Materia Orgánica**

La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como es el cadmio, plomo y arsénico que pueden quedar en forma no disponible por las plantas, motivo por el cual, algunas plantas crecidas en suelos ricos en materia orgánica, presentan carencia de elementos como el Cd, Pb y Zn, eso no significa que los suelos no estén contaminados ya que las poblaciones microbianas se reducen notablemente. La textura favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo, por ejemplo la

arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio, por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos (Lama, 1995).

Existen numerosos estudios sobre la influencia que la materia orgánica de suelo ejerce sobre la retención de los metales:

Elliot et al., (1985), han estudiado el efecto de la adsorción sobre Cd, Cu y Pb simultáneamente de la materia orgánica de los suelos, sugiriendo que un mayor contenido en materia orgánica incrementa la retención del cadmio.

Strawn y Sparks (2000), en sus estudios sobre la influencia de la materia orgánica del suelo sobre la cinética y el mecanismo de las reacciones adsorción desorción del Pb (II) en el suelo, encuentran que la materia orgánica tiene un papel importante en los procesos en los que se produce una baja desorción del metal.

Como ha podido comprobarse, la complejación por la materia orgánica del suelo, es uno de los procesos que gobiernan la solubilidad y disponibilidad de los metales pesados. Por tanto, la complejación por la materia orgánica del suelo es uno de los procesos que gobiernan la solubilidad y la bioasimilación de metales pesados. La toxicidad de los metales pesados se potencia, en gran medida, por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión (Adriano, 1986).

### **c) Textura**

La arcilla tiende a adsorber a los metales, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio.

#### **d) Conductividad Eléctrica**

La conductividad eléctrica es la magnitud que se utiliza para caracterizar el grado de salinidad de un suelo, ya que está directamente relacionada con la concentración de iones en disolución. Los suelos con elevada salinidad suelen ser suelos de pH básicos. Es un índice de la concentración total de sales disueltas en el agua de riego y su medida se basa en el principio de que la corriente transmitida por una solución que contenga sales, aumentará a medida que la concentración de sales en solución aumente (Casanova, 2005).

El aumento de la salinidad puede incrementar la movilización de metales pesados por dos mecanismos. En primer lugar, los cationes asociados con las sales (sodio y potasio) pueden reemplazar a metales pesados en lugares de adsorción. En segundo lugar, los aniones cloruro pueden formar complejos solubles estables con metales pesados tales como cadmio y mercurio (Casanova, 2005).

#### **e) Otros factores**

Hay otros factores que afectan la solubilidad de los metales en el suelo y su biodisponibilidad para las plantas. Entre ellos la actividad microbiana del suelo, por ejemplo, puede inmovilizar metales favoreciendo la precipitación de sulfuros y óxidos de Fe hidratados. Las bacterias del suelo afectan la biodisponibilidad al adsorber metales a través de grupos orgánicos funcionales de su pared celular (Ernest, 1996).

### **MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE LOS METALES PESADOS**

Las medidas de mitigación ambiental, constituyen el conjunto de acciones de prevención, control, atenuación, restauración y compensación de impactos



ambientales negativos. Evitar el impacto; minimizar el impacto limitando el grado de una acción mediante obras de ingeniería y manejo; rectificar el impacto a través de la reparación, rehabilitación o recuperación del recurso afectado; reducir o eliminar el impacto con el transcurso del tiempo mediante la protección, mantenimiento; y compensar el impacto reemplazando u ofreciendo recursos o entornos sustitutos ( Ingaroca y Juan, 2014).

### **2.2.13. ANTECEDENTES DE LA ESPECTROSCOPIA ATÓMICA**

El término espectroscopia significa la observación y el estudio del espectro, o registro que se tiene de una especie tal como una molécula, un ion o un átomo, cuando estas especies son excitadas por alguna fuente de energía que sea apropiada para el caso (Rocha, 2000).

### **ESPECTROSCOPIA DE EMISIÓN EN ÁTOMOS**

La espectroscopia de emisión en átomos se basa en medir la intensidad de una línea de emisión específica del elemento que se desea determinar. Cuanto mayor sea la intensidad de ésta línea mayor es su concentración (Rocha, 2000).

## **2.3.MARCO LEGAL**

### **2.3.1. LEY GENERAL DE RESIDUOS SÓLIDOS**

Según la Ley General de los Residuos Sólidos N° 23734, se pone de manifiesto como finalidad, el manejo integral y sostenible, mediante la articulación, integración y compatibilización de las políticas, planes, programas, estrategias y acciones de quienes intervienen en la gestión y manejo de los residuos sólidos, aplicando los lineamientos de políticas que se establecen. Aclara que la responsabilidad de la gestión de los residuos sólidos es de las municipalidades provinciales y distritales, conforme lo señalado en

los artículos 10,11 y 12 y las EPS – RS que estas contraten, son responsables del manejo sanitario y ambiental adecuado de los residuos, domésticos y comerciales, como los producidos por otras fuentes (Ley N° 27314, 2000).

### **2.3.2. LEGISLACIÓN AMBIENTAL INTERNACIONAL**

Existe un marco legislativo que viene dado desde la unión europea al que se adaptan todo los países miembros de la misma y que hace referencia a la calidad de suelo, agua y sedimento y al uso de ellos.

Entre ellas tenemos la directiva guía de calidad del agua para la protección de la agricultura de CANADA (Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life), (Pineda, 2006).

### **2.3.3. ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL**

El Estándar de Calidad Ambiental - ECA es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos. (Ley General del Ambiente LEY N° 28611, Art. 31.1).

**Tabla 1:** Estándares de Calidad Ambiental para el Suelo – Perú y los Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental.

Nombre químico	ECA Peruano suelo agrícola (mg/kg)	CEQG Canadienses suelo agrícola (mg/kg)
Antimonio (Sb)	-	20
Arsénico (As)	*50	*12
Cadmio (Cd)	1.4	1.4
Cromo (Cr)	-	64
Cobre (Cu)	-	63
Plomo (Pb)	70	70
Mercurio (Hg)	6.6	6.6
Molibdeno (Mo)	-	5
Níquel (Ni)	-	50
Plata (Ag)	-	20
Talio (Tl)	-	1
Estaño (Sn)	-	5
Zinc (Zn)	-	200

CEQG: Canadian Environmental Quality Guidelines (Normas de Calidad Ambiental Canadienses). ECA: Estándares de calidad Ambiental.

Nota: \*Existe una variación de concentración para el As.

#### **2.3.4. LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EL SUELO SEGÚN LAS NORMAS DE PERÚ**

El Límite Máximo Permisible - LMP, es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos. (Ident. Ley General del Ambiente Art. 32.1).

#### **2.3.5. ESTÁNDARES DE CALIDAD PARA SUELOS (ECAS)**

Los estándares de calidad para suelos se aprobaron mediante la resolución Ministerial N° 225-2012- MINAM, estándares de calidad ambiental (ECA) y límites máximos permisibles (LMP), se define al estándar de calidad ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Aprobada mediante política ambiental decreto supremo N° 002-2013-MINAM, consignada entre los lineamientos de gestión integrada de la calidad ambiental, referidos al control integrado de la contaminación, el de contar con parámetros de contaminación para el control y mantenimiento de la calidad del suelo.

**Tabla 2:** Estándares de Calidad Ambiental para Suelo del Ministerio de Ambiente.

N°	Parámetros	Usos del Suelo			Método de Ensayo
		Suelo Agrícola	Suelo Residencia/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivos	
I	<b>orgánicos</b>				
1	Benceno (mg/kg MS)	0,03	0,03	0,03	EPA 8260-B EPA 8021-B
2	Tolueno (mg/kg MS)	0,37	0,37	0,37	EPA 8260-B EPA 8021-B
3	Etilbenceno (mg/kg MS)	0,082	0,082	0,082	EPA 8260-B EPA 8021-B
4	Xileno (mg/kg MS)	11	11	11	EPA 8260-B EPA 8021-B
5	Naftaleno (mg/kg MS)	0,1	0,6	22	EPA 8260-B
6	Benzo(a) pireno (mg/kg MS)	0,1	0,7	0,7	EPA 8270-B
6	Fracción de hidrocarburos F1 (C6-C10) (mg/kg MS)	200	200	500	EPA 8015-B
7	Fracción de hidrocarburos F2 (>C10-C28) (mg/kg MS)	1200	1200	5000	EPA 8015-M
8	Fracción de hidrocarburos F3 (>C28-C40) (mg/kg MS)	3000	3000	6000	EPA 8015-D
10	Bifenilos policlorados – PCB (mg/kg MS)	0,5	1,3	33	EPA 8270-D
11	Aldrin (mg/kg MS)	2	4	10	EPA 8270-D
12	Endrin (mg/kg MS)	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D
13	DDT (mg/kg MS)	0,7	0,7	12	EPA 8270-D
14	Heptacloro (mg/kg MS)	001	001	001	EPA 8270-D
II	<b>Inorgánicos</b>				
15	Cianuro libre (mg/kg MS)	0,9	0,9	8	EPA 9013-A/APHA-AWWA-AEF4500 CN F
16	Arsenico total (mg/kg MS)	50	50	140	EPA 3050-B EPA 3051
17	Bario total (mg/kg MS)	750	500	2000	EPA 3050-B EPA 3051
18	Cadmio total (mg/kg MS)	1.4	10	22	EPA 3050-B EPA 3051
19	Cromo VI (mg/kg MS)	0,4	0,4	1,4	DIN 19734
20	Mercurio total (mg/kg MS)	6.6	6.6	24	EPA 7471-B
21	Plomo total (mg/kg MS)	70	140	1200	EPA 3050-B EPA 3051

Fuente: (MINAM, 2013).

EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección de los Estados Unidos).

DIN: German Institute for Standardization.

**Suelo:** Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad (MINAM, 2013).

**Suelo agrícola:** Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas (MINAM, 2013).

**Suelo comercial:** Suelo en el cual, la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios (MINAM, 2013).

**Suelo industrial/extractivo:** Suelo en el cual, la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes (MINAM, 2013).

**Suelo residencial/parques:** Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas: incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento (MINAM, 2013).

## 2.4.MARCO CONCEPTUAL

**Metal pesado:** Se define como “metal pesado” aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a  $5 \text{ g cm}^{-3}$  cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20. Su presencia en la corteza terrestre es inferior a 0.1% y casi siempre menor del 0.01% (Navarro-Aviño *et al.*, 2007).

**pH:** El pH es una medida de la acidez o de la alcalinidad de una sustancia. Ésta medida es necesaria porque muchas veces no es suficiente decir que el agua está caliente, o en ocasiones, no es suficiente decir que el jugo de limón es ácido, al saber que su pH es 2.3 nos dice el grado exacto de acidez, necesitamos ser específicos (Gonzales, 2004).

El pH es generalmente el principal controlador de las concentraciones de los metales en suelos, la solubilidad de un metal tiende a incrementar a unidades de pH bajas y disminuye al aumentar. El pH influye en la disponibilidad de nutrientes. También influye en la actividad de los microorganismos responsables de la descomposición de la materia orgánica y las transformaciones química en el suelo (Gonzales, 2004).

**Manejo de los Residuos Sólido:** Es una técnica operativa de residuos sólidos de manipuleo, acondicionamiento, transporte, transferencia, tratamiento, disposición final o cualquier otro procedimiento técnico operativo utilizado desde la generación hasta la disposición final. La meta es realizar una gestión que sea ambiental y económicamente adecuada.

**Residuos sólidos:** Se dice residuos sólidos a cualquier producto, materia o sustancia generada por la actividad del hombre o por la naturaleza, que ya no tiene más función para la actividad que lo generó.

**El suelo:** Se llama suelo al sustrato en el que se desarrolla la vida vegetal y animal, y que actúa como filtro y transformador de los contaminantes.

También se puede definir como “suelo”, al cuerpo natural que se encuentra en la capa superior de la corteza terrestre y está situado sobre el lecho rocoso. El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, aire y organismos vivos. Éste se forma debido a los fenómenos físicos, químicos y biológicos que se originan sobre el medio rocoso (roca madre), produciendo su meteorización y dando como resultado un suelo.

**Botadero a cielo abierto:** Los botaderos de basura a cielo abierto son cuna y hábitat de fauna nociva transmisora de múltiples enfermedades. En ellos se observa la presencia de perros, vacas, cerdos y otros animales que representan un peligro para la salud y la seguridad de los pobladores de la zona.

**Geoestadística:** La geoestadística es una ciencia que utiliza la información recogida de la superficie terrestre, expresada en cifras, para conocer la mayor o menor probabilidad de existencia y distribución de yacimientos mineros. Ello permite, a la vez, estimar el mejor modo de llevar a cabo los sucesivos procedimientos extractivos.

**SIG:** Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema empleado para describir y categorizar la Tierra y otras geografías con el objetivo de mostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente. Este trabajo se realiza fundamentalmente con los mapas.



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se describe el área de estudio, las técnicas empleadas, para determinar las concentraciones de los trazas como cadmio, plomo, mercurio, arsénico y cobre en el suelo del botadero de Cancharani y también la metodología empleada para esta investigación.

#### 3.1. ÁREA DEL ESTUDIO

El área de estudio está ubicada al sur oeste del cerro Cancharania una altitud de 4000 msnm. La construcción de este vertedero antiguo data del año 1997, ocupa un área total de 10 hectáreas, con una capacidad de almacenamiento de 263,340 m<sup>3</sup>.

##### 3.1.1. LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN POLÍTICA

El área de estudio se llevó a cabo en los suelos del botadero a cielo abierto que está ubicado en Cancharani de la ciudad de Puno.

**Región** : Puno

**Departamento** : Puno

**Provincia** : Puno

**Distrito** : Puno

#### COORDENADAS GEOGRÁFICAS

**Latitud** : 15° 49' 35" Sur

**Longitud** : 70° 00' 45" Oeste

**Altitud** : 4000 m.s.n.m

### 3.1.2. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Para llevar a cabo la investigación se seleccionaron nueve puntos tomando en cuenta el botadero a cielo abierto que pudiese contribuir con la contaminación del suelo con los metales pesados como Cd, Hg, Cu, As y Pb. La ubicación de los puntos se dividió en tres zonas.



**Figura 4:** Ubicación de los puntos de muestreo en los suelos del botadero.

#### a) Zona de seguridad del botadero

Punto 1: ubicado a 20 metros del botadero, con las siguientes características de suelo, franco arcilloso, color café, en las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Norte: 389828, Este: 8242768 y con una Altitud: 4017 msnm.

Punto 2: ubicado a 20 metros del primer punto con las siguientes características de suelo, arcilloso, presencia de graba con un color café y se encontro una

piedra, en las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Norte: 389811, Este: 8242778 y con una Altitud: 4016 msnm.

Punto 3: ubicado a 20 metros del segundo punto del muestreo, con las siguientes características de suelo, franco arcilloso, mayor concentración de materia orgánica, color café oscuro, y en las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Norte: 389791, Este: 8242782 con una Altitud: 4016 msnm.

