

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN
AMBIENTAL



TESIS

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS
CONTAMINADOS CON MERCURIO POR ACTIVIDAD MINERA,
APLICANDO LA TECNOLOGÍA DE VERMICOMPOSTA**

PRESENTADA POR:

ERNESTO LARICANO FLORES

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN
AMBIENTAL**

PUNO, PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN
AMBIENTAL



TESIS

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS
CONTAMINADOS CON MERCURIO POR ACTIVIDAD MINERA,
APLICANDO LA TECNOLOGÍA DE VERMICOMPOSTA

PRESENTADA POR:

ERNESTO LARICANO FLORES

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE


.....
Dra. SOFÍA LOURDES BENAVENTE FERNÁNDEZ

PRIMER MIEMBRO


.....
Dr. ROBERTO CHÁVEZ FLORES

SEGUNDO MIEMBRO


.....
Dr. ÓSCAR ELOY LLANQUE MAQUERA

ASESOR DE TESIS


.....
Dr. ÁNGEL CANALES GUTIÉRREZ

Puno, 13 de agosto de 2018.

ÁREA: Conservación de la biodiversidad.

TEMA: Biorremediación de suelos contaminados con mercurio.

LÍNEA: Contaminación atmosférica, cuencas, agua y suelos.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación, se lo dedico de manera especial a mis padres don Mariano Valentín y doña María, quienes hace mucho tiempo se encuentran a lado de nuestro Señor. Expresarles mi entrañable e inmenso amor fraternal, pues ellos fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, inculcando en mi persona desde mi primera y fundamental formación en el seno familiar los principios y valores de la responsabilidad, el esfuerzo y los deseos de superación, ella es mi fuente de inspiración, pues sus grandes virtudes, su don de persona y su gran corazón, generan en mi persona no solo cariño y admiración, sino que me hace concebir que en la vida uno no solo tiene que ser un gran profesional, también tiene que ser una buena persona.

A mi pareja Yolanda, mis hijos Erwin Amlacher y Luis Angel, por ser las personas que me han ofrecido el amor y la calidez de la familia a la cual amo.

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a Dios, por darme la vida, la fortaleza física y espiritual por hacer de mí un hombre de bien y permitir lograr mis objetivos con satisfacción.
- A la Universidad Nacional del Altiplano y a la plana de docentes, que es la casa de estudio que me formó desde el pre grado, concluyendo cada etapa de mi vida y el desarrollo profesional y personal con éxito.
- A mis padres, por haberme dado la vida, criado con cariño y responsabilidad e inculcando los valores del respeto, de responsabilidad y sobre todo los deseos de superación.
- A mi esposa Yolanda, quién estuvo a mi lado en todo momento, por impulsarme y apoyarme a cumplir mis metas, con amor, cariño, preocupación y por ver en mí una persona de bien en cada etapa de mi vida y en esta oportunidad con este logro de mis objetivos profesionales.
- A mis hijos, por ser mi fuente de inspiración, de lucha y esfuerzo constante para ser una buena persona y mejor profesional.
- A mi asesor de tesis Dr. Ángel Canales Gutiérrez quien me apoyó desde el inicio de mi tesis, gracias por su tiempo, disponibilidad, paciencia, por confiar en mi trabajo y por guiar mis ideas, sus aportes y participación en el desarrollo del presente trabajo de investigación. Por ser guía, conductor y orientador en este gran objetivo académico.
- A Dr. José Luis Morales Rocha, por su apoyo, comprensión y buena voluntad como persona de bien, que contribuyó en la realización del presente trabajo.
- A la Corporación Minera Ananea S.A.-Mina Rinconada, por permitir el desarrollo y ejecución de este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1	Marco teórico	3
1.2	Antecedentes	5

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1	Planteamiento del problema	8
2.2	Interrogantes	9
2.2.1	Interrogante general	9
2.2.2	Interrogantes específicos	9
2.3	Hipótesis	10
2.3.1	Hipótesis general	10
2.3.2	Hipótesis específicos	10
2.4	Objetivos	10
2.4.1	Objetivo general	10
2.4.2	Objetivos específicos	10

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Lugar de estudio	11
3.2	Población y tamaño de muestra	12
3.2.1	Población	12
3.2.2	Muestra	12

iii

3.3	Métodos	13
3.4	Descripción detallada de los métodos, uso de materiales, equipos e insumos por cada objetivo específico.	15
3.4.1	Diseño de experimento para investigación	15
3.5	Uso de materiales, equipos e insumos	16
3.6	VARIABLES que se analizaron	17
3.7	Aplicación de modelo estadístico	17
3.7.1	Diseño de experimento para investigación	18
3.8	Uso de materiales, equipos e insumos	18
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
4.1	Comparar las concentraciones de la vermicomposta en diferentes concentraciones para la disminución de los niveles de contaminación del mercurio (mg/Kg) en suelos contaminados.	20
4.2	Contrastar el tiempo (días) de aplicación de la vermicomposta, para la del proceso de disminución de suelos contaminados con mercurio (mg/Kg).	25
CONCLUSIONES		29
RECOMENDACIONES		30
BIBLIOGRAFÍA		31
ANEXOS		33

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Resultados de laboratorio de la reducción de mercurio total(mg/Kg) con aplicación de tres tratamientos de vermicompost, realizado en el Invernadero de la Oficina de Gestión Ambiental de la UNA PUNO, octubre a diciembre, 2017.	21
2. Resultados de laboratorio de la reducción de mercurio total(mg/Kg) con aplicación de tres tratamientos de vermicompost en relación al tiempo (15, 30 y 45 días) realizado en el Invernadero de la Oficina de Gestión Ambiental de la UNA –Puno, octubre a diciembre, 2017.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Ubicación del Invernadero de la Oficina de Gestión Ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno	12
2. Diseño de investigación sobre vermicomposta para reducir la toxicidad de suelos contaminados con mercurio	16
3. Diseño de tratamiento según variables independiente y dependiente para determinar diferencias en la disminución de la cantidad de mercurio en suelos contaminados de la Mina Rinconada, Ananea, Puno.	17
4. Diseño de tratamiento según variables independiente y dependiente para determinar disminución de la cantidad de mercurio en suelos contaminados de la Mina Rinconada, Ananea, Puno.	19
5. Biodegradación de la concentración de mercurio (mg/kg) de suelos contaminados con relaves mineros, aplicando tres concentraciones de vermicompost, realizado en el Invernadero de la Oficina de Gestión Ambiental de la UNA- Puno, octubre a diciembre, 2017.	22
6. Biodegradación de la concentración de mercurio (mg/kg) de suelos contaminados con relaves mineros, aplicando la tecnología del vermicompost, realizado en el Invernadero de la Oficina de Gestión Ambiental de la UNA – Puno, octubre a diciembre, 2017.	26
7. Relación de la biodegradación de la concentración de mercurio (mg/kg) de suelos contaminados con relaves mineros, aplicando tiempo de 15, 30 y 45 días, realizado en el Invernadero de la Oficina de Gestión Ambiental de la UNA – Puno, octubre a diciembre, 2017.	27
8. Ingresando al invernadero de la investigación	59
9. Experimento instalado para la investigación	59
10. Experimento instalado para la investigación.	60
11. Control de la humedad de la investigación	60
12. Control del pH del agua de la investigación	61
13. Control del pH del suelo de la investigación	61
14. Tomando muestra para el análisis de laboratorio	62
15. Tomando muestra para el análisis de laboratorio	62
16. Mostrando reproducción de lombrices en la vermicomposta	63
	vi

17. Pesando muestras para análisis de laboratorio	63
18. Empaquetando las muestras para análisis de laboratorio	64
19. Pesando muestras para etiquetado	64
20. Llenado de etiquetas para las muestras	65
21. Etiquetado de muestras para análisis de laboratorio	65
22. Realizando custodia de muestras para análisis de laboratorio	66

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Informe de ensayo - 1	34
2. Informe de ensayo – 2	36
3. Informe de ensayo – 3	38
4. Informe de ensayo – 4	40
5. Informe de ensayo – 5	42
6. Informe de ensayo – 6	44
7. Informe de ensayo – 7	46
8. Informe de ensayo – 8	48
9. Informe de ensayo – 9	51
10. Informe de ensayo - 10	54
11. Cuadro de Matriz de Consistencia	57
12. Certificado de Acreditación	58
13. Evidencias fotograficas	59
14. Metodo EPA 7471B	67

RESUMEN

El presente estudio de investigación sobre biorremediación de suelos contaminados con mercurio, se realizó en la ciudad de Puno, a partir de agosto a diciembre del 2017. El problema de la contaminación por mercurio de suelos por actividad minera, tiene sus efectos en el deterioro de los ecosistemas terrestres y acuáticos. Asimismo, su efecto indirecto en la salud humana. Se ha planteado las siguientes interrogantes: ¿Las concentraciones de la vermicomposta influyen en la disminución de los niveles de contaminación de mercurio (mg/kg) en suelos? y ¿El tiempo de aplicación de la vermicomposta influye en el proceso de disminución de suelos contaminados con mercurio (mg/kg)? Los objetivos del presente trabajo de investigación fueron: a) Comparar la concentración de vermicomposta en la disminución de los niveles de contaminación del mercurio (mg/kg) en suelos y b) Contrastar el efecto del tiempo de aplicación de la vermicomposta en el proceso de disminución de los niveles de contaminación de mercurio (mg/kg). En el presente trabajo de investigación experimental comparativa, el análisis de mercurio se realizó por el método de espectrofotometría de absorción atómica. Se observó una disminución de mercurio total del 73%, es decir de 167.5 mg Hg/Kg a 16.28 mg Hg/Kg. Dicho comportamiento se hace evidente en todos los tratamiento de 167.5 mg Hg/Kg, después de 15 días TA-1 = 108.80 mg Hg/Kg, TB-1 = 60.59 mg Hg/Kg, TC-1 = 64.76 mg Hg/Kg, 30 días TA-2 = 63.07 mg Hg/Kg, TB-2 = 59.10 mg Hg/Kg, TC-2 = 57.56 mg Hg/Kg, 45 días TA-3 = 16.15 mg Hg/Kg, TB-3 = 15.57 mg Hg/Kg, TC-3 = 17.12 mg Hg/Kg.

Palabras clave: Biorremediación, Eisenia foétida, lombriz, mercurio, metales pesados, vermicomposta.

ABSTRACT

This research study on bioremediation of soils contaminated with mercury was carried out in the city of Puno, from August to December 2017. The problem of soil mercury contamination by mining activity has its effects on the deterioration of terrestrial and aquatic ecosystems. Also, its indirect effect on human health. The following questions have been raised: do the concentrations of vermicompost influence the decrease in levels of mercury contamination (mg/kg) in soils? And does the time of application of vermicompost influence the process of depletion of soils contaminated with mercury (mg/kg)?. The objectives of this research work were: a) to compare the concentration of vermicompost in the decrease in levels of mercury pollution (mg/kg) in soils and b) to evaluate the effect of time of application of vermicompost in the process of Decreased levels of mercury contamination (mg/kg). In this experimental comparative research work, mercury analysis was performed by the atomic absorption spectrophotometry method. A total mercury decrease of 73% was observed, ie 167.5 mg Hg/kg at 16.28 mg Hg/kg. This behavior is evident in all treatment of 167.5 mg Hg/kg, after 15 days TA-1 = 108.80 mg Hg/kg, TB-1 = 60.59 mg HG/kg , TC-1 = 64.76 mg Hg/kg, 30 days TA-2 = 63.07 mg HG/kg, TB-2 = 59.10 mg HG/kg, TC-2 = 57.56 mg Hg/kg, 45 days TA-3 = 16.15 mg HG/kg, TB-3 = 15.57 mg HG/kg, TC-3 = 17.12 mg HG/kg.

Keywords: bioremediation, Eisenia Foétida, earthworm, mercury, heavy metals, vermicompost.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio de investigación titulado “Análisis comparativo de la biorremediación de suelos contaminados con mercurio por actividad minera, aplicando la tecnología de Vermicomposta”, se realizó en el invernadero de la oficina de gestión ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, a partir de agosto a diciembre del 2017; que corresponde al área de investigación conservación de la biodiversidad; línea de investigación contaminación atmosférica, cuencas, agua y suelos; tema biorremediación de suelos contaminados con mercurio.

El problema de la contaminación de suelos con mercurio por actividad minera, tiene sus efectos en el deterioro de los ecosistemas terrestres y acuáticos, asimismo su efecto indirecto en la salud humana.

Es de mucha importancia la biorremediación de suelos, porque es un tema que se ha venido investigando en los últimos años debido a sus ventajas frente a la remediación físicoquímica, en las que se incluyen los bajos costos y los impactos positivos socio-ambientales. La biorremediación de suelos contaminados usando lombrices rojas californianas (*Eisenia foétida*), es una tecnología rentable y ambientalmente amigable.

La lombriz de tierra mejora la estructura del suelo, contribuye a la descomposición de la materia orgánica y mejora el ciclo de nutrientes, además juega un papel importante en la evaluación del riesgo eco-toxicológico terrestre. La implementación de lombrices para la biorremediación es una técnica novedosa que ha mostrado que las capacidades de asimilación de metales por vía digestiva son prácticamente independientes del pH del suelo. A través de las secreciones mucilaginosas y la transformación de la materia orgánica, las lombrices incrementan la actividad microbial y la disponibilidad de los nutrientes, de igual manera se ha reportado que las lombrices pueden estimular las bacterias, hongos y especies relacionados con la degradación del pentaclorofenol. La lombriz tiene la capacidad de asimilar elevadas concentraciones de algunos compuestos protóxidos y metales (Cu, Fe, Cd, Pb, Zn), sin observarse síntomas aparentes de intoxicación a corto plazo.

En este estudio evalúa la eficacia de las lombrices rojas californianas (*Eisenia foétida*), para inmovilizar y degradar el mercurio presente en los suelos mineros de la Corporación Minera Ananea S.A.-Mina la Rinconada.

