

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Humus de lombriz como alternativa en la  
recuperación de suelos contaminados con metales  
pesados en la Compañía Minera Argentum-2023**

Percy David, Almerco Ramirez  
Luis Junior, Galvan Espejo  
Cesar, Yañac Ortiz

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Rafael, Carrasco Soto  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 25 de Noviembre 2024

- Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

- **Título:**

"Humus de lombriz como alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la Compañía Minera Argentum – 2023"

- **Autores:**

1. Percy David, Almerco Ramirez – EAP. Ingeniería de Minas
2. Luis Junior, Galvan Espejo – EAP. Ingeniería de Minas
3. Cesar, Yañac Ortiz – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19% de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI  NO   
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): **20**
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de tesis va dedicado a Nuestras Divino Señor, por darnos sabiduría y conocimiento para concluir nuestros estudios satisfactoriamente. Asimismo, a nuestros padres que día a día estuvieron presente en cada uno de nuestros logros. Por último, a nuestra casa superior de estudios que nos albergó en sus instalaciones y permitió lograr graduarnos como profesionales.

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestro Padre Celestial, que desde el cielo derrama sus bendiciones a todos sus hijos.

A nuestra familia, por ser nuestro soporte, con su cariño y amor incondicional nos apoyaron a lo largo de nuestra vida universitaria.

A nuestros docentes de la Universidad Continental, por impartirnos sus conocimientos durante nuestra formación profesional.

A la Compañía Minera Argentum S. A., por permitirnos realizar el presente trabajo

Los autores.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN .....	x
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	11
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	11
1.1.1. Problema general .....	11
1.1.2. Problemas específicos .....	11
1.2. Objetivos .....	12
1.2.1. Objetivo general .....	12
1.2.2. Objetivos específicos .....	12
1.3. Justificación de la investigación .....	12
1.3.1. Justificación práctica.....	12
1.3.2. Justificación económica .....	12
1.3.3. Justificación social .....	12
1.4. Delimitación de la investigación.....	13
1.4.1. Territorial .....	13
1.4.2. Temporal .....	13
1.4.3. Conceptual .....	13
1.5. Hipótesis y variables.....	13
1.5.1. Hipótesis general.....	13
1.5.2. Hipótesis específicas .....	13
1.5.3. Identificación de las variables .....	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	18
2.1. Antecedentes de investigación.....	18
2.2. Bases teóricas .....	19
2.2.1. Humus de lombriz.....	19
2.2.2. Suelos contaminados.....	22
2.2.3. Definición de términos básicos .....	25

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	27
3.1 Enfoque de investigación.....	27
3.2 Tipo de investigación.....	27
3.3 Nivel de investigación .....	27
3.4 Diseño de investigación.....	27
3.5 Métodos de investigación .....	27
3.6 Población, muestreo y muestra.....	27
3.6.1 Población .....	28
3.6.2 Muestra .....	28
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1. Presentación de resultados.....	29
4.1.1. Caracterización del suelo .....	29
4.1.2. Eliminación de metales pesados .....	31
4.2. Discusión de resultados .....	35
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	37
5.1. Conclusiones.....	37
5.2. Recomendaciones .....	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
ANEXOS .....	42

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de la variable remoción de metales pesado .....	16
Tabla 2. Matriz de operacionalización de la variable humus de lombriz.....	17
Tabla 3. Composición química del humus de lombriz .....	20
Tabla 4. Características generales de los metales pesados .....	23
Tabla 5. Características de la muestra.....	28
Tabla 5. Resultado de análisis químico del suelo (suelo inicial + suelo con tratamiento) .....	29
Tabla 6. Concentración de metales pesados en el suelo inicial y suelo con humus de lombriz .....	31



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación taxonómica de la lombriz. ....	21
Figura 2. Procesos de obtención del zinc. ....	24
Figura 3. Variación del pH del suelo inicial y suelo con humus de lombriz. ....	30
Figura 4. Variación del contenido de materia orgánica del suelo inicial y el suelo con humus de lombriz. ....	30
Figura 5. Variación del contenido de calcio en el suelo inicial y suelo con humus de lombriz. ....	30
Figura 6. Variación del contenido de magnesio en el suelo inicial y suelo con humus de lombriz. ....	31
Figura 7. Disminución del contenido de contenido de cobre en el suelo inicial y suelo tratado. ....	31
Figura 8. Reducción del contenido de contenido de cobre. ....	32
Figura 9. Porcentaje de eliminación de cobre. ....	32
Figura 10. Disminución del contenido de contenido de arsénico en el suelo inicial y suelo tratado. ....	32
Figura 11. Reducción del contenido de contenido de Arsénico. ....	33
Figura 12. Porcentaje de eliminación de Arsénico. ....	33
Figura 13. Disminución del contenido de contenido de Plomo en el suelo inicial y suelo tratado. ....	33
Figura 14. Reducción del contenido de contenido de arsénico. ....	34
Figura 15. Porcentaje de eliminación de arsénico. ....	34
Figura 16. Disminución del contenido de contenido de Cadmio en el suelo inicial y suelo tratado. ....	34
Figura 17. Reducción del contenido de contenido de cadmio. ....	35
Figura 18. Porcentaje de eliminación de cadmio. ....	35

## RESUMEN

La degradación de suelo es un problema dentro de la sociedad porque se pierde la capacidad de producción agrícola – pecuaria. Por esta razón, el presente trabajo de investigación se realizó en suelos contaminados y/o alterados de la Compañía Minera Argentum S. A. El objetivo principal de este trabajo es describir el valor del humus de lombriz como una alternativa en la recuperación de suelos alterados y/o contaminados empleando las biopilas para la absorción de los metales pesados (Cu, Pb, Zn, As), para ello se realizó la búsqueda exhaustiva de otros estudios similares en suelos agrícolas, industriales y mineros que comprueben la eficiencia del humus de lombriz en la remediación o recuperación de suelos contaminados y/o alterados. La importancia del humus de lombriz en el sector minero garantiza la recuperación de suelos alterados o contaminados, las actividades de cierre de pasivos ambientales o cierre de minas contemplan tareas de recuperación y subsanación de áreas afectadas por las actividades mineras y su integración al medio ambiente, de esta manera se busca mejorar el sistema paisajístico. Un punto importante para tener en cuenta es mantener un ambiente sano y saludable para el desarrollo y crecimiento de la población. Según estudios realizados por otros autores indican que el abono de la lombriz californiana *Eisenia foetida* más conocido como humus de lombriz es rico en nutrientes y por tal motivo albergar una simbiosis con microorganismo, de las cuales se logra una gran cantidad de materia orgánica, esto hace que la recuperación de los suelos contaminados y/o alterados sea un éxito, al mismo tiempo los metales son absorbidos y destruidos por la actividad microbiana y la biomasa. Cabe mencionar que la lombriz californiana *Eisenia foetida* es una de las especies que tiene una larga vida llegando a vivir de 2 a 5 años. Es una especie muy prolifera y asegura su población durante todo el tiempo. La lumbricultura es una técnica propia de la agricultura orgánica para la obtención de abono, esta actividad fue desarrollada en los estados unidos por los años 50.

**Palabras clave:** humus de lombriz, metales pesados, parámetros, suelos contaminados y/o alterados.

## ABSTRACT

This research work was carried out in contaminated and/or altered soil of the tailings dam of the Mining Company Argentum S.A. Soil degradation is a problem within society because the agricultural and livestock production capacity is lost. The main objective of this work is to describe the value of worm humus as an alternative in the recovery of altered and/or contaminated soils using biopiles for the absorption of heavy metals (Cu, Pb, Zn, etc.), for this purpose an exhaustive search was carried out for other similar studies in agricultural, industrial and mining soils that verify the efficiency of worm humus in the remediation or recovery of contaminated soils and/or Altered. The importance of worm humus in the mining sector guarantees the recovery of altered or contaminated soils, the activities of closing environmental liabilities or mine closure contemplate tasks of recovery and correction of areas affected by mining activities and their integration into the environment in this way it seeks to improve the landscape system, An important point to keep in mind is to maintain a healthy and healthy environment for the development and growth of the population. According to studies carried out by other authors, they indicate that the fertilizer of the Californian worm "Eisenia Foetica" better known as worm humus is rich in nutrients and for this reason harbor a symbiosis with microorganisms, from which a large amount of organic matter is obtained, this makes the recovery of contaminated and/or altered soils a success, At the same time, metals are absorbed and destroyed by microbial activity and biomass. It is worth mentioning that the Californian earthworm "Eisenia Foetica" is one of the species that has a long life, living from 2 to 5 years, it is a very proliferating species and ensures its population all the time. Lumbriculture is a technique of organic agriculture to obtain fertilizer, this activity was developed in the United States in the 50s.

**Key words:** worm humus, heavy metals, parameters, contaminated and/or disturbed soils.

## INTRODUCCIÓN

El sector minero desarrolla sus actividades de exploración, explotación y procesamiento de minerales a escalas de mediana y gran minería, la mayoría de estos proyectos se encuentran ubicado en la cordillera central de los Andes peruanos, por lo la se puede apreciar gran cantidad de roquedal, con poca presencia de las especies de flora. Esto es un indicador que, en este lugar, la presencia de suelo es mínimo, por tanto, la importancia de mantener el suelo sin contaminación es de vital importancia para la poca agricultura y la ganadería que se desarrolla cerca a los proyectos minero. Durante las actividades mineras, las empresas generan pasivos ambientales como resultado se da la contaminación y/o alteración del suelo. La contaminación del suelo durante los últimos años va tomando fuerza en las diferentes organizaciones como es el caso de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

El inadecuado manejo de componentes mineros como es la desmontera (material de mina), generación de agua acida (interior mina) y relave (material fino proveniente del proceso metalúrgico) contienen un alto porcentaje de sustancias tóxicas como los metales pesados (cobre, cadmio, plomo, arsénico) las cuales son fuente de generación y contaminación del suelo natural, con el pasar de los años se convierte en un pasivo ambiental difícil de remediar o recuperar su estado natural del suelo.

La presente tesis titulada: “Humus de lombriz como alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la Compañía Minera Argentum – 2023” busca determinar la efectividad del humus de lombriz para una recuperación del suelo contaminado a mediano y largo plazo, una técnica bastante empleada que consiste en degradar y estabilizar los niveles de concentración de metales pesados presentes en los suelos contaminados y/o alterados. Una vez remediada el área podrá ser integrada al medio ambiente para mejor su calidad paisajística. El objetivo del estudio fue determinar el humus de lombriz como una alternativa en la recuperación de suelos contaminados y/o alterados por metales pesados, en suelo de la Compañía Minera Argentum S. A. Con este proyecto se realizó una investigación experimental de la biorremediación y conocer la eficiencia de dicho método, permitiendo así darle mayor importancia a la disposición de los relaves mineros y sobre todo darles un tratamiento adecuado para evitar la contaminación de zonas aledañas, lo que servirá como antecedentes para futuros estudios de remediación en suelos

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

En los años 2000, la minería en nuestro país experimentó un verdadero boom de producción, esto ha logrado integrar diferentes disciplinas y trascender las fronteras nacionales. El interés en la minería en el siglo XXI en sus diversos aspectos económicos, sociales y ambientales está asociada a los cambios profundos en el sector y a sus múltiples impactos en nuestro país.

Dentro de los diferentes procesos de la explotación minera, una de las más importante es el proceso metalúrgico, donde su residuo final es el relave que contiene gran cantidad de metales pesados y residuos tóxicos propios del proceso. La Compañía Minera Argentum S. A. se ubica en el distrito de Morococha, provincia de Yauli, región Junín, por ende, el proyecto está ubicado en el flanco de occidental central de los Andes del Perú, a una altitud de 4543 m s. n.m.

Es por lo que se ha promovido la investigación de tecnologías para un sistema de tratamiento de relaves mineros utilizando la tecnología de lumbricultura, viable dentro del plan de cierre de minas y plan de pasivos ambientales de la Compañía Minera Argentum S. A.

##### **1.1.1. Problema general**

¿El humus de lombriz es una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la Compañía Minera Argentum – 2023?

##### **1.1.2. Problemas específicos**

- a) ¿Cuál es la concentración de metales pesados después de la utilización de humus de lombriz como alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la Compañía Minera Argentum – 2023?

- b) ¿Cuál es la eficiencia de las biopilas para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la Compañía Minera Argentum S.A. 2023?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar el humus de lombriz como una alternativa para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la Compañía Minera Argentum S.A. - 2023.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- a) Reducción de la concentración de metales pesados después de utilizar el humus de lombriz en suelos contaminados de la Compañía Minera Argentum S. A. - 2023.

- b) Determinar la eficiencia de las biopilas para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la Compañía Minera Argentum S. A. - 2023.

## **1.3. Justificación de la investigación**

### **1.3.1. Justificación práctica**

La presente investigación consiste en reducir la concentración de metales pesados aplicando conocimientos técnicos y teóricos para generar alternativas de manejo práctico a favor de la calidad ambiental, por ello se aplicó el humus de lombriz y se redujo la concentración de metales pesados previo análisis de dichas concentraciones, antes y después del tratamiento. Es importante mencionar que durante años la relavera se encontraba como un pasivo ambiental generando contaminación a los diferentes componentes del ambiente que nos rodea.

### **1.3.2. Justificación económica**

La presente investigación tiene como propósito principal la reducción de metales pesados, para ello se utilizó el tratamiento de lombricultura siendo una de las alternativas más viables y económicas ayudándonos a disminuir la problemática ambiental ocasionada en la relavera de la Compañía Minería Argentum S. A., de esta manera, se puede aplicar esta investigación a los diferentes sectores que hayan ocasionado contaminación y/o alterado la calidad del suelo.

### **1.3.3. Justificación social**

La tesis desarrollada tiene como objetivo brindar solución a la problemática ambiental, social minero, ya que el suelo es un componente fundamental para el ser humano, pero debido al aumento poblacional y la actividad minera este componente se ha visto afectado, permitiéndonos investigar métodos y/o alternativas de solución como la lumbricultura, su

eficiencia y eficacia en la reducción de metales pesados. Asimismo, este trabajo de investigación ayuda y contribuye con la integración del medio ambiente a su estado normal donde las futuras generaciones puedan hacer uso.

## **1.4. Delimitación de la investigación**

### **1.4.1. Territorial**

El proyecto delimita según puntos cardinales de la siguiente manera: por el norte con la propiedad de la SIAS Túpac Amaru, por el sur con la comunidad de Yauli, por el este con la propiedad de la empresa Chinalco y el oeste con la comunidad de San Francisco de Asís de Pucara.