#### **b) Zona central del botadero**

Punto 4: ubicado a 20 metros del botadero y con la siguiente observación, alcanza a la capa freática a los 30 centímetro y el suelo es de color pardo oscuro, franco arcilloso, con las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Norte: 389769, Este: 8242603 y con una Altitud: 4005 msnm.

Punto 5: ubicado a 20 metros del primer punto con la siguiente observación que alcanza la capa freática a los 30 centímetros del suelo se encontró la capa freática, con las siguientes características de suelo con un color oscuro, franco arcilloso y vegetación moderado en las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Norte: 389747, Este: 8242597 y con una altitud: 4003 msnm.

Punto 6: ubicado a 20 metros del segundo punto con la siguiente observación que alcanza la capa freática a los 30 centímetros, con las siguientes características representativas del suelo, arcilloso, granular, con las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Norte: 389731, Este: 8242591 y Altitud: 4004 msnm.

### **c) Zona del margen derecho**

Punto 7: ubicado a 20 metros del botadero con las siguientes observaciones se encuentro residuos sólidos a los 30 centímetros y un suelo homogéneo, en las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Norte: 389955, Este: 8242519 y Actitud: 4007 msnm.

Punto 8: ubicado a 20 metros del primer punto con las siguientes características del suelo con un color pardo oscuro, franco limoso y con las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Norte: 389957, Este: 8242499 y Altitud: 4008 msnm.

Punto 9: ubicado a 20 metros del segundo punto con las observaciones, a una profundidad de 35 centímetros se encontró a la capa freática y un suelo con un color café, franco arenoso y en las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Norte: 389955, Este: 8242481 y Altitud: 4007 msnm.

### **3.1.3. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS**

#### **a. Potencial de hidrogeniones “pH”**

La medida del potencial de hidrogeno (pH) se realizó en el laboratorio de Calidad Ambiental Acreditado de la Universidad Mayor de San Andrés de La Paz Bolivia de los 9 muestras que se llevaron para análisis quico y físico.

#### **b. Conductividad eléctrica**

La lectura de la conductividad eléctrica se realizó en el laboratorio de Calidad Ambiental Acreditada de la Universidad Mayor de San Andrés de La Paz Bolivia.



### c. Temperatura (C°)

La lectura de la temperatura se realizó en el mismo lugar a una profundidad de 40 cm en cada uno de los puntos de muestreo con un geotermómetro, esperando hasta que tenga una lectura constante.



**Figura 5:** Lectura de la temperatura con el geotermómetro en uno de los puntos del muestreo.

#### 3.1.4. DELIMITACIÓN SOCIAL

El presente estudio sirve para que las instituciones relativas al medio ambiente tomen todo el interés por la contaminación del lugar. También para los estudiantes que se requiera estudios medioambientales y para los aledaños que se encuentran cercano al botadero y para la toma de conciencia del daño que está ocasionando al suelo el botadero a cielo abierto.

### **3.1.5. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación es de tipo cuantitativa y geoestadístico, primeramente, se caracterizó los parámetros físicos-químico del suelo del botadero y luego se procedió la caracterización de los metales pesados como el cadmio, plomo, mercurio, cobre y arsénico. Los datos se obtuvieron del laboratorio de calidad ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés de La Paz Bolivia acreditado.

### **3.1.6. ÉPOCA DE MUESTREO**

Para el presente trabajo de investigación se ha planteado una sola fecha para el muestreo y el muestreo se realizó en el mes de abril del 2018.

### **3.1.7. MATERIALES**

Para el estudio se requirieron los siguientes materiales.

### **3.1.8. MATERIALES PARA EL MUESTREO**

- Pico.
- Cinta métrica.
- Una pala metálica.
- Guante de jebe.
- Botas de jebe.
- Libreta de apuntes.
- GPS.
- Marcadores.
- Cinta masking.
- Mandil.
- Cámara fotográfica.
- Geotermómetro.

### 3.1.9. MATERIALES PARA EL MUESTREO DE SUELO

- Gafas.
- Bolsas de polipropileno color blanco.
- Cuchillo de hoja de acero inoxidable.
- Bolsa de cierre hermético.
- Agua destilada.
- Gel de limpieza.
- Barbijos.

### 3.1.10. EQUIPOS (MATERIALES DE CÓMPUTO Y OTROS)

- Software Microsoft office (Excel, Word, Power Point).
- Software SAS Planet.
- Software ArcMap 10.5.
- Y otros.

#### a) Materiales y Equipos de Gabinete

- ✓ Cartas nacionales.
- ✓ Imágenes satelitales.
- ✓ Brújula.
- ✓ Clinómetro.
- ✓ Impresora HP.
- ✓ Tóner para la impresora.
- ✓ Computadora portátil.

#### b) Servicios

- Servicio de fotocopia.
- Servicio de impresión y escaneo.

### **3.1.11. MAQUINARIAS Y TRASPORTE**

- Vehículo motorizado (taxi) para ir al relleno sanitario a verificar la situación actual en la que se encuentra.
- Vehículo motorizado (taxi) para ir a muestrear los nueve puntos en los suelos del botadero a cielo abierto.
- Transporte interprovincial de puno a desaguadero y de desaguadero a la Paz Bolivia y viceversa llevando las muestras de suelo.
- Transporte urbano del terminal al laboratorio de calidad ambiental acreditado de la universidad UMSA (Universidad Mayor de San Andrés de Bolivia) y viceversa.

## **3.2.METODOLOGÍA**

### **3.2.1. EVALUACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN POR LAS CONCENTRACIONES DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO**

#### **a) Determinación de los puntos de muestreo**

Para determinar los nueve (9) puntos de muestreo, el principal criterio para la selección de los puntos de muestreo de suelo dentro de cada una de estas unidades se basó en la localización visual directa y se seleccionaron tres en cada lado del botadero estratégicamente, con el criterio de saber el grado de contaminación por metales pesados en los suelos del relleno sanitario. Los puntos se ubicaron a cada 20 m de distancia de cada punto.



**Tabla 3:** Ubicación de los puntos y codificación de cada uno de los puntos.

ZONA	Puntos De muestreo	Código	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m)
			Coord. X	Coord. Y	
Zona de seguridad del botadero	P-1	A-1-1	389828	8242768	4017
	P-2	A-1-2	389811	8242778	4016
	P-3	A-1-3	389791	8242782	4016
Zona central del botadero	P-4	A-2-1	389769	8242603	4005
	P-5	A-2-2	389747	8242597	4003
	P-6	A-2-3	389731	8242591	4004
Zona del margen derecho	P-7	A-3-1	389955	8242519	4007
	P-8	A-3-2	389957	8242499	4008
	P-9	A-3-3	389955	8242481	4007

**b) Periodo de muestreo**

Se ha determinado un solo periodo de muestreo, el muestreo se realizó en el mes de abril (estiaje) del 2018.

**c) Toma de muestras del suelo del botadero**

Para la recolección de muestras de suelo primeramente se alistaron todo los materiales necesarios para la toma de suelo y respectivamente para ingresar a muestrear también utilizamos todo los implementos de bioseguridad.

Para la toma de muestras del suelo se aperturo a una profundidad de 40 cm, con un pico y pala luego se procedió a desinfectar el cuchillo de hoja con agua destilada para que no se genere una contaminación al momento de la toma de muestra, también utilizamos los guantes para así evitar el contacto con la muestra.

Se toma 300 gr de suelo de cada punto en una bolsa de polietileno transparente con su respectivo etiquetado en el que indica el lugar de procedencia, numero de muestra, fecha y código de cada una de las muestras para luego ser trasladado al laboratorio de calidad ambiental de la universidad UMSA.



**Figura 6:** Perfil del suelo a los 40 centímetros de profundidad.

Las muestras se etiquetaron con su respectivo código esto se realizó con la finalidad de que en el laboratorio se realice los análisis con el mismo código de muestreo.

Llegando al laboratorio nuevamente verificamos el etiquetado de las muestras que anteriormente realizamos, para el informe del ensayo del suelo : procedencia de la muestra, punto de muestreo, responsable del muestreo, fecha del muestreo, fecha de recepción de la muestra, caracterización de la muestra, tipo de muestra, envase y código. Los análisis se realizaron en el laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés de Bolivia.

### 3.2.2. EVALUACIÓN DE LOS METALES EN EL SUELO

Los análisis de metales pesados para suelos fueron realizados en los laboratorios de calidad ambiental de la Universidad San Andrés de Bolivia.

La metodología aplicada en el laboratorio de Calidad Ambiental fue Espectrometría por Emisión Atómica, con el método EPA.

**Tablas 4:** Métodos de análisis de metales pesados en el suelo.

Metales Pesados	Método
ARSÉNICO TOTAL	Microwave Reaction System/EPA 206.2
CADMIO TOTAL	Microwave Reaction System / EPA 213.1
PLOMO TOTAL	Microwave Reaction System/EPA 239.2
COBRE TOTAL	Microwave Reaction System/EPA 220.1
MERCURIO TOTAL	Microwave Reaction System/EPA 245.5

La Espectrometría por Emisión Atómica se utiliza para determinar la concentración de un elemento particular en una muestra y puede determinar más de 70 elementos diferentes en soluciones (Rocha, 2000).

Los resultados emitidos por el laboratorio de calidad ambiental, en donde se evaluaron las concentraciones de los metales pesados como cadmio, mercurio, plomo y arsénico, estos resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente para un suelo agrícola, menos en el caso de cobre ya que no se establecen los Estándares de Calidad Ambiental por el Ministerio del Ambiente, donde se trabajó con las normas canadienses.

Para el grafico de las concentraciones de los metales pesados se utilizó el software Excel, en donde indicara en sentido vertical la unidad de medida de las concentraciones de los metales pesados en mg/kg y en el sentido horizontal se ubican los puntos de muestreo y los valores de los Estándares de Calidad Ambiental para el suelo, y los resultados de las concentraciones de los metales pesados de cada punto de muestreo.

Esto se realizó con la finalidad de indicar si estos metales pesados en los suelos del botadero se encuentran dentro de los estándares o son mayores las concentraciones de cada elemento analizado.

### **3.2.3. DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS**

Para el grafico de distribución de metales pesados se utilizó el software Excel, Arc Gis para saber la distribución de los metales pesados en los puntos muestreados en relación a la distancia del centroide del botadero. Teniendo la concentración distribuida de todos los metales se ha armado un cuadro en el software Excel, en el eje X se ha colocado las distancias en metros, y en el eje Y vertical se ha colocado las concentraciones de los metales pesados.

### **Para ello se ha aplicado el análisis estadístico**

Para el procesamiento de los datos y cumplir con los objetivos propuestos se ha utilizado el laboratorio de calidad ambiental de la Universidad Nacional Mayor de San Andrés de la Paz Bolivia donde se han enviado las muestras para su respectivo análisis.

Para ello se ha seguido los siguientes paso: Primer paso: Se seleccionó el programa de Arc Gis para trabajar la parte de geoestadística de las concentraciones por elemento concreto que interesa estudiar, Segundo paso: Una vez introducidos los datos, el programa pide que se seleccione el método de interpolación, en este caso Krigado, Tercer paso: Se seleccionó el tipo de algoritmo para la interpolación de los valores de los lixiviados, el Kriging y la característica explicativa del mismo. Es en este paso, donde los datos se transformaron a la función exponencial (se transformó por que los datos se ajustaban más a la transformación exponencial que a otras funciones). Para poder aplicar la transformación oportuna, en relación a la normalidad de los datos, se usó la herramienta "Línea de tendencias, la cual proporciona una gráfica donde están representadas las variables (X,Y,Z). Tras su previo estudio, se creyó oportuno realizar el krigado con una transformación logarítmica, Cuarto pasó: Se muestra la gráfica correspondiente al Semivariograma. El programa también ofrece la gráfica de la covarianza. Estos pasos, se detallan en el cuadro de resumen del procedimiento donde se puede analizar la anisotropía y el modelo de la interpolación, Ultimo paso: se realiza un resumen de diferentes gráficas estadísticas (Una vez hecho esto se muestra la distribución de los datos en la capa de salida).

- En la distribución y concentración de los metales pesados, los valores de distribución en mg/kg y la distancia en metros, estos valores son obtenidos del programa Arc Gis. Donde este programa nos indica la distribución de los metales pesados y a que distancia se encuentran. Esto con la finalidad de saber en dónde podemos aplicar las medidas de mitigación para cada elemento.



#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se Realizó este estudio porque se considera que es de importancia tanto a nivel nacional y a nivel regional, la contaminación por los residuos sólidos de manera informal e incontrolada, esto se da al descuido por parte de las entidades responsables y por falta de fiscalización del gobierno, lo cual expone a las personas que habitan cercano al botadero a la contaminación de niveles altos, es por ello que en este estudio se determinó evaluar el grado de contaminación del suelo con los metales pesados y graficar la distribución de estos elementos que causan la alteración del ecosistema.

##### 4.1. CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS EN SUELOS DEL BOTADERO DE CANCHARANI

El propósito en esta parte del estudio, que es de suma importancia es saber si los metales pesados como cadmio, cobre, arsénico, mercurio y plomo se encuentran por debajo o por encima de los límites máximos permisibles de las estándares de calidad ambiental (ECAs) para el suelo, y para la contaminación por el cobre se utilizó las normas Canadienses ya que en las normas peruanas no se encuentra sus límites máximos permisibles, y de esta forma ver en las figuras el comportamiento de cada uno de los metales analizados.