Se ha planteado las siguientes interrogantes: ¿Serán las concentraciones de la vermicomposta, influyan en la disminución de los niveles de contaminación de mercurio (mg/kg) en suelos contaminados? y ¿Serán el tiempo (días) de aplicación de la vermicomposta, influya en el proceso de disminución de suelos contaminados con mercurio (mg/kg)?. Los objetivos son: Comparar las concentraciones de la vermicomposta en diferentes concentraciones para la disminución de los niveles de contaminación del mercurio (mg/kg) en suelos contaminados y Contrastar el tiempo (días) de aplicación de la vermicomposta, para la del proceso de disminución de suelos contaminados con mercurio (m/Kg).

El presente trabajo de investigación contiene cinco capítulos: En el capítulo primero trata de revisión literaria, que comprende marco teórico y antecedentes. En el capítulo segundo trata planteamiento del problema que comprende; planteamiento del problema, interrogantes, hipótesis y objetivos. En el capítulo tercero considera los materiales y métodos que incluye el lugar de estudio, población y tamaño de muestra, métodos, descripción detallada de los métodos, uso de materiales, equipos e insumos por cada objetivo específico, diseño del experimento y aplicación estadística. En el capítulo cuarto se considera los resultados y la discusión por cada objetivo específico. Asimismo, se incluye conclusiones y recomendaciones por cada objetivo específico y finalmente la bibliografía y anexos.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

Los suelos con degradación química están ampliamente distribuidos en el mundo, y su recuperación puede basarse en la aplicación de enmiendas como el vermicompost sobre las propiedades biológicas de un suelo, la adición a los suelos contaminados de vermicompost, es una buena alternativa de recuperación biológica del suelo (Mogollón *et al.*, 2016), siendo el mercurio un contaminante global de nuestro medio ambiente y presencia se encuentra en suelos y sedimentos. Las técnicas concretamente XANES (X-Ray Near Edge Structure), permiten sin apenas tratamiento de muestra, la identificación de diferentes especies del elemento diana (en este caso mercurio) mediante la excitación de electrones de capa (Martínez, 2004), sin embargo, existen tecnologías de biorremediación de suelos contaminados, siendo procedimientos que consisten en usar organismos vivos para el consumo de los contaminantes en el suelo, esta alternativa tiene un bajo costo y permite la recuperación de suelos contaminados, reduciendo las concentraciones a niveles que no son tóxicos (Buendía, 2012). La minería del mercurio, ha producido una importante cantidad de residuos (escombreras, tailings y calcinados) que ha dado lugar a una significativa contaminación por mercurio (Hg) y arsénico (As) en los suelos, así como a una importante emisión de vapor de Hg a la atmósfera. El mercurio metálico (Hg⁰) adsorbido en la matriz para el caso de los suelos contaminados, se ha demostrado que la movilización del Hg se produce en forma de mercurio metálico disuelto, alcanzándose concentraciones de 67 mg/Kg en los lixiviados. El mercurio puede ser volatilizado a través del incremento de temperatura (Mendoza *et al.*, 2005).

La minería contamina el suelo y altera su composición, causando el aumento de daños visibles al suelo mediante la creación de minas a cielo abierto, escombreras, estanques de residuos y otras instalaciones de minas. La lombriz roja californiana, se aplica en suelos contaminados con mercurio. Se aplicaron cuatro tratamientos en diferentes concentraciones de mercurio y un tratamiento más como blanco con lombrices rojas (*Eisenia foétida*). Para esto, se evaluó el crecimiento de microorganismos a través de diferentes cultivos en el laboratorio, encontrando un crecimiento satisfactorio de los mismos luego de 25 y 90 días de tratamiento, se evidencia una inmovilización del mercurio y una adaptación de los microorganismos al suelo contaminado, mostrando un aumento significativo de estos con el transcurso del tiempo (Zapata *et al.*, 2017), siendo la minería informal, dedicada fundamentalmente a la extracción de oro, es un consumidor intensivo de mercurio, que al no ser manejado adecuadamente origina contaminación y deterioro tanto de cursos de agua como de los suelos donde se desarrollan las actividades extractivas. El mercurio suele presentarse de manera natural en forma metálica, orgánica e inorgánica, siendo las formas más comunes el mercurio elemental; sulfuro de mercurio conocido como cinabrio; el cloruro de mercurio; y metilmercurio. Los efectos tóxicos del mercurio, y particularmente el metilmercurio – la forma orgánica del metal, se evidencian por retraso en el desarrollo neurológico en fetos y en niños pequeños. En las zonas de explotación aurífera artesanal, cercanos a cursos de agua, las personas resultan intoxicadas por el consumo de pescados con metilmercurio (Ortiz y Guerrero, 2016)

El mercurio se encuentra en diversos tipos de alimentos, especialmente el pescado y que afectan negativamente a los seres humanos y la vida silvestre. La actividad del hombre ha generalizado los casos de exposición, contribuyendo con un legado de mercurio en vertederos, los desechos de la minería y los emplazamientos, suelos y sedimentos industriales contaminados (Español, 2012). Existen diferentes tecnologías que se consideran para el tratamiento de suelos contaminados, están relacionados a las propiedades del suelo y el tipo de contaminante, para fines de biorremediación de suelos por tipo de tratamiento biológica, fisicoquímica y térmica. Adicionalmente, se considera costos y tiempos estimados para la remediación de un sitio contaminado (Volke y Trejo 2002); actualmente, se ha incrementado el interés por desarrollar tecnologías que ayuden a solucionar el problema de los suelos contaminados, la mayoría de estas se han dirigido hacia los procesos de remediación in situ, dentro de los cuales se ha propuesto a la

electrorremediación por su capacidad de remover contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos (De la Rosa *et al.*, 2007).

1.2 Antecedentes

La actividad minera altera la composición del hábitat, causando daños visibles al suelo por la tecnología de minas a cielo abierto, escombreras, estanques de residuos y entre otras instalaciones mineras, la lombriz roja (*Eisenia foétida*) a diferentes concentraciones y tiempo de 25 a 90 días, tienen un crecimiento eficiente, evidenciando la inmovilización del mercurio en el suelo (Zapata *et al.*, 2017). Asimismo, la lombriz roja puede disminuir las concentraciones de cobre y arsénico, mostrando una baja mortalidad, indicando toxicidad aguda, dicho comportamiento fue relacionada con las concentraciones de cobre y arsénico (Ávila *et al.*, 2007).

Las interacciones en el proceso de biorremediación de suelos contaminados, que ocurren entre planta, microorganismos y compuestos orgánicos xenobióticos, estos conocimientos permiten proponer soluciones a la recuperación de suelos contaminados (López *et al.*, 2005), siendo el Hg un metal pesado altamente tóxico, que amenaza a la salud humana y al medioambiente, presentando en forma inorgánica y orgánica, siendo todas tóxicas, especialmente la última debido a su alta liposolubilidad, lo que facilita su biomagnificación en la cadena trófica, para disminuir su alta toxicidad del Hg, surge la necesidad de tratarlos de manera efectiva, lo cual se puede realizar utilizando estrategias de saneamiento ambiental tales como la remediación biológica, se ha revisado los diferentes mecanismos y la capacidad de remoción de Hg y metilmercurio (MeHg) por bacterias, hongos, algas, plantas y microorganismos rizosféricos. (Durango *et al.*, 2010). Cabe señalar que los metales más estudiados son el mercurio, el arsénico y el plomo, debido a la toxicidad asociada a los suelos y una fracción disponible que es asimilada por los seres vivos, la cual está determinada por las características fisicoquímicas del suelo (principalmente pH, potencial redox y materia orgánica). Las técnicas para la remediación de suelos se basan en métodos fisicoquímicos y biológicos (biorremediación), ya que aprovecha el potencial metabólico de organismos vivos para la descontaminación, lo más utilizados en la biorremediación son: precipitación, lixiviación y volatilización de metales pesados (Covarrubias *et al.*, 2015).

En pruebas pilotos para tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos (Cd, Cr, Ni y Zn), se ha aplicado tratamientos: cultivo mixto, compostaje y fertilización en unidades experimentales que contenían suelo contaminado. La correlación entre los heterótrofos mesófilos con los hidrocarburos totales, nitrógeno y fósforo, resultó negativa y altamente significativa ($p < 0,001$), lo que establece que aumento de los heterótrofos mesófilos provoca la disminución de los hidrocarburos totales, durante el los tres meses del estudio la aplicación simultanea de la técnica de compostaje, fertilización y consorcio bacteriano demostró ser una buena alternativa para la recuperación de suelos contaminados (Araujo *et al.*, 2004), sin embargo existen tratamientos para disminuir el mercurio a través del proceso de lixiviación de suelos derivados de cenizas volcánicas. Se aplicaron soluciones conteniendo Cd, Hg y Pb de volumen y concentración conocida hasta totalizar una adición de 2,3; 0,23 y 23 mg/Kg para Cd, Hg y Pb, respectivamente. Los suelos estudiados presentaron altos niveles de retención de Cd, Hg y Pb, por sobre el 96 % de la cantidad aplicada, lo cual fue reflejado en la baja lixiviación total de los metales aplicados (Pinochet *et al.*, 2002). Otra alternativa son las medidas de biorremediación consisten principalmente en el uso de los microorganismos naturales (levaduras, hongos o bacterias) existentes en el medio para descomponer o degradar sustancias peligrosas en sustancias de carácter menos tóxico o bien inocuas para el medio ambiente y la salud humana. Las medidas biocorrectoras se llevan empleando en la descontaminación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos desde hace décadas con importante éxito. Estas técnicas biológicas pueden ser de tipo aerobio, si se producen en condiciones aerobias (presencia de un medio oxidante como el compostaje) (Maroto & Rogel, 2004)

Otras alternativas para reducir la toxicidad del mercurio, son las tecnologías del vermicompost, pudiéndose utilizar a partir de suelo (lodos) de las plantas de tratamiento de aguas residuales, teniendo una buena calidad de compost y bajos costos (Vicencio *et al.*, 2011), esta tecnología donde se utiliza la lombriz roja (*Eisenia foétida*), donde se obtiene a partir de residuos orgánicos humus rico en nutrientes, tiene un impacto benéfico en lo agrícola, social y económico. La composta se estabiliza en 30 días, con inoculación de lombrices adultas en cada repetición (Morales et al 2009)

El vermicompost, tiene efectos en algunas propiedades del suelo y la biomasa vegetal. En invernadero se ha mezclado vermicompost en proporciones de 0, 25, 50, 75 y 100 % en macetas de un litro, sembrando sorgo por períodos de 45 días, luego se realizaron análisis de suelo y mediciones de la biomasa vegetal, resultando en las macetas con aplicación de vermicompost incrementó el P, Ca, Mg, K, aunque el pH aumentó en la acidez. La mayor acumulación de biomasa se alcanzó en la proporción de 50 % de vermicompost mientras que proporciones mayores provocaron una disminución (Duran, 2010).

El efecto del uso de un vermicompost (VC) de estiércol de conejo, incrementa el contenido de carbono oxidable (Cox), carbono soluble en agua (CSA) y Nitrógeno total (NT) en el suelo, este tipo de enmiendas orgánicas, aplicadas en forma de pila, es una importante estrategia de secuestro de Carbono (enriquecimiento de C) en suelos degradados (Rubenacker *et al.*, 2004).

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Planteamiento del problema

A nivel global, el problema de la contaminación por metales pesados afecta la calidad de vida humana, debido a su toxicidad a la salud humana, al medio ambiente. Los metales con mayor investigación son: el mercurio, el arsénico y el plomo. La alta toxicidad de metales pesados en los suelos, está relacionada con la cantidad disponible que es asimilada por los seres vivos, asociada a las características físicas y químicas del suelo, fundamentalmente con el pH, potencial redox y materia orgánica.

Las diferentes metodologías para la remediación de suelos se basan en técnicas fisicoquímicas y biológicas, estas últimas llamadas biorremediación, debido a que utilizan el potencial metabólico de organismos vivos como las bacterias y los hongos para fines de descontaminación de suelos contaminados con metales pesados. Los procesos con mayor uso en la biorremediación están relacionados con la precipitación, lixiviación y volatilización de metales pesados como el mercurio.

En los procesos de la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados, se puede utilizar organismos vivos como las lombrices y también insumos con alta concentración de materia orgánica, que tiene un bajo costo y que permite la recuperación de suelos contaminados a niveles menos tóxicos.

La aplicación de lombrices en suelos contaminados con metales pesados, tiene una baja mortalidad, esto implica ausencia de toxicidad aguda y una disminución en la concentración de metales pesados como el cobre y arsénico en los suelos contaminados. Asimismo, los tratamientos con estiércol de ganado y lombrices (*Eisenia foétida*),

llamada vermicomposta se aplican como bioestimulantes que reducen los niveles de contaminación de suelos, debido a la acción de inmovilización del mercurio y una adaptación de los microorganismos al suelo contaminado

La actividad minera sin enfoque de responsabilidad ambiental en la región de Puno, causa alteración en la dinámica del suelo, debido a la acumulación de metales pesados como el Hg, influyen en la disminución de la biodiversidad de flora y fauna del suelo, lo que implica una rápida erosión de los suelos y el arrastre de los metales pesados a otros ecosistemas como los ríos, lagunas y lagunas.

Las variables importantes que debe investigarse, están relacionados con los niveles de disminución del mercurio del suelo en relación al tiempo y los tratamientos de lombrices y estiércol.

De acuerdo a la descripción del problema a investigar, se ha propuesto las siguientes interrogantes:

2.2 Interrogantes

2.2.1 Interrogante general

¿Cuáles serán los niveles de disminución de suelos contaminados con mercurio (mg/kg) aplicando la tecnología de la vermicomposta, en relación a diferentes concentraciones y tiempo de aplicación?

2.2.2 Interrogantes específicos

- a. ¿Serán las concentraciones de la vermicomposta, influyan en la disminución de los niveles de contaminación del mercurio (mg/kg) en suelos contaminados?
- b. ¿Serán el tiempo (días) de aplicación de la vermicomposta, influya en el proceso de disminución de suelos contaminados con mercurio (mg/kg)?

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis general

Existe una disminución del mercurio (mg/kg) en suelos contaminados aplicando la tecnología de la vermicomposta en relación a diferentes concentraciones y tiempo de aplicación.