### **1.4.2. Temporal**

En presente trabajo de tesis se realizó en el segundo semestre del año 2023, con una duración de 06 meses hasta lograr los resultados planteados, de esta manera se realizó una investigación *ex situ*, la cual determinó la disminución de los metales pesados en los suelos de la relavera.

### **1.4.3. Conceptual**

El presente trabajo de tesis estudió las siguientes variables:

- Presencia de suelo contaminado con metales pesados.
- Reducción de metales pesados aplicando la lumbricultura.

## **1.5. Hipótesis y variables**

### **1.5.1. Hipótesis general**

Se determinó que el humus de lombriz es una alternativa en la recuperación del suelo contaminado y/o alterado con metales pesados de la Compañía Minera Argentum S. A. – 2023.

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- a) Se redujo la cantidad de metales pesados en el suelo contaminado y/o alterado disminuyendo después de la aplicación del humus de lombriz en la relavera de la Compañía Minera Argentum S.A. - 2023.
- b) Se determinó que en la aplicación de las biopilas para la recuperación del suelo contaminado y/o alterado por metales pesados alcanza valores altos de eficiencia superiores al 70 % en la relavera de la Compañía Minera Argentum S. A. - 2023.

### **1.5.3. Identificación de las variables**

- **Variable 1:**  
Reducción de metales pesados

✓ Definición conceptual

El suelo es un componente vital en el ecosistema terrestre y su degradación puede afectar la calidad medioambiental y la sostenibilidad. Los metales pesados son contaminantes que requieren investigación y atención debido a su toxicidad y movilidad, estos contaminantes son resultados de las actividades mineras, industrias y agrícola, por lo que requiere de un tratamiento para la reducción de la concentración de los metales pesados en suelos contaminados, se aplicando parámetros Fisicoquímicos para la absorción y reducción de estos metales pesados.

Los metales pesados son un riesgo para la vida del ser humano cuando contaminan el suelo, agua y el aire. La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. miastenia, por mencionar algunos y en ocasiones hasta la muerte de las plantas y del ser humano

• **Variable 2**

Humus de lombriz

✓ Definición conceptual:

Es el producto obtenido del proceso digestivo propio de las lombrices, llamado comúnmente “humus” estos se alimentan de restos de vegetales, las cuales se forman grandes pilas para su máximo provecho, el humus en su fase final se caracteriza por un aspecto terroso de color oscuro característico y no posee olor, es considerado por muchos investigadores y productores como uno de los mejores abonos orgánicos del planeta (1).



Producto de la digestión de sustancias orgánicas; en los últimos años ha sido considerado un fertilizante de primer nivel gracias a su pureza y a las características fisicoquímicas que posee (2).

- **Operacionalización de las variables**

En la página siguiente se aprecia la matriz de operacionalización de variables.

**Tabla 1. Matriz de operacionalización de la variable remoción de metales pesado**

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Reducción de Metales Pesados	Es un proceso de reducción de la concentración de metales pesados en el suelo contaminado y mejorar la calidad ambiental	Proceso de extracción de metales pesados presentes en el suelo a través de la aplicación del humus de lombriz.	Temperatura	Grados Celsius	Razón
			pH	Escala de 0-14	Razón
			Metales Pesados	NTU	Razón
			Humedad	g/m <sup>3</sup>	Razón

**Tabla 2. Matriz de operacionalización de la variable humus de lombriz**

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Humus de lombriz	Es el producto obtenido del proceso digestivo propio de las lombrices, posee un aspecto terroso de color oscuro característico y no posee olor, es considerado por muchos investigadores y productores como uno de los mejores abonos orgánicos del planeta.	Producto de aspecto terroso de color oscuro obtenido de las lombrices	Temperatura	Capacidad de coagulación	Razón
			pH	Capacidad de floculación	Razón
			Materia Orgánica	% de degradabilidad	Razón
			Relación C/N	% de adsorción	Razón

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de investigación**

Investigación titulada: *“Eficiencia de la lombriz roja californiana en la remoción de plomo de suelos agrícolas adyacentes a la mina Colquisiri – Huaral”*. El objetivo de la investigación fue evaluar la eficiencia de la lombriz roja californiana en la remoción de plomo en los suelos adyacentes a la mina Colquisiri. En relación a la metodología, se utilizó el diseño experimental y cuantitativo, en la que se evaluaron 12 tratamientos y tres repeticiones compuestas. Los resultados indican que se logró obtener que una densidad de 170 lombrices tiene una mayor remoción con 24, 98 ppm de plomo respecto a las demás densidades y en un periodo de 45 días se logró mayor remoción de plomo de 23.25 ppm respecto al resto de periodos de exposición, a la vez, se evidencio variaciones en los parámetros fisicoquímicos producto del efecto de esta especie (3).

Investigación titulada: *“El vermicompost, una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la mina Yauricocha 2023”*. El objetivo de la investigación fue describir al vermicompost como una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesado, para ello se realizó la búsqueda exhaustiva de estudios que comprobaron la eficiencia del vermicompost en la remoción de suelos contaminados con metales pesados como el cobre, plomo y zinc. En cuanto a la metodología, se recopilaron informaciones mediante las palabras claves como el vermicompost, metales pesados y biopilas, luego se eligieron los que contenían información relevante para ser organizados mediante tablas. Los resultados indican que se comprobó que el vermicompost remueve los metales pesados como el plomo en un 93 %, el cobre en un 86.7 % y el zinc en un 88 %, por otro lado, la eficiencia de las biopilas como técnica de biorremediación son hasta un 95 % (4).

Investigación titulada: “*Reducción de contaminantes del relave ácido de mina en planta concentrada de Jangas, Perú*”. El objetivo de la investigación fue reducir suelos contaminados con relave en la planta concentradora Santa Rosa de Jangas. La conclusión indica la existencia de drenaje ácido. Lo genera el relave, el mismo que debe de ser tratado y evacuado, aparte que contamina afecta al río Santa (5).

Tesis titulada: “*Tratamiento de relaves mineros contaminados con plantación de gramíneas (kikuyo) para convertirlos en áreas verdes en las minas de la región Central del Perú*”. El objetivo de la investigación fue establecer influencia del relave minero contaminado con plantación de gramíneas (Kikuyo), en las minas de la región central del Perú. La conclusión demuestra la presencia de relave minero contaminado y requiere de tratamiento considerando experiencias 17 de otros países que emplean alta tecnología basada en la experiencia de plantación de Kikuyo (6).

Tesis titulada: “*Eficiencia del compostaje y vermicompostaje en la biorremediación de suelos contaminados con cadmio y plomo por pasivos ambientales mineros de Huamantanga – Cantá*”. El objetivo de la investigación fue evaluar el tratamiento eficiente de compostaje y vermicompostaje por la biorremediación de suelos contaminados con cadmio y plomo por pasivos ambientales. La indicación señala que el vermicompostaje es altamente eficiente y favorece el tratamiento con compostaje para la disminución de plomo y cadmio en suelos contaminados con metales pesados (7).

En la investigación titulada “*Absorción de metales pesados por la lombriz Eisenia Foetida de los jales de mina de oro en Mocorito, Sinaloa, México*” se tiene como objetivo usar la lombriz *Eisenia foetida* como agente para absorber metales pesados y observar su respuesta como remediador de suelos contaminados. Para ello se han realizado cuatro tratamientos de 500g de sustrato cada uno de estos con una mezcla de estiércol y desecho de mina de oro con cinco repeticiones durante 126 días. A los tratamientos se le agregaron 40 lombrices. Luego se analizaron la ganancia de peso, la acumulación de metales y sobrevivencia. Como resultado se obtuvo que las lombrices lograron acumular una gran cantidad de metales pesados como el Fe, Pb y Zn en su organismo. En conclusión, las lombrices son capaces de biorremediar suelos contaminados con metales pesados teniendo la materia orgánica y humedad suficiente para que puedan sobrevivir (8).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Humus de lombriz**

Es un abono completamente orgánico producida por lombrices, tiene muchos nutrientes y

es soluble en agua. Al ser aplicado al suelo mejora sus características fisicoquímicas y textural, ayuda a la germinación y crecimiento de diferentes cultivos. Su color es café oscuro, homogéneo, granulado e inodoro. Además, el manejo y obtención del humus es muy sencillo. Aunque en la mayoría de los suelos existen de forma natural lombrices que producen humus, es cierto que unas especies son mejores que otras por su actividad más alta y su reproducción más rápida. La especie más emblemática para producción de humus es *Eisenia foetida*, la lombriz roja rallada, originaria del continente Euroasiático, pero curiosamente llamada lombriz roja californiana, porque fue en esa zona dónde se hizo popular.

La materia orgánica incorporada en forma adecuada al suelo representa una estrategia básica para darle vida a éste, ya que sirve de alimento a todos los organismos que viven en él. Particularmente a la microflora responsable de realizar una serie de procesos de gran importancia en la dinámica del suelo (10).

Depende de la cantidad y calidad de la materia orgánica ya que puede cambiar las propiedades del suelo, cuando la estructura y disponibilidad de los nutrientes mejoran. El abonamiento consiste en aplicar las sustancias minerales u orgánicas al suelo con el objetivo de mejorar su capacidad nutritiva, mediante esta práctica se retribuyen los elementos nutritivos extraídos por los cultivos, con el propósito de mantener una renovación de los nutrientes en el suelo.

**Tabla 3. Composición química del humus de lombriz**

Composición química del humus sólido	
Humedad	30 – 69%
pH	6.8 – 7.2
Nitrógeno	1 – 2.6%
Fósforo	2 – 8 %
Potasio	1 – 2.5%
Calcio	2 – 8%
Magnesio	1 -2.5%
Materia orgánica	30 -70%
Carbono orgánico	14 – 30%
Ácido fulvónicos	2.8 – 5.8
Sodio	0.02%
Cobre	0.05%
Hierro	0.02%
Manganeso	0.006%
Relación C/N	10 -11%

*Tomada de Barbado, J. 2004*

### a) Beneficios del humus de lombriz

Ayuda al desarrollo inicial de las plantas, mejora visiblemente su porte a comparación con otras plantas. También beneficia a ser más tolerantes al estrés. Por otro lado, el humus de lombriz se mantiene concentrado en la planta hasta 5 años. En cuanto a las propiedades físicas del suelo, el humus mejora la aireación, la estructura y lo hace más permeable al agua, en consecuencia, la retención de agua en el suelo mejora significativamente y también la capacidad para retener y liberar nutrientes que son aprovechadas por las plantas (9).

### • La lombriz para la elaboración de humus

Es un anélido que tiene boca, pero no dientes y succiona los alimentos para lograr alimentarse. Es 80 % agua, 20 % materia seca y 65 % proteína (11).

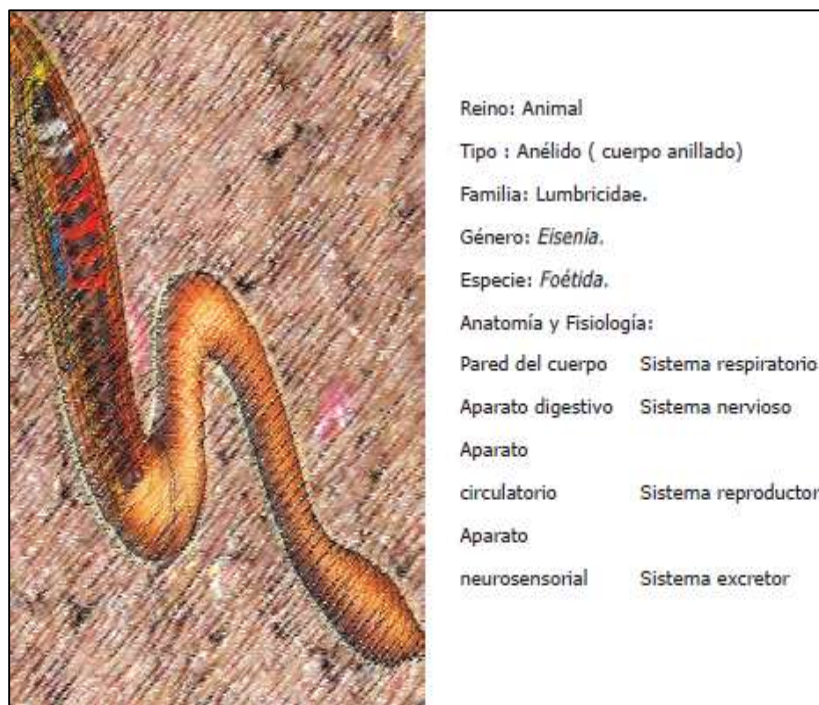


Figura 1. Clasificación taxonómica de la lombriz.

### b) Metales pesados en el Perú

La actividad minera en el Perú ha generado preocupación debido a la contaminación por metales pesados en el suelo, estos metales como el plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As), zinc (Zn), actualmente se aplica como instrumento los estándares de calidad ambiental (ECA) de suelo para uso minero.

Los suelos que quedan tras una explotación minera contienen todo tipo de materiales residuales, escombros estériles, entre otros, lo que representa graves problemas para el desarrollo de la cubierta vegetal, siendo sus características más notables las siguientes: clase

textural desequilibrada, ausencia o baja presencia de la estructura edáfica, propiedades químicas anómalas, disminución o desequilibrio en el contenido de nutrientes fundamentales, ruptura de los ciclos biogeoquímicos, baja profundidad efectiva, dificultad de enraizamiento, baja capacidad de cambio, baja retención de agua y presencia de compuestos tóxicos (12).

Las características del suelo juegan un papel importante en reducir o aumentar la toxicidad de los metales en el suelo. La distribución de los metales pesados en los perfiles del suelo, así como su disponibilidad está controlada por parámetros como propiedades intrínsecas del metal y características de los suelos (13).

Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos. Las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben en general más oligoelementos y la concentración de éstos en los tejidos vegetales está a menudo directamente relacionada con su abundancia en los suelos, y especialmente en la solución húmeda. Las excesivas concentraciones de metales en el suelo podrían impactar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud del medio ambiente, ya que estos se mueven a través de la cadena alimenticia vía consumo de plantas por animales y estos a su vez por humanos (14).

### **c) Contaminación por metales pesados en alimentos**

La contaminación de alimentos por metales pesados es un tema de gran importancia para la seguridad alimentaria y la salud de las personas. En Perú, se han realizado estudios sobre la presencia de metales tóxicos como arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb) en los alimentos. Estos metales, incluso en concentraciones bajas, pueden tener efectos nocivos en la salud humana.