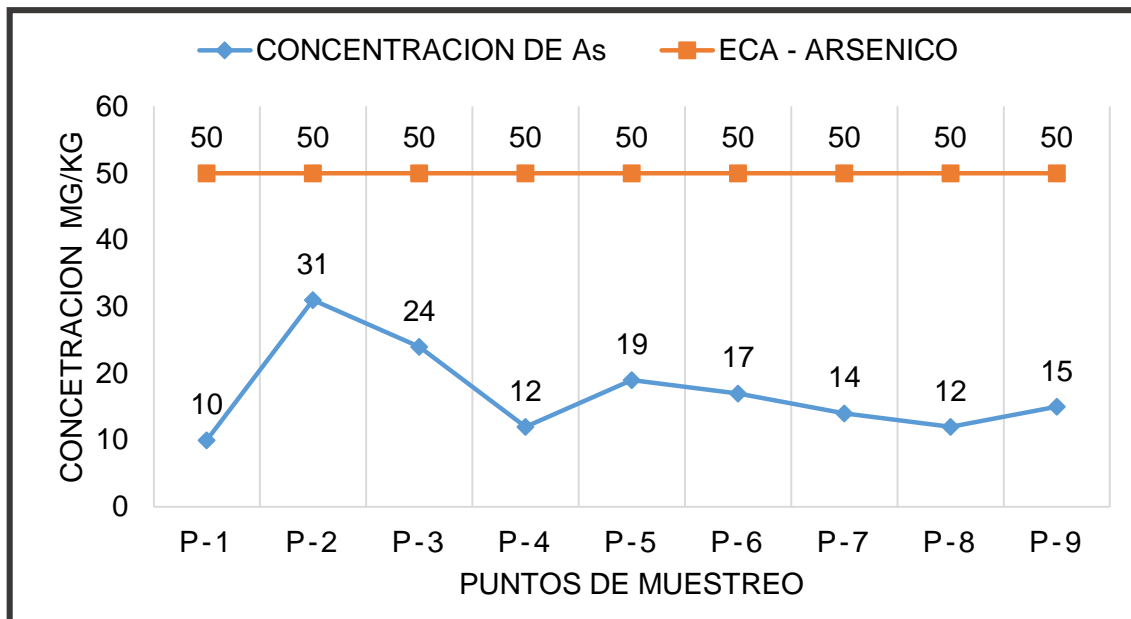
#### 4.1.1. CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LOS SUELOS DEL BOTADERO

**Tabla 5:** Resultados de la concentración de Arsénico.

Punto y su Código	Unidad medida	de ECA - Arsénico	Concentración de As
P-1 (A1-1)	mg/kg	50.00	10
P-2 (A1-2)	mg/kg	50.00	31
P-3 (A1-3)	mg/kg	50.00	24
P-4 (A2-1)	mg/kg	50.00	12
P-5 (A2-2)	mg/kg	50.00	19
P-6 (A2-3)	mg/kg	50.00	17
P-7 (A3-1)	mg/kg	50.00	14
P-8 (A3-2)	mg/kg	50.00	12
P-9 (A3-3)	mg/kg	50.00	15
<b>Máximo</b>	mg/kg		<b>31</b>
<b>Mínimo</b>	mg/kg		<b>10</b>

**ARSÉNICO:** La concentración del As en el suelo del botadero se encuentra por debajo de las ECAs establecidos para suelos agrícolas como se muestra en la Tabla 5, ya que la máxima concentración es 31 mg/kg en el punto P-2 seguido por el punto P-3 con una concentración de 24 mg/kg y la mínima concentración es 10 mg/kg. Donde Moreno E, (2010) indica que en el caso del arsénico, múltiples factores edáficos afectan a su disponibilidad, tanto para plantas como para organismos: parámetros químicos (pH, Eh, presencia de óxidos de Fe, fósforo, materia orgánica), físicos (compactación, porosidad), ambientales (clima, relieve) y biológicos (cambios en la especie). Todos estos factores van a condicionar el dinamismo y la complejidad del ciclo biogeoquímico del As en el suelo.





**Figura 7:** Comportamiento del arsénico en los suelos del botadero.

Como se puede apreciar en el figura 7 el comportamiento del As en los suelos del botadero, muestran valores menores a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el Ministerio del Ambiente para un suelo agrícola. Además se puede apreciar en el grafico que en los puntos P-2 y P-3 hay mayor concentración que en los demás puntos. Estos resultados guardan relación con Adriano D, (2001) donde indica que la disponibilidad del arsénico en general es mayor en los suelos de textura arenosa que en los arcillosos. Lo que nos indica por qué la mayor concentración de As en los puntos P-2 y P-3 ya que al momento de muestrear se encontró mayor cantidad de arcilla y materia orgánica. Según Marschner H, (1995) también indica que el arsénico en el suelo, en forma inorgánica predominantemente, su entrada en la planta se va a producir fundamentalmente por absorción vía radicular.

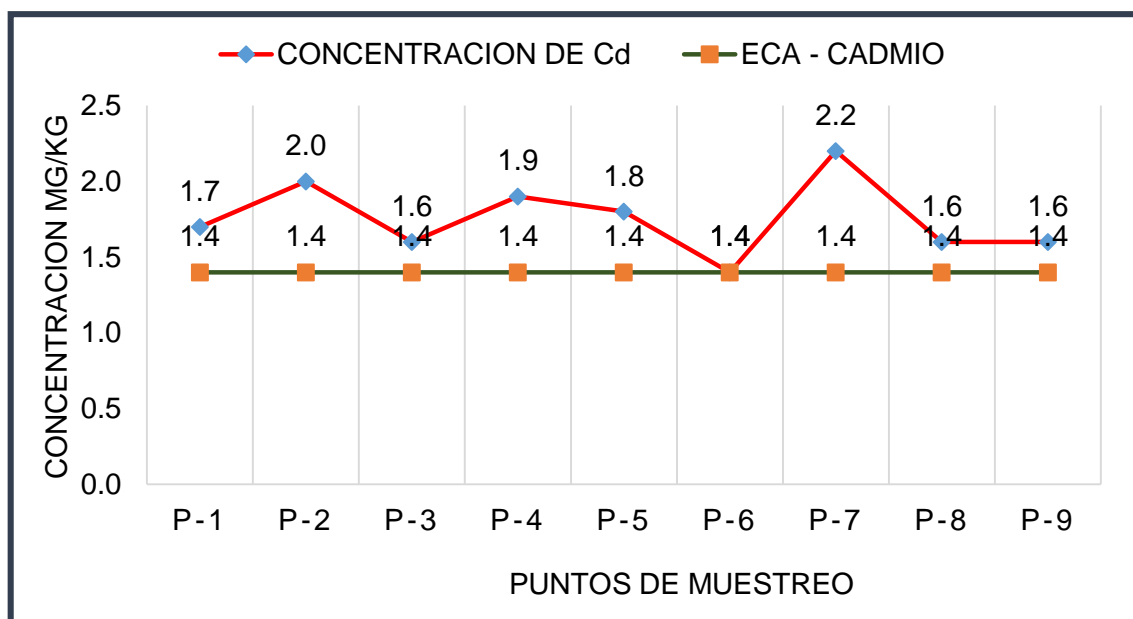
Por tanto no se consideran suelos contaminados por Arsénico en ninguno de los puntos muestreados.

#### 4.1.2. CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN LOS SUELOS DEL BOTADERO

**Tabla 6:** Resultado de la concentración de Cadmio.

Puntos y su Código	Unidad medida	de ECA - Cadmio	Concentración de Cd
P-1 (A1-1)	mg/kg	1.4	1.7
P-2 (A1-2)	mg/kg	1.4	2.0
P-3 (A1-3)	mg/kg	1.4	1.6
P-4 (A2-1)	mg/kg	1.4	1.9
P-5 (A2-2)	mg/kg	1.4	1.8
P-6 (A2-3)	mg/kg	1.4	1.4
P-7 (A3-1)	mg/kg	1.4	2.2
P-8 (A3-2)	mg/kg	1.4	1.6
p-9 (A3-3)	mg/kg	1.4	1.6
<b>Máximo</b>	mg/kg		<b>2.2</b>
<b>Mínimo</b>	mg/kg		<b>1.4</b>

**CADMIO:** Las concentraciones del cadmio en los suelos del botadero se encuentran superiores a los estándares de calidad ambiental (ECA) para un suelo agrícola como se observa en la tabla 6, esto debido a que se observa que la mínima concentración de Cd está ubicada en el punto P-6 y tiene una concentración de 1.4 mg/kg y este corresponde a la zona central del botadero y como máxima concentración de Cd es 2.2 mg/kg que pertenece al punto P-7 lo cual corresponde a la zona margen derecho del botadero. Según ATSDR, (1999) el cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo; los suelos y las rocas contienen cadmio en diversas cantidades, generalmente pequeñas, aunque a veces puede encontrarse en cantidades más grandes; Cuando el Cd está presente en el suelo este puede ser extremadamente peligroso.



**Figura 8:** Comportamiento del cadmio en los suelos del botadero.

Como se puede apreciar en la figura 8, que la concentración del cadmio se encuentra por encima de los estándares de calidad ambiental (ECA) para un suelo agrícola, en los ocho puntos del muestreo, menos en el punto P-6 que tiene una concentración de 1.4 mg/kg por tanto el punto P-6 cumple con los Estándares de Calidad Ambiental. Estos resultados guardan relación con Vélez, (2007) donde indica que los procesos naturales por las cuales se libera el Cd son insignificantes como fuente de contaminación en comparación a las actividades antrópicas; la aplicación de biosólidos sobre un suelo agrícola presenta un alto contenido de metales pesados en el suelo hasta una profundidad de 30 o 40 centímetros, apareciendo su máximo incremento en los primeros 5 centímetros de la superficie. Esto indica por qué se encontró mayor concentración de Cd en este estudio, también Vélez, (2007) y varios autores indican que los metales como contaminantes del suelo son persistentes e irreversibles, especialmente el Cadmio, el cual es asimilado por la

vegetación, lo que puede perturbar gravemente a las plantas y a los mamíferos que las consuma.

Granizo M, (2007) corroboran con los resultados de esta investigación, tal como indican que los metales pesados están asociados a los vertederos y los rellenos sanitarios, que representaron concentraciones de Cd y Cr que sobrepasan los límites máximos permisibles en suelo.

#### 4.1.3. CONCENTRACIÓN DE COBRE EN LOS SUELOS DEL BOTADERO

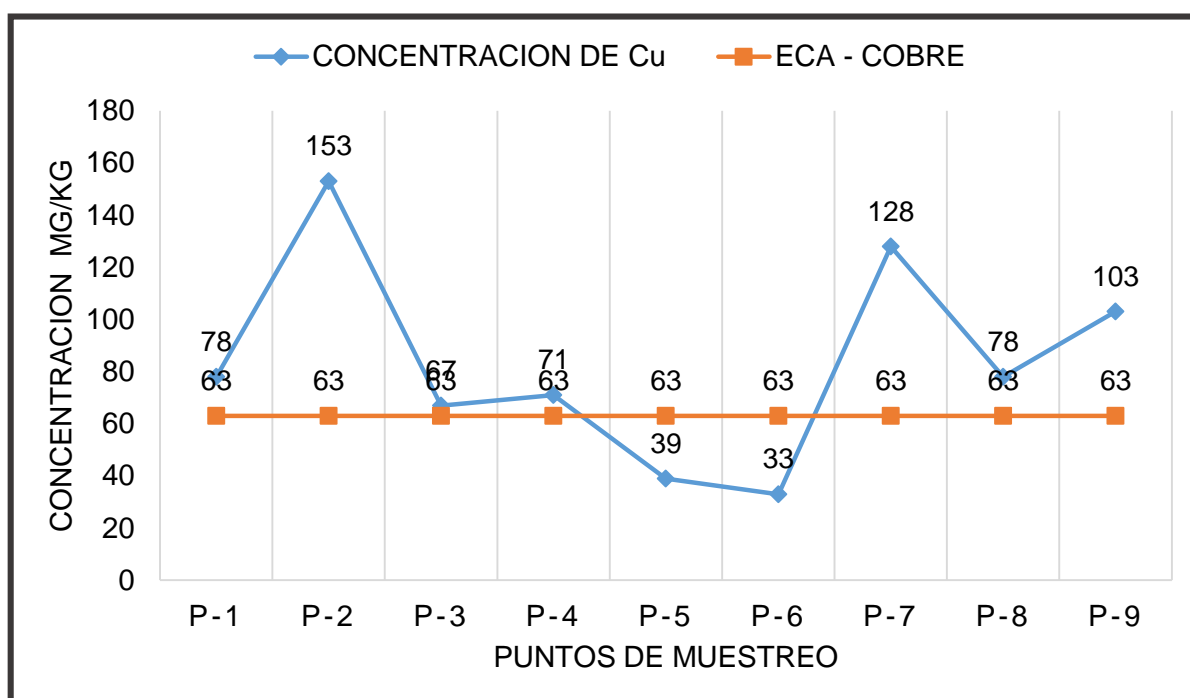
**Tabla 7:** Resultados de la concentración de Cobre.

Putos y Código	Unidad de Medida	ECA - Cobre	Concentración de Cu
P-1 (A1-1)	mg/kg	63	78
P-2 (A1-2)	mg/kg	63	153
P-3 (A1-3)	mg/kg	63	67
P-4 (A2-1)	mg/kg	63	71
P-5 (A2-2)	mg/kg	63	39
P-6 (A2-3)	mg/kg	63	33
P-7 (A3-1)	mg/kg	63	128
P-8 (A3-2)	mg/kg	63	78
p-9 (A3-3)	mg/kg	63	103
<b>Máximo</b>	mg/kg		<b>153</b>
<b>Mínimo</b>	mg/kg		<b>33</b>

**COBRE:** La concentración del cobre en los suelos del botadero se encuentra por encima de los estándares establecidos por las normas Canadienses para un suelo agrícola y también se encuentran por debajo de los estándares establecidos por las normas Canadienses ya que como la máxima concentración de Cu es de 153 mg/kg en el punto P-2 lo cual corresponde a la zona de seguridad del botadero y como la mínima concentración es de 33 mg/kg en el punto P-6 lo cual corresponde a la zona central del botadero. Donde Alvares, (2004) nos indica que los procesos que controlan la fijación del cobre por los

constituyentes del suelo están y relacionados con los siguientes procesos: adsorción, precipitación, formación de quelatos y complejos orgánicos y fijación microbiana.

Como se puede observar en la siguiente figura 9, el comportamiento del cobre en los suelos del botadero que se encuentran por encima y debajo de los estándares establecidos en los puntos muestreados.



**Figura 9:** Comportamiento del cobre en los suelos del botadero.

En la figura 9 también se puede apreciar que en los puntos P-2, P-7 y P-9 tienen altas concentraciones de Cu, que están por encima de los estándares establecidos por las normas Canadienses. También en los puntos P-5 y P-6 se puede apreciar que están por debajo de los estándares, tal como menciona Martínez G, (2004) donde indica que la fuerte absorción del elemento Cu puede conducir a la acumulación del mismo en la capa superior del suelo; la contaminación del suelo por Cu es de origen antrópico, ya que es el resultado de la utilización de fertilizantes, sprays, desechos municipales en la

agricultura, así como de emisiones industriales que se vierten en ríos y son utilizados por los agricultores. Lo que guarda relación con los resultados obtenidos en este estudio.

Por lo que consideramos suelos contaminados por cobre.