2.3.2 Hipótesis específicos

- a. A mayor concentración de vermicomposta (kg), existe una mayor disminución de los niveles de contaminación del mercurio (mg/kg) en suelos contaminados.
- b. A mayor tiempo (días) de aplicación de la vermicomposta (kg), existe mayor disminución de los niveles de mercurio (mg/kg) en suelos contaminados.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Analizar los niveles de disminución de suelos contaminados con mercurio (mg/kg) aplicando la tecnología de la vermicomposta, en relación a diferentes concentraciones y tiempo de aplicación.

2.4.2 Objetivos específicos

- a. Comparar las concentraciones de la vermicomposta en diferentes concentraciones para la disminución de los niveles de contaminación del mercurio (mg/kg) en suelos contaminados
- b. Contrastar el tiempo (días) de aplicación de la vermicomposta, para la del proceso de disminución de suelos contaminados con mercurio (mg/kg).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

La ciudad de Puno se ubica a una altitud de 3810 m.s.n.m., su clima es frío y seco, con temperatura promedio anual de 9° C, precipitación anual promedio de 718 mm, humedad relativa promedio de 64.78 %.

El estudio de investigación se realizó en el invernadero de la Oficina de Gestión Ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano, ubicado a 3810 msnm frente a la puerta principal de la universidad, que tiene dimensiones de 15 m de largo x 4 m de ancho y una altura de 2.50 m, cubierto con plástico de invernadero. La temperatura promedio del invernadero es de 27 °C y una humedad relativa de 60 %.

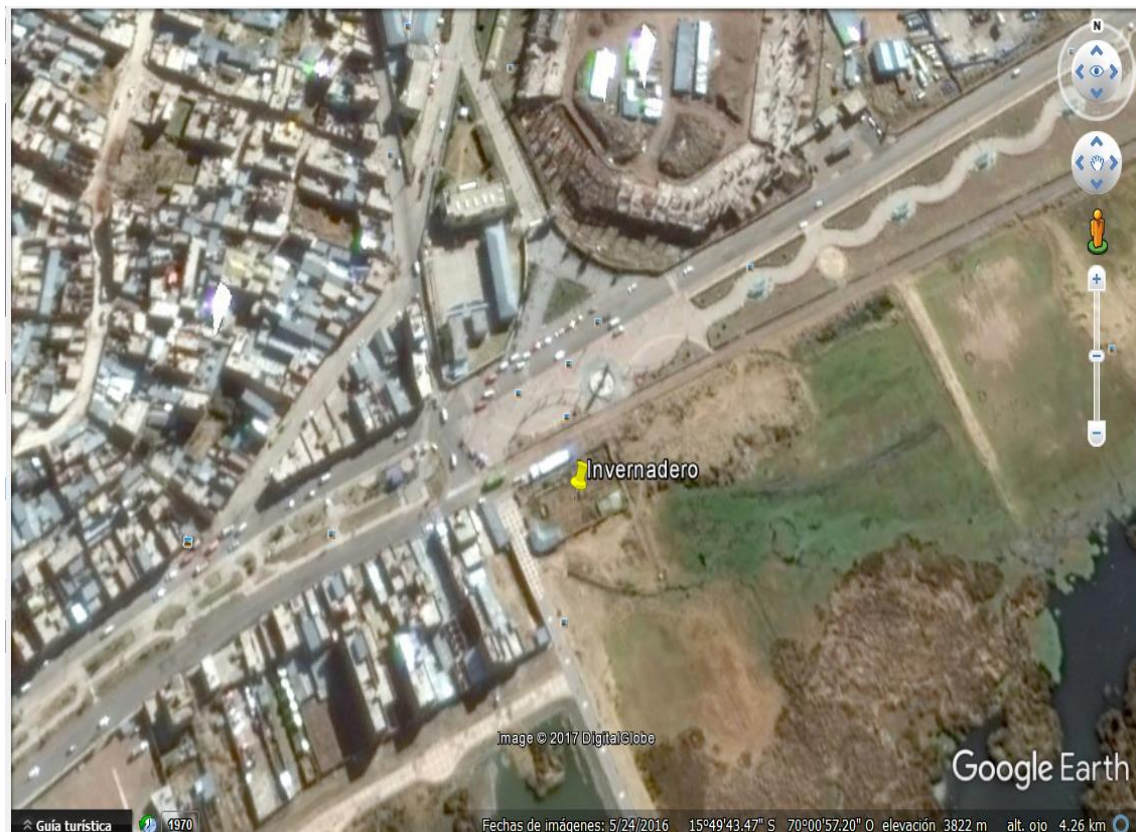


Figura 1. Ubicación del Invernadero de la Oficina de Gestión Ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno

Fuente: Google EARTH (2017).

3.2 Población y tamaño de muestra

3.2.1 Población

La población estuvo conformada por los suelos contaminados con mercurio proveniente de la zona de la Corporación Minera Ananea S.A. – Mina Rinconada, distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno; conformada por 03 Cooperativas Mineras (Cooperativa Minera San Francisco Ltda., Cooperativa Minera Cerro San Francisco Ltda. y Cooperativa Minera Lunar de Oro Ltda.) con más de 400 socios.

3.2.2 Muestra

Las muestras son recolectadas del depósito de relaves mineros de la Corporación Minera Ananea S.A-Mina Rinconada, con visibles impactos de contaminación con mercurio, en una cantidad de muestra de 108 kilos de roca

molida. Las muestras son trasladadas vía transporte terrestre hacia el Invernadero de la Oficina de Gestión Ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, de los cuales se utilizó 27 kilos, distribuidos en las 9 celdas de 3 kilos cada una. Estas muestras sirvieron para realizar los diferentes tratamientos del experimento para disminuir la toxicidad del mercurio en el suelo. Se ha enviado 1 kilo como muestra inicial o control para su correspondiente análisis en un laboratorio acreditado en mg/kg de mercurio antes y después de tratamiento (Laboratorio de Ensayo Acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL-DA con Registro N°LE-029/ALS LS PERU S.A.C.).

Se hizo un muestreo utilizando el método de cuarteo, con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-15-1985 (SECOFI, 1985) y se determinó un peso volumétrico de éstos mediante la NOM-AA-19-1985 (SECOFI, 1985).

El método del cuarteo tiene el siguiente procedimiento (NOM-AA-15-1985):

Para realizar el cuarteo, se tomaron los residuos sólidos.

1. El contenido se vacía formando un montón o pila sobre un área plana horizontal de 4 m por 4 m.
2. La cantidad de los residuos sólidos se traspalea hasta homogenizarlos, se divide en cuatro partes iguales A, B, C, D y se eliminan las partes opuestas A y C o B y D, repitiendo esta operación hasta un mínimo de 27 Kg, para selección de subproductos.
3. De las partes eliminadas del primer cuarteo se toman 1 Kg, para análisis físicos, químicos y biológicos.

3.3 Métodos

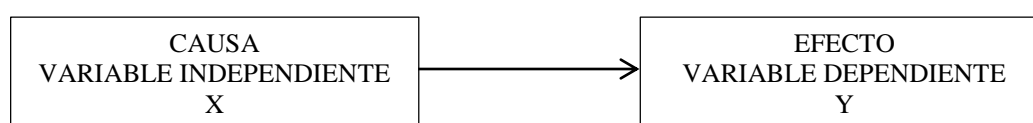
El tipo de investigación es cuantitativa experimental. La metodología utilizada es de investigación experimental comparativa para análisis de mercurio por el método EPA 7471B (Mercurio en residuos sólidos o semisólidos-Técnica manual frío-vapor) de espectrofotometría de absorción atómica de vapor frío y se basa en la absorción de radiación en la longitud de onda de 253.7 mm por vapor de mercurio, el mercurio se

reduce al estado elemental y se airea de la solución en un sistema cerrado, el vapor de mercurio pasa a través de una celda situada en la trayectoria de la luz de un espectrofotómetro de absorción atómica, la absorbancia (altura máxima) se mide como una función de la concentración de mercurio, el límite típico de detección de instrumentos (IDL) para este método es de 0.0002 mg/Kg, para este análisis las muestras sólidas o semisólidas se ha preparado de acuerdo con los procedimientos para este método. Se espera resultados en la disminución de la toxicidad del mercurio en suelos contaminados por actividad minera y que la aplicación de la tecnología por el método del vermicomposta, sea una alternativa viable de mitigación. Asimismo, sea en beneficio de los mineros de la Corporación Minera Ananea S.A.- Mina la Rinconada.

La metodología utilizada es de investigación experimental comparativa y análisis de mercurio por el método de espectrofotometría de absorción atómica. Se ha obtenido los resultados en la disminución de la toxicidad del mercurio en suelos contaminados por actividad minera utilizando tecnología de vermicomposta. Su principal objetivo se basa en resolver problemas prácticos, con un margen de generalización limitado. De este modo se genera aportes al conocimiento científico desde un punto de vista teórico. Según Sampieri (2014).

El diseño de investigación para el presente trabajo de tesis es experimental. Hernández (2014).

Esquema del experimento



Para identificar el efecto de la variable independiente (X) en la variable dependiente (Y), es decir:

- Para comparar las concentraciones de la vermicomposta en diferentes concentraciones, para la disminución de los niveles de contaminación del mercurio (mg/Kg) en suelos contaminados.

- Para contrastar el tiempo (días) de aplicación de la vermicomposta, para la del proceso de disminución de suelos contaminados con mercurio (mg/Kg).

El diseño del experimento se ha instalado el día sábado 28 de octubre del 2017 desde 06:00 hasta 13.00 horas. La toma de muestra inicial o control para análisis de laboratorio de mercurio total se hizo el día lunes 23 de octubre del 2017. La toma de muestras de los tratamientos para su análisis de laboratorio se hizo: La primera el día lunes 13 de noviembre del 2017, la segunda el martes 28 de noviembre del 2017 y la tercera el día jueves 14 de diciembre del 2017. Asimismo, se ha tomado nuestra de lombrices el día 28 de diciembre del 2017.

3.4 Descripción detallada de los métodos, uso de materiales, equipos e insumos por cada objetivo específico.

- a. Comparar las concentraciones de la vermicomposta en diferentes concentraciones para la disminución de los niveles de contaminación del mercurio (mg/kg) en suelos contaminados.**

3.4.1 Diseño de experimento para investigación

Dentro del invernadero se adecuaron 09 bandejas de madera de 0,25 x 0,25 x 0,25 m de dimensiones, donde se colocó previa homogenización 3 kilos de material particulado previamente analizado sobre la concentración de mercurio, 7 kilos de composta de materia orgánica y ½ kilo de estiércol de ovino, la cantidad de estiércol de ovino cambió desde 1/2 kilo, 1 kilo y 1.5 kilos. Finalmente se adicionó 100 lombrices con un peso de 16.7 g, 200 lombrices con un peso de 33,4 g y 300 lombrices con un peso de 50.1 g en cada una de las bandejas se colocó también 01 tubo de PVC con orificios para mejorar la oxigenación del tratamiento (Figura 2 y Tabla 1).

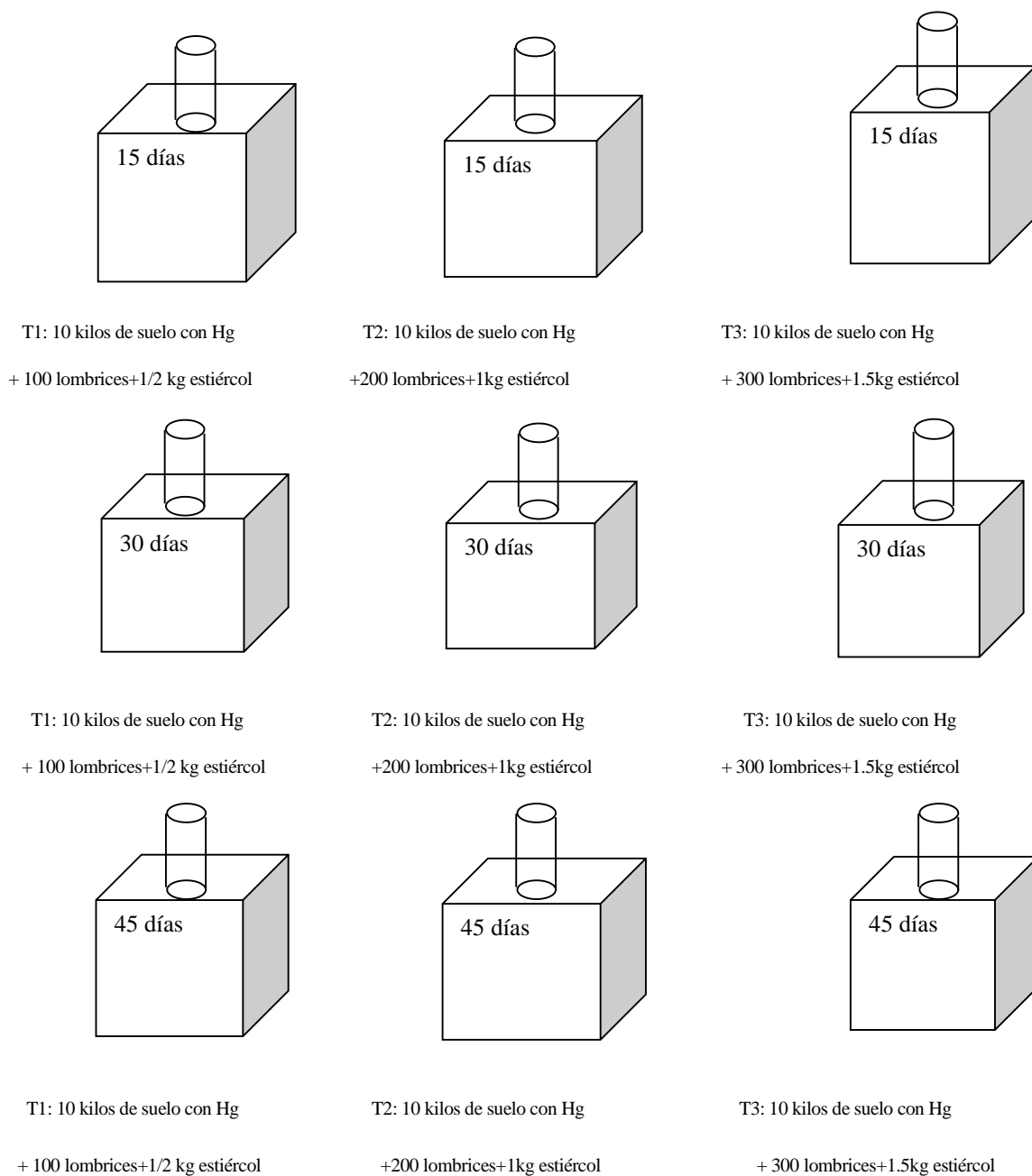


Figura 2. Diseño de investigación sobre vermicomposta para reducir la toxicidad de suelos contaminados con mercurio

Nota: Aplicado con tres tratamientos, diferentes concentraciones de vermicomposta a 15, 30 y 45 días de proceso de tratamiento en el Invernadero de la Oficina de Gestión Ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, de fecha día sábado 28 de octubre del 2017.

3.5 Uso de materiales, equipos e insumos

Para la construcción de las bandejas de madera, se ha construido del mismo tamaño las 09 bandejas con dimensiones de 0,25 x 0,25 x 0,25 m, donde se colocó en cada una de ellas

el suelo homogenizado con material particulado con mercurio, más material compost y estiércol de ovino. Se adicionó lombrices de 100, 200 y 300 individuos (Figura 2) Cada tratamiento 1, 2 y 3, tendrá un tiempo de proceso de 15, 30 y 45 días cumplidos, se envió las muestras al laboratorio (ALS LS PERU S.A.C.) para su respectivo análisis de la concentración de mercurio en el suelo (mg/kg). Adicionalmente, se tomó en cuenta la temperatura y humedad dentro del invernadero y pH del suelo experimental, dichos parámetros sirven para inferir los resultados.

3.6 Variables que se analizaron

Las variables que se analizaron para este objetivo son:

Variable independiente: Tratamientos 1, 2 y 3 con diferentes concentraciones de vermicomposta.

Variable dependiente: Disminución de suelo con mercurio (mg/kg) y % de disminución en relación al análisis ex ante de mercurio en el suelo.

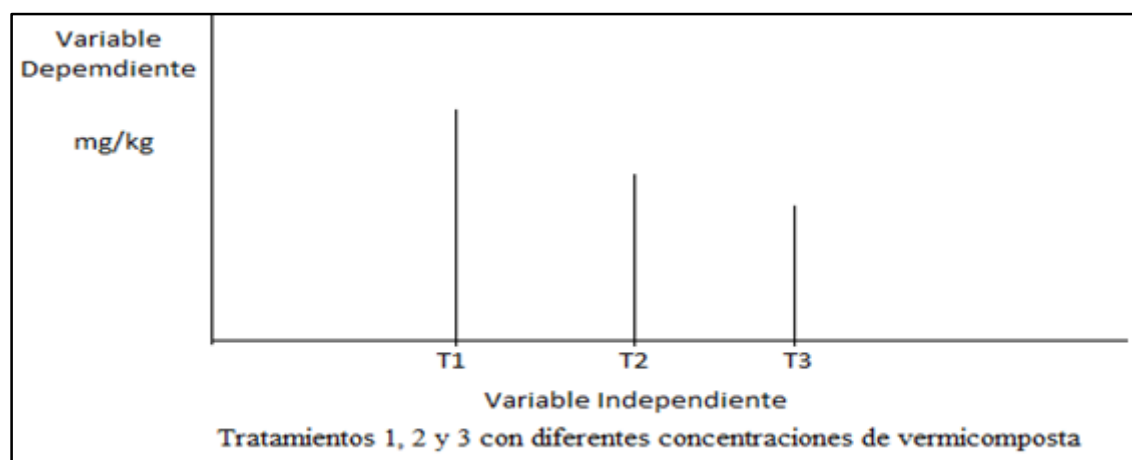


Figura 3. Diseño de tratamiento según variables independiente y dependiente para determinar diferencias en la disminución de la cantidad de mercurio en suelos contaminados de la Mina Rinconada, Ananea, Puno.

3.7 Aplicación de modelo estadístico

Para aceptar o rechazar la hipótesis, es de Regresión Lineal con un alfa de 0,05 de límites de confianza a través de la aplicación del programa INFOSTAT versión estudiantil 2017, con el objetivo de relacionar la concentración de la cantidad de mercurio (mg/kg) y el tiempo de tratamiento de proceso de 15, 30 y 45 días, permitiendo realizar una predicción

a 60, 65, 75 y 90 días.

Estimación de la ecuación de Regresión Simple

$$\hat{Y} = a + bX$$

Dónde:

\hat{Y} : Es el valor estimado para distintos X

a: Es la intersección o el valor estimado de Y cuando X=0

b: Es la pendiente de la línea o cambio promedio de \hat{Y} para cada cambio en una unidad de X

Para hallar a y b se utilizó mínimos cuadrados ordinarios:

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{\sum Y}{n} - b \frac{\sum X}{n}$$

X= Representa la variable independiente, que es fijado por el investigador, para este caso son los tratamientos (T1, T2, y T3) y días de aplicación (15, 30 y 45 días).

Y = Representa la cantidad de mercurio (Hg) en (mg/kg). (ver Tabla 1 y Tabla 2).

b). Contrastar el tiempo (días) de aplicación de la vermicomposta, para la del proceso de disminución de suelos contaminados con mercurio (mg/kg).

3.7.1 Diseño de experimento para investigación

Las 09 bandejas de madera de 0,25 x 0,25 x 0,25 m de dimensiones instaladas, para medir la disminución del mercurio ex y post ante de suelo contaminado en relación al tiempo de tratamiento (días) de 15, 30 y 45 días (Figura 1).

3.8 Uso de materiales, equipos e insumos

El suelo contaminado con mercurio (mg/kg), con adición de lombrices rojas más estiércol de oveja, llamada esta mezcla como vermicomposta, son evaluadas en relación al tiempo de tratamiento (días), cada tratamiento 1, 2 y 3, en un tiempo de proceso de 15 días, luego de transcurrido dicho tiempo, se analizó los resultados de la concentración del mercurio en el suelo

(mg/kg) en cada periodo de tiempo. Las muestras de un kilo de suelo de cada tratamiento, se han enviado a un laboratorio para su análisis respectivo. La misma metodología se cumplido para los tratamientos con 30 y 45 días.

Se analizó en un laboratorio acreditado en mg/kg de mercurio antes y después de tratamiento (Laboratorio de Ensayo y Acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL-DA con Registro N°LE-029/ALS LS PERU S.A.C.).

Variables que se analizaron

Las variables que se analizó para este objetivo fueron:

Variable independiente: Tratamientos 1, 2 y 3 con diferentes concentraciones de vermicomposta.

Variable dependiente: Disminución de suelo con mercurio (mg/kg) y % de disminución en relación al análisis ex ante de mercurio en el suelo, en relación al tiempo 15, 30 y 45 días.

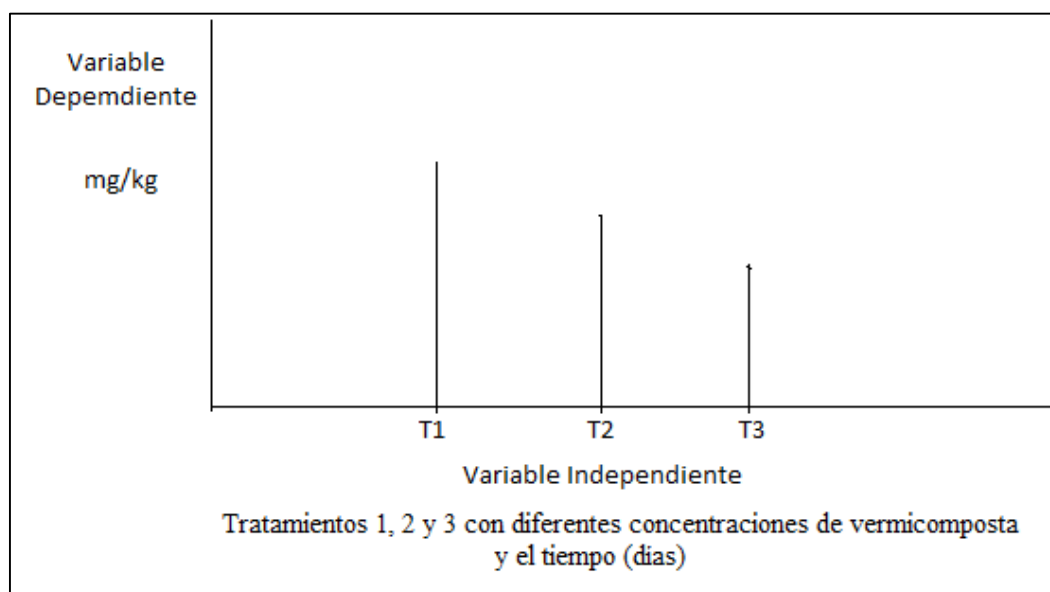


Figura 4. Diseño de tratamiento según variables independiente y dependiente para determinar disminución de la cantidad de mercurio en suelos contaminados de la Mina Rinconada, Ananea, Puno.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Comparar las concentraciones de la vermicomposta en diferentes concentraciones para la disminución de los niveles de contaminación del mercurio (mg/Kg) en suelos contaminados.

Según los resultados del laboratorio ALS LS PERU S.A.C, la concentración de mercurio total de la muestra inicial o control fue de 167.5 mg/Kg. A los 15 días los tratamientos T1, T2 y T3 redujeron los niveles de mercurio a valores de 108.80, 60.59 y 64.76 mg/Kg, respectivamente. A los 30 días los tratamientos T1, T2 y T3 redujeron los niveles de mercurio a valores de 63.07, 59.10 y 57.56 mg/Kg, respectivamente. A los 45 días los tratamientos T1, T2 y T3 redujeron los niveles de mercurio a valores de 16.15, 15.57 y 17.12 mg/Kg, respectivamente (Tabla 1).

Tabla 1

Resultados de laboratorio de la reducción de mercurio total(mg/Kg) con aplicación de tres tratamientos de vermicompost, realizado en el Invernadero de la Oficina de Gestión Ambiental de la UNA PUNO, octubre a diciembre, 2017.

Repeticiones	Tratamiento diferentes concentraciones de vermicomposta		
	Tratamiento 1 (mg/kg)	Tratamiento 2 (mg/kg)	Tratamiento 3 (mg/kg)
1	108.80	63.07	16.15
2	60.59	59.10	15.57
3	64.76	57.56	17.12

En otros estudios a través del uso de la tecnología del vermicomposta entre 25 a 90 días, se logra inmovilizar el mercurio (Zapata *et al.*, 2017); sin embargo, en el estudio se ha disminuido la concentración de mercurio desde 167.5 mg/kg hasta 16.28 mg/kg promedio a diferentes concentraciones de vermicomposta. La lombriz roja componente de la vermicomposta juega un rol importante en la degradación (Ávila *et al.*, 2007).

Estas técnicas de remediación de suelos, son importantes para precipitar, lixiviar y volatizar los metales pesados (Covarrubias *et al.*, 2015), estos resultados obtenidos en la investigación permitirán plantear alternativas de mitigación a suelos contaminados con relaves mineros, no solo provenientes de la zona de Corporación Minera Ananea S.A.- Mina Rinconada, sino también de otros lugares.

La disminución de la concentración de mercurio (mg/Kg), de suelos contaminados con relaves mineros con tres tratamientos de vermicompost, es eficiente, debido a que, a mayor tiempo de tratamiento, existe una mayor degradación (Figura 5).

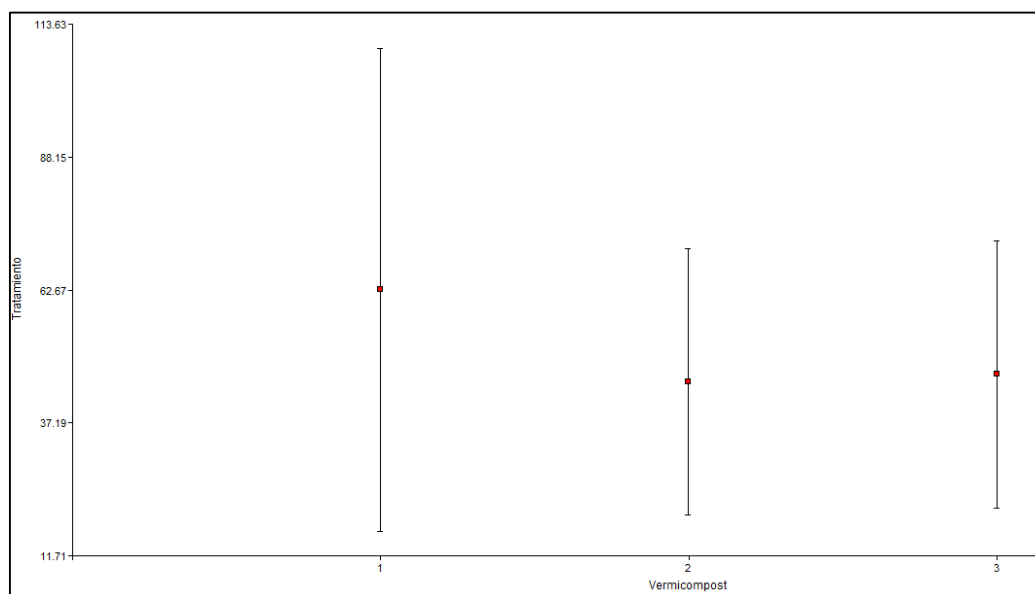


Figura 5. Biodegradación de la concentración de mercurio (mg/kg) de suelos contaminados con relaves mineros, aplicando tres concentraciones de vermicompost, Nota: realizado en el Invernadero de la Oficina de Gestión Ambiental de la UNA- Puno, octubre a diciembre, 2017.

No, existe diferencia en la reducción del mercurio (mg/Kg), aplicando tres diferentes concentraciones de vermicompost de biorremediación ($H_{calc} (0,05) = 0,80$; $Gl = 2$; $P = 0,7$), la no existencia de los niveles de reducción de mercurio entre los tratamientos, es probable, que esté relacionado a la cantidad de lombrices y materia orgánica (estiércol de ovino), que se incluyó en cada tratamiento, siendo 100, 200 y 300 lombrices y 0.5 kg, 1.0 kg y 1.5 kg de estiércol.

Según, Mogollón *et al.*, (2016), los suelos con degradación química están ampliamente distribuidos en el mundo, y su recuperación puede basarse en la aplicación de enmiendas como el vermicompost sobre las propiedades biológicas de un suelo, la adición a los suelos contaminados de vermicompost, es una buena alternativa de recuperación biológica del suelo; sin embargo, dichos resultados y conclusiones corroboran a los resultados obtenidos en la presente investigación.

Asimismo, Ávila *et al.* (2007), considera que la lombriz roja puede disminuir las concentraciones de metales pesados, mostrando una baja mortalidad. Estos resultados evidencian la degradación de concentración de mercurio en los suelos contaminados de la zona de la Corporación Minería Ananea S. A. – Mina Rinconada, debido a que el mercurio, es un metal altamente tóxico, que afecta a la salud humana y al medio ambiente, por dicha razón los suelos contaminados, deben ser tratados de manera efectiva (López *et*

al., 2005), la tecnología del vermicompost, que se ha utilizado es una alternativa viable, porque económicamente es barato y ambientalmente eficiente y que puede plantearse como una alternativa de solución a los impactos ambientales que ocasionan la actividad minera y los pasivos ambientales que se tiene en la región de Puno.

Esta tecnología del vermicomposta; entonces, es una alternativa para reducir la toxicidad del mercurio (Vicencio *et al.*, 2011), en esta tecnología se utiliza la lombriz roja (*Eisenia foétida*), se puede tratar por un máximo de 45 días; sin embargo, en otros se puede estabilizar el suelo en 30 días, con inoculación de lombrices adultas (Morales *et al.*, 2009).

Por tanto, la reducción de metales pesados aplicando la tecnología de la vermicomposta, ha permitido reducir la concentración de mercurio que contenía los suelos muestreados en la zona de la Corporación Minera Ananea S.A. - Mina Rinconada. El uso de organismos vivos como la lombriz, permiten recuperar los suelos contaminados a niveles menos tóxicos (Buendía, 2012). Esta investigación ha tenido la influencia de la temperatura adecuada que ha llegado hasta 30 °C dentro del invernadero, esto ha influido en la volatilización del mercurio (Mendoza *et al.*, 2005); asimismo, existen diferentes tecnologías que se consideran para el tratamiento de suelos contaminados, están relacionados a las propiedades del suelo y el tipo de contaminante, para fines de biorremediación de suelos por tipo de tratamiento biológica, fisicoquímica y térmica. Adicionalmente, se considera costos y tiempos estimados para la remediación de un sitio contaminado (Volke y Trejo 2002). Actualmente, se ha incrementado el interés por desarrollar tecnologías que ayuden a solucionar el problema de los suelos contaminados, la mayoría de estas se han dirigido hacia los procesos de remediación in situ, dentro de los cuales se ha propuesto a la electrorremediación por su capacidad de remover contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos (De la Rosa *et al.*, 2007). Estos resultados evidencian la degradación de concentración de mercurio en los suelos contaminados de la Zona de la Corporación Minería Ananea S. A. – Mina Rinconada.

La importancia de la investigación fue disminuir la concentración del mercurio que se encuentra contaminando los ecosistemas acuáticos y afectando la salud de las personas y a los animales y plantas. La actividad del hombre ha generalizado los casos de exposición, contribuyendo con un legado de mercurio en vertederos, los desechos de la minería y los emplazamientos, suelos y sedimentos industriales contaminados, (Español, 2012). El mercurio (Hg) un metal pesado altamente tóxico, que amenaza a la salud humana y al

medioambiente, presentando en forma inorgánica y orgánica, siendo todas tóxicas, especialmente la última debido a su alta liposolubilidad, lo que facilita su biomagnificación en la cadena trófica, para disminuir su alta toxicidad del Hg, surge la necesidad de tratarlos de manera efectiva, lo cual se puede realizar utilizando estrategias de saneamiento ambiental tales como la remediación biológica, se ha revisado los diferentes mecanismos y la capacidad de remoción de Hg y metilmercurio (MeHg) por bacterias, hongos, algas, plantas y microorganismos rizosféricos (Durango *et al.*, 2010). Con los resultados obtenidos, podemos recomendar una forma eficiente de reducir la toxicidad del mercurio.

Además, cabe señalar que los metales más estudiados son el mercurio, el arsénico y el plomo, debido a la toxicidad asociada a los suelos y una fracción disponible que es asimilada por los seres vivos, la cual está determinada por las características fisicoquímicas del suelo (principalmente pH, potencial redox y materia orgánica). Las técnicas para la remediación de suelos se basan en métodos fisicoquímicos y biológicos (biorremediación), ya que aprovecha el potencial metabólico de organismos vivos para la descontaminación, lo más utilizados en la biorremediación son: precipitación, lixiviación y volatilización de metales pesados (Covarrubias *et al.*, 2015).

También, Araujo *et al.* (2004), que en pruebas piloto para tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos (Cd, Cr, Ni y Zn), se ha aplicado tratamientos: cultivo mixto, compostaje y fertilización en unidades experimentales que contenían suelo contaminado. La correlación entre los heterótrofos mesófilos con los hidrocarburos totales, nitrógeno y fósforo, resultó negativa y altamente significativa ($p < 0,001$), lo que establece que el aumento de los heterótrofos mesófilos provoca la disminución de los hidrocarburos totales, durante los tres meses del estudio la aplicación simultánea de la técnica de compostaje, fertilización y consorcio bacteriano demostró ser una buena alternativa para la recuperación de suelos contaminados.

A pesar que existe experiencias para disminuir el mercurio, pero en nuestra región no se aplica dichas experiencias por limitaciones económicas y tecnológicas, siendo la tecnología del vermicompost, la más económica y viable para mitigar estos problemas de contaminación por relaves mineros. Las tecnologías que existe es corroborado por Pinochet *et al.* (2002), existen tratamientos para disminuir el mercurio a través del proceso de lixiviación de suelos derivados de cenizas volcánicas. Se aplicaron soluciones

conteniendo Cd, Hg y Pb de volumen y concentración conocida hasta totalizar una adición de 2,3; 0,23 y 23 mg/Kg para Cd, Hg y Pb, respectivamente. Los suelos estudiados presentaron altos niveles de retención de Cd, Hg y Pb, por sobre el 96 % de la cantidad aplicada, lo cual fue reflejado en la baja lixiviación total de los metales aplicados.

En consecuencia, Maroto & Rogel, (2004), sostiene que hay otra alternativa en las medidas de biorremediación consisten principalmente en el uso de los microorganismos naturales (levaduras, hongos o bacterias) existentes en el medio para descomponer o degradar sustancias peligrosas en sustancias de carácter menos tóxico o bien inocuas para el medio ambiente y la salud humana. Las medidas biocorrectoras se llevan empleando en la descontaminación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos desde hace décadas con importante éxito. Estas técnicas biológicas pueden ser de tipo aerobio, si se producen en condiciones aerobias (presencia de un medio oxidante como el compostaje).

Por lo tanto, la tecnología del vermicompost, es aplicable porque contiene en sus componentes materiales e insumos que existe en la región de Puno. Esta afirmación es manifestada por Rubenacker *et al.* (2004), demuestra que el efecto del uso de un vermicompost (VC) de estiércol de conejo, incrementa el contenido de carbono oxidable (Cox), carbono soluble en agua (CSA) y Nitrógeno total (NT) en el suelo, este tipo de enmiendas orgánicas, aplicadas en forma de pila, es una importante estrategia de secuestro de Carbono (enriquecimiento) de C en suelos degradados. Para esta tesis se usó estiércol de ovino.

4.2 Contrastar el tiempo (días) de aplicación de la vermicomposta, para la del proceso de disminución de suelos contaminados con mercurio (mg/Kg).

Según resultados del laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C., Existe una reducción de la concentración de mercurio (mg/Kg), a través del tiempo (días), la concentración de mercurio total de la muestra inicial o control fue de 167.5 mg/Kg, de esta concentración de control se redujeron. Tratamiento 1; a los 15, 30 y 45 días, redujeron los niveles de mercurio a valores de 108.80, 63.07 y 16.15 mg/Kg, respectivamente. Tratamiento 2; a los 15, 30 y 45 días, redujeron los niveles de mercurio a valores de 60.59, 59.10 y 15.59 mg/Kg, respectivamente. Tratamiento 3; a los 15, 30 y 45 días, redujeron los niveles de mercurio a valores de 64.76, 57.56 y 17.12 mg/Kg, respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2

Resultados de laboratorio de la reducción de mercurio total(mg/Kg) con aplicación de tres tratamientos de vermicompost en relación al tiempo (15, 30 y 45 días) realizado en el Invernadero de la Oficina de Gestión Ambiental de la UNA –Puno, octubre a diciembre, 2017.

Tiempo (días)	Tratamiento diferentes concentraciones de vermicomposta		
	Tratamiento 1 (mg/kg)	Tratamiento 2 (mg/kg)	Tratamiento 3 (mg/kg)
15	108.80	60.59	64.76
30	63.07	59.10	57.56
45	16.15	15.57	17.12

La disminución de la concentración de mercurio (mg/Kg), de suelos contaminados con relaves mineros con tres tratamientos de vermicompost, es eficiente, debido a que, a mayor tiempo de tratamiento, existe una mayor degradación (Figura 6).

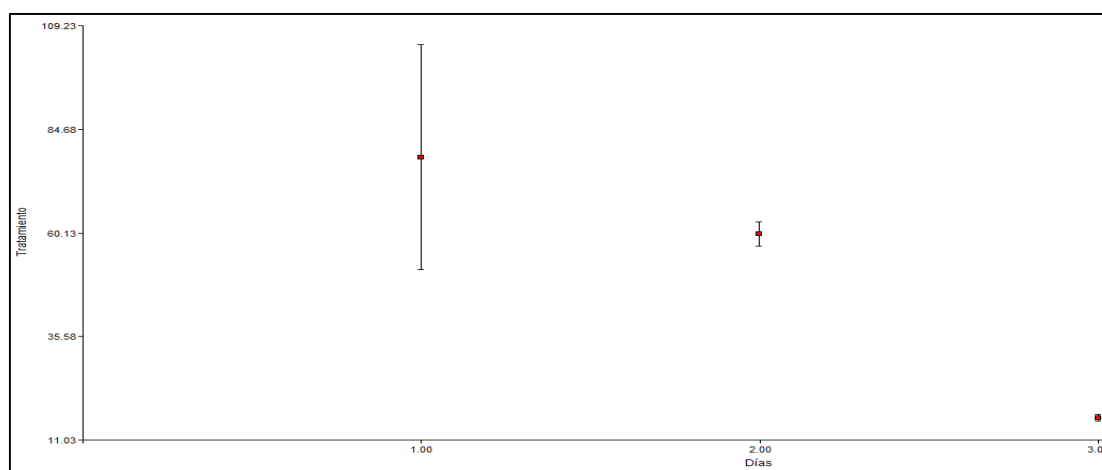


Figura 6. Biodegradación de la concentración de mercurio (mg/kg) de suelos contaminados con relaves mineros, aplicando la tecnología del vermicompost, realizado en el Invernadero de la Oficina de Gestión Ambiental de la UNA – Puno, octubre a diciembre, 2017.

Existe diferencia entre los tres tratamientos de vermicompost en relación a los días del proceso de biorremediación, siendo diferente el tratamiento 15 días y tratamiento 45 días (HCalc (0.05) = 6.49; GI= 2, P= 0,0089), más no existe diferencia entre el tratamiento de 15 días y 30 días.

La concentración de mercurio disminuyó desde 108.80 mg/Kg, hasta 17.12 mg/Kg en 45 días.

Existe una reducción negativa de la concentración de mercurio (mg/Kg), aplicando el tiempo de 15, 30 y 45 días (Figura 7).

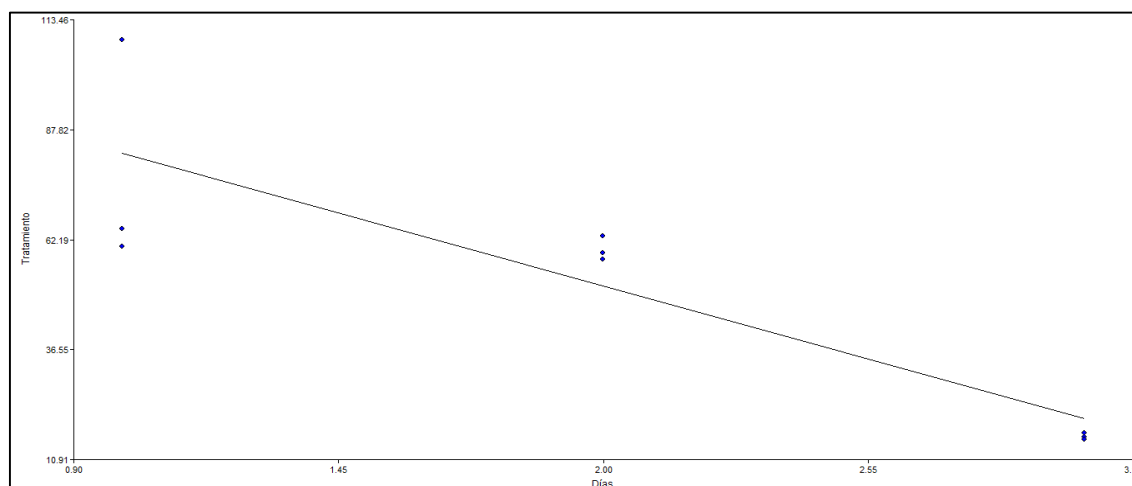


Figura 7. Relación de la biodegradación de la concentración de mercurio (mg/kg) de suelos contaminados con relaves mineros, aplicando tiempo de 15, 30 y 45 días, realizado en el Invernadero de la Oficina de Gestión Ambiental de la UNA – Puno, octubre a diciembre, 2017.

La relación de tiempo (Variable independiente) y reducción de la concentración de mercurio, fue significativa, debido a que $P= 0,0021$. Asimismo, la disminución de la concentración del mercurio, cumple con el modelo lineal $Y= a+bx$, según los resultados del análisis estadístico, resulta que: r^2 ajustado=0,73, $a= 113.18$, $b= -30.89$. Por tanto, a mayor tiempo hay mayor degradación; entonces, la hipótesis planteada es válida.

Sin embargo, Zapata *et al.* (2017) menciona que la actividad minera contamina el suelo y altera su composición, causando daños visibles al suelo por la tecnología de minas a cielo abierto, escombreras, estanques de residuos y entre otras instalaciones mineras, la lombriz roja (*Eisenia foétida*) a diferentes concentraciones y tiempo de 25 a 90 días, tienen un crecimiento eficiente, evidenciando la inmovilización del mercurio en el suelo. Corporación Minera Ananea S.A.-Mina Rinconada, dedicada a la extracción de oro, es un consumidor intensivo de mercurio, que al no manejar adecuadamente origina contaminación y deterioro de cursos de agua y suelo. Con lombriz roja (*Eisenia foétida*) a diferentes concentraciones y tiempo, en la investigación se ha demostrado a los 45 días de tratamiento un crecimiento eficiente y reproducción de las lombrices.

Del mismo modo, Morales *et al* (2009), corrobora que en la tecnología vermicomposta utilizó la lombriz roja (*Eisenia foétida*), se ha tratado por un máximo de 45 días; sin embargo, en otros se puede estabilizar el suelo en 30 días, con inoculación de lombrices adultas, donde se ha obtenido a partir de residuos orgánicos humus rico en nutrientes, logrando un impacto benéfico en lo agrícola, social y económico. En la investigación de suelos contaminados con mercurio de la Corporación Minera Ananea S.A.-Mina Rinconada se aplicó la tecnología vermicomposta utilizando la lombriz roja (*Eisenia foétida*), para un máximo de 45 días; Por tanto, la composta se estabilizó en 45 días, con inoculación de lombrices adultas en cada tratamiento.

La vermicomposta tiene efectos en algunas propiedades del suelo y la biomasa vegetal, en el invernadero se ha mezclado vermicompost en proporciones de 0, 25, 50, 75 y 100 % en macetas de un litro, sembrando sorgo por períodos de 45 días, luego se realizaron análisis de suelo y mediciones de la biomasa vegetal, resultando en las macetas con aplicación de vermicompost incrementó el P, Ca, Mg, K, aunque el pH aumentó en la acidez. La mayor acumulación de biomasa se alcanzó en la proporción de 50 % de vermicompost mientras que proporciones mayores provocaron una disminución Duran, (2010). En el experimento realizado, también la composta se estabilizó en 45 días, con inoculación de lombrices adultas en cada tratamiento.

Por todo lo antes mencionado se concluye que en la presente investigación, se ha demostrado que la aplicación de tecnología de vermicomposta disminuye la concentración de suelos contaminados con mercurio por la actividad minera en la zona de la Corporación Minera Ananea S.A. – Mina Rinconada, distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno; es decir, en el experimento realizado se ha logrado reducir hasta un 73 % ($r^2=0.73$), esto implica que el vermicompost tiene una acción reductora del mercurio. Dichos resultados y conclusiones corroboran a los resultados obtenidos en la presente investigación.

CONCLUSIONES

- La concentración de mercurio en los suelos contaminados por mercurio en la zona de la Corporación Minera Ananea S.A. – Mina Rinconada, distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno inicialmente estuvo en 167.5 mg/Kg, después de haber realizado el experimento de investigación, la concentración de mercurio ha disminuido hasta 16.28 mg/Kg en un 73 %. Por tanto, se concluye que existe una disminución del mercurio (mg/kg) en suelos contaminados mediante la aplicación de la tecnología de vermicomposta en relación a las diferentes concentraciones y al tiempo de aplicación.
- Con la aplicación de diferentes concentraciones de vermicomposta, se demostró que no existen evidencias significativas para afirmar que a mayor concentración de vermicomposta (kg), existe una mayor disminución de los niveles de contaminación del mercurio (mg/kg) en los suelos contaminados.
- A mayor tiempo de aplicación (días) de la vermicomposta, se demostró que existe una mayor disminución de los niveles de concentración de mercurio (mg/kg) en los suelos contaminados en la zona de la Corporación Minera Ananea S.A. – Mina Rinconada, distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno. lográndose una disminución significativa de 167.5 mg/Kg a 16.28 mg/Kg de mercurio en 45 días de aplicación de la tecnología de la vermicomposta.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la Corporación Minera Ananea S.A. – Mina Rinconada, distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno, implementar la tecnología de vermicomposta en los procesos de biorremediación de suelos contaminados con mercurio por la actividad minera usando lombrices rojas (*Eisenia foétida*) in-situ como una alternativa que permitirá recuperar suelos contaminados con mercurio; puesto que, es una tecnología rentable, de bajo costo y ambientalmente amigable, que finalmente generará bienestar social a la comunidad.
- A las futuras investigaciones relacionadas a disminuir la contaminación de suelos, recomendamos considerar una mayor cantidad de lombrices y materia orgánica (estiércol de ovino), para obtener resultados más significativos.
- Se recomienda a futuras investigaciones utilizar un mayor tiempo en los tratamientos de Vermicomposta en los suelos contaminados con mercurio. Esto debido a que a mayor tiempo de tratamiento de Vermicomposta, existe una mayor degradación y por consiguiente la disminución de la concentración de mercurio en suelos contaminados con relaves mineros.

BIBLIOGRAFÍA


- Araujo, I., Angulo, N., Cardenas, C., Méndez, M., Morante, M., & Machado, M. (2004). Biorremediación de suelos con consorcio bacteriano, compostaje y fertilización. *Centro de Investigación del Agua*, 38(3), 14.
- Ávila, G., Gaete, H., Morales, M., & Neaman, A. (2007). Reproducción de *Eisenia foetida* en suelos agrícolas de áreas mineras contaminadas por cobre y arsénico. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 42(3), 435–441. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000300018>
- Buendía, H. (2012). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol. *Revista del Instituto de Investigación (RIGEO)*, 15(T 3), 88.
- Covarrubias, S. A., García Berumen, J. A., & Peña Cabriales, J. J. (2015). El papel de los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Acta Universitaria*, 25, 40–45. <https://doi.org/10.15174/au.2015.907>
- De la Rosa-Pérez, D. A., Teutli-Leán, M. M. M., & Ramírez-Islas, M. E. (2007). Electrorremediación de los suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.*, 23(3), 10.
- Duran L. C, H. (2010). El vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en planta 1, 21(1), 85–93. <https://doi.org/10.15517/am.v21i1.4914>
- Durango, V., Negrete, L. M., Colorado, B. J., & Castro, P. L. (2010). Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (*Cecropia peltata*). *Ingeniería y Desarrollo*, 27, 113–129.
- Español, S. (2012). Contaminación con mercurio por la actividad minera. *Biomédica, Instituto Nacional de Salud, Colombia*, 32(3), 471–473. <https://doi.org/10.7705/BIOMEDICA.V32I3.1437>
- López-Martínez, S., Gallegos-Martínez, M. E., Pérez Flores, L. J., & Rojas, M. G. (2005). Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*.
- Maroto, M. E., & Rogel, J. M. (2004). *Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y*

- aguas contaminadas por hidrocarburos. Protección Ambiental de Suelos.*
- Martínez, X. (2004). El Mercurio como contaminante global. *Universidad Autónoma de Barcelona*, 0, 1–246. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10803/3174>
- Mendoza, J.L.; Navarro, A.; Viladevall, M.; Doménech, L. M. (2005). Caracterización y tratamiento térmico de suelos contaminados por mercurio. *VI Simposio del Agua en Andalucía. IGME*, VI(July 2016), 1077–1088. Retrieved from http://ingenierosdeminas.org/docu/documentos/suelos%7B_%7Dmercurio.pdf
- Mogollón P.; Martínez, J. y T. A. (2016). Efecto de la aplicación de vermicompost en las propiedades biológicas de un suelo salino sódico del semiárido venezolano.
- Morales, J., Fernández, M., Montiel, A., & Peralta, B. (2009). Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). *Biotechnia*, 9, 19–26.
- Ortiz Gárate, Z., & Guerrero Rojas, J. (2016). Biorremediación de la contaminación por mercurio en minería informal. *BIOMTEK*, 2, 1–7. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3767.7926>
- Pinochet T., D., Aguirre A., J., & Quiroz R., E. (2002). Estudio de la lixiviación de cadmio, mercurio y plomo en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agro Sur*, 30, 51–58. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2002.v30n1-07>
- Rubenacker, A., Campitelli, P., Sereno, R., & Ceppi, S. (2004). Recuperación química de un suelo degradado mediante la utilización de un vermicompost. *Redalyc.org*, 2, 96. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/3236/323627682008.pdf>
- Vicencio-De la Rosa, G., Pérez-López, E., Medina-Herrera, E., & Martínez-Prado, A. (2011). Producción de composta y vericomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(3), 263–270.
- Volke Sepúlveda, T., & Velasco Trejo, J. A. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT)*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Zapata, I. C., Saldarriaga, J. F., Posada, E., Martínez, L., & González, M. E. (2017). Efectos de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), sobre el crecimiento de microorganismos en suelos contaminados con mercurio de Segovia, Antioquia. *CIENCIA E INGENIERÍA NEOGRANADINA* 77, 27–I, 77–91. <https://doi.org/10.18359/rcin.1911>

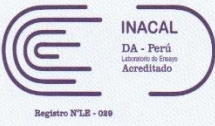


ANEXOS

Anexo 1. Informe de ensayo - 1



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INICIAL - DA
CON REGISTRO N° LE-029



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N°LE - 089

FDT 001 - 01


INFORME DE ENSAYO: 48316/2017

LARICANO FLORES ERNESTO

Urb. Chanu Chanu Nro. B -08 Primera Etapa PUNO Puno Puno

**Trabajo de Investigación de Concentraciones de Mercurio en
Suelos**

Emitido por: Karin Zelada Trigoso
Fecha de Emisión: 10/11/2017



Quím. Karin Zelada Trigoso
CQP: 830
Sup. Emisión Informes – Lima

Renovación de Acreditación a ALS LS Perú S.A.C. mediante registro LE-029
División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 2

Revisión: 09
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 48316/2017

FDT001 -02

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 1

N° ALS LS	436992/2017-1.0			
Fecha de Muestreo	21/10/2017			
Hora de Muestreo	11:00:00			
Tipo de Muestra	Suelo			
Identificación	RELAVERA			
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	
007 ANALISIS DE METALES				
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	167,5

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	0,01	mg/kg	< 0,01	06/11/2017

Control Estándar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	98,1	80-120	06/11/2017

LD = Límite de detección

DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Zona	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
RELAVERA	Cliente	Suelo	23/10/2017	21/10/2017	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente

REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
13312	LME	Mercurio Total	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold-Vapor technique)

CÓDIGOS DE AUTENTICIDAD DEL INFORME DE ENSAYO

ALS LS Perú S.A.C. asegura a sus clientes una completa autenticidad del Informe de Ensayo 48316/2017, para que este informe pueda ser verificado en su totalidad. Para comprobar la autenticidad de los mismos en la base de datos de ALS LS Perú S.A.C., visitar el sitio Web www.alsglobal.com e introducir los siguientes códigos de autenticidad que se detallan a continuación:

Estación de Muestreo	N° ALS LS	Código único de Autenticidad
RELAVERA	436992/2017-1.0	tlqlruo&4299634

ALS LS Perú S.A.C. asegurando la marca y prestigio de su empresa.

COMENTARIOS

LME: Av. Argentina 1859 - Cercado - Lima

"EPA": U.S. Environmental Protection Agency.

"SM": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

"ASTM": American Society for Testing and Materials.

El presente documento es redactado íntegramente en ALS LS Perú S.A.C., su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial del presente informe, salvo autorización escrita de ALS LS Perú S.A.C.; sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

El lote de muestras que incluye el presente informe será descartado a los 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Anexo 2. Informe de ensayo – 2



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-029



Registro N°LE - 029

FDT 001 - 01

INFORME DE ENSAYO: 52201/2017

LARICANO FLORES ERNESTO

Urb. Chanu Chanu Nro. B -08 Primera Etapa PUNO Puno Puno

Análisis Comparativo

Emitido por: Karin Zelada Trigoso

Fecha de Emisión: 05/12/2017

Quím. Karin Zelada Trigoso

CQP: 830

Sup. Emisión Informes – Lima

Renovación de Acreditación a ALS LS Perú S.A.C. mediante registro LE-029
División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 2

Revisión:03
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 52201/2017

FDT 001 -02

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 1

Nº ALS LS	476651/2017-1.0			
Fecha de Muestreo	13/11/2017			
Hora de Muestra	07:54:00			
Tipo de Muestra	Suelo			
Identificación	TA-1			
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	
007 ANALISIS DE METALES				
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	108,8

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos				
Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	0,01	mg/kg	< 0,01	03/12/2017

Control Estandar			
Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	100,2	80-120	03/12/2017

LD = Límite de detección.

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en las instalaciones del laboratorio, se refiere a las fechas indicadas en las tablas de Controles de Calidad, y para los ensayos realizados en campo (Análisis en Campo) corresponden a las fechas de muestreo. No Aplica para ensayos tercerizados.

DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Zona	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
TA-1	Cliente	Suelo	14/11/2017	13/11/2017	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente

REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
13312	LME	Mercurio Total	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold-Vapor technique)

CÓDIGOS DE AUTENTICIDAD DEL INFORME DE ENSAYO

ALS LS Perú S.A.C. asegura a sus clientes una completa autenticidad del Informe de Ensayo 52201/2017, para que este informe pueda ser verificado en su totalidad. Para comprobar la autenticidad de los mismos en la base de datos de ALS LS Perú S.A.C., visitar el sitio Web www.alsglobal.com e introducir los siguientes códigos de autenticidad que se detallan a continuación:

Estación de Muestreo	Nº ALS LS	Código único de Autenticidad
TA-1	476651/2017-1.0	ulqjruo&4156674

ALS LS Perú S.A.C. asegurando la marca y prestigio de su empresa.

COMENTARIOS

Los resultados de suelos se expresan en base seca.

LME: Av. Argentina 1859 - Cercado - Lima

"EPA": U.S. Environmental Protection Agency.

"SM": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

"ASTM": American Society for Testing and Materials.

El presente documento es redactado íntegramente en ALS LS Perú S.A.C., su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial del presente informe, salvo autorización escrita de ALS LS Perú S.A.C.; sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

El lote de muestras que incluye el presente informe será descartado a los 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Anexo 3. Informe de ensayo – 3



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-029



Registro N°LE - 029

FDT 001 - 01

INFORME DE ENSAYO: 52202/2017

LARICANO FLORES ERNESTO

Urb. Chanu Chanu Nro. B -08 Primera Etapa PUNO Puno Puno

Análisis Comparativos

Emitido por: Karin Zelada Trigoso

Fecha de Emisión: 05/12/2017



Quím. Karin Zelada Trigoso

CQP: 830

Sup. Emisión Informes – Lima

Renovación de Acreditación a ALS LS Perú S.A.C. mediante registro LE-029
División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 2

Revisión 09
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 52202/2017

FDT001 -02

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 1

N° ALS LS				476660/2017-1.0
Fecha de Muestreo				13/11/2017
Hora de Muestreo				08:00:00
Tipo de Muestra				Suelo
Identificación				TB-1
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	
007 ANALISIS DE METALES				
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	60,59

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	0,01	mg/kg	< 0,01	03/12/2017

Control Estandar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	100,2	80-120	03/12/2017

LD = Límite de detección.

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en las instalaciones del laboratorio, se refiere a las fechas indicadas en las tablas de Controles de Calidad, y para los ensayos realizados en campo (Análisis en Campo) corresponden a las fechas de muestreo. No Aplica para ensayos tercerizados.

DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Zona	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
TB-1	Cliente	Suelo	14/11/2017	13/11/2017	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente

REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
13312	LME	Mercurio Total	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold-Vapor technique)

CÓDIGOS DE AUTENTICIDAD DEL INFORME DE ENSAYO

ALS LS Perú S.A.C. asegura a sus clientes una completa autenticidad del Informe de Ensayo 52202/2017, para que este informe pueda ser verificado en su totalidad. Para comprobar la autenticidad de los mismos en la base de datos de ALS LS Perú S.A.C., visitar el sitio Web www.alsglobal.com e introducir los siguientes códigos de autenticidad que se detallan a continuación:

Estación de Muestreo	N° ALS LS	Código único de Autenticidad
TB-1	476660/2017-1.0	lmq ruo&4066674

ALS LS Perú S.A.C. asegurando la marca y prestigio de su empresa.

COMENTARIOS

Los resultados de suelos se expresan en base seca.

LME: Av. Argentina 1859 - Cercado - Lima

"EPA": U.S. Environmental Protection Agency.

"SM": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

"ASTM": American Society for Testing and Materials.

El presente documento es redactado íntegramente en ALS LS Perú S.A.C., su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial del presente informe, salvo autorización escrita de ALS LS Perú S.A.C.; sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

El lote de muestras que incluye el presente informe será descartado a los 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Anexo 4. Informe de ensayo – 4



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-029



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 029

FDT 001 - 01

INFORME DE ENSAYO: 52203/2017

LARICANO FLORES ERNESTO

Urb. Chanu Chanu Nro. B -08 Primera Etapa PUNO Puno Puno

Análisis Comparativo

Emitido por: Karin Zelada Trigoso
Fecha de Emisión: 05/12/2017



Quim. Karin Zelada Trigoso
CQP: 830
Sup. Emisión Informes – Lima

Renovación de Acreditación a ALS LS Perú S.A.C. mediante registro LE-029
División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 2

Revisión 09
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 52203/2017

FDT 001 -02

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 1

N° ALS LS				476669/2017-1.0
Fecha de Muestreo				13/11/2017
Hora de Muestreo				08:05:00
Tipo de Muestra				Suelo
Identificación				TC-1
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	
007 ANALISIS DE METALES				
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	64.76

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	0,01	mg/kg	< 0,01	03/12/2017

Control Estandar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	100,2	80-120	03/12/2017

LD = Límite de detección.

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en las instalaciones del laboratorio, se refiere a las fechas indicadas en las tablas de Controles de Calidad, y para los ensayos realizados en campo (Análisis en Campo) corresponden a las fechas de muestreo. No Aplica para ensayos tercerizados.

DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Zona	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
TC-1	Cliente	Suelo	14/11/2017	13/11/2017	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente

REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
13312	LME	Mercurio Total	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold-Vapor technique)

CÓDIGOS DE AUTENTICIDAD DEL INFORME DE ENSAYO

ALS LS Perú S.A.C. asegura a sus clientes una completa autenticidad del Informe de Ensayo 52203/2017, para que este informe pueda ser verificado en su totalidad. Para comprobar la autenticidad de los mismos en la base de datos de ALS LS Perú S.A.C., visitar el sitio Web www.alsglobal.com e introducir los siguientes códigos de autenticidad que se detallan a continuación:

Estación de Muestreo	N° ALS LS	Código único de Autenticidad
TC-1	476669/2017-1.0	mmqlruo&4966674

ALS LS Perú S.A.C. asegurando la marca y prestigio de su empresa.

COMENTARIOS

Los resultados de suelos se expresan en base seca.

LME: Av. Argentina 1859 - Cercado - Lima

"EPA": U.S. Environmental Protection Agency.

"SM": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

"ASTM": American Society for Testing and Materials.

El presente documento es redactado íntegramente en ALS LS Perú S.A.C., su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial del presente informe, salvo autorización escrita de ALS LS Perú S.A.C.; sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

El lote de muestras que incluye el presente informe será descartado a los 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Anexo 5. Informe de ensayo – 5



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-029



INACAL
DA - Perú
Laboratorio Estado
Acreditado
Registro N°LE - 029
FDT 001 - 01

INFORME DE ENSAYO: 54987/2017

LARICANO FLORES ERNESTO

Urb. Chanu Chanu Nro. B -08 Primera Etapa PUNO Puno Puno

Análisis Comparativo

Emitido por: Doris Quicara Choquepiunta
Fecha de Emisión: 14/12/2017



Lic. Quím. Doris Quicara Choquepiunta
CQP: 790
Supervisor de Laboratorio – Sede Arequipa

Renovación de Acreditación a ALS LS Perú S.A.C. mediante registro LE-029
División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 2

Revisión:09
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 54987/2017

FDT 001 -02

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 1

Nº ALS LS	504386/2017-1.0			
Fecha de Muestreo	28/11/2017			
Hora de Muestreo	07:20:00			
Tipo de Muestra	Suelo			
Identificación	TA-2			
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	
007 ANALISIS DE METALES				
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	63,07

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	0,01	mg/kg	< 0,01	05/12/2017

Control Estandar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	97,4	80-120	05/12/2017

LD = Límite de detección.

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en las instalaciones del laboratorio, se refiere a las fechas indicadas en las tablas de Controles de Calidad, y para los ensayos realizados en campo (Análisis en Campo) corresponden a las fechas de muestreo. No Aplica para ensayos tercerizados.

DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Zona	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
TA-2	Cliente	Suelo	28/11/2017	28/11/2017	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente

REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
13312	LME	Mercurio Total	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold-Vapor technique)

CÓDIGOS DE AUTENTICIDAD DEL INFORME DE ENSAYO

ALS LS Perú S.A.C. asegura a sus clientes una completa autenticidad del Informe de Ensayo 54987/2017, para que este informe pueda ser verificado en su totalidad. Para comprobar la autenticidad de los mismos en la base de datos de ALS LS Perú S.A.C., visitar el sitio Web www.alsglobal.com e introducir los siguientes códigos de autenticidad que se detallan a continuación:

Estación de Muestreo	Nº ALS LS	Código único de Autenticidad
TA-2	504386/2017-1.0	nmqlruo&5683405

ALS LS Perú S.A.C. asegurando la marca y prestigio de su empresa.

COMENTARIOS

Los resultados de suelos se expresan en base seca.

LME: Av. Argentina 1859 - Cercado - Lima

"EPA": U.S. Environmental Protection Agency.

"SM": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

"ASTM": American Society for Testing and Materials.

El presente documento es redactado íntegramente en ALS LS Perú S.A.C., su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial del presente informe, salvo autorización escrita de ALS LS Perú S.A.C.; sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

El lote de muestras que incluye el presente informe será descartado a los 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Anexo 6. Informe de ensayo – 6



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-029



Registro N° LE - 029

FDT 001 - 01

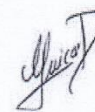
INFORME DE ENSAYO: 54988/2017**LARICANO FLORES ERNESTO**

Urb. Chanu Chanu Nro. B -08 Primera Etapa PUNO Puno Puno

Análisis Comparativo

Emitido por: Doris Quicara Choquepiunta

Fecha de Emisión: 14/12/2017



Lic. Quím. Doris Quicara Choquepiunta

CQP: 790

Supervisor de Laboratorio - Sede Arequipa

Renovación de Acreditación a ALS LS Perú S.A.C. mediante registro LE-029
División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 2

Revisión:09
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 54988/2017

FDT 001 -02

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 1

N° ALS LS	504387/2017-1.0			
Fecha de Muestreo	28/11/2017			
Hora de Muestreo	07:25:00			
Tipo de Muestra	Suelo			
Identificación	TB-2			
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	
007 ANALISIS DE METALES				
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	59,10

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	0,01	mg/kg	< 0,01	05/12/2017

Control Estandar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	98,8	80-120	05/12/2017

LD = Límite de detección.

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en las instalaciones del laboratorio, se refiere a las fechas indicadas en las tablas de Controles de Calidad, y para los ensayos realizados en campo (Análisis en Campo) corresponden a las fechas de muestreo. No Aplica para ensayos tercerizados.

DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Zona	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
TB-2	Cliente	Suelo	28/11/2017	28/11/2017	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente

REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
13312	LME	Mercurio Total	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold-Vapor technique)

CÓDIGOS DE AUTENTICIDAD DEL INFORME DE ENSAYO

ALS LS Perú S.A.C. asegura a sus clientes una completa autenticidad del Informe de Ensayo 54988/2017, para que este informe pueda ser verificado en su totalidad. Para comprobar la autenticidad de los mismos en la base de datos de ALS LS Perú S.A.C., visitar el sitio Web www.alsglobal.com e introducir los siguientes códigos de autenticidad que se detallan a continuación:

Estación de Muestreo	N° ALS LS	Código único de Autenticidad
TB-2	504387/2017-1.0	omqlruo&5783405

ALS LS Perú S.A.C. asegurando la marca y prestigio de su empresa.

COMENTARIOS

Los resultados de suelos se expresan en base seca.

LME: Av. Argentina 1859 - Cercado - Lima

"EPA": U.S. Environmental Protection Agency.

"SM": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

"ASTM": American Society for Testing and Materials.

El presente documento es redactado íntegramente en ALS LS Perú S.A.C., su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial del presente informe, salvo autorización escrita de ALS LS Perú S.A.C.; sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

El lote de muestras que incluye el presente informe será descartado a los 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Pág. 2 de 2

Revisión:09
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com

Anexo 7. Informe de ensayo – 7



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-029



Registro N° LE - 029

FDT 001 - 01

INFORME DE ENSAYO: 54989/2017

LARICANO FLORES ERNESTO

Urb. Chanu Chanu Nro. B -08 Primera Etapa PUNO Puno Puno

Análisis Comparativo

Emitido por: Doris Quicara Choquepiunta

Fecha de Emisión: 14/12/2017

Lic. Quím. Doris Quicara Choquepiunta

CQP: 790

Supervisor de Laboratorio - Sede Arequipa

Renovación de Acreditación a ALS LS Perú S.A.C. mediante registro LE-029
División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 2

Revisión: 09
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 54989/2017

FDT 001 -02

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 1

N° ALS LS				504391/2017-1.0
Fecha de Muestreo				28/11/2017
Hora de Muestreo				07:30:00
Tipo de Muestra				Suelo
Identificación				TC-2
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	
007 ANALISIS DE METALES				
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	57,56

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	0,01	mg/kg	<0,01	05/12/2017

Control Estandar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	97,4	80-120	05/12/2017

LD = Límite de detección.

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en las instalaciones del laboratorio, se refiere a las fechas indicadas en las tablas de Controles de Calidad, y para los ensayos realizados en campo (Análisis en Campo) corresponden a las fechas de muestreo. No Aplica para ensayos tercerizados.

DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Zona	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
TC-2	Cliente	Suelo	28/11/2017	28/11/2017	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente

REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
13312	LME	Mercurio Total	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold-Vapor technique)

CÓDIGOS DE AUTENTICIDAD DEL INFORME DE ENSAYO

ALS LS Perú S.A.C. asegura a sus clientes una completa autenticidad del Informe de Ensayo 54989/2017, para que este informe pueda ser verificado en su totalidad. Para comprobar la autenticidad de los mismos en la base de datos de ALS LS Perú S.A.C., visitar el sitio Web www.alsglobal.com e introducir los siguientes códigos de autenticidad que se detallan a continuación:

Estación de Muestreo	N° ALS LS	Código único de Autenticidad
TC-2	504391/2017-1.0	pmqlruo&5193405

ALS LS Perú S.A.C. asegurando la marca y prestigio de su empresa.

COMENTARIOS

Los resultados de suelos se expresan en base seca.

LME: Av. Argentina 1859 - Cercado - Lima

"EPA": U.S. Environmental Protection Agency.

"SM": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

"ASTM": American Society for Testing and Materials.

El presente documento es redactado íntegramente en ALS LS Perú S.A.C., su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial del presente informe, salvo autorización escrita de ALS LS Perú S.A.C.; sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

El lote de muestras que incluye el presente informe será descartado a los 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Pág. 2 de 2

Revisión:09
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com

Anexo 8. Informe de ensayo – 8



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-029



Registro N° LE- 029

FDT001-01

INFORME DE ENSAYO: 59202/2017

LARICANO FLORES ERNESTO

Urb. Chanu Chanu Nro. B -08 Primera Etapa PUNO Puno Puno

ANÁLISIS COMPARATIVO

Emitido por: Karin Zelada Trigos

Fecha de Emisión: 09/01/2018

Quím. Karin Zelada Trigos

CQP: 830

Sup. Emisión Informes – Lima

Renovación de Acreditación a ALS LS Perú S.A.C. mediante registro LE-029
División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 3

Revisión: 09
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 59202/2017

FDT 001 -02

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 1

N° ALS LS	535374/2017-1.0			
Fecha de Muestreo	14/12/2017			
Hora de Muestreo	07:05:00			
Tipo de Muestra	Suelo			
Identificación	TA-3			
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	
007 ANALISIS DE METALES				
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	16,15

Observaciones

LD = Límite de detección.

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	0,01	mg/kg	< 0,01	22/12/2017

Control Estandar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	99,0	80-120	22/12/2017

LD = Límite de detección.

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en las instalaciones del laboratorio, se refiere a las fechas indicadas en las tablas de Controles de Calidad. No Aplica para ensayos tercerizados.

DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Zona	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
TA-3	Cliente	Suelo	14/12/2017	14/12/2017	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente

REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
13312	LME	Mercurio Total	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold-Vapor technique)

CÓDIGOS DE AUTENTICIDAD DEL INFORME DE ENSAYO

ALS LS Perú S.A.C. asegura a sus clientes una completa autenticidad del Informe de Ensayo 59202/2017, para que este informe pueda ser verificado en su totalidad. Para comprobar la autenticidad de los mismos en la base de datos de ALS LS Perú S.A.C., visitar el sitio Web www.alsglobal.com e introducir los siguientes códigos de autenticidad que se detallan a continuación:

Estación de Muestreo	N° ALS LS	Código único de Autenticidad
TA-3	535374/2017-1.0	qmqrlruo&5473535

ALS LS Perú S.A.C. asegurando la marca y prestigio de su empresa.



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 59202/2017

FDT001 -02

COMENTARIOS

Los resultados de suelos se expresan en base seca.

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en campo (Análisis en Campo) corresponden a las fechas de muestreo.

LME: Av. Argentina 1859 - Cercado - Lima

"EPA": U.S. Environmental Protection Agency.

"SM": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

"ASTM": American Society for Testing and Materials.

El presente documento es redactado íntegramente en ALS LS Perú S.A.C., su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial del presente informe, salvo autorización escrita de ALS LS Perú S.A.C.; sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

El lote de muestras que incluye el presente informe será descartado a los 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Pág. 3 de 3

Revisión:09
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com

Anexo 9. Informe de ensayo – 9



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-029



Registro N° LE-029

FDT001-01

INFORME DE ENSAYO: 62301/2017

LARICANO FLORES ERNESTO

Urb. Chanu Chanu Nro. B -08 Primera Etapa PUNO Puno Puno

ANÁLISIS COMPARATIVO

Emitido por: Karin Zelada Trigoso

Fecha de Emisión: 09/01/2018

Quim. Karin Zelada Trigoso

CQP: 830

Sup. Emisión Informes – Lima

Renovación de Acreditación a ALS LS Perú S.A.C. mediante registro LE-029
División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 3

Revisión: 09
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 62301/2017

FDT 001 -02

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 1

N° ALS LS	535375/2017-1.0			
Fecha de Muestreo	14/12/2017			
Hora de Muestreo	07:10:00			
Tipo de Muestra	Suelo			
Identificación	TB-3			
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	
007 ANALISIS DE METALES				
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	15,57

Observaciones

LD = Límite de detección.

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	0,01	mg/kg	< 0,01	22/12/2017

Control Estandar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	99,0	80-120	22/12/2017

LD = Límite de detección.

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en las instalaciones del laboratorio, se refiere a las fechas indicadas en las tablas de Controles de Calidad. No Aplica para ensayos tercerizados.

DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Zona	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
TB-3	Cliente	Suelo	14/12/2017	14/12/2017	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente

REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
13312	LME	Mercurio Total	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold-Vapor technique)

CÓDIGOS DE AUTENTICIDAD DEL INFORME DE ENSAYO

ALS LS Perú S.A.C. asegura a sus clientes una completa autenticidad del Informe de Ensayo 62301/2017, para que este informe pueda ser verificado en su totalidad. Para comprobar la autenticidad de los mismos en la base de datos de ALS LS Perú S.A.C., visitar el sitio Web www.alsglobal.com e introducir los siguientes códigos de autenticidad que se detallan a continuación:

Estación de Muestreo	N° ALS LS	Código único de Autenticidad
TB-3	535375/2017-1.0	rmqlruo&5573535

ALS LS Perú S.A.C. asegurando la marca y prestigio de su empresa.



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 62301/2017

FDT 001 -02

COMENTARIOS

Los resultados de suelos se expresan en base seca.

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en campo (Análisis en Campo) corresponden a las fechas de muestreo.

LME: Av. Argentina 1859 - Cercado - Lima

"EPA": U.S. Environmental Protection Agency.

"SM": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

"ASTM": American Society for Testing and Materials.

El presente documento es redactado íntegramente en ALS LS Perú S.A.C., su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial del presente informe, salvo autorización escrita de ALS LS Perú S.A.C.; sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

El lote de muestras que incluye el presente informe será descartado a los 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Pág. 3 de 3

Revisión: 09
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com

Anexo 10. Informe de ensayo - 10



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-029



Registro N° LE-029

FDT001-01

INFORME DE ENSAYO: 62302/2017

LARICANO FLORES ERNESTO

Urb. Chanu Chanu Nro. B -08 Primera Etapa PUNO Puno Puno

ANÁLISIS COMPARATIVO

Emitido por: Karin Zelada Trigoso

Fecha de Emisión: 09/01/2018

Quím. Karin Zelada Trigoso

CQP: 830

Sup. Emisión Informes – Lima

Renovación de Acreditación a ALS LS Perú S.A.C. mediante registro LE-029
División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 3

Revisión: 09
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 62302/2017

FDT 001 -02

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 1

N° ALS LS	535376/2017-1.0			
Fecha de Muestreo	14/12/2017			
Hora de Muestreo	07:15:00			
Tipo de Muestra	Suelo			
Identificación	TC-3			
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	
007 ANALISIS DE METALES				
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	17,12

Observaciones

LD = Límite de detección.

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	0,01	mg/kg	< 0,01	22/12/2017

Control Estandar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Mercurio Total (Hg)	99,0	80-120	22/12/2017

LD = Límite de detección.

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en las instalaciones del laboratorio, se refiere a las fechas indicadas en las tablas de Controles de Calidad. No Aplica para ensayos tercerizados.

DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Zona	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
TC-3	Cliente	Suelo	14/12/2017	14/12/2017	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente

REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
13312	LME	Mercurio Total	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold-Vapor technique)

CÓDIGOS DE AUTENTICIDAD DEL INFORME DE ENSAYO

ALS LS Perú S.A.C. asegura a sus clientes una completa autenticidad del Informe de Ensayo 62302/2017, para que este informe pueda ser verificado en su totalidad. Para comprobar la autenticidad de los mismos en la base de datos de ALS LS Perú S.A.C., visitar el sitio Web www.alsglobal.com e introducir los siguientes códigos de autenticidad que se detallan a continuación:

Estación de Muestreo	N° ALS LS	Código único de Autenticidad
TC-3	535376/2017-1.0	smqlruo&5673535

ALS LS Perú S.A.C. asegurando la marca y prestigio de su empresa.



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 62302/2017

FDT 001 -02

COMENTARIOS

Los resultados de suelos se expresan en base seca.

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en campo (Análisis en Campo) corresponden a las fechas de muestreo.

LME: Av. Argentina 1859 - Cercado - Lima

"EPA": U.S. Environmental Protection Agency.

"SM": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

"ASTM": American Society for Testing and Materials.

El presente documento es redactado íntegramente en ALS LS Perú S.A.C., su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial del presente informe, salvo autorización escrita de ALS LS Perú S.A.C.; sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

El lote de muestras que incluye el presente informe será descartado a los 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Pág. 3 de 3

Revisión: 02
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com

Anexo 11. Cuadro de Matriz de Consistencia

Interrogantes específicas	Hipótesis específicas	Objetivos específicos	Variables	Indicadores	Métodos	Prueba Estadística Inferencial
¿Serán las concentraciones de la vermicomposta, influyan en la disminución de los niveles de contaminación del mercurio (mg/kg) en suelos contaminados?	A mayor concentración de vermicomposta (kg), existe una mayor disminución de los niveles de contaminación del mercurio (mg/kg) en suelos contaminados.	Comparar las concentraciones de la vermicomposta en diferentes concentraciones para la disminución de los niveles de contaminación del mercurio (mg/kg) en suelos contaminados	VI: Concentración de vermicomposta VD: Disminución de Hg	Límites máximos permisibles de Hg en el suelo	Análisis espectrofotométría de	Análisis de Regresión Lineal
¿Serán el tiempo (días) de aplicación de la vermicomposta, influya en el proceso de disminución de suelos contaminados con mercurio (mg/kg)?	A mayor tiempo (días) de aplicación de la vermicomposta (kg), existe mayor disminución de los niveles de mercurio (mg/kg) en suelos	Contrastar el tiempo (días) de aplicación de la vermicomposta, para la del proceso de disminución de suelos contaminados con mercurio (mg/kg)	VI: Tiempo (días) VD: Disminución de Hg	Límites máximos permisibles de Hg en el suelo	Análisis espectrofotométría de	Análisis de Regresión Lineal

Anexo 12. Certificado de Acreditación



INACAL
Instituto Nacional de Calidad
Acreditación

Certificado

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, OTORGA el presente certificado de Acreditación a:

ALS LS PERÚ S.A.C.

Laboratorio de Ensayo

Con base en la norma
NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-05P-17F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Acreditación: 28 de mayo de 2014
Fecha de Vencimiento: 19 de enero de 2018

Cedula N° : 0230.2014/SNA-INDECOPI
Contrato N° : 027-17/INACAL-DA
Registro N° : LE-029




JUANA HIDALGO MURO
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 8 de setiembre de 2017

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados al momento de hacer uso del presente certificado.
La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mútuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

**A partir del 01 de setiembre de 2017 se actualizó la razón social a solicitud del organismo.
DA-acr-01P-02M Ver. 02

Anexo 13. Evidencias fotograficas



Figura 8. Ingresando al invernadero de la invetigacion



Figura 9. Experimento instalado para la investigación



Figura 10. Experimento instalado para la investigación.



Figura 11. Control de la humedad de la investigación



Figura 12. Control del pH del agua de la investigación



Figura 13. Control del pH del suelo de la investigación



Figura 14. Tomando muestra para el análisis de laboratorio



Figura 15. Tomando muestra para el análisis de laboratorio



Figura 16. Mostrando reproducción de lombrices en la vermicomposta



Figura 17. Pesando muestras para análisis de laboratorio



Figura 18. Empaquetando las muestras para análisis de laboratorio



Figura 19. Pesando muestras para etiquetado



Figura 20. Llenado de etiquetas para las muestras



Figura 21. Etiquetado de muestras para análisis de laboratorio

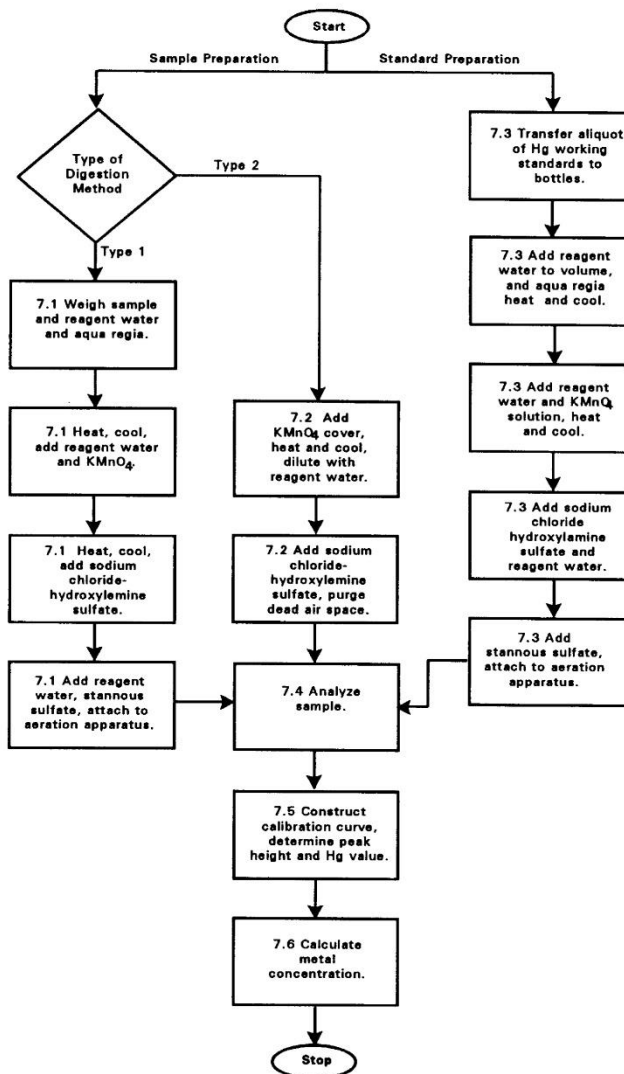


Figura 22. Realizando custodia de muestras para análisis de laboratorio

Anexo 14. Metodo EPA 7471B

METHOD 7471B

MERCURY IN SOLID OR SEMISOLID WASTE (MANUAL COLD-VAPOR TECHNIQUE)



CD-ROM

7471B - 8

Revision 2
January 1998