La presencia de metales pesados en alimentos de origen vegetal como las hortalizas, se debe por lo general al uso excesivo de agroquímicos y en algunas ocasiones por el uso de aguas residuales para su riego. La absorción de agroquímicos en hortalizas depende el tipo de planta, y se da especialmente aquellas hortalizas que son de hoja, los cuales no son eliminados mediante la preparación de los alimentos. En algunos casos la presencia de metales pesados en hortalizas está relacionada con la minería, causando conflictos socioambientales debido a la generación de sustancias tóxicas, los metales pesados se concentran en el suelo, luego son impregnados en las plantas (15).

## **2.2.2. Suelos contaminados**

### **a) Concepto**



Un suelo contaminado presenta sustancias con concentraciones más elevadas de lo normal y en consecuencia tiene efectos adversos para cualquier organismo. La mayoría de la contaminación de suelos se da por el origen antropogénico. La industrialización, la minería y la masificación en la agricultura han contaminado el suelo a nivel mundial.

La minería ha impactado en el agua, biota y suelo desde la antigüedad. Por ejemplo, en el proceso de la fundición de metales para la separación de minerales ha generado sustancias contaminantes al suelo. FAO (16).

#### b) Metales pesados

Son elementos químicos que tienen elevada densidad mayores a 4g/cm<sup>3</sup>, peso y masa atómico por encima de 20. Son tóxicos en bajas concentraciones. LONDONO-FRANCO, L., et al. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal (17).

**Tabla 4. Características generales de los metales pesados**

Metal pesado	Peso atómico	Número atómico	Color
Cadmio	112	48	Blanco ligeramente azulado
Arsénico	74	33	Blanco grisáceo
Plomo	207	82	Azuloso
Cobre	64	29	Rojizo
Mercurio	200	80	Blanco plateado
Zinc	65	30	Blanco azulado

Cadmio (Cd): en la naturaleza se encuentra en estado libre y también es obtenido como subproducto de la fundición y el refinado de los minerales del zinc. Este metal pesado es utilizado en farmacéutica, pintura, fotografía, plásticos, vidrio, baterías, porcelana, etc. Países como República de Corea, Estados Unidos, México, Canadá, Australia, Bélgica son principales productores.

Arsénico (As): se encuentra como mineral de cobalto en la naturaleza, también está en la superficie de las rocas combinado diferentes metales como el Mn, Sn, Fe, Ag, Co, Ni o S. Se usa para fabricar productos agrícolas como los pesticidas y herbicidas, también se usa para el tratamiento de maderas, vidrio, pigmentos, cerámica, medicamentos. El arsénico puede producir cáncer a la piel, a los pulmones y vejiga.

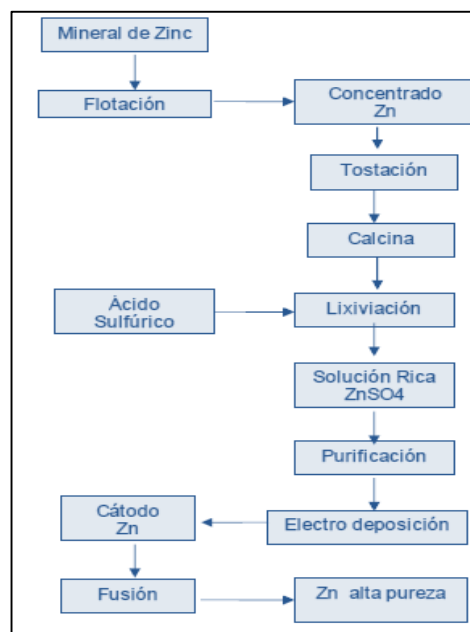
Plomo (Pb): el plomo está presente en metales de torio y uranio y se origina de una división

radioactiva. Este metal es utilizado en baterías, pantallas de televisión, antidetonante en la gasolina, tintes para el cabello, grifería, aceites, pigmentos, soldaduras, plumadas, insecticidas, etc. La exposición al plomo origina la esterilidad y muerte neonatal, además puede causar efectos teratogénicos en el sistema nervioso de un feto. Es probablemente cancerígeno por encontrarse en el grupo 2B.

**Cobre (Cu):** en su mayoría se obtiene de minerales como la bornita, calcopirita, calcocita, enargita y covelita. Tiene nueve isótopos inestables y dos estables. Su uso se da en monedas, equipo eléctrico, utensilios de cocina, tuberías, construcción, joyería, pinturas, maquillaje, medios de transporte y pesticidas como el sulfato de cobre, el cuál es utilizado en la agricultura. La exposición aguda al ingerir sulfato de cobre causa necrosis hepática y muerte.

**Mercurio (Hg):** se encuentra como sulfuro, forma soluciones – amalgamas con metales como el uranio, plomo, potasio, plata, oro y cobre. Se utiliza en minería de oro, cobre plata y carbón ya que fácilmente genera amalgamas y se pueden extraer fácilmente. También se usa en fabricación de pilas, productos farmacéuticos, empastes dentales, pinturas, jabones para la piel, termómetros clínicos, drogas herbales, catálisis, lámparas fluorescentes y papel. La exposición produce daño renal, bronquitis y neumonía aguda causando la muerte (17).

**Zinc (Zn):** en la naturaleza, mayormente se encuentra en forma de sulfuros, también en minerales como la esfalerita y blenda. Se obtiene como en el siguiente proceso:



**Figura 2. Procesos de obtención del zinc.**  
**Tomada de Manual de minería (18)**

Presencia de metales pesados en el suelo: los metales pesados como el As, Zn, Cd, Ni, Pb, Cu, Hg y Cu son riesgos para la calidad del suelo ya que no son biodegradables y tienen alto potencial de toxicidad. No obstante, la solubilidad y biodisponibilidad son claves para identificar el grado de afectación que pueden generar. La biodisponibilidad es la fracción del contaminante dispuesto para las plantas y depende de factores como: la materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico y otros parámetros que se consideran importantes para evaluar el grado de contaminación de suelos (19).

Recuperación de suelos contaminados: existen muchos métodos para la recuperación de suelos contaminados por diferentes causas. Estos pueden ser métodos de ingeniería como el lavado de suelos, tratamientos eléctricos y térmicos, adición de químicos como fosfatos, encalados. Por otro lado, están las tecnologías biológicas que involucran la utilización de microorganismos, estas tecnologías son económicas y el impacto ambiental es mínimo. González-Chávez M. Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos (20).

#### c) **Distribución de suelo contaminado**

El área que actualmente posee la relavera es de 3.5 hectáreas de suelo, en los años 80 y 90 la minería en el distrito de Morococha y como en otros lugares del Perú no contaban con planes de manejo ambiental o tratamiento de suelo, Asimismo no se tenía claro las normas y leyes ambientales, por esta razón con el pasar de los años estos componentes pasaron a ser un pasivo ambiental, donde el componente suelo fue el más afectado.

### **2.2.3. Definición de términos básicos**

- a) **Reducción:** En términos verbales es la acción de reducir o reducirse, asimismo, es volver algo a su estado casi normal.
- b) **Metales pesados:** es la denominación que recibe los elementos químicos cuando su densidad metálica llega a ser toxico para la salud de las personas y el medio ambiente.
- c) **Humus:** es la materia rica en nutrientes la cual es aprovechada por las plantas para un óptimo crecimiento, esta materia proviene de la descomposición de restos orgánicos.
- d) **Lombriz:** considerado un anélido, es un gusano tipo cilíndrico, de color rojizo y cuerpo blando, suelen medir hasta 30 centímetros, casi permanentemente vive en terrenos húmedos.

- e) **Relavera:** componente minero para albergar desechos tóxicos de la planta de beneficio “relave grueso” su uso es la actividad minera es de vital importancia.
- f) **Relave:** considerado desecho tóxico del proceso metalúrgico, están compuesto por rocas molidas, agua y minerales ganga.
- g) **Suelo:** considerada superficie del planeta tierra, donde los seres vivos realizan diferentes actividades.
- h) **Biopilas:** es una técnica de biorremediación *ex situ*, donde la principal función es de extraer el suelo contaminado y colocar dentro de un área para su tratamiento o descontaminación con microorganismos.

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1 Enfoque de investigación**

La tesis pertenece al enfoque cuantitativo, puesto que las variables escogidas para la investigación representan cantidades numéricas para su evaluación de resultados en los objetivos y posibles hipótesis planteados.

### **3.2 Tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada, ya que pondremos en práctica los resultados obtenidos en la investigación, y mediante ello lograr solucionar el problema.

### **3.3 Nivel de investigación**

El nivel de investigación es experimental.

### **3.4 Diseño de investigación**

Para la presente investigación se utilizará el diseño experimental ya que manipularemos la variable independiente para ver los efectos sobre la variable dependiente.

### **3.5 Métodos de investigación**

La presente investigación se desarrollará en la Compañía Minera Argentum S. A. unidad Morococha – Distrito de Morococha, donde se utilizará el método de investigación científico puesto que obtendremos resultados claros, a través, de técnicas de observación y experimentación para alcanzar los objetivos planteados.

### **3.6 Población, muestreo y muestra**

### 3.6.1 Población

La población en estudio es el suelo contaminado de la relavera en la Compañía Minera Argentum S.A.

### 3.6.2 Muestra

La muestra está representada por 6 muestras de suelo contaminado de la relavera, cada uno de 1 kg, se realizará el mezclado para homogenizar la muestra

- **Unidad de análisis**

La unidad de análisis es la Compañía Minera Argentum S.A. Morococha – Huancayo - Perú.

- **Tamaño de la muestra**

El área de suelo contaminado tiene una extensión de 29,895 m<sup>2</sup>, por lo que para fines del estudio solo se ha utilizado 12 m<sup>2</sup> de área, el tamaño de la muestra representa el 0.04 % del total del área de suelo contaminado de la relavera en la Compañía Minera Argentum S.A.

**Tabla 5. Características de la muestra**

Código de Muestras	SCR - 01	SCR - 02	SCR - 03	SCR - 04	SCR -05	SCR - 06
Profundidad de muestreo	0.10 cm	0.10 cm	0.10 cm	0.10 cm	0.10 cm	0.10 cm
Dimensiones	30 x 30cm	30 x 30 cm	30 x 30 cm	30 x 03 cm	30 x 30 cm	30 x 30 cm
Cantidad	1 kilo	1kilo	1 kilo	1 kilo	1 kilo	1 kilo

*Tomada de Lab. XERTEK LIFE “Procedimiento Muestreo de suelo”*

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Presentación de resultados

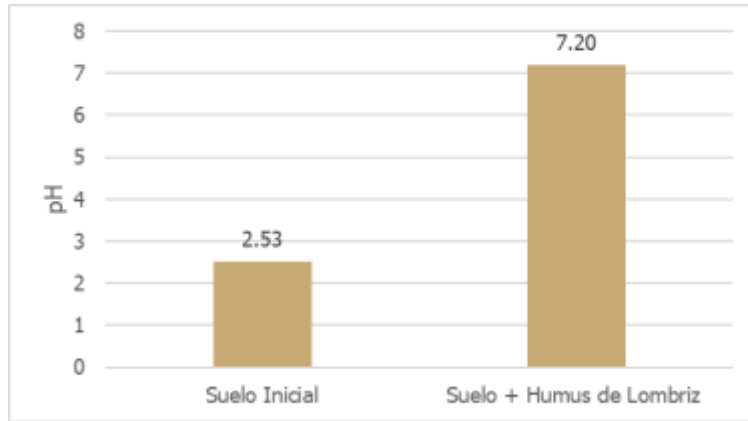
##### 4.1.1. Caracterización del suelo

Es muy importante conocer y mencionar las características físicas y químicas de un suelo contaminado con metales pesados. Así, como el pH, humedad, temperatura. Se realizaron análisis fisicoquímicos del suelo contaminado y del suelo con tratamiento (humus de lombriz), aquí observamos los resultados obtenidos.

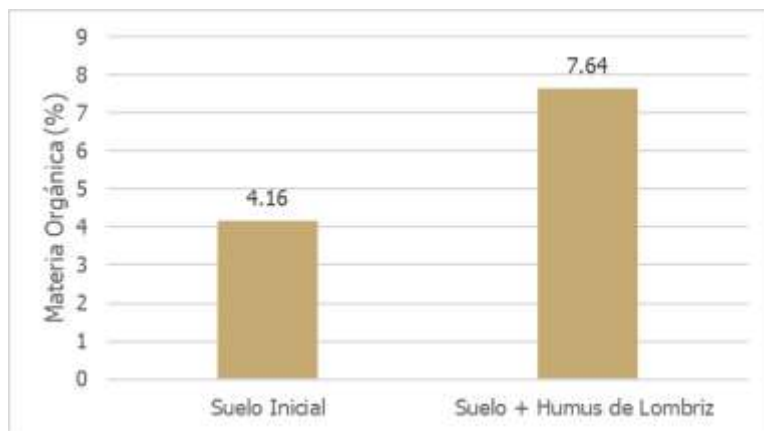
**Tabla 5. Resultado de análisis químico del suelo (suelo inicial + suelo con tratamiento)**

	Clase	M. O	Calcio	Magnesio	pH	
	Textural%	%	meq/100g	meq/100g		
	Arcilla	1.44	4.16	3.90	0.71	2.53
Suelo Inicial	Arena	90.56				
	Limo	8.00				
	Arcilla	1.44	7.64	43.83	10.02	7.20
Suelo + humus de lombriz	Arena	98.56				
	Limo	0.000				

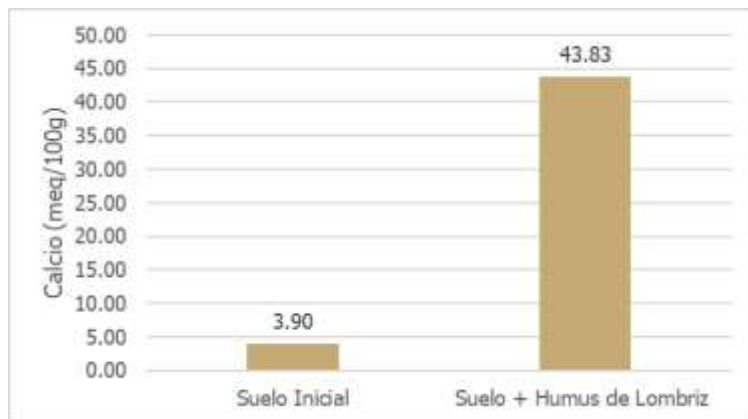
El pH prácticamente tuvo una variación con el humus de lombriz, el pH inicial fue de 2.53 siendo un suelo ácido; el suelo con tratamiento fue de 7.20 pH considerando un suelo neutro (ver figura 3). La materia orgánica fue uno de los parámetros que también tuvo variaciones, de 4.16 % de materia orgánica, con el tratamiento aumento a un 7.64 % (ver figura 4). El calcio mostro cambios más relevantes, aumentó con la presencia del humus de lombriz, de 3.90 (meq/100g) a 48.83 (meq/100g) (ver figura 5). El magnesio aumento de 0.71 (meq/100g) a 10.02 (meq/100g) (ver figura 6).