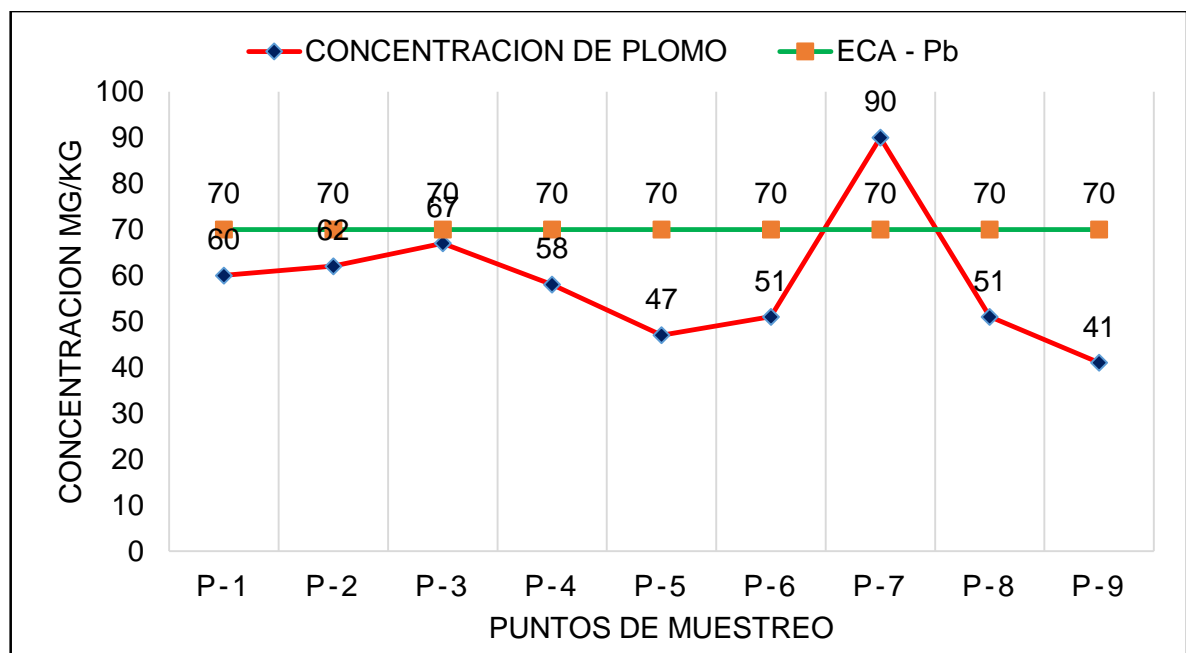
#### 4.1.4. CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN LOS SUELOS DEL BOTADERO

**Tablas 8:** Resultado de las concentraciones de Plomo.

Putos y Código	Unidad Medida	de ECA - Plomo	Concentración de Pb
P-1 (A1-1)	mg/kg	70	60
P-2 (A1-2)	mg/kg	70	62
P-3 (A1-3)	mg/kg	70	67
P-4 (A2-1)	mg/kg	70	58
P-5 (A2-2)	mg/kg	70	47
P-6 (A2-3)	mg/kg	70	51
P-7 (A3-1)	mg/kg	70	90
P-8 (A3-2)	mg/kg	70	51
p-9 (A3-3)	mg/kg	70	41
<b>Máximo</b>	mg/kg		<b>90</b>
<b>Mínimo</b>	mg/kg		<b>41</b>

**Plomo:** La concentración de plomo en los suelos del botadero se encuentra por encima de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental, donde la máxima concentración de Pb es de 90 mg/kg lo cual corresponde al punto P-7 y este punto pertenece a la zona del margen derecho del botadero y como mínimo tenemos 41 mg/kg en el punto P-9 que corresponde a la zona del margen derecho del botadero, tal como indica Domenech X y Peral J, (2006) que el plomo está fuertemente retenido, ya sea por el humus, o por las fases sólidas arcillosas en donde se adsorbe químicamente. Lo que nos indica el por qué se encontró mayor concentración de plomo en el punto P-7, en este estudio, ya que también al momento de muestrear

encontramos un suelo homogéneo y a los 30 cm se encontró residuos sólidos. también Ortiz *et al.*, (1999) indica que el plomo es un contaminante mayor en el ambiente y que genera gran preocupación para la salud humana y los ecosistemas debido a que por peso molecular tiende acumularse en suelos, sedimentos y cuerpos de agua en forma rápida y a permanecer en el ambiente como un contaminante atmosférico.



**Figura 10:** Comportamiento del plomo en los suelos del botadero.

En la figura 10 se puede apreciar la concentración del plomo que se encuentra por encima y por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en los puntos muestreados, en donde la mayor concentración se aprecia en el punto P-7 que corresponde a la zona del margen derecho del botadero en donde al momento de muestrear encontramos un suelo homogéneo y plásticos (residuos sólidos enterados) lo que indica su mayor concentración.

En los puntos P-1, P-2, P-3, P-4, P-5, P-6, P-8 y P-9 las concentraciones están por debajo de los estándares de calidad ambiental los cual nos indica que estos

suelos no están contaminados por plomo excepto a punto P-7 que tiene elevada concentración. Tal como señala Yarleque M, (2013) en su investigación de programa de adecuación y manejo ambiental para el relleno sanitario, donde el plomo presenta niveles altos por encima de los estándares, donde corrobora CEDEX, (2010) dice que el plomo es removido del aire por la lluvia y por partículas que caen al suelo o a aguas superficiales. Una vez que el plomo cae al suelo, se adhiere fuertemente a partículas en el suelo y permanece en la capa superior del suelo.

#### 4.1.5. CONCENTRACIÓN DEL MERCURIO EN LOS SUELOS DEL BOTADERO

**Tabla 9:** Resultado de las concentraciones de Mercurio.

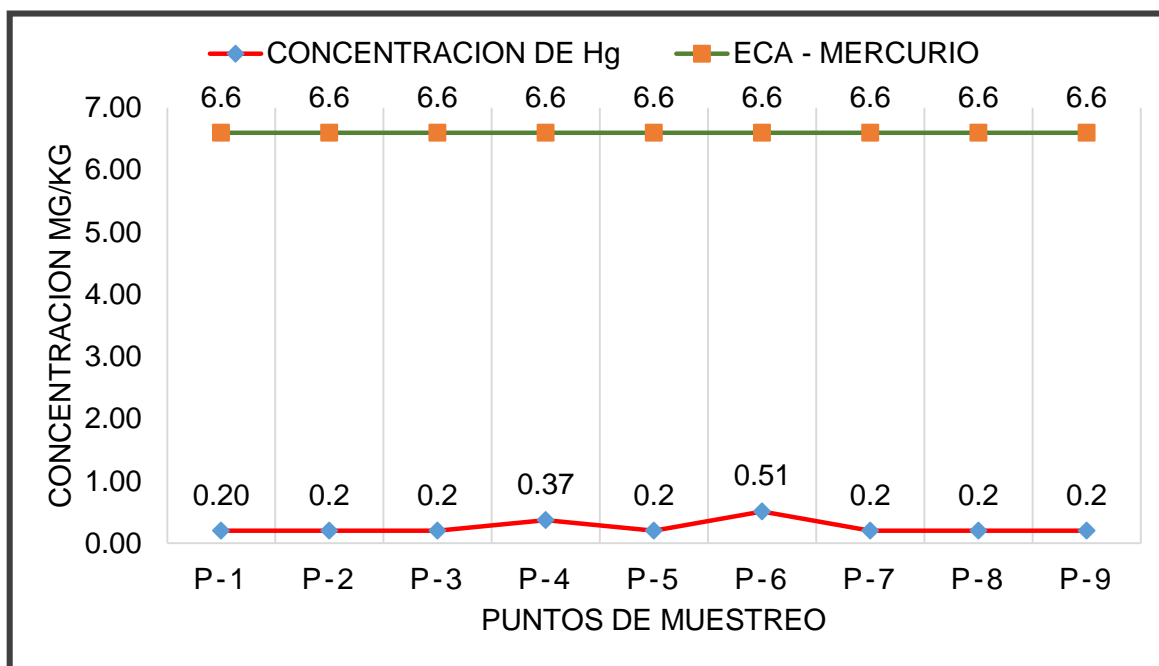
Puntos y Código	Unidad de Medida	de ECA - Mercurio	Concentración de Hg
P-1 (A1-1)	mg/kg	6.6	0.20
P-2 (A1-2)	mg/kg	6.6	0.20
P-3 (A1-3)	mg/kg	6.6	0.20
P-4 (A2-1)	mg/kg	6.6	0.37
P-5 (A2-2)	mg/kg	6.6	0.20
P-6 (A2-3)	mg/kg	6.6	0.51
P-7 (A3-1)	mg/kg	6.6	0.20
P-8 (A3-2)	mg/kg	6.6	0.20
P-9 (A3-3)	mg/kg	6.6	0.20
<b>Máximo</b>	mg/kg		<b>0.51</b>
<b>Mínimo</b>	mg/kg		<b>0.20</b>

**MERCURIO:** La concentración del mercurio en los suelos del botadero se encuentra por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos para un suelo agrícola, por el Ministerio del Ambiente, en donde la concentración máxima es de 0.51 mg/kg en el punto P-6 lo cual pertenece a la zona central del botadero y la concentración mínima es de 0.20 mg/kg. Donde Orozco *et al.*, (2003) indica que la acumulación de Hg en el suelo se encuentra



controlada principalmente por la formación de complejos orgánicos y por la precipitación. Lo que indicaría el por qué la menor concentración de Hg en los suelos del botadero.

En la figura 11 podemos observar el comportamiento del mercurio en los suelos del botadero que se encuentran por debajo de los estándares de calidad ambiental en los puntos muestreados.



**Figura 11:** Comportamiento del mercurio en los suelos del botadero.

En los puntos P-1, P-2, P-3, P-5, P-7, P-8 y P-9 tienen una concentración de 0.20 mg/kg lo que nos indica que no presenta contaminación del suelo y en los puntos P-4 y P-6 hay un incremento de concentración de mercurio esto debido a que al momento de muestrear se encontró la capa freática a los 30 cm y un suelo arcilloso, tal como indica Aloway, (2013) que la circulación de metales con las aguas está influenciada por el balance hídrico del agua en el suelo, donde interviene la cantidad de precipitación, evaporación, escorrentía e infiltración del agua, en función de las propiedades fisicoquímicas del suelo. Lo que indica

el incremento de la concentración del Hg en los puntos P-4 y P-6 en este estudio que se observó mayor cantidad de lixiviados y circulación de la agua. También el mismo autor indica que el mercurio (Hg) genera uno de los mayores problemas ambientales actuales debido a su alta toxicidad y capacidad para bioacumularse y biomagnificarse por lo que altera el equilibrio ecológico y genera graves problemas de salud pública.

Donde también Galan A y Romero E, (2008) nos indica que la erosión de los minerales provocada por el viento y la lluvia, y la descomposición de las rocas, son los principales procesos naturales por los cuales los metales pueden incorporarse al ciclo hidrológico.

De donde se considera un suelo no contaminado por el mercurio.

#### **4.2. GRAFICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS METALES PESADOS**

En esta parte del estudio se pretende hacer saber la distribución de los metales pesados como el cadmio, arsénico, mercurio, cobre y plomo donde utilizaremos los siguientes datos, como es la distancia en metros, (la ubicación de los puntos de muestreo se realizó a los 20 m, 40 m y 60 m), donde la concentración de distribución en mg/kg son obtenidos del arc gis y la mapa de distribución de cada metal se aprecia en el ANEXO.

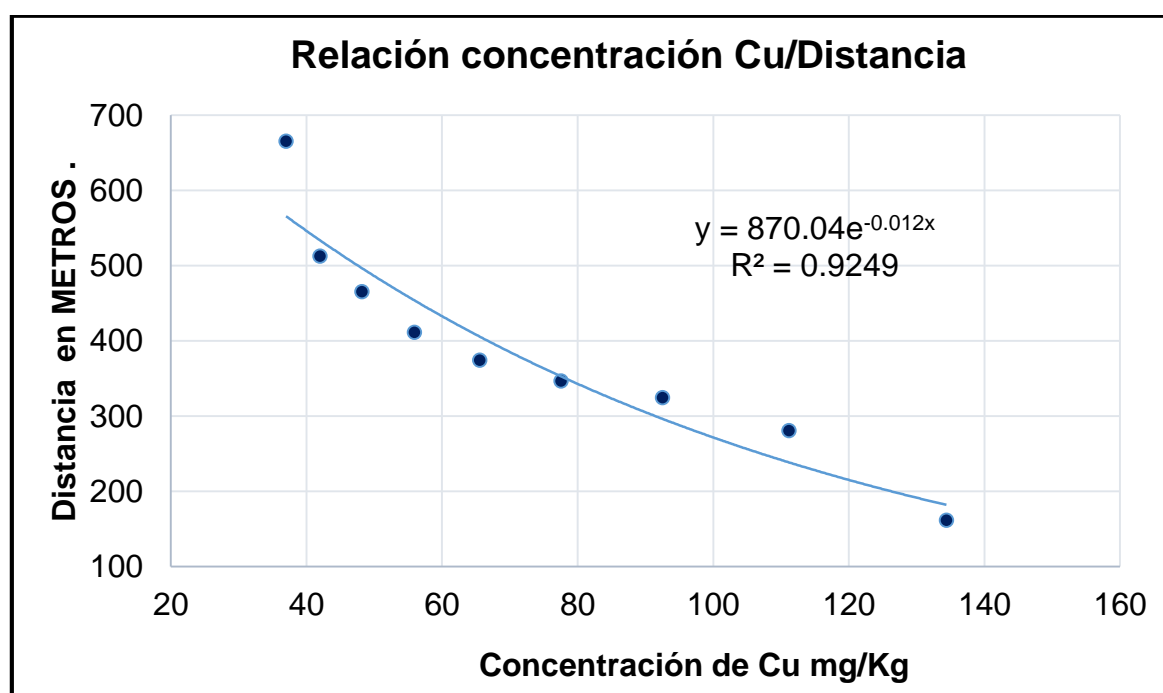
**Tabla 10:** Distribución y concentración del Cobre.

Puntos	CÓDIGO	Unidad	Valor real del Cu	Clase	Valor Distrib. mg/kg	Distancia m.
P-1	A1-1	mg/kg	78	1	37	665.31
P-2	A1-2	mg/kg	153	2	41.98	512.58
P-3	A1-3	mg/kg	67	3	48.19	465.69
P-4	A2-1	mg/kg	71	4	55.92	411.34
P-5	A2-2	mg/kg	39	5	65.56	374.59
P-6	A2-3	mg/kg	33	6	77.56	347.05
P-7	A3-1	mg/kg	128	7	92.52	324.59
P-8	A3-2	mg/kg	78	8	111.15	281.04
P-9	A3-3	mg/kg	103	9	134.37	161.93

**Cobre:** En el cuadro podemos observar los valores de las concentraciones y su distancia del botadero hacia los puntos de muestreo, donde la mayor concentración es en el punto 9 (P-9) con una concentración de 134.37 mg/kg y la menor concentración se encuentra en el punto 1 (P-1) con una concentración de 37 mg/kg de igual manera también se puede observar la distancia mínima en el punto 9 (P-9) con 161.93 m y la distancia máxima es 665.31 m en el punto 1 (P-1). Donde Pagnanelli *et al.*, (2004) indica que una vez en el suelo, los metales pesados pueden quedar retenidos en el mismo pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químico. Donde concuerda con esta investigación.

En la siguiente figura 12 podemos observar la concentración del cobre en relación a la distancia del centroide del botadero hacia los puntos del muestreo. Donde los puntos de muestreo están localizados a 20 m del botadero luego a 40 m y 60 m en donde la gráfica nos muestra que la mayor concentración se encuentra a una distancia menor, lo que indica que el cobre se encuentra más en el botadero que en los suelos, tal como señala García y Dorronso, (2005) donde dice que los metales pesados adicionados a los suelos se redistribuyen y

reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida. También corrobora García y Dorronso, (2005) donde nos indica que los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: la primera, quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo u ocupando sitios de intercambio; segunda, específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo; tercera, asociados con la materia orgánica del suelo y cuarta, precipitados como sólidos puros o mixtos. Por otra parte, pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pueden pasar a la atmósfera por volatilización y pueden ser movilizados a las aguas superficiales o subterráneas.