**Figura 3. Variación del pH del suelo inicial y suelo con humus de lombriz**



**Figura 4. Variación del contenido de materia orgánica del suelo inicial y el suelo con humus de lombriz**



**Figura 5. Variación del contenido de calcio en el suelo inicial y suelo con humus de lombriz.**



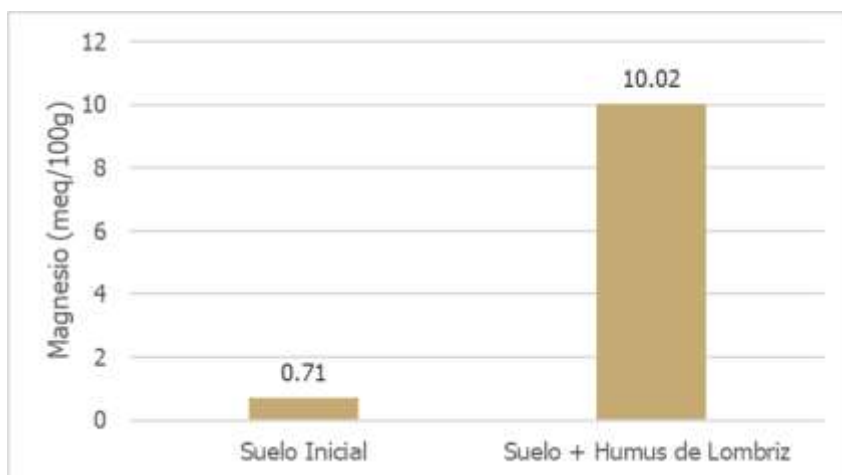


Figura 6. Variación del contenido de magnesio en el suelo inicial y suelo con humus de lombriz.

#### 4.1.2. Eliminación de metales pesados

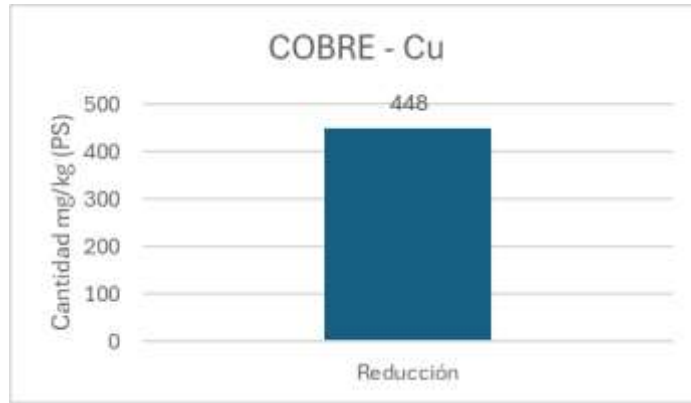
Tabla 6. Concentración de metales pesados en el suelo inicial y suelo con humus de lombriz

Resultados			
	Unidad	Muestra de Suelo Inicial	Muestra de Suelo con tratamiento
Cobre	mg/kg (PS)	553.7	105.7
Arsénico	mg/kg (PS)	671.7	157
Plomo	mg/kg (PS)	934.6	234.5
Cadmio	mg/kg (PS)	5.108	2.672

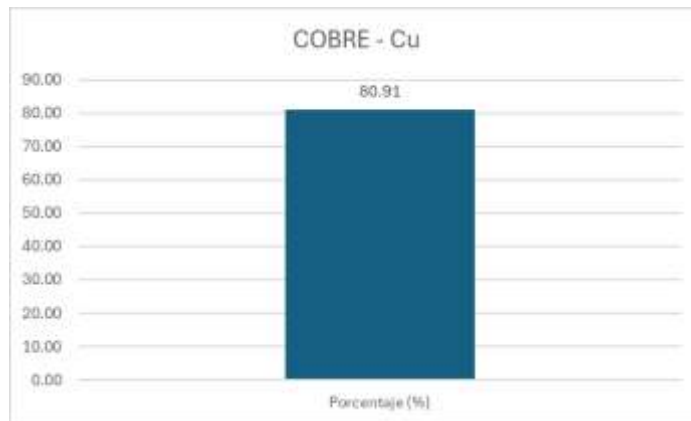
##### a) Evaluación del cobre



Figura 7. Disminución del contenido de contenido de cobre en el suelo inicial y suelo tratado

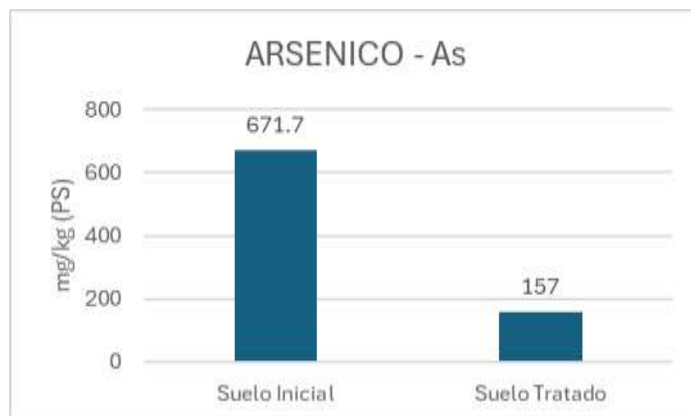


*Figura 8. Reducción del contenido de contenido de cobre.*

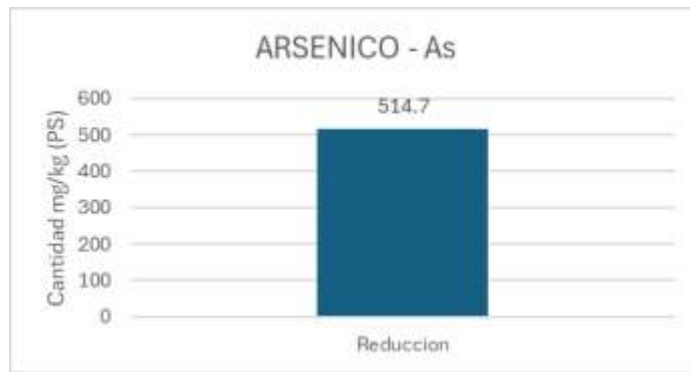


*Figura 9. Porcentaje de eliminación de cobre*

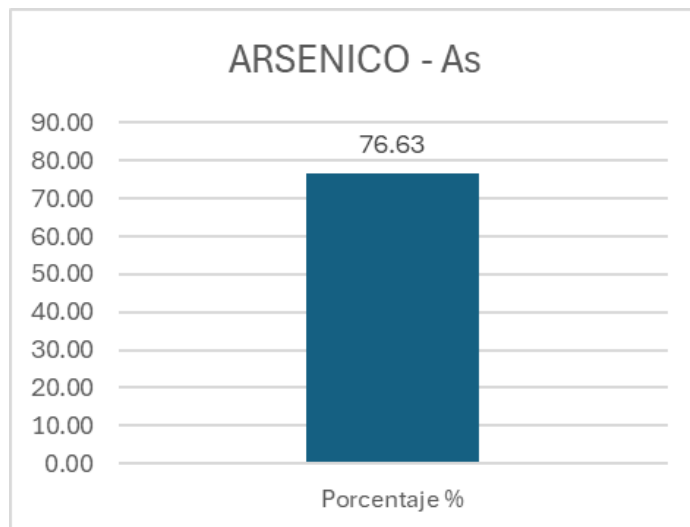
**b) Evaluación del arsénico**



*Figura 10. Disminución del contenido de contenido de arsénico en el suelo inicial y suelo tratado*



*Figura 11. Reducción del contenido de contenido de Arsénico.*

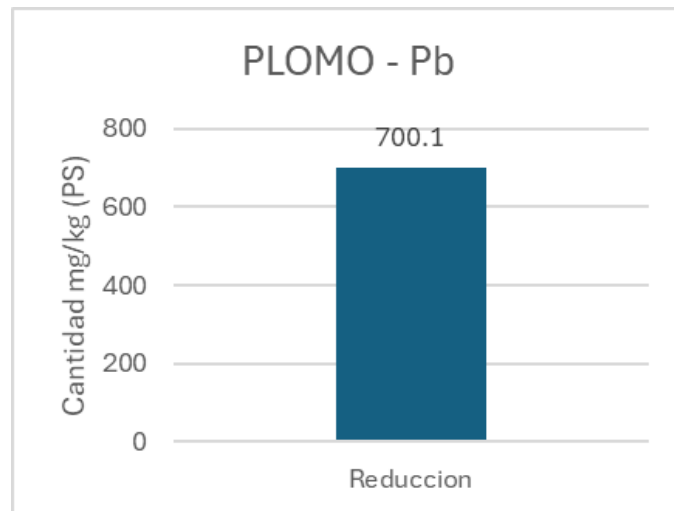


*Figura 12. Porcentaje de eliminación de Arsénico*

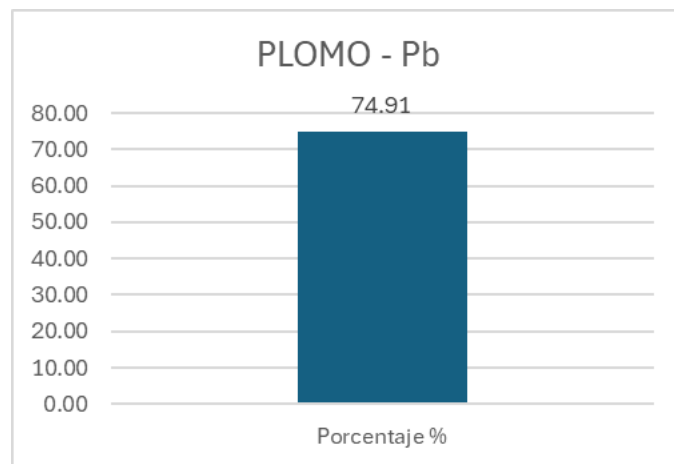
**c) Evaluación del plomo**



*Figura 13. Disminución del contenido de contenido de Plomo en el suelo inicial y suelo tratado*

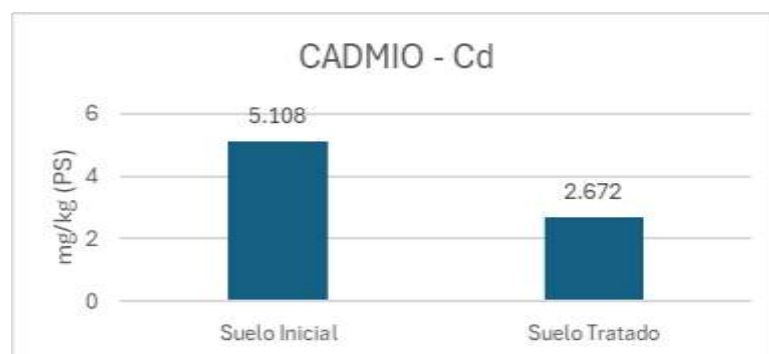


**Figura 14. Reducción del contenido de contenido de arsénico**

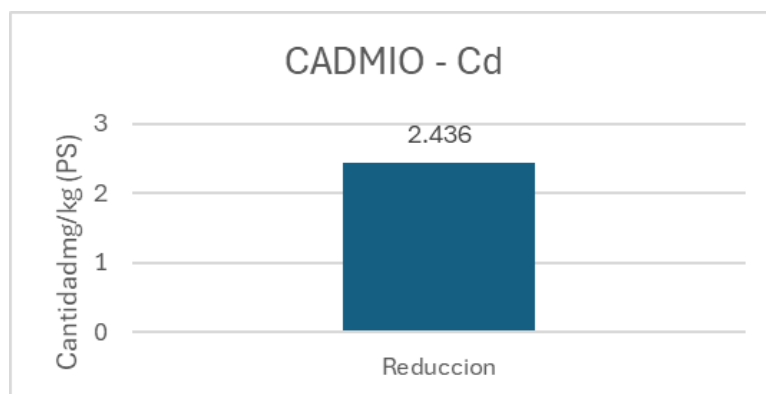


**Figura 15. Porcentaje de eliminación de arsénico**

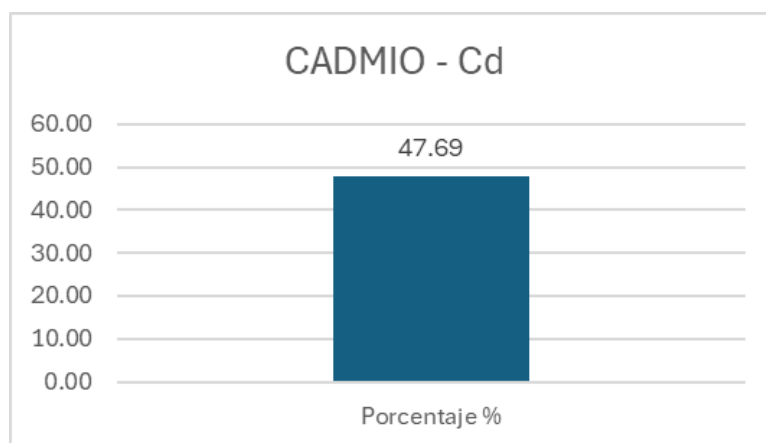
**d) Evaluación del cadmio**



**Figura 16. Disminución del contenido de contenido de Cadmio en el suelo inicial y suelo tratado.**



**Figura 17. Reducción del contenido de contenido de cadmio**



**Figura 18. Porcentaje de eliminación de cadmio**

## 4.2. Discusión de resultados

Los elementos As, Pb, Cd y cobre fueron analizados en el presente trabajo de tesis. La finalidad es determinar la eficiencia del humus de lombriz como alternativa para reducir la concentración de metales pesados en el suelo. Los metales pueden tardar de varias decenas a miles de años en reducir su volumen, ya que no pueden ser degradados; solo se transforman a otros estados de oxidación en el suelo reduciendo su movilidad y toxicidad. “*Arnaldo A 29 (1): 99-118, 2022 fitoextracción de Pb, As y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros por el “maíz” (Zea mays) y “beterraga” (Beta vulgaris).*”

No obstante, son un riesgo latente, ya que es en este estrato edáfico donde crecen las gramíneas y hierbas que son consumidas por los animales y algunos de estos a su vez por el humano, entrando los metales a la cadena trófica. Las propiedades y características básicas del suelo son las que determinan la transferencia de los metales pesados a las plantas. “*Scientia Agropecuaria vol.11 no.2 Trujillo abr./jun 2020 Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost*”

El objetivo fundamental de esta investigación es la reducción de metales pesados en el

suelo contaminado de la relavera de la Compañía Minera Argentum S.A. en el distrito de Morococha. De los resultados obtenidos se determina que la aplicación del humus de lombriz como alternativa para la reducción de metales pesados en el suelo de la relavera es eficiente. *“Luisa Alvarez Calvo – Madrid – 2019 – Tratamiento de suelo contaminado por metales mediante combinación de técnicas de fitorremediación con adición de biachar”*

Del análisis de estudio, se observa que la reducción en mayor porcentaje se obtuvo para el elemento cobre con un (80.91 %) seguido del arsénico con (76.63 %), y el restante el plomo con (74.91 %) y cadmio con (47.69 %). Estos resultados son indicadores que la aplicación del humus de lombriz reduce los metales pesados, también mejoran las características edafológicas del suelo, viéndose mejorado el pH, materia orgánica y su clase textural. *“Pachés Giner Maria AV (mapacgi@upvnet.upv.es) Martínez Guijarro Remedios (mmarting@hma.upv.es) Métodos biológicos para eliminar metales pesados en suelos y sedimentos - Universitat Politècnica de València.*

En líneas generales, el humus de lombriz es una buena alternativa para la reducción de metales pesados en suelos contaminados, asimismo, mejora la característica textural del suelo, por su bajo costo de producción el humus de lombriz es rentable su utilización como abono natural para lograr trabajos de remediación eficientes. *“González-Chávez, Ma. del Carmen Ángeles - Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos - Terra Latinoamericana, vol. 23, núm. 1, enero-marzo, 2005, pp. 29-37 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.Chapingo, México*

Los datos obtenidos en este estudio darán lugar a nuevas investigaciones y continuar profundizando la importancia sobre el uso del humus de lombriz dentro de la minería, esto con la finalidad de lograr una remediación exitosa con abono natural, al mismo tiempo mejorar la calidad ambiental y paisajística del ambiente que nos rodea.

Durante la ejecución del trabajo de investigación se puede verificar que la presencia de materia orgánica es muy favorable, esto da lugar a una nueva generación de microorganismos las cuales mediante una buena mineralización es factible la propagación de nuevas especies en los suelos contaminados.

El humus de lombriz es un abono natural de fácil producción y sirve como mejorador de la textura del suelo, esto ayuda a la retención del agua.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

Se demuestra que el humus de lombriz como alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados mejora el Ph, tiende a subir de 2.53 a 7.20 mejorando así la textura de arcilla, limo y arena. De esta manera, se incrementa la materia orgánica. Los análisis indican que el humus de lombriz es muy efectivo en la recuperación de los suelos contaminados con metales pesados.

La concentración de metales pesados después de la utilización del humus de lombriz como alternativa de recuperación de suelos contaminados fueron favorables obteniendo los siguientes resultados de reducción (Cu) de 553.7 mg/kg a 105.7 mg/kg (As) de 671.7 mg/kg a 157 mg/kg (Pb) de 934.6 mg/kg a 234.5 mg/kg (Cd) de 5.108 mg/kg a 2.672 mg/kg.

Se determinó que el humus de lombriz es una alternativa de recuperación de suelos contaminados, ya que tiene buena capacidad de reducir los metales pesados, asimismo es importante mencionar que la aplicación del humus de lombriz enriquece y fortifica la calidad del suelo.

La reducción de la concentración de metales pesados después de utilizar el humus de lombriz en suelo contaminado demuestra que su aplicación es altamente favorable para la recuperación de los suelos contaminados teniendo escalas mayores al 50 % de confiabilidad.

Se garantiza esta técnica para recuperar suelos contaminados dentro de la actividad minera, se generaliza la utilización de humus de lombriz como medio de vegetativo orgánico para la asociación y simbiosis de microorganismos para una buena actividad microbiana donde se

realiza la reducción de la concentración de metales pesados en el suelo, asimismo, su bajo costo de producción de humus y el aprovechamiento de los residuos como materia prima para la obtención del humus de lombriz es factible en cualquier sector.

El humus de lombriz también mejora las características edafológicas, brindando una nueva clase textural para el cultivo *in situ*.

## **5.2. Recomendaciones**

Del proyecto ejecutado, se observa y se recomienda realizar el aprovechamiento de humus de lombriz para la recuperación de suelos contaminados dentro de la actividad minera, la efectiva del humus de lombriz en los suelos contaminados es de un 50 % en la reducción de metales pesados, asimismo, se recomienda la profundización de otros estudios relacionados a otros elementos para determinar su capacidad de reducción.

La producción del humus de lombriz tiene un costo bajo generalmente se aprovecha al máximo la generación de residuos sólidos, siendo este la materia prima para poder realizar tratamiento en suelos contaminados y lograr la recuperación de los suelos.

Como parte de las actividades ambientales es bueno la recuperación y remediación de los suelos contaminados, esto mantendrá un ambiente sano y saludable para el desarrollo de los seres vivos, por lo que se recomienda el uso del humus de lombriz para lograr dichos trabajos de remediación.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MORENO, J. y MORAL, R. *Compostaje* [en línea]. Madrid: Ediciones Mundi - Prensa, 2007 [fecha de consulta: 10 de julio de 2024]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=APuzwas6rrcC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
2. TENECELA, X. Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y manejo de residuos orgánicos. Tesis (Título de Ingeniero Agrónomo). Cuenca: Universidad de Cuenca, 2012. 18 pp. [fecha de consulta: 10 de junio de 2024]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/3252>
3. MERCA, A. y PÉREZ, S. Eficiencia de la lombriz roja californiana en la remoción de plomo de suelos agrícolas adyacentes a la mina Colquisiri -Huaral. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Católica Sedes Sapientiae, 2022. 12 pp. [fecha de consulta: 09 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/1838#:~:text=Los%20resultados%20determinaron%20que%20con,evidenci%C3%B3%20variaciones%20en%20los%20par%C3%A1metros>
4. CANCHAN, K. CÓRDOVA, J. y ROJAS, E. El vermicompost, una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la Mina Yauricocha 2023. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Continental, 2023. 8 pp. [fecha de consulta: 09 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13195>
5. PÉREZ, J. RUIZ, A. y ARAMBURÚ, V. Reducción de contaminantes del relave ácido de mina en planta concentradora de Jangas, Perú. Instituto de Información Científica y Tecnológica [en línea]. Febrero, 2020, 22(2), 3-6 [fecha de consulta: 10 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869116004/html/>
6. ROMERO, A. Tratamiento de relaves mineros contaminados con plantación de gramíneas (Kikuyo) para convertirlos en áreas verdes en la mina de la región central del Perú. Tesis (Grado académico de Maestro en Seguridad y Medio Ambiente en Minería). Huancayo - Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2015, 232 pp. [fecha de consulta: 09 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1352>
7. CONTRERAS, M., CUBA, S. y ROJAS, A. Eficiencia del compostaje y vermicompostaje en la biorremediación de suelos contaminados con cadmio y plomo por pasivos ambientales mineros de Huamantanga - Canta. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales). Callao: Universidad Nacional del Callao, 2021, 11 pp. [fecha de consulta: 13 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/5802>

8. OJEDA, J. FRANCO, M. y RODRIGUEZ, G. Absorción de metales pesados por la lombriz *Eisenia Foetida* de los jales de mina de oro en Mocorito, Sinaloa, México. Asociación Interamericana de Ingeniería Ambiental y Sanitaria [en línea]. Febrero, 2019, 2-5 [fecha de consulta: 14 de mayo de 2024]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/07/219-Mexico-Poster.pdf>
9. FERTILAB. El humus de lombriz. 2021[fecha de consulta: 08 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/El-Humus-de-Lombriz.pdf>
10. GUERRERO, B. Abonos Orgánicos - Tecnología para el manejo ecológico del suelo. RAAA, Lima/Perú, 1993. [fecha de consulta: 15 de febrero de 2024]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/manejo-ecol-suelo-fama.pdf>
11. SOMARRIBA, R. y GUZMÁN, F. Guía de lombricultura [en línea]. Managua: Universidad Nacional Agraria, 2004[fecha de consulta: 09 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>
12. García, I. y Dorronsoro, C. Contaminación por metales pesados. Departamento de edafología y química agrícola de España [en línea]. 2002. [fecha de consulta: 19 de febrero de 2024]. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-22162006000100020](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162006000100020)
13. COLOMBO, L. MANGIONE, S. y FIGLIOGLIA, A. Soil profile distribution of heavy metals in soil attended with sewage sludge for eight years. *Environmental Science* [en línea]. 1998. [fecha de consulta: 25 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/SOIL-PROFILE-DISTRIBUTION-OF-HEAVY-METALS-IN-A-SOIL-Colombo-Mangione/ef4e7c035ee91ceb8c0fd04dd600a16e8eb88087>
14. KABATA, A. y PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants CRC. Press, Florida. [en línea]. Octubre, 2010 [fecha de consulta: 03 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b10158/trace-elements-soils-plants-alina-kabata-pendias>
15. MADUEÑO, F. y GARCIA, M. Determinación de metales pesados (Plomo y Cadmio) en lechuga (*Lactuca sativa*) de mercados de Lima Metropolitana. *Ciencia e Investigación* [en línea]. 2018, 21(2), 2-6 2010 [fecha de consulta: 03 de junio de 2024]. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/farma/article/download/15852/13628/54708>
16. FAO. La contaminación del suelo: una realidad oculta [en línea]. Roma [fecha de consulta:

- 09 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>
17. LONDONO-FRANCO, L. et al. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Rev. Bio. Agro* [en línea]. 2016, vol.14, n.2 [fecha de consulta: 09 de febrero de 2024], pp.145-153. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612016000200017&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612016000200017&script=sci_arttext)
  18. ESTUDIOS MINEROS DEL PERÚ S.A.C. Manual de minería. [En línea] [Fecha de consulta: 18 de diciembre del 2023]. Disponible en: [https://www.iestpoyon.edu.pe/web/documentos/Manual\\_de\\_Mineria.pdf](https://www.iestpoyon.edu.pe/web/documentos/Manual_de_Mineria.pdf)
  19. FERNANDEZ, B. MULLISACA, E. y HUANCHI, L. Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú). *Rev. investig. Altoandín*. [En línea]. 2022, vol.24, n.2 [Fecha de consulta: 09 de febrero de 2024], pp.131-138. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2313-29572022000200131](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572022000200131)
  20. GONZALES, M. *Terra Latinoamericana* [En línea]. 2005, 23(1), 29-37 [fecha de Consulta 9 de Febrero de 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57323104.pdf>
  21. MCLEAN, E. y BLEDSOE, E. Behavior of metals. Ground water issue. [en línea]. 1992 [fecha de Consulta 19 de Febrero de 2024]. Disponible en: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/issue\\_behavior\\_metals\\_soil.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/issue_behavior_metals_soil.pdf)
  22. BRUS D., et al. Mapping the probability of exceeding critical thresholds for cadmium concentrations in soils in the Netherlands. *Environ Qual.* [en línea]. Noviembre, 2002, 31(6) [fecha de Consulta 08 de Junio de 2024]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12469837/>

## **ANEXOS**

## Anexo 1

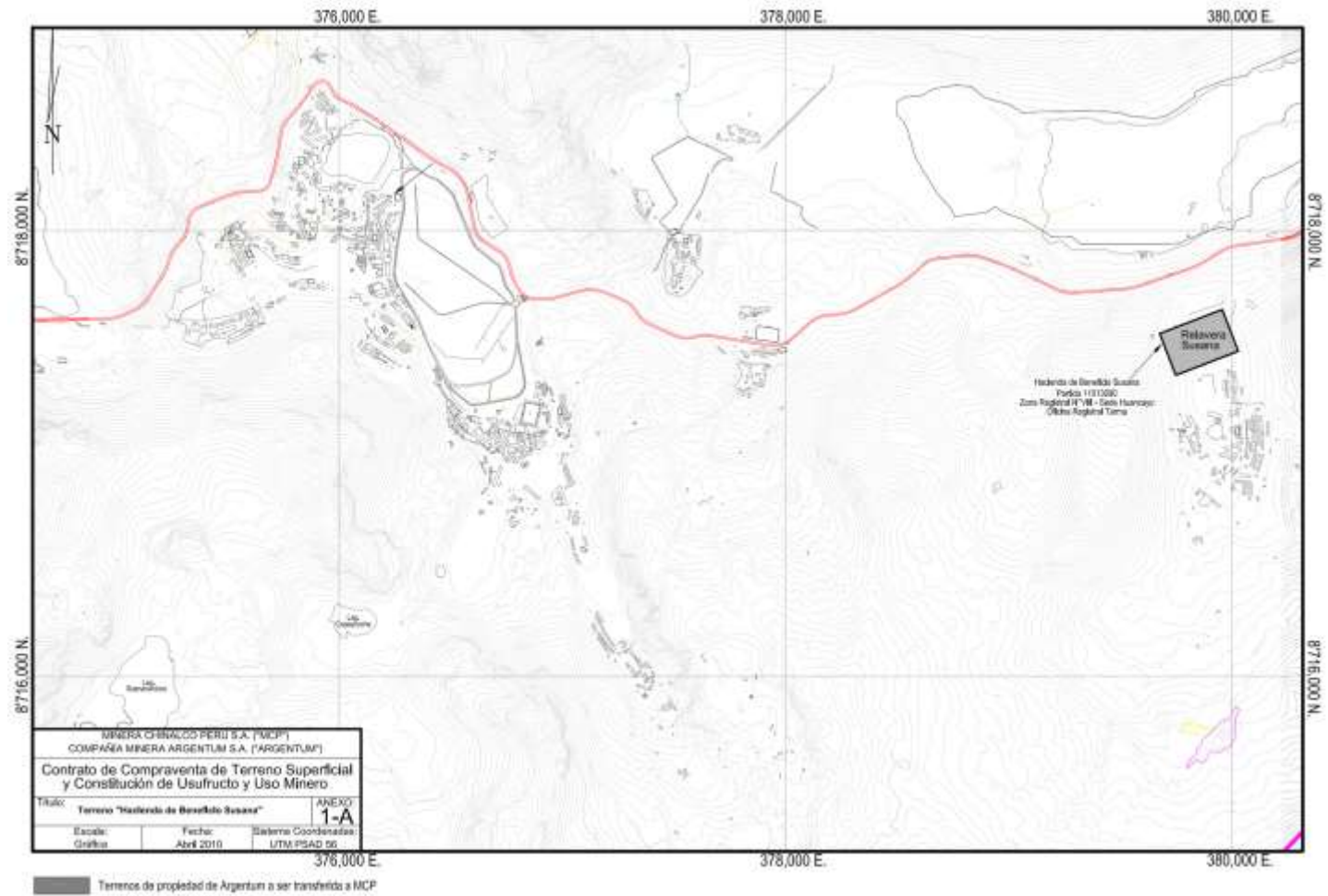
### Matriz de consistencia

Título: “Humus de lombriz como alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la Compañía Minera Argentum 2023”