**Figura 12:** Comportamiento del cobre en relación a la distancia al botadero.

También se puede apreciar una función exponencial y una línea de tendencia negativa lo que indica que la concentración del cobre va disminuyendo conforme se va alejando del botadero. También se puede observar el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que tiene un valor 0.92 que es muy próximo a la unidad, lo

que indica que tiene una relación entre los datos de las variables de concentración de metales pesados y la distancia recorrida casi perfecta con relación a los variables del estudio. Donde señala Bourg A, (1995) que la distribución del cobre es determinado por la materia orgánica y está ligado con los minerales del suelo. También el mismo autor nos indica que la movilidad natural de los metales pesados en los suelos es consecuencia de la actividad biológica, de las interacciones sólido-líquido y de la acción del agua. Donde esta investigación guarda relación con el autor mencionado anteriormente.

Por ende si queremos que el suelo no sea contaminado por el cobre las medidas de mitigación tendría que llevarse muy próximo al botadero, ya que en este estudio la mayor concentración del cobre se encuentra a menor distancia. Para las medidas de mitigación se puede aplicar el *Pelargonium zonale* por que señala Rosario O, (2017) en su investigación concluye que el geranio tiende a disminuir significativamente hasta del 79% al nivel inicial que se encontraba la concentración del cobre.

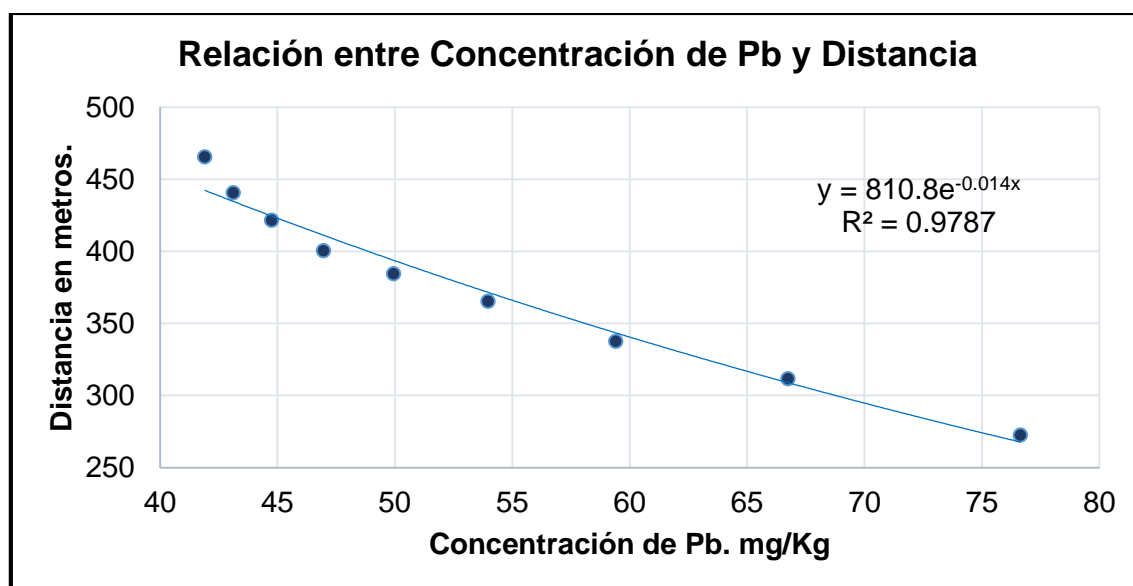
**Tabla 12:** Distribución y concentración del Plomo.

PUNTO	CÓDIGO	UNIDAD	Valor Real Pb	Valor Distrib. mg/Kg	Distancia m.
P-1	A1-1	mg/kg	60	41.9	465.71
P-2	A1-2	mg/kg	62	43.11	440.66
P-3	A1-3	mg/kg	67	44.75	421.6
P-4	A2-1	mg/kg	58	46.96	400.54
P-5	A2-2	mg/kg	47	49.95	384.54
P-6	A2-3	mg/kg	51	53.97	365.39
P-7	A3-1	mg/kg	90	59.41	337.72
P-8	A3-2	mg/kg	51	66.74	311.75
P-9	A3-3	mg/kg	41	76.64	272.49

**Plomo:** En el tabla 12 podemos observar los valores de las concentraciones y su distancia del botadero hacia los puntos de muestreo, donde la mayor

concentración está en el punto 9 (P-9) con 76.64 mg/kg y la menor concentración se encuentra en el punto 1 (P-1) con un valor de 41.9 mg/kg de igual manera también se puede observar la distancia mínima en el punto 9 (P-9) con 272.49 m y también la distancia máxima es 465.71 m se ubica en el punto 1 (P-1). Según O`Reilly J.E, (1979) los metales pesados más comunes y ampliamente distribuidos como contaminantes ambientales incluyendo plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y arsénico (As). El plomo, por ejemplo, es un contaminante ambiental altamente tóxico, su presencia en el ambiente se debe principalmente a las actividades antropogénicas como la industria, la minería y las fundiciones.

En la siguiente figura 13 podemos apreciar la concentración del plomo en relación a la distancia del centroide del botadero hacia los puntos del muestreo. Donde los puntos de muestreo están localizados a 20 m del botadero luego a 40 m y 60 m en donde la gráfica nos muestra que la mayor concentración se encuentra a una distancia menor, lo que indica que el plomo se encuentra más en el botadero que en los suelos. Donde señala Bourg, (1995) que la movilización de metales está relacionada con las condiciones del medio, de manera que el descenso de pH, los cambios de las condiciones redox o el incremento de sales inorgánicas y agentes complejantes, naturales o sintéticos, puede aumentar la movilización de éstos.



**Figura 13:** Comportamiento del plomo en relación a la distancia al botadero.

Se puede observar también que la función es exponencial y tiene una línea de tendencia negativa esto indica que la concentración del plomo va disminuyendo conforme se va alejando del botadero esto debido a que el plomo es atrapado por la materia orgánica ya que la mayor concentración de la materia orgánica está en el botadero en que los suelos del botadero y no solo a la materia orgánica sino también a la arcilla. También se puede observar el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que tiene un valor 0.97 que es muy próximo a la unidad, lo que indica que tiene una relación entre los datos de las variables de concentración de metales pesados y la distancia recorrida casi perfecta con relación a los variables del estudio. Por ende si queremos que el suelo no sea contaminado por el plomo la restauración tendría que llevarse muy próximo al botadero. donde Strawn y Sparks (2000), en sus estudios sobre la influencia de la materia orgánica del suelo sobre la cinética y el mecanismo de las reacciones adsorción desorción del Pb (II) en el suelo, encuentran que la materia orgánica tiene un papel importante en los procesos en los que se produce

una baja desorción del metal. Lo que concuerda con esta investigación, ya que el botadero contiene mayor cantidad de materia orgánica.

Por ende si queremos que el suelo no sea contaminado por el plomo las medidas de mitigación tendría que llevarse muy próximo al botadero, ya que en este estudio la mayor concentración del plomo se encuentra a menor distancia. Las medidas de mitigación se pueden realizar con el *Helianthus annuus*, como señala Julio, *et al.*, (2012) en su estudio donde aplicaron la planta *Helianthus annuus* por ser reportado por su capacidad de acumular metales y responder con una alta biomasa radícula, en donde concluye que la longitud de la raíz no se ve afectada por la concentración de plomo y la mayor concentración se da en las raíces secundarias y son capaces de tolerar concentraciones de 500 mg/l de plomo.

**Tabla 13:** Distribución y concentración del Mercurio.

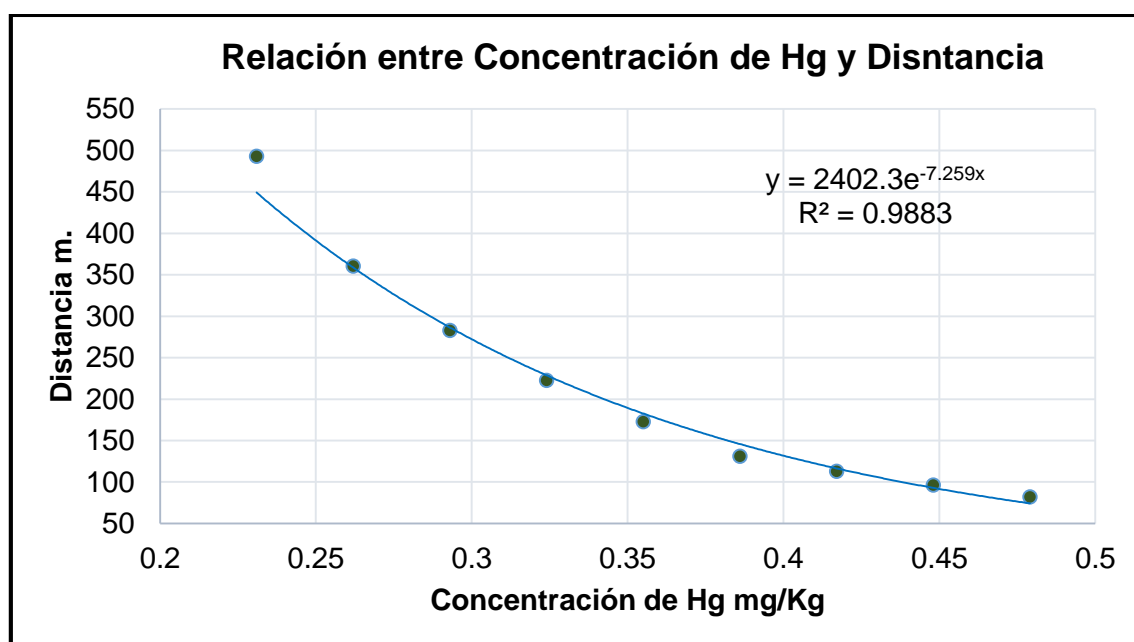
ID	CÓDIGO	UNIDAD	Valor real de Hg	Clase	Valor de distribución Hg mg/Kg	Distancia m.
1	A1-1	mg/kg	0.20	1	0.23	492.83
2	A1-2	mg/kg	0.20	2	0.26	360.59
3	A1-3	mg/kg	0.20	3	0.29	282.85
4	A2-1	mg/kg	0.37	4	0.32	222.61
5	A2-2	mg/kg	0.20	5	0.36	172.67
6	A2-3	mg/kg	0.51	6	0.39	131.14
7	A3-1	mg/kg	0.20	7	0.42	112.77
8	A3-2	mg/kg	0.20	8	0.45	96.49
9	A3-3	mg/kg	0.20	9	0.48	81.92

**Mercurio:** En el cuadro podemos observar los valores máximos y mínimos de la concentración y la distancia del botadero así los puntos del muestreo. En donde la mayor concentración se encuentra en el punto 9 (P-9) con un valor de 0.48 mg/kg y la menor concentración es de 0.23 mg/kg, donde la distancia máxima es 492.83 m en el punto (p-1) y la menor distancia se ubica en el punto 9 (p-9) con 81.92 metros. Según Alloway B, (2013) la arcilla tiene un papel fundamental a la



hora de caracterizar la contaminación de metales pesados en suelos ya que influye sobre su movilidad.

En la figura 14 podemos observar la concentración del mercurio en relación a la distancia del centroide del botadero hacia los puntos de muestreo. Donde los puntos de muestreo estaban ubicados a 20 metros del botadero luego a 40 m y 60 m en donde la gráfica nos muestra que la mayor concentración se encuentra a una distancia menor, lo que indica que el mercurio se encuentra más en el botadero que en los suelos.



**Figura 14:** Comportamiento del mercurio en relación a la distancia al botadero.

En la figura 14 también se puede apreciar una función exponencial y una línea de tendencia negativa esto indica que la concentración del metal mercurio que tiende a disminuir conforme se va alejando del botadero y la mayor concentración se encuentra en el botadero. También se puede observar el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que tiene un valor 0.98 que es muy próximo a la unidad, lo que indica que tiene una relación entre los datos de las variables de

concentración de metales pesados y la distancia recorrida es casi perfecta con relación a los variables del estudio.

Lo que indica que el mercurio es generado por el botadero y se traslada por la generación del lixiviado. Según Acurio *et al.*, (1997) señala que la contaminación de los ríos y aguas subterráneas se debe a la percolación de los lixiviados a través del suelo por efecto de las lluvias, es uno de los problemas de contaminación más importantes que provoca la disposición inadecuada de los RSU. Además, el agua también se contamina por el vertido directo de RSU pudiendo llegar a modificar incluso el sistema de drenaje y el curso de los ríos. La arcilla tiende a adsorber a los metales, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio.

Por ende, si queremos que el suelo no sea contaminado por el mercurio las medidas de mitigación tendrían que llevarse muy próximo al botadero y el tratamiento de los lixiviados que el mercurio se traslada por el lixiviado.

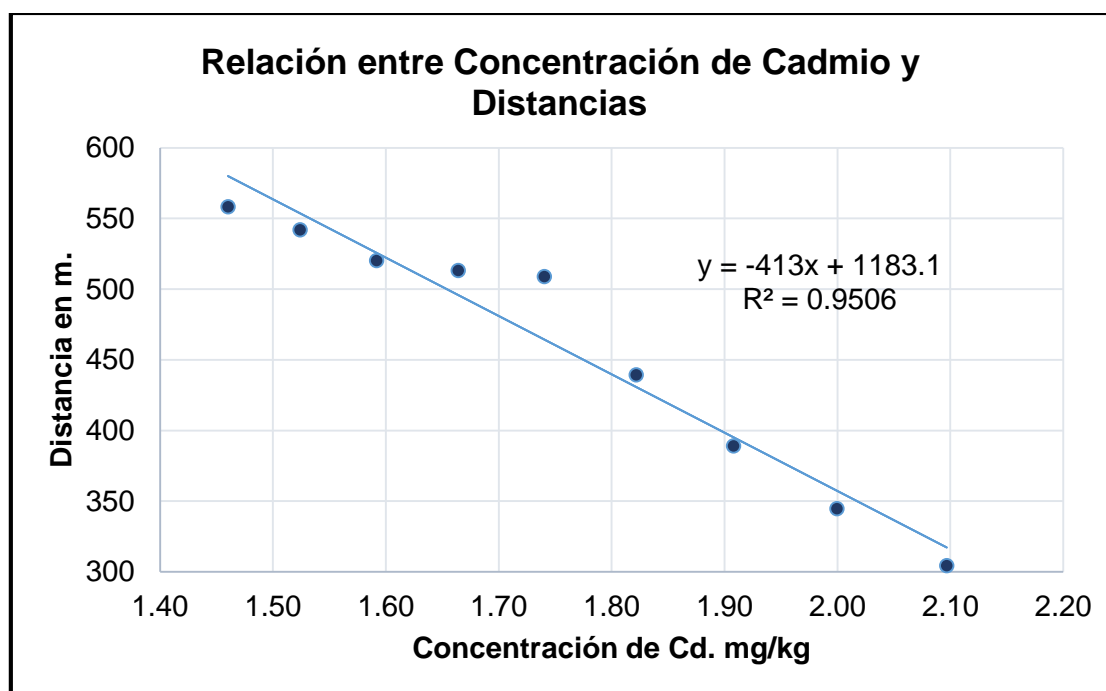
**Tabla 14:** Distribución y concentración del Cadmio.

puntos		UNIDAD	Valor real Cd mg/Kg	Valor de distrib. mg/km	Distancia metro
P-1	A1-1	mg/kg	1.7	2.10	304
P-2	A1-2	mg/kg	2.0	2.00	345
P-3	A1-3	mg/kg	1.6	1.91	389
P-4	A2-1	mg/kg	1.9	1.82	439
P-5	A2-2	mg/kg	1.8	1.74	509
P-6	A2-3	mg/kg	1.4	1.66	513
P-7	A3-1	mg/kg	2.2	1.59	520
P-8	A3-2	mg/kg	1.6	1.52	542
P-9	A3-3	mg/kg	1.6	1.46	558

**Cadmio:** como se observa en el cuadro los valores máximos y mínimos de la concentración y distancia del botadero así los puntos de muestreo. En donde la

mayor concentración se ubica en el punto 1 (P-1) con un valor de 2.10 mg/kg y la menor concentración es 1.46 mg/kg en el punto 9 (p-9), donde la distancia máxima es de 558 m en el punto 9 (P-9) y la mínima distancia está ubicado en el punto 1 (P-1) con 304 metros. Según Lue-Hing *et al.*, (1992) el Cd puede ser transportado a grandes distancias cuando es absorbido por los biosólidos. Los biosólidos ricos en Cd pueden contaminar las aguas superficiales y los suelos.

En la figura 15 podemos observar la concentración del metal cadmio en relación a la distancia del centroide del botadero hacia los puntos de muestreo. Donde los puntos de muestreo estaban ubicados a 20 metros del botadero luego a 40 m y 60 m en donde la gráfica nos muestra que la mayor concentración se encuentra a una distancia menor, lo que indica que el cadmio se encuentra más en el botadero que en los suelos. Donde señala Krishnamurti *et al.*, (1997) que la influencia del pH también se pone de manifiesto al estudiar la distribución de metales entre suelo y disolución de suelo, observando un decrecimiento marcado de la disponibilidad del metal al incrementar el pH; también Krishnamurti *et al.*, (1997) indica que el pH es por tanto, un parámetro importante para definir la movilidad de los diferentes componentes minerales, ya que su valor influye directamente en la solubilidad de los cationes. En algunos los fijara, disminuyendo su solubilidad aparente, con lo que las plantas no podrán absorberlos y por el contrario, en otros casos favorecerá su movilidad aumentando su solubilidad y haciendo que la concentración de las especies resultantes alcance niveles tóxico.



**Figura 15:** Comportamiento del cadmio en relación a la distancia al botadero.

En la figura 15 también se puede observar el coeficiente de terminación ( $R^2$ ) que tiene un valor de 0.95 que es muy próximo a la unidad, lo que indica que tiene una relación entre los datos de las variables de concentración de metales pesados y la distancia recorrida casi perfecta con relación a los variables del estudio. En donde la figura también se muestra una línea de tendencia negativa en donde el cadmio tiende a disminuir su concentración a medida que se va alejando del botadero, esto debido a que el cadmio es atrapado por los biosolidos por esta razón hay mayor concentración cerca del botadero porque hay mayor concentración de los biosolidos, como se puede apreciar en la figura 15. Tal como nos señala Elliot et al., (1985), que en su estudio el efecto adsorción sobre Cd, Cu y Pb simultáneamente de la materia orgánica de los suelos, sugiriendo que un mayor contenido en materia orgánica incrementa la retención del cadmio; lo que concuerda con nuestros resultados ya que el botadero aporta grandes cantidades de materia orgánica, donde Casanova, (2005) también

indica que el aumento de la salinidad puede incrementar la movilización de metales pesados por dos mecanismos. En primer lugar, los cationes asociados con las sales (sodio y potasio) pueden reemplazar a metales pesados en lugares de adsorción. En segundo lugar, los aniones cloruro pueden formar complejos solubles estables con metales pesados tales como cadmio y mercurio.

Por ende, si queremos que el suelo no sea contaminado por el cadmio las medidas de mitigación tendrían que llevarse muy próximo al botadero, por lo que se encuentra mayor concentración de cadmio. Con fines de medidas de mitigación podemos utilizar la planta *Pelargonium zonale* esto por lo que señala Rosario, (2017) en su estudio concluye que las concentraciones del cadmio disminuyeron hasta del 55 % con respecto al nivel inicial.

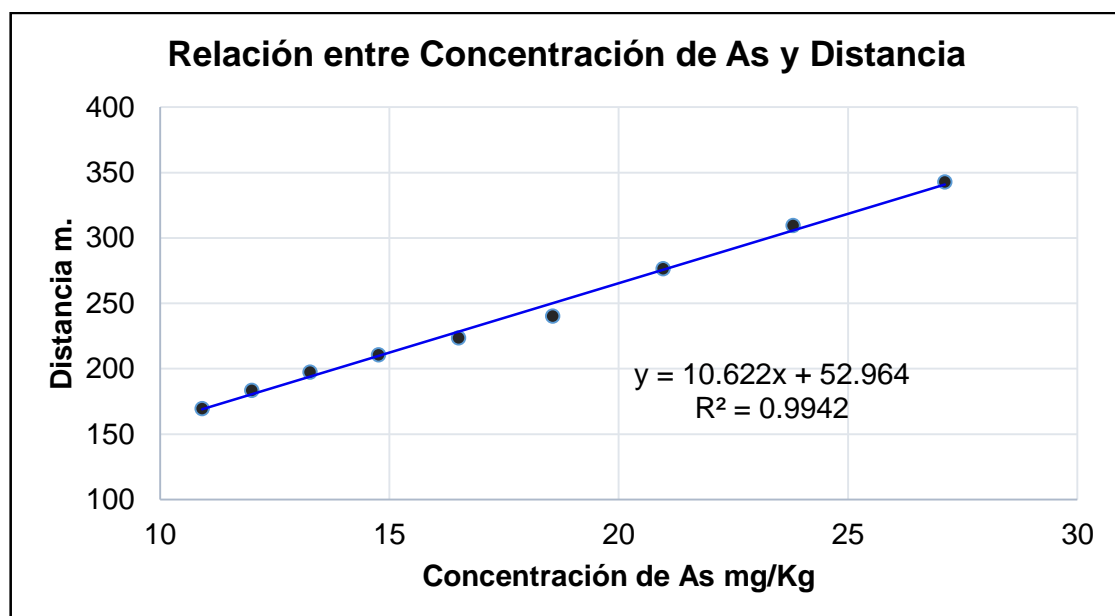
**Tabla 15:** Distribución y concentración del Arsénico.

Puntos	CÓDIGO	Unidad	As mg/Kg	Valor distrib. mg/kg	Distancia (m)
P-1	A1-1	mg/kg	10	10.92	169.63
P-2	A1-2	mg/kg	31	12	183.58
P-3	A1-3	mg/kg	24	13.27	197.38
P-4	A2-1	mg/kg	12	14.76	210.62
P-5	A2-2	mg/kg	19	16.51	223.57
P-6	A2-3	mg/kg	17	18.56	240.28
P-7	A3-1	mg/kg	14	20.97	276.53
P-8	A3-2	mg/kg	12	23.8	309.41
P-9	A3-3	mg/kg	15	27.11	342.87

**Arsénico:** como se aprecia en el cuadro los valores máximos y mínimos de la concentración y la distancia del centroide del botadero así los puntos de muestreo. En donde la mayor concentración se ubica en el punto 9 (P-9) con un valor de 20.97 mg/kg y la menor concentración es 10.92 mg/kg en el punto 1 (P-1), donde la distancia máxima es de 276 m en el punto 9 (P-9) y la mínima

distancia está ubicado en el punto 1 (P-1) con 169.63 metros de distancia. Donde Galán y Romero, (2008) nos indican que en principio, los contenidos de metales en suelos son debidos a la meteorización del material originario. Además, la erosión de los minerales provocada por el viento y la lluvia, y la descomposición de las rocas, son los principales procesos naturales por los cuales los metales pueden incorporarse al ciclo hidrológico.

En la figura 16 podemos observar la concentración del arsénico con relación a la distancia del centroide del botadero hacia los puntos de muestreo. Donde los puntos de muestreo estaban ubicados a 20 metros del botadero luego a 40 m y 60 m donde observamos que el grafico es diferente a los otros metales se podría decir lo contrario. La concentración es menor a menor distancia y a mayor distancia mayor concentración del arsénico. Lo que indica que el arsénico se encuentra más en los suelos que en el botadero.



**Figura 16:** Comportamiento del arsénico en relación a la distancia al botadero.

En la figura 16 se puede observar una línea de tendencia es positiva debido a que la concentración del arsénico tiende a incrementarse a menudo que se va

alejando del botadero esto se podría decir que el arsénico es sedimentado en los suelos. En la figura también se puede observar que el cociente de determinación ( $R^2$ ) que tiene un valor de 0.99 que es muy próximo a la unidad, lo que indica que tiene una relación entre los datos de las variables de concentración de metales pesados y la distancia recorrida casi perfecta con relación a los variables del estudio. En donde señala Lagriffoul *et al.*, (1998) indican que el arsénico es un elemento ampliamente distribuido en el ambiente. También los autores Lagriffoul *et al.*, (2003), señala que el papel de la materia orgánica sobre el arsénico del suelo está todavía en discusión: en algunos estudios la aplicación de materia orgánica ha conseguido disminuir la movilidad del arsénico, pero en otros se ha observado una liberación de As después de la aplicación de compost o una alta correlación entre carbono soluble y arsénico soluble en suelos.

Por ende si queremos que el suelo no sea contaminado por el arsénico las medidas de mitigación tendrían que llevarse a mayor distancia al botadero. Para las medidas de mitigación se puede aplicar el *Pelargonium zonale* como señala Rosario O, (2017) en su estudio que el geranio es un fitorremediador eficaz como se observó una tolerancia significativa del geranio hacia el As, con una disminución significativa, hasta del 74% con respecto al nivel inicial.

## CONCLUSIONES

- La concentración de los elementos plomo, cadmio y cobre superaron los límites máximos permisibles, arrojando los siguientes valores: plomo 90 mg/kg, cadmio 2.2 mg/kg y cobre 153 mg/kg.
- Se encuentran dentro de los límites máximos permisibles los elementos arsénico y mercurio cuyos valores fueron: arsénico 31 mg/kg y mercurio 0.37 mg/kg.
- Se concluye también que los metales pesados cadmio con una concentración de 2.10 mg/kg a una distancia de 304 m, plomo con una concentración de 76.64 mg/kg a una distancia de 272.49 m, mercurio con una concentración de 0.48 mg/kg a una distancia de 81.92 m y cobre con una concentración de 134.37 mg/kg a una distancia de 161.93 m, a medida que se alejan del centroide del botadero disminuyen los niveles de la concentración, a excepción del metal arsénico que aumenta su nivel de concentración a medida que se aleja del botadero con una concentración de 27.11 mg/kg a una distancia de 342.87 m.



## RECOMENDACIONES

- Reanalizar monitoreo cada determinado tiempo para evitar los impactos ambientales en el suelo.
- Realizar la restauración de los suelos contaminados por el botadero con la fitoremediación para la remoción de los metales pesados debido a que se encuentra la contaminación del suelo.
- Se recomienda realizar estudios de los metales pesados que no han sido evaluados en el presente trabajo de investigación.
- Se recomienda la pronta construcción de un relleno sanitario, como disposición final de los residuos sólidos producidos por la ciudad de Puno, así como los programas de manejo y clasificación.
- Se debe contar con las entidades reguladores del medio ambiente y también con las autoridades sanitarias para llevar acabo el cumplimiento de los estándares establecidos por el MINAN, por tal motivo, en cada establecimiento generado de desechos se debe contar con zonas de muestreo controlado.

## REFERENCIAS

- Acurio, G., Rossini, A., Texeira P. y Zepeda F. (1997). *Clasificación de Residuos Sólidos México Publicación conjunta del Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana de la Salud*. Washington: D.C. Julio de 1997 N° ENV. 97 – 107.
- Adriano. (1986). *Concentracion total de Niquel, cromo, plomo y cadmio en suelos de la cuenca del Arroyo*. Facultad de Agronomía UBA.
- Adriano, D. (2001). *Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability and risks of metals*. Springer-Verlag, New York.
- Alloway, B. (2013). *Heavy metals in soils. Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. Environmental Pollution, vol. 22. Netherlands Springer Netherlands.
- Álvarez, G. (2004). Mineralización in vitro de nitrógeno y fósforo y contenido de metales pesados en suelo acondicionados con lodo proveniente de una planta de tratamiento de aguas servidas. Universidad de Chile: Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agronómicas, pp. 27-28.
- Antonia María, M. (2005). *MOVILIZACIÓN DE METALES PESADOS EN RESIDUOS Y SUELOS INDUSTRIALES AFECTADOS POR LA HIDROMETALURGIA DEL CINC*. Universidad de Murcia Facultad de Química Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología.
- Arboleda, V. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Volumen I. Tercera edición. Mc Graw Hill. p. XXV.

- ATSDR. (1999). *Toxicological Profile for Lead*. Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1600 Clifton Road NE Mailstop F-32 Atlanta, Georgia 30333.
- Boekhold, A., Temminghoff, E., y Van der Zee, S. (1993). *Influence of electrolyte composition and pH on cadmium sorption by an acid sandy soil*. Journal of Soil Science.
- Bourg, A. (1995). *Speciation of Heavy metals in soils and groundwater and implications for their natural and provoked mobility*. En: *Heavy Metals. Problems and Solutions*. Springer- Verlag Berlin Heidelberg. 414 pp.
- Bradl, H., Kim, C., Kramar, U., y Stuben. (2005). *Heavy Metals in the environment*. Chapter 2: Interactions of heavy metals ., Ed. H.B. Bradl, Vol 2(4): 124 - 136.
- Burt, R., Wilson, M., Keck, T., Dougherty, B., Strom, D., y Lindahl, J. (2003). *Trace element speciation in selected smelter-contaminated soils in Anaconda and Deer Lodge Valley*. Montana, USA.: Montana, USA. Advances in Environmental Research.
- Casanova. (2005). *Unbrales de concentracion de metales pesados limitantes de crecimiento*. Lima: Universidad Agraria la Molina.
- CCME. (1993). *Canadian Conunsil of Ministers of the Environment Guidance Manual on Sampling, Analysis, and Data Management for Contaminated Sites"Volume 1: Main Report. The National Contaminated Sites Remediation Program*. (19 de Mayo de 2013). Available at:: [http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn\\_1101\\_e.pdf](http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1101_e.pdf).