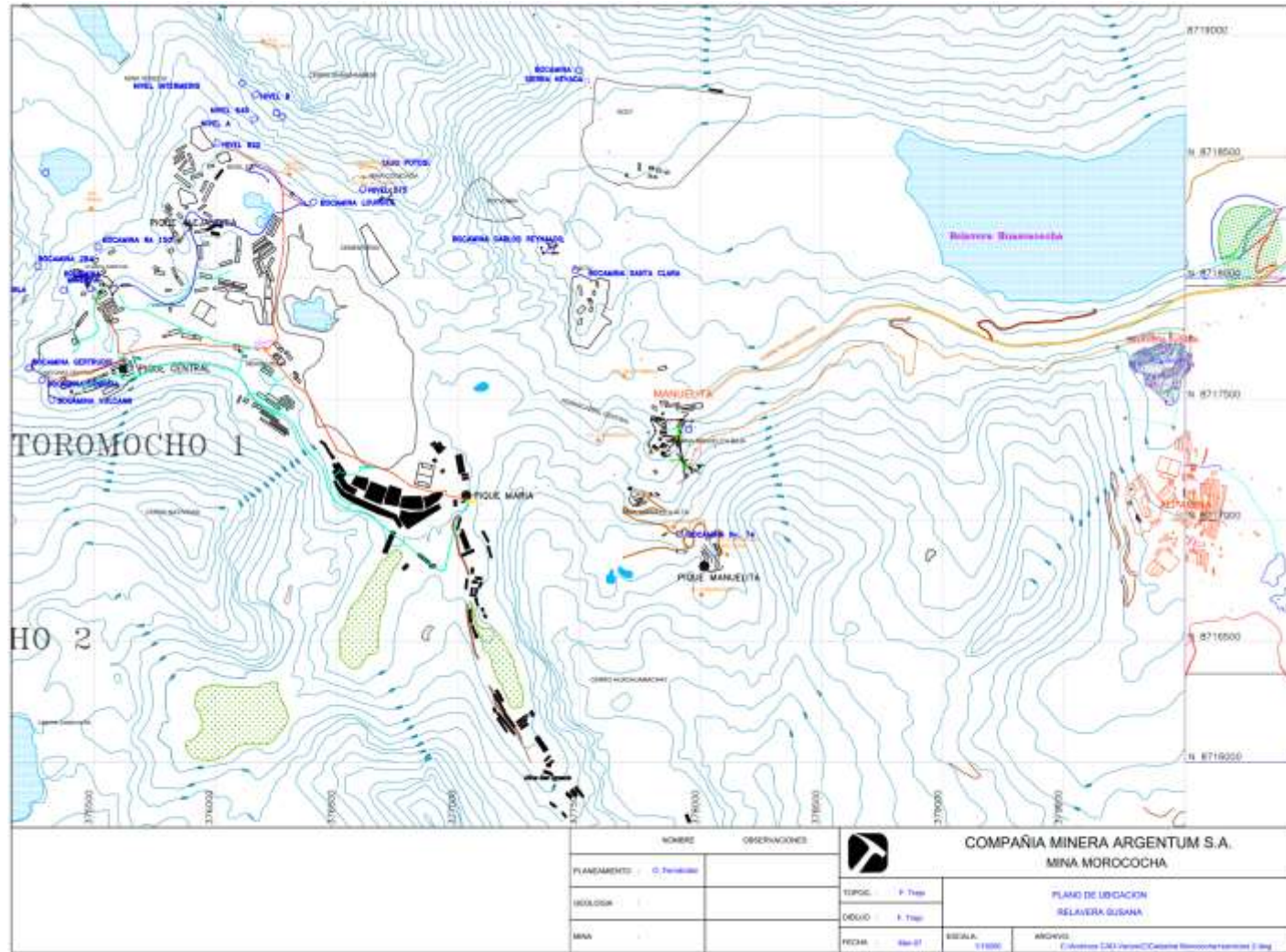
Problema general	Objetivo general	Hipótesis	Variables e indicadores	Metodología
¿El humus de lombriz es una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la Compañía Minera Argentum 2023?	Determinar el humus de lombriz es una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la Compañía Minera Argentum 2023.	Se determinó que el humus de lombriz es una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la Compañía Minera Argentum 2023.	Variable 1 Humus de lombriz <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Temperatura</li> <li>➤ pH</li> <li>➤ Humedad</li> <li>➤ Materia Orgánica</li> <li>➤ Conductividad Eléctrica</li> <li>➤ Relación C/N</li> <li>➤ Potasio</li> <li>➤ Fósforo</li> </ul> Variable 2 Suelo contaminado con metales pesados <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cu</li> <li>➤ Pb</li> <li>➤ Zn</li> <li>➤ Humedad</li> <li>➤ pH</li> <li>➤ Temperatura</li> </ul>	Tipo <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Investigación Aplicada</li> </ul> Nivel: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Investigación Explicativa</li> </ul> Diseño: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diseño Experimental</li> </ul> Población La población en estudio es el suelo contaminado de la relavera en la Compañía Minera Argentum 2023  Muestra La muestra está representada por 6 muestras de suelo contaminado, cada uno de 1 kg, esto se obtendrá de forma aleatoria.  Método general: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Método Científico</li> </ul> Técnica: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Análisis Documental</li> </ul> Instrumento: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ficha de Análisis de Contenido</li> </ul>
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas		
¿Cuál es la concentración de metales pesados después de la utilización de humus de lombriz en el suelo contaminado de la relavera en la Compañía Minera Argentum 2023?	Reducción de la concentración de metales pesados después de utilizar el humus de lombriz en el suelo contaminado en la relavera de la Compañía Minera Argentum 2023.	Se redujo la cantidad de metales pesados en el suelo contaminado y/o alterado disminuyendo después de la aplicación del humus de lombriz en la relavera de la Compañía Minera Argentum S.A. - 2023.		
¿Cuál es la eficiencia de las biopilas para la recuperación del suelo contaminado por metales pesados en la relavera de la Compañía Minera Argentum 2023?	Determinar la eficiencia de las biopilas para la recuperación del suelo contaminado por metales pesados en la relavera de la Compañía Minera Argentum 2023.	Se determinó que en la aplicación de las biopilas para la recuperación del suelo contaminado y/o alterado por metales pesados alcanza valores altos de eficiencia superiores al 70% en la relavera de la Compañía Minera Argentum 2023.		

## Anexo 2

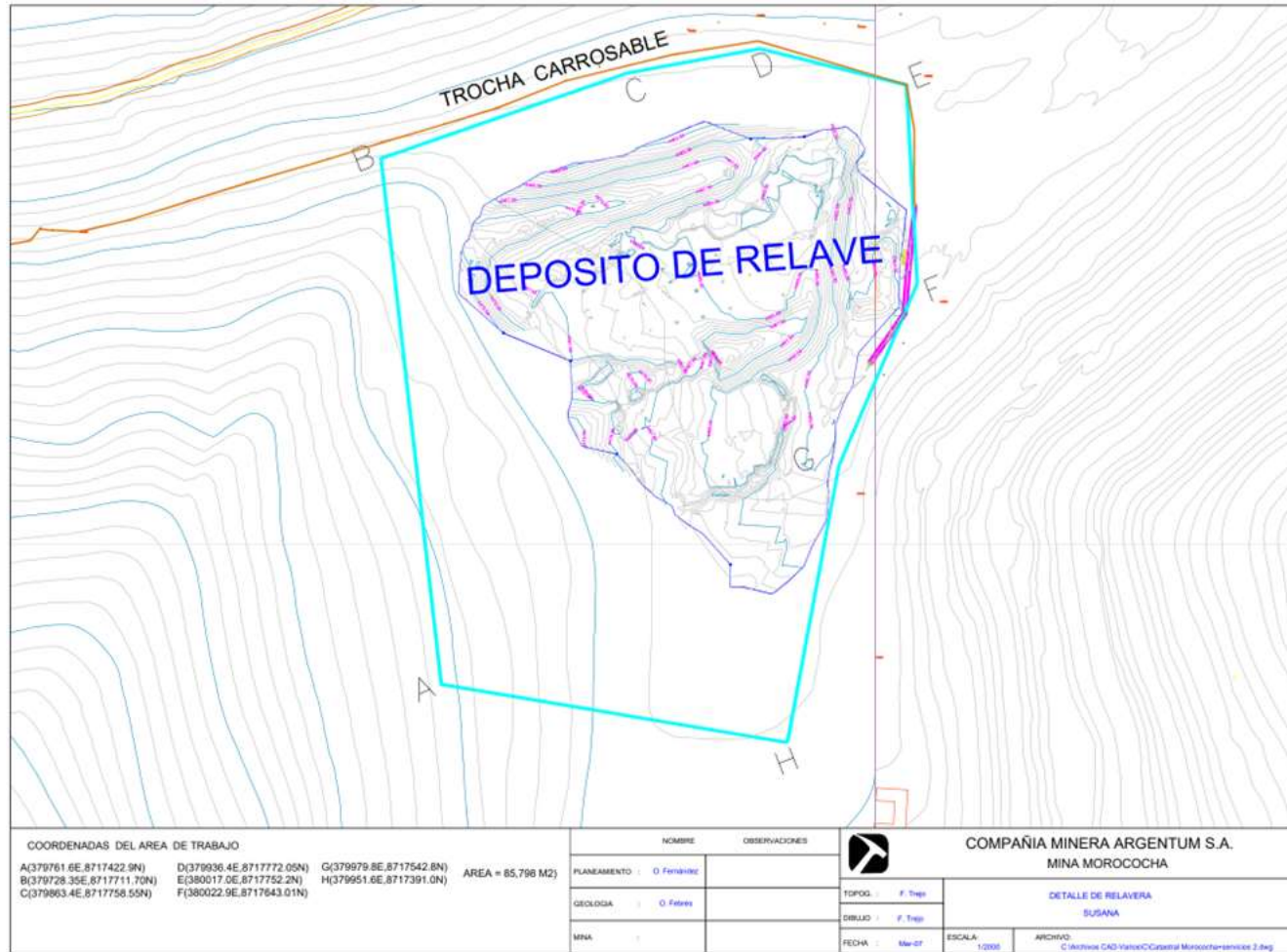
### Mapa del área de estudio relavera



**Anexo 3**  
**Plano de ubicación de la relavera**

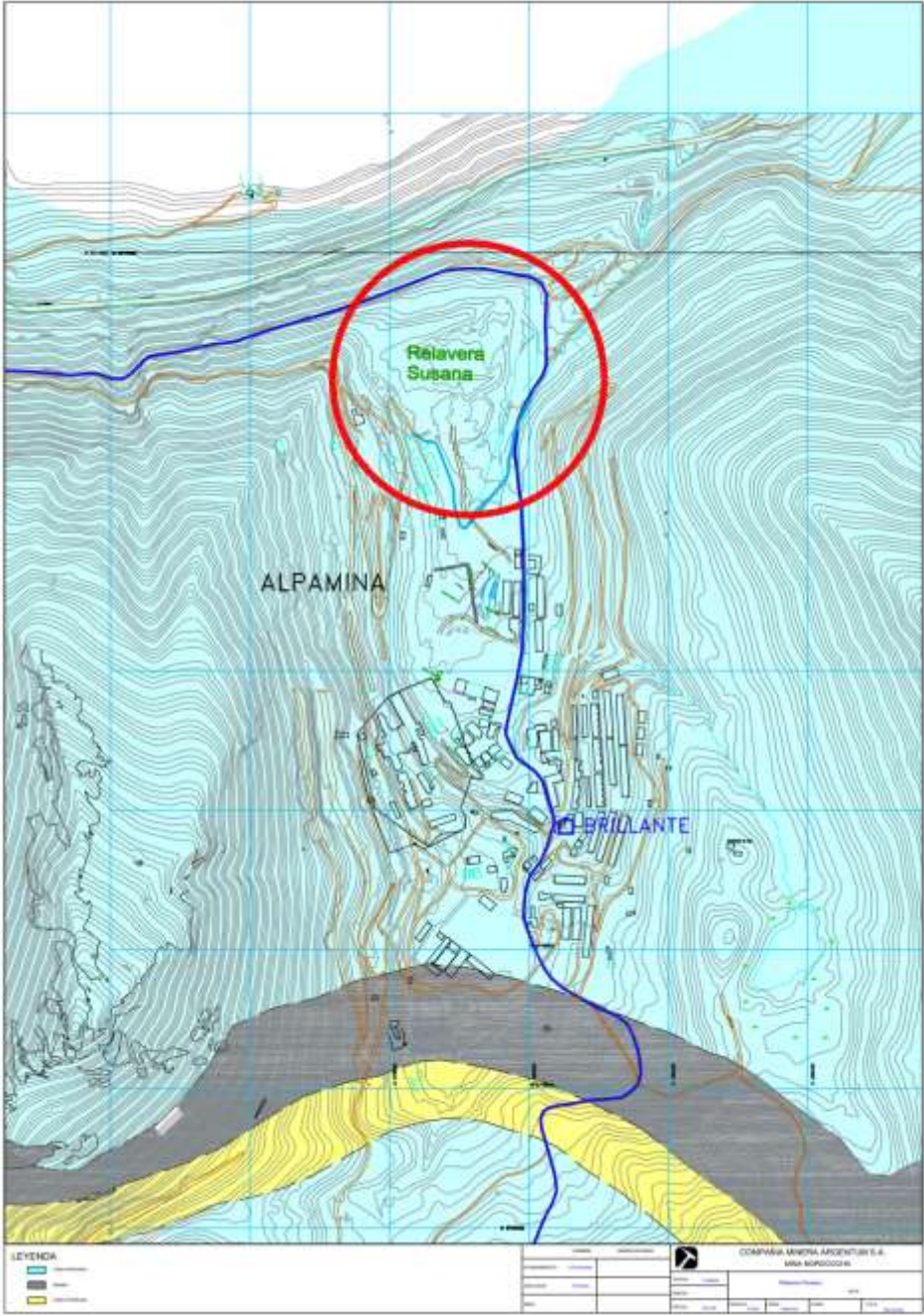


**Anexo 4**  
**Plano detalle de la relavera**





Anexo 5  
Mapa Geológico del área de estudio de la relavera



## Anexo 6

### Determinación del área para la toma de muestras de suelo



## Anexo 7

### Toma de muestra de suelo contaminado de la relavera



## Anexo 8

### Georreferencia de coordenadas de la relavera



## Anexo 9

### Informe de Ensayo del suelo contaminado Laboratorio XERTEL LIFE



#### INFORME DE ENSAYO N° MA23030141

**Nombre del Cliente** : COMPAÑIA MINERA ARGENTUM S.A.  
**Domicilio Legal** : AV. LA FLORESTA NRO. 497 INT. 301 URB. CHACARILLA DEL ESTANQUE LIMA - LIMA - SAN BORJA  
**Solicitado Por** : COMPAÑIA MINERA ARGENTUM S.A.  
**Referencia** : MONITOREO CALIDAD DE SUELO-RELAVE-CARACTERIZACION EDAFOLOGICA

#### DATOS DE LA MUESTRA

**Procedencia** : DISTRITO MOROCOCHA  
**Plan de Muestreo** : Realizado por Xertek Life S.A.C.(\*\*)  
**Cantidad de Muestras** : 6  
**Condición de la Muestra** : Frascos de plástico y/o vidrio, preservados y refrigerados

**Fecha de Muestreo** : 11/02/2023  
**Fecha de Recepción** : 28/03/2023  
**Fecha Inicio Ensayo** : 28/03/2023

#### METODOS DE ENSAYO

Parámetros	Normas
Metales ICP - MS	EPA 200.8, Rev 5.4, 1994

SIGLAS: "EPA", U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes.