- CEDEX. (2010). *Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX SEDIMENTOLOGIA, Química del sedimento. Sedimento. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)*. Madrid, España: Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino.
- Celis, Koskinen, Hermosin, Ulibarri, y Cornejo. (2000). *Triadimefon Interactions with organoclays and organohydrotalcites*. Soil Sci. Soc.Am. J. 64, 36-43.
- CEPIS/OPS/OMS, C. P. (2002). *Guía para el Manejo de Residuos Sólidos en Ciudades pequeñas y zonas rurales*.
- CEQG. (12 de Enero de 2013). *Canadian Environmental Quality Guidelines. Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. Canadian Council of Ministers of the Environment*. Available at: <http://sts.ccme.ca/> .
- Delvi, V. (2017). *Metales pesados en los suelos cultivados con riego y sin riego en la comunidad de Ñaupapampa del distrito del Asillo*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronomica.
- Domenech, X., y Peral, J. (2006). *Química ambiental de sistemas terrestres. Departamento de Química, Universitat Autònoma de Barcelona*. Universitat Autònoma de Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
- Elliot, Liberate y Huang. (1985). *Competitive Adsorption of Heavy Metals by Soils*. . Journal of Environmental Quality, 15, 214-219.
- Ernest, W. (1996). *Bioavailability of heavy metals and decontamination of soils by plants*. Applied Geochemistry, 11, 163-167.

- Espinosa, C., López, M., Pellón, A., Robert, M., Díaz, S., Gonzales, A., y Fernández, A. (2010). *Análisis del comportamiento de los lixiviados generados en un vertedero de residuos sólidos municipales de la ciudad de la Habana. Departamento de Estudios sobre Contaminación Ambiental. Centro de Investigaciones del Ozono. Centro Nacion. La Habana, Cuba: Rev. Internacional de Contaminación Ambiental. Vol. 26 No. 4.*
- Facchinelli A., S. E. (2001). *Multivariate statistical and GIS based approach to identify heavy metal source in soils. Environmental Pollution* 114, 313-324.
- Galán, A. y Romero E. (2008). *Contaminación de suelos por Metales pesados. Macla Revista de la sociedad española de mineralogía* 10. [http://www.ehu.eus/sem/macla\\_pdf/macla10/Macla10\\_48.pdf](http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf) [28 Agosto 2015].
- García, I y Dorronsoro, C. (2005). *Contaminación por Metales Pesados. Obtenido de En Tecnología de Suelos: <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>*
- Gonzales, A. (2004). *Granulometría, sedimentación, composición y contenido total de metales pesados en los sedimentos del rio Cobre. Santiago de Cuba: Facultad de Ciencias Naturales, Departamento de Química, Universidad de Oriente.*
- Granizo, M. (2007). *Análisis de Cu, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, y Zn en el antiguo botadero de "el Valle". Cuenca - Ecuador: Tesis para optar el título.*
- Han, A. (2003). *El cultivo del cacao. [En línea]: FAO, (<http://www.tdr.cesca.es~documentos>, 30 Ago. 2013).*

- Honorato, F. (2016). *Evaluacion de la concentracion de metales pesados en las aguas del rio Grande y su relacion con la actividad minera*. Cajamarca-Peru: Universidad Nacional de Cajamarca Escuela de Postgrado.
- INGAROCA, y JUAN. (2014). *Elaboracion del plan de mitigacion basado en la evaluacion de grado de contaminacion por metales y cianuro wad en los años 2010 - 2011 en la cuenca del rio Chonta*. Peru: Universidad Alas Peruanas Escuela Profesional de Ingenieria Ambiental.
- Jaramillo, J. (1997). *Residuos Sólidos Municipales*. . Washington. : Washington. USA. p. 214. USA. p. 214.
- Jarup. (2016). Efectos Nocivos del plomo en la salud del hombre. *INVEST-BIOMED*, pag. 1-21.
- Julio, Lisi y Marlene. (2012). *Capacidad remediadora de la raíz de girasol, Helianthus annuus, cuando es sometida a diferentes concentraciones de plomo*. Trujillo-Peru: Universidad Nacional de Trujillo.
- Kabata, P., y Pendias, H. (2000). *Trace Elements in Soils and Plants*. Press Boca Raton Florida, USA.: Third edition.
- Krishnamurti, G., Cieslinski, P., Huang, y Rees., V. (1997). *Kinetics of cadmium release from soils as influenced by organic acids*. implication in cadmium availability. *Journals of environmental quality*: pag. 26:271-277.
- Lagriffoul, Mocquot, Mench, y Vangronsveld. (1998). *Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and activities of stress related enzymes in young maize plants (Zea mays L.)*. *lant and Soil*. 200, 241–250.

- Lama, D. (1995). *Paquete Tecnológico del Cultivo de Cacao en la Región Alto Huallaga*. Ministerio de Agricultura. 5 ed. Tingo María, Perú, s.n. 622 p.
- Lucho, C., Alvarez, M., Beltran, R., Prieto, F., y Poggi, H. (2005). *A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with waste water*.
- Lue-Hing, C., Zenz, R., y Kuchenrither, D. (1992). *Sewage Sludge management, processing, utilization and disposal*. Technomic. U.S.A. 69: 653.
- Maria Polo. (2011). *Analisis de Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, y Zn en el antiguo botadero de el Valle*. Cuenca - Ecuador: Universidad de Azuay .
- Marisol, R. (2017). *Evaluacion de la calidad fisico y quimica de las fuentes de agua vertidos con lixiviados del botadero de residuos solidos y sus efectos en la salud publica de la poblacion de la zona periferica del botadero de cancharani*. Puno- Peru: Universidad Nacional del Altiplano Escuela de Postgrado Maestria en Ecologia.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, San Diego.
- Martín del Campo, S., Mier, V., y Hachec, R. (27 al 31 de octubre de 2002). Aplicación de lodos residuales municipales en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en suelos agrícolas del Valle de Toluca, XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Cancún. *UAEMéx*, págs. pp 1-7.
- Martínez, G. (2004). *Efecto del acondicionamiento de suelo con lodos residuales municipales y composta en el cultivo del maíz: Evaluación de metales*,

- productividad y calidad*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias UAEMéx. pp. 37-39.
- Masters, G., y Ela, W. (2008). *Introducción a la ingeniería medioambiental*. Pearson Prentice Hall, 737 pág.
- Maz, A., y Azcue, J. (1993). *Metales en sistemas Biologicos*. 8va Edicion, Promocion y publicaciones Universitarias S.A., España.
- MINAM. (2013). *Ministerio del Ambiente: aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo*. Peru: Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM.
- Moreno, E. (2010). *Recuperacion de suelos mineros contaminados con el Arsenico mediante fitotecnologias*. Madrid: Universidad Autonoma de Madrid, Departamento de Quimica Agricola, Tesis Doctoral.
- Navarro-Aviñó, J., Aguilar, A., y López-Moya, J. (2007). *Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas*. Ecosistemas.
- O'Reilly, J. E. (1979). *Slurry-injection atomic absorption spectrometry of whole coal*. Anal. Chem., 51, p.1905.
- Orozco, P., Gonzales, R., y Alfayate. (2003). *Contaminación ambiental. Una visión desde la química*. Paraninfo S.A. Madrid: 5ta reimpresión.
- Ortega, A. F. (2001). *El pediatra y la incineración de residuos sólidos. Conceptos básicos y efectos adversos en la salud humana*. Rev. Esp. Pediatr. Vol. 57, No. 6: 473.



- Ortiz, H., Morillo, V., y Villavicencio, B. (1999). *Efectos de la adición de lodos residuales sobre un suelo agrícola y un cultivo de maíz*. Laboratorio de Investigaciones Ambientales, Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de México: Rev. Int. Contam. Ambient. 15(2) 69-77.
- 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: Environmental Pollution, 132, pp. 189- 201.
- Palencia, Y. (2007). *Sustancias bioactivas en los alimentos, disponible en España*. Obtenido de [http://www.unizar.es/med\\_naturista/bioactivos%20en%20alimentos.pdf](http://www.unizar.es/med_naturista/bioactivos%20en%20alimentos.pdf)
- Pineda, M. (2006). *Educación Ambiental y Gestión de Residuos Sólidos. Impreso en Sagitario*. Puno - Peru.
- Raul, Q. (2017). *Evaluación de la concentración de los metales pesados (cadmio, cromo y plomo) en los sedimentos superficiales en el ríos Coata*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano de la Facultad de Ingeniería Agrícola.
- Rieuwerts, J., Thonton, M., y Ashmore, M. (1998). *Factors influencing metals bioavailability in soils*. Chemical Speciation and Bioavailability: preliminary investigations for the development of a critical loads approach for metals.
- Rocha, C. E. (2000). Principios de Espectroscopia. México. 123-203, pág 123-203.

- Rojas, M. (2004). *Cantidad y Disposición Final de Residuos Sólidos en la Ciudad de Puno*. Puno: (Tesis de la Escuela Profesional Ciencias Biológicas). Universidad Nacional del Altiplano-Puno; pp. 63.
- Rosario, O. (2017). *Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados mediante cultivo de geranio (Pelargonium zonale)*. Trujillo - Peru: Universidad Privada del Norte.
- Saravia, R., y Gabriel, A. (2014). *Gestión y manejo de residuos sólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chilpina Sedapar S.A.* Provincia de Arequipa: Departamento de Arequipa.
- 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. *Trends in Analytical Chemistry*, 22, pp.152-159.
- Sauve, S., y Henderson, a. H. (2000). *Solid-solution partitioning of metals in contaminated soils: dependence on pH, total metal burden, and organic matter*. *Environ. Sci. Technol.* 34:1125–1131.
- Spain, A. (2003). *Implications of Microbial Heavy Metals Tolerance in the Environment*. Reviews in Undergraduate Research.
- STIGLIANI, W. (1993). *Overview of the Chemical Time Bomb problem in Europe*. In: Meulen G.R.B., Stigliani W.G., Salomons W., Bridges E.M., Imenson A.C. (Eds.) *Chemicals time bombs. Proceedings of the European State-of-the-art Conference on Delayed effects of Chemicals in Soils* a. Hoofddorp, the Netherlands, 13-29.

- STRAWN D.C., S. D. (2000). *Effects of soil organic matter on the kinetics and mechanisms of Pb(II) sorption and desorption in soil*. Soil Sci: Society of America Journal, 64 144-156.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, A. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. Mc Graw – Hill. Madrid: 1107 p.
- Tchobanoglous, Theisen, y Vigil. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. Ed.: Mc Graw – Hill. Madrid. 1107 p.
- Torres, P. (2005). *Cobre, Medio Ambiente y Salud, Aportes de la Ciencia*. Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia, IM2. pp 214.
- Vélez. (2007). *Los biosólidos: ¿una solución o un problema? Producción + limpia*. Vol. . Número 2. pp. 8-9.
- Verga, G. J. (2012). *Nivel de contaminación por metales pesados (Pb, Cu, Hg, As y Fe) en el rio el toro distrito de Huamachuco de la provincia de Sánchez Carrión*. Trujillo - Perú: Tesis para la optar el grado académico de maestría de la Universidad Nacional de Trujillo.
- Yarleque, M. J. (2013). *Programa de Adecuacion y Manejo Ambiental para el Relleno Sanitario de Kehuar- Anta*. Cusco.: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

## ANEXOS

## a. PANEL FOTOGRÁFICO.



**Figura 17:** Vista panorámico del botadero de Cancharani desde el cerro.



**Figura 18:** Inicio de levantamiento de puntos geográfico en la parte alta del botadero de Cancharani.





**Figura 19:** Punto de inicio de levantamiento geográfico en la parte baja del botadero.



**Figura 20:** Medición de la distancia a 20 metros del botadero para el primer punto de muestreo.





**Figura 21:** Apertura de 40 cm de suelo para luego realizar el muestreo del suelo.



**Figura 22:** Luego del muestreo del suelo.





**Figura 23:** Capa freática en uno de los puntos de muestreo.



**Figura 24:** Concentración de residuos sólidos en uno de los puntos de muestreo.



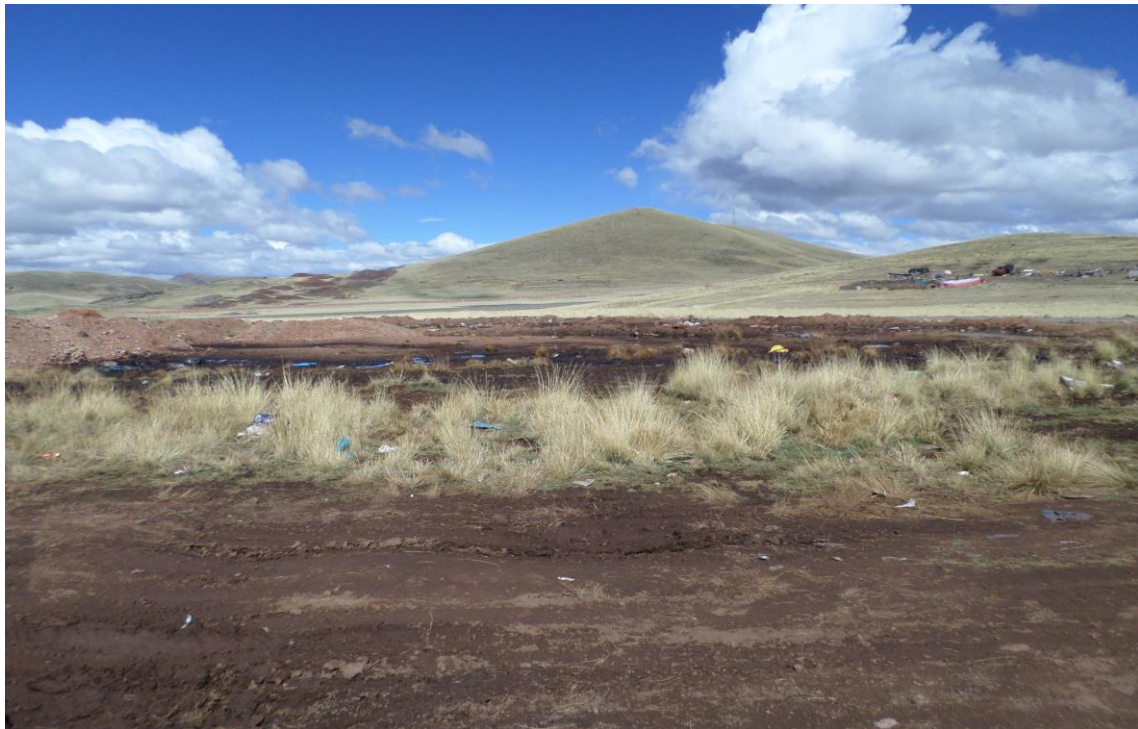


**Figura 25:** Contaminación del suelo con la emanación del polvo.



**Figura 26:** Pastoreo de los vacunos en suelos del botadero.





**Figura 27:** Concentración de los lixiviados en los suelos producto del botadero y la cercanía de una cabaña.



**Figura 28:** Generación de los lixiviados el botadero.

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S22/18

Página 1 de 9

**INFORME DE ENSAYO DE SUELOS S22/18**

Cliente:	UNA -PUNO
Solicitante:	Sra. Nely Elma Torres Quispe
Dirección del cliente:	Residencial Aeropuerto, Juliaca Puno - Perú
Procedencia de la muestra:	Boladere - Comunidad Cancharani
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	A 20 m. de la zona de seguridad del boladere
Responsable del muestreo:	Sra. Nely Elma Torres Quispe
Fecha de muestreo:	03 de mayo de 2018
Hora de muestreo:	05:30
Fecha de recepción de la muestra:	07 de mayo de 2018
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 07 al 25 de mayo, 2018
Caracterización de la muestra:	Suelo
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Bolsa plástica
Código LCA:	22-1
Código original de muestra:	A1 - 1