#### USO DEL INFORME

- 1- El presente informe sólo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras dormientes serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su preservación exija un periodo mayor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte interesada podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3- El presente informe de ensayo es documento oficial del Intero Publico, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo a las leyes vigentes tanto en Materia Civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.

## Anexo 10

### Resultado de análisis de la muestra de suelo contaminado XERTEK LIFE



#### INFORME DE ENSAYO N° MA23030141

Cod. Cliente		SCR-01	SCR-02	SCR-03	SCR-04	SCR-05		
Cod. Lab.		MA23030141.0	MA23030141.0	MA23030141.0	MA23030141.0	MA23030141.0		
Tipo de Producto		Suelo: suelo	Suelo: suelo	Suelo: suelo	Suelo: suelo	Suelo: suelo		
Fecha de Muestreo		11/02/2023	11/02/2023	11/02/2023	11/02/2023	11/02/2023		
Hora de Muestreo		15:10	15:25	15:38	15:50	16:00		
Cadena de Custodia		6641	6641	6641	6641	6641		
Parámetros	Unidad	L.D.	L.C.	Resultados				
<b>Metales ICP - MS</b>								
Aluminio	mg/Kg (PS)	0,0251	0,0625	5 206	5 607	10 632	6 858	7 182
Antimonio	mg/Kg (PS)	0,021	0,053	254,6	49,80	59,96	40,83	42,23
Arsénico	mg/Kg (PS)	0,025	0,0625	2 120	830,6	424,2	862,9	666,5
Bario	mg/Kg (PS)	0,025	0,0625	77,19	136,8	110,1	143,8	120,8
Berilio	mg/Kg (PS)	0,027	0,0675	0,3226	0,3054	0,9162	0,5523	0,5287
Cadmio	mg/Kg (PS)	0,021	0,0525	4,390	2,937	25,32	4,423	8,212
Cobalto	mg/Kg (PS)	0,023	0,058	12,42	11,46	16,79	12,76	14,20
Cobre	mg/Kg (PS)	0,023	0,058	677,2	378,0	369,6	578,4	481,5
Cromo	mg/Kg (PS)	0,019	0,048	8,725	9,366	8,387	10,30	10,38
Hierro	mg/Kg (PS)	10	25	73 250	71 278	44 464	66 750	67 668
Manganeso	mg/Kg (PS)	0,032	0,08	3 382	3 061	6 491	3 352	3 862
Mercurio	mg/Kg (PS)	0,0022	0,0055	1,152	<0,0022	0,7564	<0,0022	<0,0022
Molibdeno	mg/Kg (PS)	0,023	0,058	2,894	2,674	2,405	2,908	2,943
Níquel	mg/Kg (PS)	0,017	0,043	5,810	6,665	12,20	7,881	7,458
Plata	mg/Kg (PS)	0,0096	0,0238	123,6	20,77	18,71	18,05	13,82
Plomo	mg/Kg (PS)	0,02	0,05	7 584	1 356	1 375	1 506	1 318
Selenio	mg/Kg (PS)	0,04	0,1	<0,04	<0,04	5,85	<0,04	3,38
Talco	mg/Kg (PS)	0,039	0,0975	<0,0390	<0,0390	<0,0390	<0,0390	1,900
Torio	mg/Kg (PS)	0,036	0,09	<0,036	<0,036	<0,036	<0,036	<0,036
Urano	mg/Kg (PS)	0,02	0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Vanadio	mg/Kg (PS)	0,038	0,095	37,00	42,13	35,35	41,45	42,30
Zinc	mg/Kg (PS)	0,058	0,145	927,6	615,7	1 705	743,6	796,3

#### USO DEL INFORME:

- 1.- El presente informe sólo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2.- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras complementarias serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su preservación exija un periodo menor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte interesada podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3.- El presente informe de ensayo es un documento oficial del control público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo a las leyes vigentes tanto en Materia Civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.

## Anexo 11

### Resultado de análisis de la muestra de suelo contaminado XERTEK LIFE



#### INFORME DE ENSAYO N° MA23030141

Cod. Cliente	SCR-08
Cod. Lab.	MA23030141.06
Tipo de Producto	Suelo; suelo
Fecha de Muestreo	11/02/2023
Hora de Muestreo	18:18
Cadena de Custodia	0541

Parámetros	Unidad	L.D.	L.C.	Resultados
<b>Metales ICP - MS</b>				
Aluminio	mg/Kg (PS)	0.0251	0.0625	8.001
Antimonio	mg/Kg (PS)	0.021	0.053	35.43
Arsénico	mg/Kg (PS)	0.025	0.0625	671.7
Bario	mg/Kg (PS)	0.025	0.0625	98.26
Berilio	mg/Kg (PS)	0.027	0.0675	0.7147
Cadmio	mg/Kg (PS)	0.021	0.0525	5.108
Cobalto	mg/Kg (PS)	0.023	0.056	14.80
Cobre	mg/Kg (PS)	0.023	0.056	553.7
Cromo	mg/Kg (PS)	0.019	0.046	10.50
Hierro	mg/Kg (PS)	10	25	64.051
Manganeso	mg/Kg (PS)	0.032	0.08	3.872
Mercurio	mg/Kg (PS)	0.0022	0.0055	<0.0022
Molibdeno	mg/Kg (PS)	0.023	0.056	2.521
Níquel	mg/Kg (PS)	0.017	0.043	8.836
Plata	mg/Kg (PS)	0.0085	0.0213	12.89
Plomo	mg/Kg (PS)	0.02	0.05	934.6
Selenio	mg/Kg (PS)	0.04	0.1	1.70
Talio	mg/Kg (PS)	0.039	0.0975	0.9470
Torio	mg/Kg (PS)	0.036	0.09	<0.036
Urano	mg/Kg (PS)	0.02	0.05	<0.02
Vanadio	mg/Kg (PS)	0.036	0.09	41.92
Zinc	mg/Kg (PS)	0.056	0.14	810.5

Leyenda: L.D = Límite de detección L.C = Límite de cuantificación.

Lurin, 30 de Marzo del 2023

**Gloria Uturuncu Mamani**  
Supervisor de Lab. Químico  
XERTEK LIFE S.A.C.

#### USO DEL INFORME:

- 1 - El presente informe solo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2 - El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras derivadas serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su propiedad sea un periodo mayor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte interesada podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3 - El presente informe de ensayo es documento oficial del estado público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula de acuerdo a las leyes vigentes tanto en materia Civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.

## Anexo 12

# Informe de ensayo de suelo contaminado + humus de lombriz Laboratorio XERTEL LIFE

Página 1 de 3

### INFORME DE ENSAYO N° MA23070143 CON VALOR OFICIAL

**Nombre del Cliente** : COMPAÑIA MINERA ARGENTUM S.A.  
**Domicilio Legal** : AV. LA FLORESTA NRO. 497 INT. 301 URB. CHACARILLA DEL ESTANQUE LIMA - LIMA - SAN BORJA  
**Solicitado Por** : COMPAÑIA MINERA ARGENTUM S.A.  
**Referencia** : ANALISIS DE MUESTRA DE SUELO

#### **DATOS DE LA MUESTRA**

**Procedencia** : U.M. MOROCOCCHA  
**Plan de Muestreo** : Realizado por el Cliente  
**Cantidad de Muestras** : 1  
**Condición de la Muestra** : Frascos de plástico y/o vidrio, preservados y refrigerados

**Fecha de Muestreo** : 14/07/2023  
**Fecha de Reespólon** : 15/07/2023  
**Fecha Inicio Ensayo** : 15/07/2023

#### **MÉTODOS DE ENSAYO**

Parámetros	Normas
Capacidad Intercambio Catiónico (*)	NOM-021-RECNAT-2000 AS-12
Cationes intercambiables (*)	JRAMON-S-04
Clasificación Textural (*)	NOM-021-RECNAT-2000 AS-08
Conductividad (*)	ISO 11265 (1994)
Materia orgánica (*)	NOM-021-RECNAT-2000 AS-07
Metales ICP - MS	EPA 200.8, Rev 5.4, 1994
pH - Suelos	EPA 9045-D, Rev4, 2004

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

SIGLAS: "EPA": U.S. Environmental Protection Agency Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, ISO: International Organization for Standardization.



Laboratorio: Av. Los Escaleros, Sector Santa Gertrudis, Parcela 0 Lote 1  
Contacto: +51 1 611 1831  
Email: contacto@xertelife.com



## Anexo 13

### Resultado de análisis de la muestra de suelo contaminado + humus de lombriz XERTEK LIFE

Página 2 de 3

#### INFORME DE ENSAYO N° MA23070143 CON VALOR OFICIAL

Cod. Cliente	STR-07
Cod. Lab.	MA23070143.01
Tipo de Producto	Suelo, suelo
Fecha de Muestreo	14/07/2023
Hora de Muestreo	05:00 pm
Cadena de Custodia	7570

Parámetros	Unidad	L.D.	L.C.	Resultados
<b>Metales ICP - MB</b>				
Aluminio	mg/Kg (PS)	0,0251	0,0625	5,362
Antimonio	mg/Kg (PS)	0,021	0,053	4,669
Arsenico	mg/Kg (PS)	0,025	0,0625	157,0
Bario	mg/Kg (PS)	0,025	0,0625	140,0
Berilio	mg/Kg (PS)	0,027	0,0675	0,7184
Cadmio	mg/Kg (PS)	0,021	0,0525	2,672
Cobalto	mg/Kg (PS)	0,023	0,058	2,694
Cobre	mg/Kg (PS)	0,023	0,058	105,7
Cromo	mg/Kg (PS)	0,019	0,048	7,367
Hierro (*)	mg/Kg (PS)	10	25	17,495
Manganeso	mg/Kg (PS)	0,032	0,08	1,489
Mercurio	mg/Kg (PS)	0,0022	0,0055	<0,0055
Molibdeno	mg/Kg (PS)	0,023	0,058	0,324
Niquel	mg/Kg (PS)	0,017	0,043	12,06
Plata	mg/Kg (PS)	0,0005	0,0038	2,961
Plomo	mg/Kg (PS)	0,02	0,05	234,5
Selenio	mg/Kg (PS)	0,04	0,1	<0,1
Talio	mg/Kg (PS)	0,039	0,0975	<0,0975
Telurio	mg/Kg (PS)	0,036	0,09	<0,09
Uranio	mg/Kg (PS)	0,02	0,05	<0,05
Vanadio	mg/Kg (PS)	0,038	0,095	14,57
Zinc	mg/Kg (PS)	0,058	0,145	947,8

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.



Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Gertrudis, Parcela 5 Lari  
Central: +51 1 911 1691  
E-mail: contacto@xerteklife.com

## Anexo 14

### Resultado de análisis de la muestra de suelo contaminado + Humus de lombriz XERTEK LIFE

Página 3 de 3

#### INFORME DE ENSAYO N° MA23070143 CON VALOR OFICIAL

Cod. Cliente	STR-07
Cod. Lab.	MA23070143.01
Tipo de Producto	Suelo, suato
Fecha de Muestreo	14/07/2023
Hora de Muestreo	05:00 pm
Celular de Custodia	7579

Parámetros	Unidad	L.D.	L.C.	Resultados
<b>Caracterización Edafológica (*)</b>				
Conductividad (*)	µS/cm	N.A.	N.A.	5.620
Materia orgánica (*)	%	0.01	0.01	7.64
pH - Suato	Unid. pH	0.01	0.02	7.20
Capacidad Intercambio Catiónico (CIC) (*)	meq/100g	N.A.	N.A.	7.65
<b>Cationes cambiabiles (*)</b>				
Calcio intercambiable	meq/100g	N.A.	N.A.	43.86
Magnesio intercambiable	meq/100g	N.A.	N.A.	10.02
Sodio intercambiable	meq/100g	N.A.	N.A.	7.59
Potasio intercambiable	meq/100g	N.A.	N.A.	4.54
<b>Clase textural (*)</b>				
Porcentaje de arcilla	%	N.A.	N.A.	1.44
Porcentaje de arena	%	N.A.	N.A.	96.56
Porcentaje de limo	%	N.A.	N.A.	0.00
				Arena

**Leyenda:** L.D = Límite de detección L.C = Límite de cuantificación PS= Peso Seco N.A. = No aplica

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Lurin, 01 de Agosto del 2023

  
Gloria Uturunco Mamani  
Supervisor de Lab. Químico  
XERTEK LIFE S.A.C.



Laboratorio: Av. Los Escultores, Sector Santa Genevieve, Parcela 6 Lurin  
Central: +51 1 611 1891  
E-mail: contacto@xerteklife.com



## PROCEDIMIENTO

Código: MO-P-03  
F. de aprob.: May .24

## MUESTREO DE SUELOS

Versión: 05  
Página: 1 de 8

### 1. OBJETIVO

El presente procedimiento describe las etapas que deben cumplirse para el muestreo de suelos, lodos y sedimentos.

*Nota1: para Ensayos hidrobiológicos se distinguen las matrices sedimentos marinos y sedimentos Epicontinentales.*

### 2. ALCANCE

El presente procedimiento aplica a la toma de muestra de suelo por el personal del Área de Monitoreo de Xertek Life S.A.C.

### 3. DOCUMENTOS DE REFERENCIAS

- NTP-ISO/IEC 17025: Requisitos Generales para la competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración.
- Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM .- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo
- Guía para el Muestreo de Suelos (Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM), marzo 2014.

### 4. RESPONSABILIDADES

- El cumplimiento del presente procedimiento tiene el carácter de obligatorio para todo el personal involucrado en el muestreo de suelos.
- El Supervisor de Monitoreo o encargado es responsable de implementar, mantener y hacer cumplir el presente procedimiento.
- Los analistas de monitoreo tienen el deber de conocer y aplicar el presente procedimiento.

### 5. DEFINICIONES

#### 5.1. Cadena de custodia:

Procedimiento documentado de la obtención de muestras, su transporte, conservación y entrega de éstas al laboratorio para la realización de pruebas realizado por el personal responsable.

<b>Elaborado por:</b> Gloria Uturnco Supervisor de Lab Químico	<b>Revisado por:</b> Daniel Quispe Ibarra Supervisor de Monitoreo	<b>Aprobado por:</b> Norma Chumpitaz Jefa de Calidad
	 Daniel Quispe Ibarra Supervisor de Monitoreo	 Norma Chumpitaz Malásquez Jefa de Calidad

Toda copia en papel es un documento no controlado.



## PROCEDIMIENTO

### MUESTREO DE SUELOS

Código: MO-P-03

F. de aprob.: May .24

Versión: 05

Página: 2 de 8

#### **5.2. Muestreo**

El muestreo es la actividad por la que se toman muestras representativas que permiten caracterizar el suelo en estudio.

#### **5.3. Estándar de Calidad Ambiental (ECA):**

Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

#### **5.4. Envase:**

Recipiente de diferente material, forma y tamaño destinado a contener muestras de suelos para su conducción desde el lugar de muestreo hacia el laboratorio, y que reúne características para conservar las propiedades de la muestra a ser analizadas.

#### **5.5. Nivel de fondo:**

Concentración en el suelo de los químicos que no fueron generados por la actividad objeto de análisis y que se encuentran en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la actividad bajo análisis.

#### **5.6. Punto de muestreo:**

Lugar (punto o área determinada) del suelo donde se toman las muestras, sean éstas superficiales o de profundidad.

#### **5.7. Suelo:**

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

#### **5.8. Suelo contaminado:**

Suelo cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana, según lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM

---

Toda copia en papel es un documento no controlado.



## PROCEDIMIENTO

Código: MO-P-03  
F. de aprob.: May .24

## MUESTREO DE SUELOS

Versión: 05  
Página: 3 de 8

### 6. PLANEACIÓN DE MUESTREO

#### 6.1. Recepción de la Solicitud de Servicio de Monitoreo

Luego de aceptado los términos de la prestación del servicio por parte del cliente, el Coordinador Comercial deberá llenar los ensayos solicitados por el cliente en la Solicitud de Servicios de Monitoreo (CO-P-01-F-02) y enviar al supervisor de Monitoreo.

#### 6.2. Planeación del muestreo

El Supervisor de Monitoreo o encargado, programa los días de monitoreo y los recursos necesarios para su ejecución. Selecciona al personal (Analista de Monitoreo) quien se encargará de realizar el plan de muestreo (MO-P-14-F-07), la Solicitud de Suministros para Muestreo LAB-P-14 y la Solicitud de Equipos (MO-P-14-F-02) de acuerdo a los datos consignados en la Solicitud de Servicio de Monitoreo (CO-P-01-F-02).

#### 6.3. Preparación de materiales, equipos y equipos de protección personal (EPP)

La preparación de suministros se realiza de acuerdo al LAB-P-14 Preparación de suministros.

##### a) Materiales

- Bolsas gruesas de de 1kg y 5 kg
- Barrena
- Palas y pico de acero inoxidable.
- Pala de plástico
- Zaranda de 40cm x 40cm.
- Cadenas de Custodia
- Fichas de registros de campo.
- Guantes de latex y de cuero.
- Marcadores
- Envases de plástico estéril o bolsa estéril
- Envases plástico de boca ancha
- Viales
- Agua desionizada
- Draga
- Bolsa Tamiz
- Tubo penshazade
- Strech film

##### b) EPP

- Casco de Seguridad.
- Lentes de seguridad.

---

Toda copia en papel es un documento no controlado.



## PROCEDIMIENTO

### MUESTREO DE SUELOS

Código: MO-P-03  
F. de aprob.: May .24  
Versión: 05  
Página: 4 de 8

- Botas
- Guantes.
- Chaleco de Seguridad.
- Chaleco salvavidas (de ser necesario).
- Respirador

#### 6.4. Verificación de equipos y verificación de materiales.

El analista de Monitoreo responsable y el encargado de cada área deben de verificar los materiales y equipos solicitados de manera presencial o virtual (videollamada )en el caso que se encuentre en otros servicios.

#### 6.5. Consideraciones Generales

El muestreo es la actividad por la que se toman muestras representativas que permiten caracterizar el suelo en estudio, en tanto que la muestra puede ser definida como una parte representativa que presenta las mismas características o propiedades del material que se está estudiando y las muestras que serán enviadas al laboratorio.

- Los equipos, las herramientas y los instrumentos a usarse en el muestreo estarán en función de:
  - La profundidad máxima a la que se va a tomar la muestra.
  - El tipo de suelo.
  - El tipo de contaminante (volátil, semivolátil, no volátil) que se presuma en el sitio.
  - La accesibilidad al punto de muestreo.
  - El tamaño de muestra necesaria para los análisis requeridos, con base en la(s) característica(s) o propiedad(es) de interés del contaminante y del sitio, así como las especificaciones de los métodos analíticos.
  - Los instrumentos para la colecta de muestras en campo, deben ser fáciles de limpiar, resistentes al desgaste y no deberán contener sustancias químicas que puedan contaminar o alterar las muestras.
  - Cuando se trata de suelos contaminados con metales, se recomienda utensilios de plástico, teflón o acero inoxidable para el muestreo.
  - Es recomendable incluir una libreta para registrar las acciones de campo, una cámara fotográfica y la cadena de custodia para las muestras.

---

Toda copia en papel es un documento no controlado.



## PROCEDIMIENTO

### MUESTREO DE SUELOS

Código: MO-P-03  
F. de aprob.: May .24  
Versión: 05  
Página: 5 de 8

#### 7. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO.

##### 7.1.1. Localización geográfica de los puntos de muestreo.

Ingresar al GPS las coordenadas geográficas para determinar la secuencia de muestreo de los puntos de muestreo.

##### 7.1.2. Datos del punto de muestreo.

Registrar en la hoja de campo o libreta los siguientes datos:

- Código del punto.
- Fecha y hora de muestreo.
- Coordenadas geográficas y altitud del punto de muestreo.
- Datos climáticos durante el muestreo.
- Observaciones.

##### 7.1.3. Blanco de Herramienta.

Luego de ubicar el punto de muestreo se procede a realizar un control de calidad utilizando los epps adecuados, se debe enjuagar las herramientas con agua destilada, luego se procede a tomar la muestra de agua de este enjuague con el ensayo de metales totales y se preserva con ácido nítrico para el descarte de una contaminación cruzada.

##### 7.1.4. Preservación y almacenamiento de muestras

Los materiales, volumen y características del recipiente donde se recolectará la muestra, así como las condiciones de almacenamiento, hasta antes de su análisis se encuentran detallados en el documento informativo Colección y preservación de Muestras: Suelos LAB-DI-05.

##### 7.1.5. Toma de Muestra.

###### 7.1.5.1. Suelo

- Delimitar el área a muestrear 30cm por 30cm.
- Limpiar el área a muestrear de cualquier desecho o escombros superficial (ramas, piedras, residuos, etc), en caso que el área presente una cobertura vegetal este deberá ser removido y tratar de remover el material que este en las raíces para ser mezclado con el material que se encuentra por debajo de la cobertura vegetal.
- En función al objetivo en analista decidirá la profundidad del muestreo según el uso de suelo como se observa en la siguiente tabla.

---

Toda copia en papel es un documento no controlado.



## PROCEDIMIENTO

Código: MO-P-03  
F. de aprob.: May .24  
Versión: 05  
Página: 6 de 8

## MUESTREO DE SUELOS

USOS DEL SUELO	PROFUNDIDAD DEL MUESTREO (CAPAS)
Suelo Agrícola.	0 – 30 cm (1) 30 – 60 cm
Suelo Residencial/Parques	0 – 10 cm (2) 10 – 30 cm (3)
Suelo Comercial/Industrial/Extractivo	0 – 10 cm (2)

- 1) Profundidad de aradura
- 2) Capa de contacto oral o dermal de contaminantes
- 3) Profundidad máxima alcanzable por niños.

- Primero se debe muestrear los ensayos que son derivados de hidrocarburos, siendo una toma directa.
- Una vez muestreado los ensayos derivados de hidrocarburos se procede a homogenizar la muestra de suelo dentro de un envase homogenizador de plástico y mézclelo cuidadosamente para obtener una muestra representativa.
- Cuando se trate de COV's o elementos volátiles, no es recomendable la toma de muestras de suelos por trasvase debido a las pérdidas, tomar la muestra en un envase adecuado y asegure bien la tapa.
- Una vez finalizado el muestreo deje el área en las condiciones que se encontraron. En general, los huecos angostos pueden rellenarse con el material sobrante de la perforación.

### 7.1.6. Etiquetado

La etiqueta debe ser colocada en un lugar visible y no sobrepasar el tamaño del recipiente y adherida adecuadamente para evitar su pérdida.

El analista de campo deberá rotular los envases en campo llenando todos los datos requeridos en la etiqueta, indicando los parámetros solicitados por el cliente, y recubrir con cinta de embalaje.

Se debe etiquetar la muestra colocando los siguientes datos en la etiqueta:

- Cliente
- Procedencia de la muestra.
- Código del punto de muestreo.
- Fecha y hora.
- Ensayo.
- Matriz.

---

Toda copia en papel es un documento no controlado.





## PROCEDIMIENTO

### MUESTREO DE SUELOS

Código: MO-P-03  
F. de aprob.: May .24  
Versión: 05  
Página: 7 de 8

#### 7.1.7. Condiciones de seguridad de las muestras.

- El traslado de la muestra deberá ser realizado con los cuidados requeridos para evitar su deterioro, para ello deben ser embaladas asegurando la completa inmovilidad de los recipientes que las contienen durante el transporte.
- El traslado de las muestras al laboratorio se debe hacer dentro de los plazos recomendados.

#### 7.2. Llenado de la Cadena de Custodia

Cada muestra deberá ser registrada en el Formato de Cadena de Custodia de Suelos (MO-P-03-F-01), según la etiqueta de los frascos, y deberá ser firmado por el analista de campo responsable y por el cliente para dar la conformidad del llenado de la cadena de custodia. Esta se depositará dentro de las cajas térmicas y posteriormente embalados, las mismas que serán transportados y entregados al laboratorio (Recepción de muestras). [ ]

#### 7.3. Embalaje, Almacenaje y Transporte

Es indispensable, antes de efectuar el embalaje y el transporte de las muestras recolectadas, verificar que el etiquetado de las mismas corresponde con la cadena de custodia, lo que permitirá la rápida y correcta identificación de todas y cada una de las muestras en el momento de su recepción. Adicionalmente se debe cuidar que envases estén perfectamente cerrados, para evitar la pérdida o contaminación de las muestras y deberán ser embalados adecuadamente en las cajas térmicas.




#### 7.4. Cambios o Incidentes durante el Muestreo

Cualquier cambio en el número de muestras o ensayos en campo, etc. deberá ser informado de inmediato al área Comercial y de Monitoreo, revisar que dicho cambio figure en la cadena de custodia.

---

Toda copia en papel es un documento no controlado.

	<b>PROCEDIMIENTO</b>	Código: MO-P-03 F. de aprob.: May .24
	<b>MUESTREO DE SUELOS</b>	Versión: 05 Página: 8 de 8

Los incidentes que se puedan presentar en la ejecución del trabajo deberán ser informados de inmediato a las áreas correspondientes: Cliente, Monitoreo y Comercial. Realizar si es posible el Registro de Incidentes en Campo (MO-P-13-F-01) en el mismo campo y visarlo por el cliente si es que tuviera responsabilidad, ya en Lima deberá ser revisado y enviado al área de Logística y SSOMA.

#### 8. NORMAS DE SEGURIDAD

- 8.1. EPP básico: Guantes de látex, Guantes de cuero amarillo, Casco de seguridad con barbiquejo, Zapatos de seguridad, Arnes, línea de vida, chaleco salvavida y wetsuit etc.
- 8.2. Conocimiento y disponibilidad de las hojas de seguridad (MSDS).
- 8.3. Conos de seguridad para los grupos electrógenos y para los equipos de Calidad de Aire.
- 8.4. Antes de iniciar el monitoreo, realice una inspección previa y/o reconocimiento de la estación de muestreo, verifique las zonas de acceso, etc. Con la finalidad de evaluar si se cuenta con los materiales, equipos, herramientas necesarias para llevar a cabo el monitoreo. Registrar en el formato de Analisis de Seguridad de Trabajo (AST) del cliente el cual debera estar firmado por el jefe de área antes de iniciar el muestreo.
- 8.5. El personal deberá contar con el seguro complementario de trabajo de riesgo "SCTR" en físico y debe ser presentado en el ingreso de cada Pozo de ventilación.

#### 9. REGISTROS

Los registros empleados en el presente documento son los siguientes:

Código	Nombre/Título	Responsable	Almacenamiento		Tiempo de Conservación
			Modo	Lugar	
MO-P-03-F-01	Cadena de Custodia Calidad de Suelos	Analista de Campo	Físico	Files de Hojas de campo	2 años
MO-P-03-F-02	Registros de Datos de Campo: Calidad de Suelos	Analista de Campo	Físico	Files de Hojas de campo	2 años
LAB-DI-05	Colección y Preservación de Muestras: Suelos	Supervisor	Digital	Carpeta Analistas	4 años

---

Toda copia en papel es un documento no controlado.