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	A1 - 1 22-1
pH acuoso	ISRIC 4		1 - 4	5,5
Conductividad eléctrica	ASPT 6	µS/cm	1,0	64
Arsénico total	Microwave Reaction System/EPA 206.2	mg/kg	0,10	10
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	1,7
Cobre total	Microwave Reaction System/PA 220.1	mg/kg	0,50	78
Mercurio total	Microwave Reaction System/EPA 245.5	mg/kg	0,20	0,20
Plomo total	Microwave Reaction System/EPA 219.1	mg/kg	0,25	60

- International Soil Reference and Information Center (ISRIC)  
 - Análisis de Suelos y Plantas tropicales (ASPT)

\* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 \* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Mayo 25 de 2018

FC - Enfoque  
 JCMca



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S22/18

Página 2 de 9

**INFORME DE ENSAYO DE SUELOS S22/18**

Cliete: UNA -PUNO  
 Solicitante: Srta. Nely Elma Torres Quispe  
 Dirección del cliente: Residencial Aeropuerto, Juliaca Puno - Perú  
 Procedencia de la muestra: Botadero - Comunidad Cancharani  
 Provincia: Puno  
 Departamento: Puno  
 Punto de muestreo: A 40 m. de la zona de seguridad del botadero  
 Responsable del muestreo: Srta. Nely Elma Torres Quispe  
 Fecha de muestreo: 03 de mayo de 2018  
 Hora de muestreo: 08:00  
 Fecha de recepción de la muestra: 07 de mayo de 2018  
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 07 al 25 de mayo, 2018  
 Caracterización de la muestra: Suelo  
 Tipo de muestra: Simple  
 Envase: Bolsa plástica  
 Código LCA: 22-2  
 Código original de muestra: A1 - 2

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	A1 - 2 22-2
pH acuoso	ISRIC 4		1 - 4	6,6
Conductividad eléctrica	ASPT 6	µS/cm	1,0	29
Arsénico total	Microwave Reaction System/EPA 208.2	mg/kg	0,10	31
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	2,0
Cobre total	Microwave Reaction System/EPA 220.1	mg/kg	0,50	153
Mercurio total	Microwave Reaction System/EPA 245.5	mg/kg	0,20	0,20
Plomo total	Microwave Reaction System/EPA 238.1	mg/kg	0,25	62

- International Soil Reference and Information Center (ISRIC)  
 - Análisis de Suelos y Plantas tropicales (ASTP)

\* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 \* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Mayo 25 de 2018



CC: Jckson  
 JGN/ta

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S22/18

Página 3 de 9

**INFORME DE ENSAYO DE SUELOS S22/18**

Cliente: **UNA - PUNO**  
 Solicitante: **Srita. Nely Elma Torres Quispe**  
 Dirección del cliente: **Residencial Aeropuerto, Juliaca Puno - Perú**  
 Procedencia de la muestra: **Botadero - Comunidad Cancharani**  
 Provincia: **Puno**  
 Departamento: **Puno**  
 Punto de muestreo: **A 60 m., de la zona de seguridad del botadero**  
 Responsable del muestreo: **Srita. Nely Elma Torres Quispe**  
 Fecha de muestreo: **03 de mayo de 2018**  
 Hora de muestreo: **06:30**  
 Fecha de recepción de la muestra: **07 de mayo de 2018**  
 Fecha de ejecución del ensayo: **Del 07 al 25 de mayo, 2018**  
 Caracterización de la muestra: **Suelo**  
 Tipo de muestra: **Simple**  
 Envase: **Bolsa plástica**  
 Código LCA: **22-3**  
 Código original de muestra: **A1 - 3**

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	A1 - 3 22-3
pH acuoso	ISRIC 4		1 - 4	6,1
Conductividad eléctrica	ASPT 6	µS/cm	1,0	42
Arsénico total	Microwave Reaction System/EPA 206.2	mg/kg	0,10	24
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	1,6
Cobre total	Microwave Reaction System/PA 220.1	mg/kg	0,50	67
Mercurio total	Microwave Reaction System/EPA 245.5	mg/kg	0,20	0,20
Plomo total	Microwave Reaction System/EPA 239.1	mg/kg	0,25	67

- International Soil Reference and Information Center (ISRIC)  
 - Análisis de Suelos y Plantas tropicales (ASTP)

\* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 \* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Mayo 25 de 2018



FC PN  
 UMSA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S22/18

Página 4 de 9

**INFORME DE ENSAYO DE SUELOS S22/18**

Cliente: UNA - PUNO  
 Solicitante: Srta. Nely Elma Torres Quispe  
 Dirección del cliente: Residencial Aeropuerto, Juliaca Puno - Perú  
 Procedencia de la muestra: Botadero - Comunidad Cancharani  
 Provincia: Puno  
 Departamento: Puno  
 Punto de muestreo: Zona Central Botadero, a 20 m. carretera  
 Responsable del muestreo: Srta. Nely Elma Torres Quispe  
 Fecha de muestreo: 03 de mayo de 2018  
 Hora de muestreo: 07:00  
 Fecha de recepción de la muestra: 07 de mayo de 2018  
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 07 al 25 de mayo, 2018  
 Caracterización de la muestra: Suelo  
 Tipo de muestra: Simple  
 Envase: Bolsa plástica  
 Código LCA: 22-4  
 Código original de muestra: A2 - 1

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	A2 - 1 22-4
pH acuoso	ISRIC 4		1 - 4	6,5
Conductividad eléctrica	ASPT 6	µS/cm	1,0	757
Arsénico total	Microwave Reaction System EPA 205.2	mg/kg	0,10	12
Cadmio total	Microwave Reaction System EPA 213.1	mg/kg	0,20	1,9
Cobre total	Microwave Reaction System EPA 220.1	mg/kg	0,50	71
Mercurio total	Microwave Reaction System EPA 245.5	mg/kg	0,20	0,37
Plomo total	Microwave Reaction System EPA 239.1	mg/kg	0,25	58

- International Soil Reference and Information Center (ISRIC)  
 - Análisis de Suelos y Plantas tropicales (ASTP)

\* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 \* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Mayo 25 de 2018



CC - Andino  
 JCMca

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S22/18

Página 5 de 9

**INFORME DE ENSAYO DE SUELOS S22/18**

Cliete: UNA - PUNO  
 Solicitante: Srta. Nely Elma Torres Quispe  
 Dirección del cliente: Residencial Aeropuerto, Juliaca Puno - Perú  
 Procedencia de la muestra: Boladero - Comunidad Cancharani  
 Provincia: Puno  
 Departamento: Puno  
 Punto de muestreo: A 40 m. Carretera, napa freática a 30 cm.  
 Responsable del muestreo: Srta. Nely Elma Torres Quispe  
 Fecha de muestreo: 03 de mayo de 2018  
 Hora de muestreo: 07:30  
 Fecha de recepción de la muestra: 07 de mayo de 2018  
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 07 al 25 de mayo, 2018  
 Caracterización de la muestra: Suelo  
 Tipo de muestra: Simple  
 Envase: Bolsa plástica  
 Código LCA: 22-5  
 Código original de muestra: A2 - 2

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	A2 - 2 22-5
pH acuoso	ISRIC 4		1 - 4	6,8
Conductividad eléctrica	ASPT 6	µS/cm	1,0	1746
Arsénico total	Microwave Reaction System/EPA 208.2	mg/kg	0,10	19
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	1,8
Cobre total	Microwave Reaction System/EPA 220.1	mg/kg	0,50	39
Mercurio total	Microwave Reaction System/EPA 245.5	mg/kg	0,20	0,20
Plomo total	Microwave Reaction System/EPA 238.1	mg/kg	0,25	47

- International Soil Reference and Information Center (ISRIC)  
 - Análisis de Suelos y Plantas tropicales (ASTP)

\* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 \* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Mayo 25 de 2018



CC - Andros  
 JCrAc

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S22/18

Página 6 de 9

**INFORME DE ENSAYO DE SUELOS S22/18**

Cliente: **UNA -PUNO**  
 Solicitante: **Sra. Nely Elma Torres Quispe**  
 Dirección del cliente: **Residencial Aeropuerto, Juliaca Puno - Perú**  
 Procedencia de la muestra: **Botadero - Comunidad Cancharani**  
 Provincia: **Puno**  
 Departamento: **Puno**  
 Punto de muestreo: **A 60 m. de la carretera**  
 Responsable del muestreo: **Sra. Nely Elma Torres Quispe**  
 Fecha de muestreo: **03 de mayo de 2018**  
 Hora de muestreo: **08:00**  
 Fecha de recepción de la muestra: **07 de mayo de 2018**  
 Fecha de ejecución del ensayo: **Del 07 al 25 de mayo, 2018**  
 Caracterización de la muestra: **Suelo**  
 Tipo de muestra: **Simple**  
 Envase: **Bolsa plástica**  
 Código LCA: **22-6**  
 Código original de muestra: **A2 - 3**

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	A2 - 3
pH acuoso	ISRIC 4		1 - 4	6,5
Conductividad eléctrica	ASPT 6	µS/cm	1,0	385
Arsénico total	Microwave Reaction System/EPA 206.2	mg/kg	0,10	17
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	1,4
Cobre total	Microwave Reaction System/PA 220.1	mg/kg	0,50	33
Mercurio total	Microwave Reaction System/EPA 245.5	mg/kg	0,20	0,51
Piomo total	Microwave Reaction System/EPA 239.1	mg/kg	0,25	51

- International Soil Reference and Information Center (ISRIC)  
 - Análisis de Suelos y Plantas tropicales (ASTP)

\* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 \* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Mayo 25 de 2018



FC Avila  
 JDieta

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S22/18

Página 7 de 9

**INFORME DE ENSAYO DE SUELOS S22/18**

Cliente:	UNA -PUNO
Solicitante:	Srta. Nely Elma Torres Quispe
Dirección del cliente:	Residencial Aeropuerto, Juliaca Puno - Perú
Procedencia de la muestra:	Botadero - Comunidad Cancharani
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Magen derecho del botadero , a 10 m. carretera
Responsable del muestreo:	Srta. Nely Elma Torres Quispe
Fecha de muestreo:	03 de mayo de 2018
Hora de muestreo:	09:00
Fecha de recepción de la muestra:	07 de mayo de 2018
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 07 al 25 de mayo, 2018
Caracterización de la muestra:	Suelo
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Bolsa plástica
Código LCA:	22-7
Código original de muestra:	A3 - 1

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	A3 - 1 22-7
pH acuoso	ISRIC 4		1 - 4	7,6
Conductividad eléctrica	ASPT 5	µS/cm	1,0	146
Arsénico total	Microwave Reaction System/EPA 206.2	mg/kg	0,10	14
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	2,2
Cobre total	Microwave Reaction System/EPA 220.1	mg/kg	0,50	126
Mercurio total	Microwave Reaction System/EPA 245.5	mg/kg	0,20	0,20
Plomo total	Microwave Reaction System/EPA 239.1	mg/kg	0,25	90

- International Soil Reference and Information Center (ISRIC)  
 - Análisis de Suelos y Plantas tropicales (ASTP)

\* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 \* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Mayo 25 de 2018



EV: Jch/tes  
 JCh/tes

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S22/18

Página 8 de 9

**INFORME DE ENSAYO DE SUELOS S22/18**

Cliete: UNA -PUNO  
 Solicitante: Sra. Nely Elma Torres Quispe  
 Dirección del cliente: Residencial Aeropuerto, Juliaca Puno - Perú  
 Procedencia de la muestra: Boladero - Comunidad Cancharani  
 Provincia: Puno  
 Departamento: Puno  
 Punto de muestreo: A 40 m. del boladero  
 Responsable del muestreo: Sra. Nely Elma Torres Quispe  
 Fecha de muestreo: 03 de mayo de 2018  
 Hora de muestreo: 19:00  
 Fecha de recepción de la muestra: 07 de mayo de 2018  
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 07 al 25 de mayo, 2018  
 Caracterización de la muestra: Suelo  
 Tipo de muestra: Simple  
 Envase: Bolsa plástica  
 Código LCA: 22-8  
 Código original de muestra: A3 - 2

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	A3 - 2 22-8
pH acuoso	ISRIC 4		1 - 4	6,0
Conductividad eléctrica	ASPT 6	µS/cm	1,0	51
Arsénico total	Microwave Reaction System/EPA 206.2	mg/kg	0,10	12
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	1,8
Cobre total	Microwave Reaction System/EPA 220.1	mg/kg	0,50	78
Mercurio total	Microwave Reaction System/EPA 245.5	mg/kg	0,20	0,20
Plomo total	Microwave Reaction System/EPA 238.1	mg/kg	0,25	51

- International Soil Reference and Information Center (ISRIC)  
 - Análisis de Suelos y Plantas tropicales (ASTP)

\* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 \* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Mayo 25 de 2018



CC: Andrés  
 JCH/08

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S22/18

Página 9 de 9

**INFORME DE ENSAYO DE SUELOS S22/18**

Cliente: UNA -PUNO  
 Solicitante: Srta. Nely Elma Torres Quispe  
 Dirección del cliente: Residencial Aeropuerto, Juliaca Puno - Perú  
 Procedencia de la muestra: Botadero - Comunidad Cancharani  
 Provincia: Puno  
 Departamento: Puno  
 Punto de muestreo: A 60 m. del primer punto margen derecho.  
 Responsable del muestreo: Srta. Nely Elma Torres Quispe  
 Fecha de muestreo: 03 de mayo de 2018  
 Hora de muestreo: 11:00  
 Fecha de recepción de la muestra: 07 de mayo de 2018  
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 07 al 25 de mayo, 2018  
 Caracterización de la muestra: Suelo  
 Tipo de muestra: Simple  
 Envase: Bolsa plástica  
 Código LCA: 22-9  
 Código original de muestra: A3 - 3

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	A3 - 3 22-9
pH acuoso	ISRIC 4		1 - 4	6,4
Conductividad eléctrica	ASPT 6	µS/cm	1,0	69
Arsénico total	Microwave Reaction System/EPA 206.2	mg/kg	0,10	15
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	1,6
Cobre total	Microwave Reaction System/EPA 220.1	mg/kg	0,50	103
Mercurio total	Microwave Reaction System/EPA 245.5	mg/kg	0,20	0,20
Plomo total	Microwave Reaction System/EPA 230.1	mg/kg	0,25	41

- International Soil Reference and Information Center (ISRIC)  
 - Análisis de Suelos y Plantas tropicales (ASPT)

\* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 \* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Mayo 25 de 2018

Ing. Jaime Chancheros Paniagua  
 Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



CC: Archivos  
 J.Cola

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia