

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



Tesis

“Eficacia de la biorremediación con crustáceos isópodos (porcellio laevis) para la reducción de metales pesados en suelos contaminados”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL**

AUTORA: Pardave Tineo, Jimena

ASESOR: Camara Llanos, Frank Erick

HUÁNUCO – PERÚ

2023

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación Ambiental

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería ambiental

Disciplina: Ingeniería ambiental y geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniera ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 75958742

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44287920

Grado/Título: Maestro en ciencias de la salud con mención en: salud pública y docencia universitaria

Código ORCID: 0000-0001-9180-7405

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Zacarias Ventura, Héctor Raúl	Doctor en ciencias de la educación	22515329	0000-0002-7210-5675
2	Valdivia Martel, Perfecta Sofía	Maestro en Ingeniería con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	43616954	0000-0002-7194-3714
3	De Jesus Mendoza, Efer	Maestro en ingeniería, con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	43411558	0000-0002-5372-6345

D

H



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:30 horas del día 12 del mes de febrero del año 2024, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

- Dr. Héctor Raúl Zacarias Ventura (Presidente)
- Mg. Perfecta Sofia Valdivia Martel (Secretario)
- Mg. Efer De Jesus Mendoza (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 0151-2024-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **"EFICACIA DE LA BIORREMEDIACIÓN CON CRUSTÁCEOS ISÓPODOS (*Porcellio laevis*) PARA LA REDUCCIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS CONTAMINADOS"**, presentado por el (la) Bach. **PARDAVE TINEO, JIMENA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) *Aprobado* Por *Unanimidad* con el calificativo cuantitativo de *10* y cualitativo de *Muy Bueno* (Art. 47)

Siendo las *10:35* horas del día *12* del mes de *Febrero* del año *2024*, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Dr. Héctor Raúl Zacarias Ventura
ORCID: 0000-0002-7210-5675
Presidente

Mg. Perfecta Sofia Valdivia Martel
ORCID: 0000-0002-7194-3714
Secretario

Mg. Efer De Jesus Mendoza
ORCID: 0000-0002-5372-6345
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Yo, **FRANK ERICK CAMARA LLANOS**, asesor(a) del PA. de **INGENIERIA** y designado(a) mediante documento: **RESOLUCIÓN No 391-2023-D-FI-UDH del 28 de FEBRERO del 2023**; del Bachiller **PARDAVE TINEO Jimena**, de la investigación titulada; “EFICACIA DE LA BIORREMEDIACIÓN CON CRUSTÁCEOS ISÓPODOS (*Porcellio laevis*) PARA LA REDUCCIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS CONTAMINADOS”

Puedo constar que la misma tiene un índice de similitud del **16%** verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Antiplagio Turnitin. Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 14 de FEBRERO del 2024



Mg. Frank E. Cámara Llanos
MÉDICO VETERINARIO
CMV. 7188

Apellidos y Nombres

Código Orcid: 0000-0001-9180-7405

DNI: 44287920

INFORME FINAL

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%	16%	7%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad de Huanuco Trabajo del estudiante	1%
4	Submitted to Ahsanullah University of Science and Technology Trabajo del estudiante	1%
5	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.cientifica.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	


Mg. Frank E. Cámara Llanos
MÉDICO VETERINARIO
CMV. 7188

Apellidos y Nombres

Código Orcid: 0000-0001-9180-7405

DNI: 44287920

DEDICATORIA

Esta investigación la dedico a ti querida madre que me diste la vida, y porque valoro todo el esfuerzo que ha significado para ti poder tenerme; gracias madrecita linda siempre estaré a tu lado y sabre recompensarte día a día todo el esfuerzo que has dado para que yo esté aquí.

AGRADECIMIENTO

Me dirijo a los lectores en este apartado de mi tesis para agradecer en primer lugar a Dios por darme la vida y por permitirme lograr todos mis objetivos hasta este momento. Seguidamente quiero dar un agradecimiento a mis padres que son el motor que día a día me permite salir adelante, del mismo modo agradecer a la Universidad de Huánuco mi Alma Mater; que me formó como profesional en estos años de convivencia académica que fueron para mí la más bonita etapa de mi vida; agradecer a mis docentes que día a día me inculcaron valores y que a través de sus enseñanzas hoy logró sustentar este trabajo realizado.

Quiero agradecer de manera especial al magíster Frank cuyo asesoramiento me permitió entender el mundo de la investigación, espero que el trabajo realizado sea del agrado de todos. Muchas gracias.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUCCION.....	XI
CAPITULO I.....	13
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	15
1.3. OBJETIVOS.....	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
CAPITULO II.....	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	18
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	24
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	27
2.2. BASES TEÓRICAS	29
2.2.1. BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS.....	29
2.2.2. TIPOS DE BIORREMEDIACIÓN.....	30
2.2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA BIORREMEDIACIÓN	31
2.2.4. CRUSTÁCEOS ISÓPODOS DE SUELO COMO BIOINDICADORES	32

2.2.5.	PORCELLIO LAEVIS	33
2.2.6.	IMPORTANCIA DE LOS CRUSTÁCEOS ISÓPODOS	35
2.2.7.	CICLO DE VIDA DE CRUSTÁCEOS ISÓPODOS	36
2.2.8.	METALES PESADOS QUE CAUSAN IMPACTO AL SUELO	37
2.2.9.	MOVILIDAD Y BIODISPONIBILIDAD DE METALES.....	38
2.2.10.	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS METALES PESADOS.....	38
2.2.11.	EFFECTOS DE LOS METALES EN LOS SUELOS.....	39
2.3.	DEFINICIONES CONCEPTUALES	41
2.4.	HIPÓTESIS.....	44
2.4.1.	HIPÓTESIS GENERAL	44
2.4.2.	HIPÓTESIS ESPECIFICAS	44
2.5.	VARIABLES.....	45
2.5.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	45
2.5.2.	VARIABLE DEPENDIENTE	45
2.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	46
CAPITULO III.....		47
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		47
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	47
3.1.1.	ENFOQUE	47
3.1.2.	ALCANCE O NIVEL DE INVESTIGACIÓN	47
3.1.3.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	48
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA	49
3.2.1.	POBLACIÓN	49
3.2.2.	MUESTRA.....	49
3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	50
3.4.	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	53
CAPITULO IV.....		54
RESULTADOS.....		54
4.1.	RESULTADOS DESCRIPTIVOS.....	54
4.2.	CONTRASTACIÓN DE LAS HIPÓTESIS	60

CAPITULO V.....	63
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	63
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES.....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
ANEXOS.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Categoría taxonómica del <i>Porcellio laevis</i> Latreille, 1804	34
Tabla 2 Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo	39
Tabla 3 Operacionalización de variables	46
Tabla 4 Técnicas utilizadas para el análisis de muestras	50
Tabla 5 Comparación de las diferencias descriptivas entre el post test y pretest en Mg/kg; aplicados a suelo con tratamiento de 200 individuos adultos de <i>Porcellio laevis</i>	54
Tabla 6 Comparación de las diferencias descriptivas entre el post test y pretest en Mg/kg; aplicados a suelo con tratamiento de 400 individuos adultos de <i>Porcellio laevis</i>	55
Tabla 7 Comparación de las diferencias descriptivas entre el post test y pretest en Mg/kg; aplicados a suelo con tratamiento de 600 individuos adultos de <i>Porcellio laevis</i>	56
Tabla 8 Tabla de mortalidad y reposición del <i>Porcellio laevis</i> durante los 3 meses de experimentación	57
Tabla 9 Promedios de metales encontrados entre los tratamientos de 200; 400 y 600 unidades de <i>Porcellio laevis</i> después de los 3 meses de exposición al suelo contaminado	58
Tabla 10 Promedios de metales encontrados entre los tratamientos de 200; 400 y 600 unidades de <i>Porcellio laevis</i> después de los 3 meses de exposición al suelo contaminado	59
Tabla 11 Comparaciones múltiples HSD Tukey.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Porcellio laevis e inicio de muda	34
Figura 2 Crecimiento de crías en la placa marsupial de crustáceos Isópodos	35
Figura 3 Fase de toma de muestra después de 3 meses	52
Figura 4 Procedimientos empleados para el análisis de muestras	53

RESUMEN

El estudio titulado “Eficacia de la biorremediación con crustáceos isópodos (*Porcellio laevis*) para la reducción de metales pesados en suelos contaminados”; se realizó durante los meses de septiembre octubre y noviembre del año 2023, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la eficacia de la biorremediación con crustáceos isópodos para reducir metales pesados de suelos contaminados. La metodología de estudio fue de tipo analítico, con intervención, prospectivo y longitudinal. Se utilizó un diseño experimental con una pre prueba y grupo Control. La población fue representada por 40 kg de suelo contaminado de la mina marca punta en cerro de Pasco y las muestras analizadas correspondieron a tres tratamientos con tres repeticiones cada una y su grupo Control que fueron enviadas a Lima al laboratorio ALAB; para sus análisis. Los resultados más relevantes se obtuvieron a través de las pruebas estadística de comparaciones múltiples de Tukey donde se obtuvo que 15 metales mostraron diferencias significativas en los tratamientos 1 2 y 3 al no haber una norma específica para los 35 metales analizados se determinó su eficacia haciendo comparaciones con normativas nacionales e internacionales como son ECA para Perú; Normativa mexicana y Normativa BOPA Asturias de España, para suelo destinado a actividades industriales; 14 de los metales analizados cumplen la normativa para suelos industriales (Antimonio, Bario, Berilio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Selenio, Talio, Vanadio) y 9 metales cumplen las normativas para suelos agrícolas (Bario, Berilio, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Selenio, Talio, y Vanadio). Se concluye que existe eficacia para metales que cuentan con normativas de estándares de calidad establecida, sin embargo, existe metales que muestran reducción de su concentración en el promedio de los tratamientos, al no existir estándares de calidad definidos no es posible poder evaluar la eficacia de los *Porcellio laevis* sobre este tipo de elementos.

PALABRAS CLAVES: biorremediación, crustáceos isópodos, metales pesados, suelos, contaminación.

ABSTRACT

The study titled “Effectiveness of bioremediation with isopod crustaceans (*Porcellio laevis*) for the reduction of heavy metals in contaminated soils”; It was carried out during the months of September, October and November 2023. This research aimed to evaluate the effectiveness of bioremediation with isopod crustaceans to reduce heavy metals from contaminated soils. The study methodology was analytical, with intervention, prospective and longitudinal. An experimental design was used with a pre-test and Control group. The population was represented by 40 kg of contaminated soil from the Marca Punta mine in Cerro de Pasco and the samples analyzed corresponded to three treatments with three repetitions each and its Control group that were sent to Lima to the ALAB laboratory; for your analyses. The most relevant results were obtained through the statistical tests of multiple comparisons where it was obtained that 15 metals showed significant differences in treatments 1, 2 and 3, as there was no specific standard for the 35 metals analyzed, their effectiveness was determined by making comparisons with regulations. national and international such as ECA for Peru; Mexican regulations and BOPA Asturias Regulations of Spain, for land intended for industrial activities; 14 of the metals analyzed comply with the regulations for industrial soils (Antimony, Barium, Beryllium, Cobalt, Copper, Chromium, Tin, Mercury, Molybdenum, Nickel, Silver, Selenium, Thallium, Vanadium) and 9 metals comply with the regulations for agricultural soils (Barium, Beryllium, Mercury, Molybdenum, Nickel, Silver, Selenium, Thallium, and Vanadium). It is concluded that there is effectiveness for metals that have established quality standards, however there are metals that show a reduction in their concentration in the average of the treatments. Since there are no defined quality standards, it is not possible to evaluate the effectiveness of the treatments. *Porcellio laevis* on this type of elements.

KEYWORDS: bioremediation, isopod crustaceans, heavy metals, soils, pollution.

INTRODUCCION

La contaminación del suelo por metales pesados es un problema ambiental grave que tiene implicaciones en la salud humana y la seguridad alimentaria (Reyes et al., 2016). Esta contaminación se debe principalmente a la actividad antropogénica, como la minería y la industria petrolera, que liberan metales pesados en el suelo y el agua (Covarrubias & Cabriales, 2017; Arias, 2017; Cruz et al., 2023). La acumulación de metales pesados en el suelo y los vegetales es una preocupación creciente debido a sus efectos negativos en la salud y el medio ambiente (Raymundo et al., 2022).

La evaluación regional del contenido de metales pesados en suelos agrícolas es crucial para identificar áreas con problemas de contaminación (Mahecha-Pulido et al., 2015). Además, se ha encontrado que la acumulación de metales pesados en los suelos agrícolas está relacionada con el uso continuo de agroquímicos, como la fertilización fosfatada (Mendoza-Escalona et al., 2021).

La contaminación del suelo por metales pesados representa un riesgo para la salud pública, ya que estos metales pueden acumularse en los tejidos vegetales y ser consumidos por los seres humanos a través de los alimentos (Cruz et al., 2023). Algunos metales pesados, como el plomo y el arsénico, son especialmente peligrosos debido a su toxicidad y su capacidad de causar daño a largo plazo en el sistema nervioso y otros órganos (Cruz et al., 2023).

El uso de isópodos de crustáceos como bioindicadores puede justificarse en base a varios estudios. Rocha-Ramírez et al. (2009) proporcionan una lista comentada de isópodos terrestres que se relacionan con la calidad de ambiente donde viven. Esto indica que los isópodos se pueden encontrar en varios hábitats y potencialmente pueden servir como indicadores de las condiciones ambientales. Además, Quadros (2010) analiza el uso potencial de isópodos terrestres como herramientas de biomonitorio en áreas impactadas por metales pesados. El estudio sugiere que los isópodos pueden acumular metales pesados en sus tejidos, lo que los convierte en indicadores adecuados de los niveles de contaminación por metales en el medio ambiente.

Esto resalta la capacidad de los isópodos para reflejar la calidad de su hábitat y el potencial de su uso para evaluar la contaminación ambiental.

En general, las referencias sugieren que los isópodos de crustáceos pueden ser bioindicadores valiosos debido a su presencia en diversos hábitats acuáticos, su capacidad para acumular contaminantes y su potencial como indicadores de la salud y la biodiversidad de los ecosistemas. Estos hallazgos respaldan la justificación del uso de isópodos de crustáceos como bioindicadores en el seguimiento y evaluación ambiental.

Es por ello que en el siguiente estudio realizado que presento se tuvo el objetivo de Evaluar la eficacia de la biorremediación con crustáceos isópodos (*Porcellio Laevis*) para la reducción de metales pesados en suelos contaminados.

Los resultados mas relevantes es que el suelo que fue sometido a la acción de crustáceos Isópodos terrestres, mostro una disminución significativa para Pb, Cd y Ar.

CAPITULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los metales pesados pueden tener efectos perjudiciales sobre la calidad del suelo y la salud humana. La presencia de metales pesados en los suelos puede ser resultado de diversas actividades antropogénicas, como la minería y el uso de pesticidas (Martínez & González, 2017). Se ha estudiado la distribución espacial de los metales pesados en el polvo urbano, destacando la necesidad de diagnósticos rápidos y soluciones para mitigar su impacto en la salud humana (Cortés et al., 2016).

La toxicidad de los metales pesados en los suelos está asociada a su disponibilidad, la cual está influenciada por las características fisicoquímicas del suelo, incluido el pH, el potencial redox y el contenido de materia orgánica (Covarrubias et al., 2015). Un enfoque para remediar suelos contaminados con metales pesados es la biorremediación, que implica el uso de microorganismos para degradar o transformar los contaminantes (Covarrubias et al., 2015). Los microorganismos juegan un papel crucial en el proceso de biorremediación al inmovilizar o desintoxicar metales pesados en el suelo. Además, el uso de enmiendas orgánicas, como los lodos urbanos, puede mejorar las propiedades físicas de los suelos y aumentar su resistencia a las perturbaciones antropogénicas y naturales.

Los suelos sanos o suelos de calidad son fundamentales para el equilibrio de los ecosistemas tanto naturales como agrarios, también sirve de soporte para todos los seres vivos que se encuentran dentro del ecosistema, vegetales y animales.

Un suelo sano, libre de contaminantes, provee a las plantas y animales muchos nutrientes necesarios y esenciales para el buen desarrollo y crecimiento. Al hablar de la calidad de suelo nos referimos a la capacidad de un tipo específico de suelo, que sostiene la productividad de diversos productos, el desarrollo, el crecimiento de las plantas y animales.

Para el medio ambiente, la calidad de los suelos mantiene o mejora la calidad del agua y del aire, por eso debemos tener en cuenta la importancia de tener un suelo no contaminado por metales pesados, porque puede afectar no solo a la salud humana, como retrasos en el desarrollo, daños en el riñón, sino también afecta a la flora y fauna que se encuentren en el ecosistema.

Las Contaminación de suelos con metales pesados en el Perú es un problema grave que afecta tanto la salud humana como el medio ambiente. Los metales pesados, como el plomo, el arsénico y el mercurio, son altamente tóxicos y pueden acumularse en los suelos debido a actividades industriales, la minería y el uso de productos químicos. Estos metales pueden ingresar a la cadena alimentaria a través de los cultivos y representar un riesgo para la salud de las personas que consumen alimentos contaminados.

Según el estudio realizado por (Mahecha-Pulido et al., 2015), la evaluación del contenido de metales pesados en suelos agrícolas es crucial para identificar áreas con problemas de contaminación. Esto es especialmente relevante en el Perú, donde la minería es una actividad económica importante y genera grandes cantidades de residuos que contienen metales pesados (Calao & Marrugo, 2015). Además, el estudio de Raymundo et al. (2022) destaca la importancia de identificar las fuentes y los procesos que conducen a la contaminación de los suelos agrícolas por metales pesados, con el fin de lograr una producción de alimentos segura y sostenible.

La contaminación de suelos con metales pesados también puede tener efectos negativos en la salud humana. El estudio de Calao & Marrugo (2015) señala que la exposición a metales pesados puede tener efectos genotóxicos en la población humana. Un problema directo es el que ocurre en el departamento de Huánuco donde la gran mayoría de los suelos de cultivo sufren con su degradación debido al mal manejo de insecticidas y minería ilegal.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la eficacia de la biorremediación con crustáceos isópodos (*Porcellio laevis*) para la reducción de metales pesados en suelos contaminados?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es el efecto de 200, 400 y 600 unidades de *Porcellio laevis* sobre los metales pesados evaluados en los suelos sometidos a experimentación?
- ¿Cuál es la concentración de metales pesados en el suelo afectado por metales pesados antes y después de la biorremediación con los crustáceos isópodos (*Porcellio laevis*)?
- ¿Cuál será la mortalidad de los crustáceos Isópodos; en los 3 meses de experimentación?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficacia de la biorremediación con crustáceos isópodos (*Porcellio laevis*) para la reducción de metales pesados en suelos contaminados.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el efecto de 200, 400 y 600 unidades de *Porcellio laevis* sobre los metales pesados evaluados en los suelos sometidos a experimentación
- Describir la concentración de metales pesados en el suelo afectado por metales pesados antes y después de la biorremediación con los crustáceos isópodos (*Porcellio laevis*)

- Describir la mortalidad de los crustáceos Isópodos; en los 3 meses de experimentación

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación realizada fue elaborada a causa de la problemática que afrontan cientos de áreas de terreno a nivel mundial, nacional y regional, los cuales fueron contaminados por metales pesados (Cadmio, Cromo, Plomo), ya que, son un gran problema para la salud ambiental y humana, tanto de las personas y animales. Se busca mejorar la calidad del suelo mediante la biorremediación de metales pesados.

En muchos lugares del mundo donde existe pobreza y falta de saneamiento territorial de servicios básicos, los pobladores no disponen de agua potable, por lo tanto, se ven obligados a extraer agua de lagos, riachuelos, etc. Por la mala calidad del suelo muchas veces estas aguas están contaminadas, porque sabemos que el suelo es un filtrante natural, es por ello, cuando llueve los contaminantes se filtran a las aguas subterráneas o aguas superficiales.

La investigación busco usar a los crustáceos isópodos (*Porcellio laevis*) como una alternativa de biorremediación para la reducción de metales pesados en los suelos contaminados.

El estudio como resultado favorecería a la población que tengan mayores suelos contaminados por metales pesados, de cierta manera conocerán los beneficios que tienen los crustáceos isópodos para la biorremediación de dichos suelos.

En esta investigación se busco saber la eficacia que tienen los crustáceos isópodos (*Porcellio laevis*), para la reducción de metales pesados en suelos contaminados, a través de la biorremediación.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La adaptación rápida de los crustáceos isópodos (*Porcellio laevis*) al clima de Huánuco y al suelo altamente contaminado con metales pesados

resultado siendo una limitando, sin embargo, fue superada con son reposición del número de individuos según cada tratamiento.

La poca información, sobre la biorremediación de suelos contaminados por metales pesados con crustáceos isópodos (*Porcellio laevis*), es por ello que no se encontraron gran variedad de antecedentes, para contribuir a la información requerida.

Los contratiempos que puedan existir al momento de trasladar las muestras de suelo al laboratorio de la ciudad de Lima que fueron también superadas.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo a la información encontrada sobre los antecedentes, se sabe que, los crustáceos isópodos (*Porcellio laevis*), son capaces de biorremediar los suelos contaminados por metales pesados.

La investigación fue viable, ya que, se cuenta con información necesaria para adquirir dichos crustáceos isópodos (*Porcellio laevis*); esta investigación trabajo con isópodos proveniente de un criadero de Lima; al ser muy sensible y encontrar altas tasas de mortalidad después de exponerlos al suelo contaminado, se procedió a trabajar con isópodos nativos de los parques y jardines de la ciudad universitaria de la Esperanza de la Universidad de Huánuco.

Para la viabilidad de la investigación, con respecto al terreno, se formaron camas conjuntamente con hojarasca de Ficus y almendro para la alimentación de los *Porcelios laevis*.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

(Morgado et al., 2022). *Los efectos de diferentes temperaturas en la toxicidad del mercurio para el isópodo terrestre Porcellionides pruinosus.* Los cambios climáticos y la contaminación por metales son factores estresantes generalizados para los ecosistemas del suelo. Se ha informado que el mercurio (Hg), uno de los metales más tóxicos, interactúa con la temperatura. Sin embargo, en comparación con la biota acuática, se sabe poco sobre cómo la temperatura afecta la toxicidad del Hg y la bioacumulación en los organismos del suelo. Aquí, se replicaron experimentos de toxicidad y bioacumulación a 15 °C, 20 °C y 25 °C para comprender cómo las temperaturas subóptimas afectan la toxicocinética y la toxicodinámica del Hg a través del suelo. También se evaluaron la genotoxicidad y las reservas de energía para revelar posibles compensaciones en los rasgos de la historia de vida. Los resultados respaldan la complejidad de las interacciones temperatura-Hg. La supervivencia estuvo determinada principalmente por la toxicocinética, pero la toxicodinámica también jugó un papel importante en la definición de la probabilidad de supervivencia durante las primeras etapas. Los procesos que determinan la probabilidad de supervivencia fueron más rápidos a 25 °C: el modelo de Umbral General Unificado de Supervivencia (GUTS) identificó una disminución más temprana y pronunciada de la supervivencia, en comparación con 20 °C o 15 °C, pero también se acercó al umbral más rápido. A pesar de la potenciación de la genotoxicidad del Hg, la temperatura promovió una desintoxicación más rápida, ya sea aumentando las tasas de toxicocinética o los mecanismos de reparación de daños. Este aumento de la desintoxicación impulsado por el metabolismo condujo a un mayor agotamiento de las reservas de energía y probablemente desencadenó

vías de respuesta al estrés. Este trabajo enfatizó la necesidad de enfoques experimentales integrales que puedan integrar los múltiples procesos involucrados en las interacciones temperatura-metal.

(Dolar et al., 2021). *Microplásticos, clorpirifos y sus mezclas modulan procesos inmunológicos en el crustáceo terrestre Porcellio scaber*. La exposición de las cochinillas a fibras de poliéster o caucho granulado durante 3 semanas alteró los perfiles de los parámetros inmunológicos. Con 0,05%, 0,5% y 1,5% de fibras de poliéster y caucho granulado, el THC aumentó un 38%, 60% y 40%, y un 61%, 36% y 21%, respectivamente. Con números de muestra bajos, en comparación con el control relevante, estas diferencias fueron estadísticamente significativas solo para el caucho granulado al 0,05%. No se observaron respuestas claras relacionadas con la dosis entre el THC y las concentraciones de microplástico. El patrón DHC, que incluye información sobre granulocitos, semigranulocitos e hialinocitos, fue muy similar a los controles respectivos para la exposición a microplásticos. No se observaron cambios estadísticamente significativos en las viabilidades de los hemocitos. La actividad similar a PO aumentó significativamente solo con un 0,5 % de fibras de poliéster en el suelo y no se vio afectada por ninguna de las concentraciones de caucho granulado analizadas. En conclusión, aquí hemos proporcionado evidencia de que los procesos inmunológicos de *P. scaber* solo se alteran ligeramente después de 3 semanas de exposición a concentraciones ambientalmente relevantes de fibras de poliéster y caucho granulado. Estos microplásticos modulan los efectos de la exposición al clorpirifos en los procesos inmunológicos examinados en *P. scaber* aunque los resultados aquí parecen no ser internamente consistentes en ocasiones: si bien algunos de los parámetros indicaron que los microplásticos reducen la biodisponibilidad del clorpirifos, las respuestas de algunos otros Los parámetros se mejoraron en presencia de estos microplásticos. Por tanto, este estudio indica la necesidad de seguir investigando los efectos a corto y largo plazo de los microplásticos

y las mezclas químicas sobre los procesos inmunológicos de los invertebrados del suelo.

(Reis; et al. 2018). “*Impactos del manejo de la tierra en las preferencias alimentarias de la cochinilla *Porcellio dilatatus* (Isopoda: Oniscidea) a través de cambios en la calidad de la hojarasca*”. El objetivo de este artículo es evaluar los efectos indirectos de la gestión de la tierra sobre las preferencias de alimentación de los isópodos y las tasas de ingestión (independientemente de los efectos del HFA-SMI), utilizando hojarasca (*Quercus suber* L. y *Agrostis pouretti* L.) de dos cultivos de alcornoque. -bosques con una matriz de hojarasca similar pero con un manejo de la tierra distinto (sistemas orgánicos versus convencionales). Nuestra hipótesis es que las diferencias en la calidad de la cama emitida por la gestión serán más relevantes que el marco HFA-SMI para la preferencia dietética de una especie de isópodo dominante de ambos sistemas agroforestales de alcornoque. La hipótesis de que la gestión de la tierra influiría en las preferencias alimentarias y las tasas de ingestión de hojarasca por parte de las especies de isópodos fue respaldada por nuestros resultados en el caso de la hojarasca de alcornoque. Con respecto a este tipo de camada, el HFA no fue un factor importante que determine las preferencias alimentarias de *P. dilatatus*. Este resultado está en línea con hallazgos anteriores que sugieren que algunas especies de isópodos pueden preferir restos vegetales de árboles de diferentes ecosistemas, e incluso de diferentes áreas biogeográficas

(Hussein et al., 2006). “*Variación estacional en la acumulación de metales pesados en la población subtropical del isópodo terrestre *Porcellio laevis**”. Artículo científico extraído de la sciencedirect. El objetivo del presente estudio es evaluar la fluctuación estacional de metales pesados en el isópodo *Porcellio laevis* en cuatro ubicaciones subtropicales no contaminadas. Este estudio se llevó a cabo en cuatro sitios de campo diferentes en Assiut, Egipto. Las concentraciones de cadmio, plomo, cobre y zinc en animales, suelo y desechos ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) se registraron mensualmente durante el período comprendido entre junio de 2002 y mayo de 2003. Hubo poca diferencia

en las tendencias de acumulación de metales entre los sitios. En general, el isópodo mostró un aumento significativo de la concentración de Pb y Zn durante los meses de verano y primavera, mientras que este no fue el caso para Cd y Cu. Los factores de bioacumulación (BAF) y bioconcentración (BCF) de los metales revelaron marcados cambios estacionales a lo largo del año. En general, el BAF de los metales fue mayor durante el verano y la primavera, y el BCF fue mayor durante el verano y el otoño. Al comparar la acumulación de metal con las fluctuaciones climáticas (medidas), se especuló que la temperatura era el factor principal que causaba las fluctuaciones estacionales de la concentración interna de metal en el isópodo.

(Mazzei et al., 2014). *Bioacumulación de cadmio y plomo y sus efectos sobre la morfología de la hepatopáncreas en tres especies de crustáceos isópodos terrestres.* Este estudio fue diseñado para comparar la bioacumulación de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en tres especies de isópodos oniscídeos: *Armadillidium granulatum* Brandt, *Armadillidium vulgare* (Latreille) y *Porcellio laevis* Latreille que estuvieron expuestas durante tres semanas a una dieta contaminada, y para determinar Los cambios morfológicos y ultraestructurales en el hepatopáncreas. La acumulación de metal, determinada mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), se asoció linealmente con la concentración expuesta y fue función del metal y las especies analizadas. Las tres especies acumularon niveles más bajos de Pb que de Cd. *A. vulgare* acumuló la mayor concentración de Pb, especialmente en las dosis más altas, mientras que *P. laevis* mostró la mayor acumulación de Cd, y la concentración más alta de Cd fue letal para todas las especies expuestas. Las concentraciones más altas de Pb y Cd indujeron cambios significativos tanto en la morfología general de los túbulos como en la organización ultraestructural de las células epiteliales en el hepatopáncreas. Algunas alteraciones inducidas por Pb/Cd incluyen: desorganización del borde en cepillo; reducción del laberinto basal formado por la membrana plasmática; condensación de algunas áreas del citoplasma y de la

cromatina; retículo endoplásmico rugoso y alteraciones mitocondriales; Aumento de lisosomas secundarios y de gránulos tipo B en células S. Algunos de los cambios ultraestructurales observados se superponen con los inducidos por la inanición prolongada, mientras que otros pueden ser biomarcadores útiles de la toxicidad de los metales pesados. Este estudio ha confirmado que en los isópodos terrestres la acumulación de los diferentes metales se produce de forma específica para cada especie; por lo tanto, los estudios de seguimiento y evaluación ecológicos deben considerar cada especie individualmente. La investigación ha confirmado que en los isópodos terrestres la acumulación de los diferentes metales se produce de forma específica para cada especie; por lo tanto, cada especie debe evaluarse primero en vista de su empleo en programas de biomonitoreo.

(Raessler et al., 2005); en el artículo que lleva el nombre de: *“Determinación precisa de Cd, Cr, Cu y Ni en cochinillas y sus pieles: ¿es la muda un medio de desintoxicación?”*. Se determinaron Cd, Cr, Cu y Ni en dos especies diferentes de cochinillas: *Porcellio scaber* y *Porcellio dilatatus*. Tanto *P. scaber* como *P. dilatatus* se cultivaron en condiciones estandarizadas en una cámara climática. Además, se recogieron y analizaron por separado pieles de los animales cultivados para examinar si la muda es una forma de desintoxicación de estos elementos. Después de secar y moler muestras de piel y animales, se combinaron para obtener suficiente material de muestra para cada especie. Las muestras agrupadas se digirieron en ácido nítrico concentrado puro mediante digestión a alta presión asistida por microondas y, finalmente, se analizaron mediante ICP-OES. Se dio especial énfasis al control de calidad. Para que la matriz de las muestras coincidiera muy estrechamente, se utilizaron los materiales de referencia Dorm-2, Dogfish Muscle (*Squalus acanthias*) y SRM 1577b Bovine Liver para evaluar todo el proceso analítico, incluida la digestión de las muestras. Los análisis de los elementos de los materiales de referencia se llevaron a cabo utilizando tres longitudes de onda diferentes para cada elemento simultáneamente para comprobar las interferencias

espectrales y seleccionar las longitudes de onda que mejor se adaptaban a los análisis. Las concentraciones de Cd, Cr, Cu y Ni en las cochinillas y sus pieles indicaron que la muda es un posible medio de desintoxicación en el caso del Cr y el Ni.

(Ghemari,2020). En su estudio titulado: *Respuestas fisiológicas e histopatológicas de Porcellio laevis (Isopoda, Crustacea) como indicadores de contaminación por oligoelementos metálicos*. Este estudio fue diseñado para evaluar el impacto de la mezcla de cadmio (Cd) y zinc (Zn) sobre la bioacumulación y los cambios ultraestructurales en el hepatopáncreas de *Porcellio laevis* (Latreille, 1804) después de 4 semanas de exposición a hojas de *Quercus* contaminadas en laboratorio. condiciones. Para cada metal, se utilizaron cuatro concentraciones con cuatro réplicas para cada concentración. Las concentraciones de metales en el hepatopáncreas y el resto del cuerpo se determinaron mediante espectrometría de absorción atómica. Desde la primera semana hasta el final del experimento, se observó un aumento de peso en *P. laevis*, particularmente entre el primer y el final de la exposición, de $93,3 \pm 18,22$ mg fw a $105,22 \pm 16,16$ mg fw y de $106,4 \pm 22,67$ mg fw a $125,9. \pm 23,9$ mg fw para Mix1 y Mix4, respectivamente. Además, las concentraciones de oligoelementos metálicos (MTE) determinadas en el hepatopáncreas fueron considerablemente más altas en comparación con las del resto del cuerpo y parecen depender de la dosis. Mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM), se resaltaron algunas alteraciones en el hepatopáncreas. Las principales alteraciones observadas fueron (a) la destrucción del borde de las microvellosidades en una porción considerable de las células, (b) el aumento de las gotitas de lípidos con diferentes formas y tamaños, (c) el aumento en el número de mitocondrias y (d) la aparición de TE en forma de gránulos de tipo B. Los resultados obtenidos confirmaron la capacidad de *P. laevis* para lidiar con altas cantidades de MTE, sugiriendo su posible uso en futuros programas de biomonitoreo del suelo.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

La investigación realizada por Bautista-Medina (2020) se centra en *la toxicidad del lodo de perforación minera en el bioindicador Porcellio laevis*. El objetivo del estudio es evaluar la toxicidad del lodo de perforación y proporcionar un protocolo para investigaciones futuras en Perú. Los resultados del estudio sirven como referencia para evaluar la toxicidad del lodo de perforación minera y pueden ser utilizados en investigaciones futuras. La investigación contribuye a la comprensión del impacto ambiental potencial de las actividades mineras en *Porcellio laevis* y proporciona información valiosa para la gestión ambiental y los esfuerzos de conservación. *Porcellio laevis*, comúnmente conocido como cochinilla de humedad, es una especie de crustáceo que se utiliza a menudo como bioindicador en estudios ambientales. Es sensible a los cambios en su entorno y puede proporcionar información sobre los efectos de los contaminantes en los ecosistemas. En este estudio, los investigadores expusieron a *Porcellio laevis* al lodo de perforación y evaluaron su toxicidad utilizando una prueba de evasión. Los resultados mostraron que el lodo de perforación tenía un efecto tóxico en *Porcellio laevis*, lo que indica un posible daño a la especie y al ecosistema circundante. La investigación realizada por Yadira (2020) es significativa, ya que destaca el impacto ambiental potencial de las actividades mineras en *Porcellio laevis* y enfatiza la importancia de monitorear y gestionar la eliminación del lodo de perforación para minimizar el daño a los ecosistemas. Los hallazgos de este estudio pueden ser utilizados para informar las regulaciones y prácticas ambientales en la industria minera para garantizar la protección de la biodiversidad y la salud del ecosistema.

(Muñoz-Silva; 2019). *En su investigación titulada: Microorganismos tolerantes a metales pesados del pasivo minero Santa Rosa, Jangas (Perú)*. El estudio descubrió una microflora de hongos y bacterias en el suelo que mostraba resistencia a los metales pesados. Estos microorganismos tienen el potencial de actuar como promotores del crecimiento de las plantas, protegiéndolas de los efectos tóxicos de los

metales. Además, también pueden desempeñar un papel en la bioacumulación y reducción de metales pesados. Los resultados del estudio realizado por Muñoz sobre microorganismos tolerantes a metales pesados en el sitio minero Santa Rosa en Jangas, Perú, revelaron el potencial de estos microorganismos para aplicaciones en biorremediación. Los investigadores estudiaron el grado de tolerancia a los metales pesados en hongos y bacterias aislados de suelos con y sin rizosfera. Los hallazgos proporcionan información valiosa sobre el uso potencial de estos microorganismos en la remediación de ambientes contaminados con metales pesado.

(Aportela & Paulino, 2020); en su investigación titulada: *Evaluación de metales pesados en ríos y truchas *Oncorhynchus mykiss* de la región Pasco, Perú*. tuvo como objetivo determinar la presencia de metales pesados en los ríos San Juan, Huallaga, Tingo Palca y la laguna de Punrún, así como en las truchas *Oncorhynchus mykiss* cultivadas en piscigranjas locales. Los resultados de la investigación mostraron que los ríos y la laguna de la región Pasco presentaban niveles elevados de metales pesados, como plomo, cadmio y mercurio. Estos metales pueden ser perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. Además, se encontró que las truchas *Oncorhynchus mykiss* también contenían niveles significativos de metales pesados, lo que indica una posible contaminación de las piscigranjas. Las conclusiones de la investigación resaltaron la importancia de monitorear y controlar la presencia de metales pesados en los cuerpos de agua y en los alimentos acuáticos, como las truchas. Se recomendó implementar medidas de mitigación y remediación para reducir la contaminación por metales pesados en la región Pasco. Además, se resaltó la necesidad de concientizar a la población sobre los riesgos asociados con la ingesta de alimentos contaminados con metales pesados. En resumen, la investigación encontró altos niveles de metales pesados en los ríos y truchas de la región Pasco, Perú, lo que indica una posible contaminación ambiental. Estos hallazgos resaltan la importancia de implementar medidas de control y mitigación para reducir la presencia

de metales pesados en el agua y los alimentos acuáticos, así como de concientizar a la población sobre *los riesgos asociados con la ingesta de alimentos contaminados con metales pesados*.

Cruz, V. A. d. I., Huamán; 2023. En su investigación: *Uso de estiércol y aserrín en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo, Huancavelica, Perú*. El objetivo del estudio fue investigar el uso de estiércol y aserrín en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en Huancavelica, Perú. Como objetivos secundarios busco evaluar la efectividad de estas enmiendas orgánicas para promover la degradación de los hidrocarburos y mejorar la calidad del suelo. Los resultados del estudio mostraron que la adición de estiércol y aserrín mejoró significativamente la biodegradación de los hidrocarburos de petróleo en los suelos contaminados. Las enmiendas orgánicas proporcionaron una fuente de nutrientes y carbono para las poblaciones microbianas autóctonas, que desempeñaron un papel crucial en el proceso de degradación. El estudio encontró que la combinación de estiércol y aserrín dio como resultado tasas de degradación de hidrocarburos más altas en comparación con el grupo de control sin ninguna enmienda. Además, el estudio también evaluó el impacto del proceso de biorremediación en los parámetros de calidad del suelo. Se observó que la adición de estiércol y aserrín mejoró la fertilidad del suelo y aumentó la actividad microbiana. Las enmiendas orgánicas mejoraron la capacidad del suelo para retener la humedad y los nutrientes, que son esenciales para el crecimiento de las plantas. En general, el estudio concluyó que el uso de estiércol y aserrín puede ser un enfoque eficaz y sostenible para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo. Resumiendo, el estudio de investigación tuvo como objetivo investigar el uso de estiércol y aserrín en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en Huancavelica, Perú. Los resultados demostraron que la adición de estas enmiendas orgánicas mejoró significativamente la degradación de los hidrocarburos y mejoró la calidad del suelo. El estudio concluyó que el uso de estiércol y aserrín puede ser una

estrategia viable y sostenible para la remediación de suelos contaminados.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Gómez (2015). *Biorremoción de plomo en soluciones acuosas medidas por microalgas a escala de laboratorio. Universidad Agraria de la Selva, Perú.* Este estudio tuvo como objetivo proponer un método alternativo basado en la capacidad de los microorganismos para biotransformarse y acumular plomo. En concreto, la investigación se centró en evaluar el nivel de biorremediación del plomo en medios acuosos mediados por microalgas a escala de laboratorio. Metodología: El estudio evaluó el nivel de resistencia y capacidad de biorremediación de microalgas en diferentes concentraciones de plomo (10 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L y 200 mg/L) en fotobiorreactores con un volumen de trabajo de 570 mL. El crecimiento de las microalgas en diferentes concentraciones de plomo se determinó evaluando su resistencia al metal y midiendo su crecimiento cada 3 días durante un período de 15 días mediante el método de conteo en cámara de Newbauer. Resultados: Los resultados mostraron que el nivel de biorremediación en el sistema de fotobiorreactor de columna tuvo una eficiencia del 94,72% después de 10 días, lo que indica que es un método eficiente y rentable para remediar agua contaminada con metales. La identificación de géneros de microalgas se realizó mediante claves taxonómicas. Se concluyó que las microalgas alcanzaron un alto nivel de eficiencia de biorremediación al décimo día de evaluación, con una capacidad máxima de adsorción de 13,86 g/L. Además, se encontró que el modelo de Freundlich describía mejor los datos de equilibrio del proceso de adsorción durante un período de evaluación de 15 días. Discusión: Los hallazgos de este estudio son consistentes con investigaciones previas sobre la biorremediación de metales pesados en aguas contaminadas. El uso de microalgas como agente biorremediador ha sido ampliamente estudiado debido a su capacidad para acumular y transformar metales. La alta eficiencia de la biorremediación del plomo observada en este estudio sugiere que las microalgas pueden ser una herramienta

prometedora para la remediación de aguas contaminadas con metales. Conclusión: En conclusión, este estudio demostró la alta eficiencia de la biorremediación de plomo mediada por microalgas en soluciones acuosas a escala de laboratorio. Los resultados respaldan el uso de fotobiorreactores como método rentable para el tratamiento de aguas contaminadas con metales. La identificación de géneros de microalgas y la aplicación del modelo de Freundlich contribuyen aún más a nuestra comprensión del proceso de biorremediación. Se necesita más investigación para optimizar el proceso de biorremediación y ampliarlo para aplicaciones prácticas en escenarios del mundo real.

Huayasco (2020) en su tesis: *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburo mediana por Pseudomonas spp. en biorreactores, Universidad Agraria de la Selva, Perú*. La siguiente investigación tuvo como objetivo analizar el efecto que causan las pseudomonas en varias dosis sobre suelos contaminados con hidrocarburos para esta investigación se utilizó un suelo contaminado de las empresas de petróleo de la selva los cuales fueron evaluados en sus diversas características como pH humedad textura. Después de ello se procedió a la extracción de los hidrocarburos mediante el instrumento llamado soxhlet. A través de ellos se cuantificó la cantidad de hidrocarburos que tenía después de ellos se aplicó las cepas de pseudomonas para cada tratamiento fueron 20 ML 40 ML y 80 ML sus respectivos tratamientos cada biorreactor estaba compuesto también con glucosa y fueron evaluados el primer día El séptimo día y el 14avo día. Lo que se demostró dentro de la investigación es que las pseudomonas disminuyeron los hidrocarburos que fueron sometidos al experimento por lo cual se concluye con una gran eficiencia en los hidrocarburos totales de petróleo que fueron los parámetros que disminuyeron notablemente toda esta información fue evaluada a través de la prueba anova y el test de tukey que permitieron corroborar la hipótesis de investigación que las pseudomonas degradan los hidrocarburos.

Cuyubamba (2020); en su investigación titulada: *Evaluación de la influencia del cadmio y plomo disponible en el suelo sobre la densidad del bioindicador (Eisenia foetida) en los cultivos de cacao (teobroma cacao), Huamalies, Huánuco – 2020*; La siguiente investigación evaluó la concentración de metales presente en suelos cultivados de cacao donde habitaban las lombrices de tierra todo esto constituyó el área de estudio para lo cual se hicieron cinco calicatas de un metro por un metro con una profundidad de 30 cm. Se tomaron cinco muestras de un kilogramo y se evaluaron las lombrices. Los resultados indican que las lombrices se comportan como indicadores de la presencia de metales pesados en los suelos y que posiblemente estas puedan lograr la absorción de los metales en el cual se realiza un análisis especial que corrobora que las lombrices absorben cadmio y plomo con mayor porcentaje a la vez se demuestra que la necesidad poblacional de lombrices influye directamente en la concentración de cadmio a diferencia del plomo cuya densidad poblacional del lombrices no influye en la presencia de este metal.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS

La biorremediación de suelos es una técnica utilizada para tratar suelos contaminados, en la cual se emplean microorganismos o plantas para degradar o transformar los contaminantes presentes en el suelo. Esta técnica se considera una alternativa segura y económica en comparación con otros métodos de remediación (Flores-Paucarima & Vitteri-Zumarán, 1999). La biorremediación puede ser aplicada in situ, es decir, directamente en el lugar contaminado, utilizando microorganismos autóctonos presentes en el suelo (Mesa et al., 2006). También se puede utilizar la bioestimulación, que consiste en agregar nutrientes o sustancias que promueven el crecimiento y actividad de los microorganismos degradadores. Otra opción es la bioaumentación, que implica la adición de microorganismos exógenos al suelo para acelerar la degradación de los contaminantes. En el caso de suelos contaminados

con hidrocarburos, la biorremediación ha demostrado ser efectiva en la degradación de estos compuestos. Los microorganismos presentes en el suelo tienen la capacidad de degradar una amplia gama de hidrocarburos (Mesa et al., 2006) . Además, se ha encontrado que la adición de enmiendas orgánicas al suelo puede mejorar la actividad microbiana y aumentar la degradación de los hidrocarburos (Alvaro et al., 2014) . En cuanto a la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados, se ha demostrado que las plantas y los microorganismos rizosféricos pueden ser utilizados para remover, contener o retener estos contaminantes. Esta técnica es considerada de bajo costo y con ventajas significativas (Rojas & Vivanco-Galván, 2018). En resumen, la biorremediación de suelos es una técnica sustentable y efectiva para tratar suelos contaminados. Ya sea mediante la utilización de microorganismos autóctonos, la adición de nutrientes para estimular la actividad microbiana o la introducción de microorganismos exógenos, la biorremediación puede ser aplicada tanto en suelos contaminados con hidrocarburos como con metales pesados. Esta técnica ofrece una alternativa segura, económica y amigable con el medio ambiente para la recuperación de suelos contaminados.

2.2.2. TIPOS DE BIORREMEDIACIÓN

Existen diferentes tipos de biorremediación que se pueden aplicar dependiendo de las características del suelo y del tipo de contaminante.

- **La biodegradación aerobia**, que consiste en utilizar microorganismos aerobios para degradar los hidrocarburos presentes en el suelo (Alvaro et al., 2017). Este tipo de biorremediación es especialmente efectivo en suelos contaminados con hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera (Alvaro et al., 2017).
- **La bioestimulación**, que consiste en agregar nutrientes al suelo para promover el crecimiento de microorganismos degradadores de hidrocarburos (Ortiz et al., 2018). Se ha encontrado que la proporción óptima de carbono, nitrógeno y fósforo para llevar a

cabo la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos es de 100:10:1 (Ortiz et al., 2018).

- **La bioaumentación** es otro tipo de biorremediación que implica la adición de microorganismos degradadores de hidrocarburos al suelo (Ortiz et al., 2006). Estos microorganismos autóctonos utilizan los hidrocarburos como fuente de carbono y los degradan en sustancias gaseosas (Ortiz et al., 2006).
- **Agregado de enmiendas orgánicas** al suelo puede optimizar la actividad microbiana y promover una mayor degradación de los hidrocarburos (Alvaro et al., 2014). Estas enmiendas orgánicas pueden ser utilizadas en procesos de biorremediación de suelos contaminados con petróleo (Alvaro et al., 2014).
- **La fitorremediación** es otra estrategia de biorremediación que utiliza plantas para remover contaminantes del suelo (Arias, 2017). Esta técnica se ha utilizado con éxito en la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos (Arias, 2017).

2.2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA BIORREMEDIACIÓN

La biorremediación de suelos es un proceso utilizado para mitigar la contaminación del suelo y restaurar su calidad. Se basa en el uso de microorganismos, como bacterias y hongos, para degradar y descomponer los contaminantes presentes en el suelo (Pojmaevich et al., 2020). Estos microorganismos tienen la capacidad de utilizar los contaminantes como fuente de alimento y energía, transformándolos en compuestos menos tóxicos o no tóxicos (Covarrubias et al., 2015).

La eficacia de la biorremediación de suelos depende de varias características del suelo y de los contaminantes presentes. Por ejemplo, la toxicidad de los contaminantes está relacionada con la fracción disponible que es asimilada por los seres vivos, la cual está determinada por las características fisicoquímicas del suelo, como el pH, el potencial redox y la materia orgánica (Covarrubias et al., 2015). Además, la presencia de metales pesados en el suelo puede afectar la actividad de

los microorganismos y limitar su capacidad de degradar los contaminantes (Covarrubias et al., 2015).

La biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos ha demostrado ser una técnica eficaz y económicamente viable (Pojmaevich et al., 2020). A diferencia de otros métodos de remediación, la biorremediación no genera otros residuos que requieran ser tratados y es amigable con el medio ambiente (Pojmaevich et al., 2020). Sin embargo, la eficacia de la biorremediación puede verse afectada por las características del suelo, como su composición y pH, así como por la presencia de otros compuestos que puedan inhibir la actividad de los microorganismos (Alvaro et al., 2017).

Además de los microorganismos, otros factores pueden influir en la eficacia de la biorremediación de suelos. Por ejemplo, la adición de enmiendas orgánicas, como la vermicomposta, puede mejorar las características del suelo y promover la actividad de los microorganismos (Yañez-Ocampo et al., 2020). También se ha investigado el uso de cepas bacterianas específicas con capacidad de degradar plaguicidas para la biorremediación de suelos contaminados con estos compuestos (Estrada-Gamboa, 2023).

2.2.4. CRUSTÁCEOS ISÓPODOS DE SUELO COMO BIOINDICADORES

Los crustáceos isópodos de suelo son utilizados como bioindicadores debido a su sensibilidad a los cambios ambientales y su respuesta a la calidad del suelo. Estos organismos son considerados parte de la macrofauna del suelo, la cual se utiliza como indicador de la salud y calidad del suelo (Cuellar et al., 2020). La presencia y abundancia de crustáceos isópodos en el suelo puede reflejar cambios en las condiciones edafoclimáticas y en la composición de la comunidad biológica del suelo. Además, se ha demostrado que los crustáceos isópodos pueden ser utilizados como indicadores del cambio en el uso del suelo, lo cual es un desafío importante en la actualidad.

Los crustáceos isópodos también han sido utilizados como bioindicadores en estudios de contaminación del suelo. Por ejemplo, se ha evaluado la presencia de colémbolos y crustáceos isópodos en suelos contaminados con hidrocarburos, demostrando su capacidad para indicar la calidad del suelo en estas condiciones. Además, se ha propuesto el uso de isópodos terrestres como biomonitores en áreas contaminadas por metales pesados, en combinación con la fitorremediación, para aumentar el éxito de los proyectos de restauración ecológica (Quadros, 2010).

Es importante destacar que los crustáceos isópodos no son los únicos bioindicadores utilizados en estudios de calidad del suelo. Otros organismos, como los nematodos, las hormigas y los colémbolos, también se utilizan como indicadores de la salud y calidad del suelo. Estos bioindicadores pueden proporcionar información valiosa sobre la fertilidad del suelo, la presencia de contaminantes y los cambios en la comunidad biológica del suelo (Muñoz-Rojas et al., 2021; Romero et al., 2016; Alves et al., 2021).

2.2.5. PORCELLIO LAEVIS

Porcellio laevis, también conocido como isópodo liso, es una especie de isópodo terrestre. Es una especie introducida que se ha encontrado en diversos lugares del mundo. Se ha descubierto que es uno de los isópodos no nativos más abundantes en ciertas áreas, y representa aproximadamente el 30 % de todos los individuos no hormigas capturados (Staubus et al., 2019). *Porcellio laevis* también se ha encontrado en hábitats de estepa en la región de Kostanay en Kazajstán y en áreas de estepa forestal en Siberia occidental (Bragina & Khisametdinova, 2018).

Se ha registrado en varias regiones, incluidas regiones áridas de Túnez y áreas preservadas de Túnez (Khila et al., 2018; Khemaissia et al., 2017). La cutícula de *Porcellio laevis* es más delgada en comparación con otras especies de isópodos terrestres (Khemaissia et al., 2018).

Además, *Porcellio laevis* ha sido estudiado por su uso potencial como fertilizante en el cultivo de plántulas de lechuga, observándose efectos positivos sobre la emergencia y la calidad de las plántulas (Arin & Dinçsoy, 2020). En general, *Porcellio laevis* es una especie introducida de isópodo terrestre que se ha encontrado en varios hábitats y tiene el potencial de impactar los ecosistemas nativos. Su abundancia y actividad no se ven significativamente afectadas por la fragmentación del hábitat y ha sido estudiado por su uso potencial como fertilizante en la agricultura.

Tabla 1

Categoría taxonómica del Porcellio laevis Latreille, 1804

Reino	Animalia
Phylum	Arthropoda
Subphylum	Crustácea
Clase	Malacostraca
Orden	Isópoda
Suborden	Oniscidea
Familia	Porcellionidae
Género	<i>Porcellio</i>

Nota: La tabla 1 describe la taxonomía del *Porcellio*. Tabla extrada de (ITIS, 2017).

Figura 1

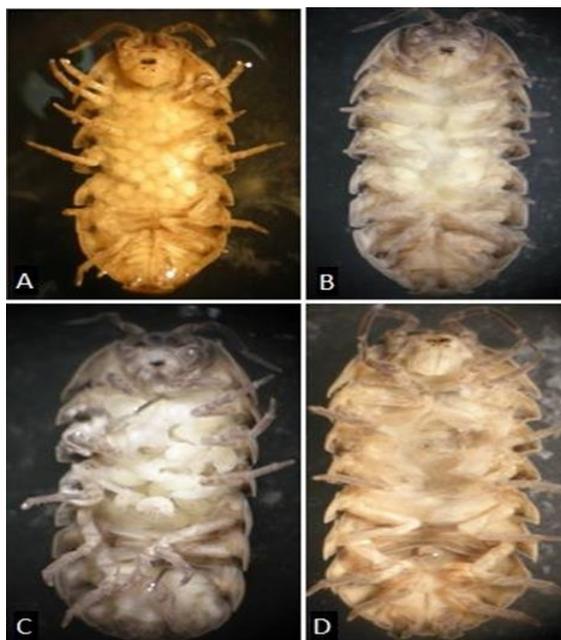
Porcellio laevis e inicio de muda



Nota: en la figura 1 se puede observar las características del crustáceo isópodo, y su muda, que realizan en primera etapa la parte anterior y la segunda etapa la parte inferior con la finalidad de no deshidratarse.

Figura 2

Crecimiento de crías en la placa marsupial de crustáceos Isópodos



Nota: **en** la figura 2 se observa *Armadillidium vulgare* Latreille, 1804. Hembras ovígeras (A) con huevos, (B) con embriones, (C) con mancas, (D) hembra post ovígera (marsupio vacío) tomado de (Waller-Panzardi, 2012). Se observa también la relación directa de los pleopodos y su función en la protección de los embriones.

2.2.6. IMPORTANCIA DE LOS CRUSTÁCEOS ISÓPODOS

Los isópodos, también conocidos como crustáceos terrestres, son un componente importante de los ecosistemas del suelo debido a sus funciones ecológicas y aportes a la calidad del suelo (Preciado & Martínez, 2015). Desempeñan un papel crucial en el ciclo de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica y la formación de la estructura del suelo. Los isópodos participan en la descomposición del material vegetal y contribuyen a la liberación de nutrientes, como nitrógeno y fósforo, de regreso al suelo. Sus actividades de excavación también mejoran la agregación del suelo, mejorando la porosidad del suelo y la infiltración de agua. Los isópodos pueden servir como indicadores de la salud del suelo y utilizarse como bioindicadores para evaluar el impacto de los cambios en el uso de la tierra y las prácticas de gestión en la calidad del suelo (Arias-Álvarez et al., 2022). Los estudios han demostrado que la composición y abundancia de los isópodos puede variar dependiendo del tipo de cobertura vegetal y uso del suelo. Los

cambios en el uso de la tierra, como la deforestación o las prácticas agrícolas, pueden afectar la diversidad y abundancia de isópodos, lo que a su vez puede tener efectos en cascada sobre los procesos del suelo y el funcionamiento de los ecosistemas. Además de sus funciones ecológicas, los isópodos también sirven como fuente de alimento para otros organismos en la red alimentaria del suelo. Son presa de varios depredadores, incluidas aves, mamíferos y otros invertebrados, lo que contribuye a la biodiversidad general y a las interacciones tróficas en los ecosistemas del suelo.

2.2.7. CICLO DE VIDA DE CRUSTÁCEOS ISÓPODOS

Según (Saluso, 2001); menciona que el ciclo de vida de los isópodos es de aproximadamente 41 meses y cuenta con cinco estados o fases de crecimiento que son:

Huevo: Esta se encuentran ubicadas en la bolsa marsupial cómo se indica en la figura 2 en esta etapa duran aproximadamente entre 3 a 7 semanas y los huevos llegan a medir 0.7 de diámetro por lo general son de un color blanco y las hembras pueden albergar entre 7 hasta 200 huevos en su bolsa marsupial.

Manca marsupial: Es una fase que dura de 6 a 9 semanas una vez que eclosionan los huevos las pequeñas mangas van a permanecer en su marsupio la característica más resaltante de estos isópodos en esta etapa son que su coloración es blanca y tienen los ojos negros y saltones.

Manca juvenil: Esta etapa inicia cuando las bancas emergen de la bolsa marsupial hasta realizar su segunda muda en esta etapa la longitud que alcanzan es de un milímetro siguen siendo de color blanco y ya son capaces de alimentarse por sí solas. Al cabo de tres semanas ya tienen una longitud de 2 a 3 mm cabe Resaltar que las mangas juveniles no salen todas al mismo tiempo del marsupio sino lo van realizando por cada camada.

Juvenil: Esta etapa empieza después de la segunda muda y tiene la característica que los pequeños juveniles tienen todas las características morfológicas de un adulto lo único que los diferencia es el pequeño tamaño.

Adulto: Según este estudio las especies adultas llevan esta denominación a partir de los 25 meses de edad donde ya son capaces de entrar a etapa reproductiva del mismo modo esta fase realiza mudas cada dos meses cabe indicar que estas especies tienen una muda en particular ya que primero mudan la parte anterior de su cuerpo y después la parte posterior todo ello con la finalidad de evitar que pierdan humedad y se des sequen.

2.2.8. METALES PESADOS QUE CAUSAN IMPACTO AL SUELO

Los metales pesados son una preocupación importante en la contaminación del suelo debido a su impacto potencial en el medio ambiente y la salud humana. La acumulación de metales pesados en el suelo, el agua y los tejidos vegetales supone un riesgo para la salud pública (Mendoza-Escalona et al., 2021). Si bien algunos metales pesados pueden encontrarse naturalmente en el suelo, las actividades antropogénicas contribuyen al aumento de las concentraciones de estos contaminantes (Hernández & Hernández, 2022). Factores como el pH del suelo, el potencial redox, la composición iónica, la capacidad de intercambio catiónico y aniónico, la presencia de carbonatos, la materia orgánica y la textura pueden influir en la movilización de metales pesados en el suelo (Rivera & Lázaro, 2022). La contaminación del suelo por metales pesados es un problema global y local que compromete la seguridad alimentaria y la salud pública (Reyes et al., 2016). Es necesario un diagnóstico rápido para encontrar soluciones y mitigar los posibles efectos de los metales pesados en la salud de la población (Cortés et al., 2016). En Perú, los suelos de las zonas mineras se ven particularmente afectados por metales pesados, causando graves daños al medio ambiente (Gonzales et al., 2021).

2.2.9. MOVILIDAD Y BIODISPONIBILIDAD DE METALES

Ministerio del Ambiente (2014) afirma que los metales se encuentran distribuidos en el ambiente y se encuentran fijos a las partículas de los suelos. Asimismo, estas distribuciones se pueden originar por otros factores como lo es la acción de la naturaleza, lluvias, aire entre otros. Estos movimientos pueden originar grandes peligros, debido a que contaminan los recursos como el suelo, agua, generando pérdidas en la agricultura, y peligro en la salud de las personas. La movilización de los metales se origina por la acción del aire, asimismo, como las precipitaciones que dispersan los metales por la acción de arrastre, llegando a zonas, terrenos de agricultura o en aguas de ríos, causando gran toxicidad a la población. Es decir, que esos movimientos de los metales se realizan debido a la acción biológica, donde se relaciona lo sólido – líquido y la acción del agua.

2.2.10. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS METALES PESADOS

Los metales pesados son elementos minerales que pueden acumularse en el suelo, el agua y los tejidos vegetales, lo que representa un riesgo para la salud pública (Mendoza-Escalona et al., 2021). La contaminación por metales pesados en el suelo es una problemática grave que afecta tanto a nivel global como local, comprometiendo la seguridad alimentaria y la salud pública (Reyes et al., 2016).

La movilización de los metales pesados en el suelo está influenciada por diversas características del suelo, como el pH, el potencial redox, la composición iónica de la solución del suelo, la capacidad de intercambio catiónico y aniónico, la presencia de carbonatos, la materia orgánica y la textura, entre otras (Rivera & Lázaro, 2022). Estos factores pueden afectar la disponibilidad y la movilidad de los metales pesados en el suelo, lo que a su vez puede influir en su absorción por las plantas y su posterior transferencia a la cadena alimentaria.

La presencia de metales pesados en el suelo puede tener efectos negativos en la calidad de las plantas cultivadas en ese suelo. Estudios han demostrado que la aplicación de biosólidos, que contienen metales pesados, en el suelo puede afectar la calidad de las plantas de maíz y aumentar el contenido de metales pesados en las mismas, así como alterar las características químicas del suelo (González-Flores et al., 2017). Esto resalta la importancia de evaluar cuidadosamente las dosis de biosólidos aplicadas en el suelo y sus posibles efectos en la calidad de las plantas y la salud humana.

Tabla 2

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

Parámetros en mg/kg PS (2)	Suelo Agrícola (3)	Suelo Residencial/ Parques (4)	Suelo Comercial (5) / Industrial/ Extractivo (6)
Arsénico	50	50	140
Bario total (15)	750	500	2000
Cadmio	1,4	10	22
Cromo total	**	400	1000
Cromo VI	0.4	0.4	1.4
Mercurio	6.6	6.6	24
Plomo	70	140	800
Cianuro Libre	0.9	0.9	8

Nota: En la tabla 2 se visualiza los estándares de calidad ambiental extraídos de la norma técnica 011-2017-MINAM; donde se visualiza los niveles aceptables de metales solo en caso del cromo ** no aplica para suelo agrícola.

2.2.11. EFECTOS DE LOS METALES EN LOS SUELOS

2.2.11.1. PLOMO

La contaminación por plomo en el suelo puede tener efectos perjudiciales tanto para el medio ambiente como para la salud humana. Varios estudios han investigado el impacto del plomo en el suelo y los posibles métodos de remediación. La cuantificación del contenido de plomo en el suelo es esencial para evaluar los niveles de contaminación e implementar estrategias de remediación adecuadas. Los estudios longitudinales también son cruciales para comprender los efectos de la exposición al plomo en la salud y su interacción con otros factores. Además, la quema de

cultivos puede tener efectos perjudiciales sobre las propiedades del suelo y la calidad del aire.

2.2.11.2. BARIO

El riesgo ecológico de la barita (BaSO_4) mediante pruebas ecotoxicológicas con doce organismos (Paredes & Miglio, 2018). El bario tiene un efecto negativo del bario sobre el crecimiento foliar de la planta terrestre *Z. mays*, con una concentración efectiva (CE50) de 0,0011 g/l y una concentración sin efecto observado (CENO) de 0,0002 g/l. Este estudio proporciona evidencia directa del impacto negativo del bario en el crecimiento de las plantas, lo que podría tener implicaciones para la calidad del suelo. Un estudio sobre suelos de cementerios encontró que las concentraciones de bario, junto con otros metales traza, eran generalmente más altas en los suelos del cementerio en comparación con el área circundante (Vélez et al., 2019).

2.2.11.3. CADMIO

El cadmio es un metal pesado que puede tener efectos perjudiciales sobre el suelo. Varios estudios han investigado el impacto del cadmio en diferentes aspectos de la salud del suelo y el crecimiento de los cultivos. Un estudio de Rofner et al. (2019) analizaron el pH y la absorción de cadmio en almendras de cacao orgánico en Leoncio Prado, Huánuco, Perú. Los resultados mostraron que el pH promedio del suelo fue de 5,68, con cadmio disponible en el suelo de 0,32 $\mu\text{g g}^{-1}$. Se encontró que el contenido de cadmio en las almendras de cacao era de 0,98 $\mu\text{g g}^{-1}$. Este estudio destaca la presencia de cadmio en el suelo y su potencial absorción por los cultivos.

2.2.11.4. CROMO

Se han estudiado ampliamente los efectos del cromo sobre la calidad del suelo. El cromo, como metal pesado, puede tener

efectos perjudiciales sobre la salud y la fertilidad del suelo (Gutiérrez et al., 2017). Varios estudios han investigado el impacto del cromo en diversas propiedades del suelo e indicadores de calidad del suelo. Un estudio de Gutiérrez et al. (2017) revisaron el uso potencial de propiedades químicas como indicadores de la calidad del suelo. Los autores enfatizaron la importancia de comprender y evaluar la calidad del suelo en los sistemas agrícolas, particularmente en relación con los impactos de diferentes prácticas de manejo en la sostenibilidad del suelo.

2.2.11.5. MERCURIO

El mercurio tiene un efecto negativo en el suelo y puede ser generado por diversas fuentes. Según Díaz (Díaz, 2015), algunas fuentes generadoras de mercurio en el ambiente incluyen emisiones volcánicas, incendios forestales, deposiciones atmosféricas, deforestación, erosión de suelos naturalmente enriquecidos con mercurio y quema de biomasa. Estas actividades contribuyen a la acumulación de mercurio en el suelo.

La contaminación del suelo con mercurio puede tener consecuencias para los microorganismos presentes en él. Zapata et al. (2017) realizaron un estudio en suelos contaminados con mercurio y evaluaron el efecto de la lombriz roja californiana sobre el crecimiento de microorganismos. Los resultados mostraron que la presencia de esta lombriz tuvo un efecto positivo en el crecimiento de los microorganismos en suelos contaminados con mercurio.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Eficacia

La eficacia en investigación se refiere a la capacidad de un estudio o intervención para lograr los resultados deseados o esperados. Se evalúa la eficacia de una investigación en función de si se alcanzan los objetivos planteados y si se obtienen resultados significativos y relevantes. En el ámbito

educativo, la mejora de la eficacia escolar se refiere a los cambios planificados que se implementan en las escuelas para aumentar los resultados de aprendizaje de los estudiantes y mejorar la capacidad de la escuela para gestionar el cambio (Torrecilla & Javier, 2011).

Biorremediación

La biorremediación es un proceso que utiliza organismos vivos, como microorganismos y enzimas, para degradar o transformar contaminantes en el medio ambiente, con el objetivo de reducir o eliminar la contaminación. Esta técnica se ha utilizado con éxito en diversas aplicaciones, como el tratamiento de aguas residuales contaminadas con nitrato y fosfato (Garzón et al., 2017). Además, la biorremediación también puede estar relacionada con la generación de energía sostenible, como en el caso de las celdas de combustible microbianas, que utilizan microorganismos para degradar materia orgánica y generar electricidad (Revelo et al., 2013).

Crustáceo Isópodo

Los crustáceos isópodos son un grupo diverso de organismos que se encuentran en una variedad de hábitats acuáticos y terrestres. Estos organismos se caracterizan por tener cuerpos aplanados lateralmente y segmentados, con apéndices birrámeos. Los isópodos acuáticos se encuentran en ambientes marinos y de agua dulce, mientras que los isópodos terrestres se encuentran en suelos húmedos y en la hojarasca de los bosques.

En el ámbito marino, los isópodos acuáticos pueden encontrarse asociados a otros organismos, como esponjas marinas (Schejter et al., 2011). Además, se ha observado que algunos crustáceos, como el *Lithodes santolla*, pueden ser infestados por isópodos endoparásitos (Cañete et al., 2013). Estos parásitos pueden tener un impacto significativo en la salud y el comportamiento de sus hospedadores.

Metales pesados

Los metales pesados son elementos químicos que tienen una densidad y peso específico relativamente alto. Estos metales, como el plomo, el

mercurio, el cadmio y el arsénico, son tóxicos para los seres vivos y pueden tener efectos perjudiciales en la salud humana y en el medio ambiente. La contaminación por metales pesados es una preocupación global y local debido a sus implicaciones en la seguridad alimentaria y la salud pública (Reyes et al., 2016). Estos metales pueden ingresar al medio ambiente a través de diversas fuentes, como la minería, la industria, la agricultura y el uso de productos químicos. Una vez liberados, los metales pesados pueden acumularse en el suelo, el agua y los alimentos, lo que representa un riesgo para la salud humana. La exposición a metales pesados puede tener efectos adversos en la salud. Por ejemplo, el plomo puede afectar el desarrollo neurológico en los niños, mientras que el mercurio puede causar daño renal y neurológico (Cortés et al., 2016). Además, los metales pesados pueden tener efectos carcinogénicos y mutagénicos, lo que aumenta el riesgo de enfermedades como el cáncer.

Porcellio laevis

Porcellio laevis es un isópodo terrestre que ha sido objeto de estudio en diferentes áreas de investigación. Estos estudios han abordado aspectos relacionados con los efectos de la dieta en los rasgos de historia de vida, la acumulación de metales pesados en el suelo y en los propios organismos, y la variación estacional en la acumulación de metales pesados. Un estudio encontró que la dieta de *Porcellio laevis* puede tener efectos significativos en los rasgos de historia de vida, como la tasa de crecimiento, el número y tamaño de las crías, y el período de incubación (Lardies et al., 2004). Además, se observó que existen compensaciones entre estos rasgos, lo que implica que los individuos deben tomar decisiones comerciales en la asignación de recursos energéticos. También se encontró que los efectos maternos pueden influir en la tasa de crecimiento de las crías. Otro estudio evaluó la acumulación de metales pesados en el suelo y en *Porcellio laevis* en áreas industrializadas de Túnez (Ghemari et al., 2017). Se encontró que estos isópodos pueden acumular metales pesados en su cuerpo, lo que indica su capacidad para actuar como bioindicadores de la contaminación ambiental. La concentración de metales pesados en los isópodos estuvo relacionada con

la concentración en el suelo circundante, lo que sugiere que estos organismos pueden reflejar la contaminación del entorno.

Suelo contaminado

El suelo contaminado por metales es un problema ambiental de gran preocupación debido a los efectos perjudiciales que puede tener en la salud humana y en los ecosistemas. La contaminación del suelo por metales pesados puede ocurrir como resultado de actividades industriales, como la minería, donde se liberan metales tóxicos al entorno (Puga et al., 2006). La industria minera es una de las principales fuentes de contaminación del suelo por metales pesados. Los residuos mineros, como las colas de mineral y los desechos de procesamiento, pueden contener altas concentraciones de metales tóxicos que se liberan al suelo y al agua circundante. Estos metales, como el plomo, el cadmio, el mercurio y el arsénico, pueden persistir en el suelo durante largos períodos de tiempo y representar un riesgo para la salud humana y la vida silvestre (Puga et al., 2006).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

HI: Existe eficacia significativa en algunos de los grupos de tratamientos de 200; 400 o 600 de *Porcellio laevis* en la disminución de metales pesados.

H0: No existe eficacia significativa en algunos de los grupos de tratamientos de 200; 400 o 600 de *Porcellio laevis* en la disminución de metales pesados.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS

HI. La exposición de 200 crustáceos isópodos resulta siendo más eficaz en la reducción de metales pesados que los otros 2 tratamientos.

H0. La exposición de 200 crustáceos isópodos no resulta siendo más eficaz en la reducción de metales pesados que los otros 2 tratamientos.

HI. La exposición de 400 crustáceos isópodos resulta siendo más eficaz en la reducción de metales pesados que los otros 2 tratamientos.

H0. La exposición de 400 crustáceos isópodos no resulta siendo más eficaz en la reducción de metales pesados que los otros 2 tratamientos.

HI. La exposición de 600 crustáceos isópodos resulta siendo más eficaz en la reducción de metales pesados que los otros 2 tratamientos.

H0. La exposición de 600 crustáceos isópodos no resulta siendo más eficaz en la reducción de metales pesados que los otros 2 tratamientos.

HI. Existen variaciones de los metales pesados en alguno de los tratamientos que demuestre ser más eficaz.

H0. No existen variaciones de los metales pesados en alguno de los tratamientos que demuestre ser más eficaz.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Biorremediación

2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Disminución de metales pesados

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 3

Operacionalización de variables

Variable Independiente	Indicadores	Valor Final	Tipo de variable
Biorremediación	Organismo biorremediador	Biorremediación con <i>Porcellio laevis</i>	Nominal
Variable Dependiente	Indicadores	Valor Final	Tipo de variable
Reducción de metales pesados	Aluminio (*) Antimonio (*) Arsénico (*) Bario (*) Berilio (*) Bismuto (*) Boro (*) Cadmio (*) Calcio (*) Cerio (*) Cobalto (*) Cobre (*) Cromo (*) Estaño (*) Estroncio (*) Fosforo (*) Hierro (*) Litio (*) Magnesio (*) Manganeso (*) Mercurio (*) Molibdeno (*) Niquel (*) Plata (*) Plomo (*) Potasio (*)	mg/Kg mg/Kg mg/Kg	Numérica continua

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según Supo & Zacarías en el 2020, se tiene el siguiente tipo de investigación:

- Según la intervención del investigador: se clasificó en un grupo con intervención, porque se intervino y analizo los resultados.
- Según el número de variables analíticas: se describe como tipo de una variable analítico, porque tuvo más que una variable.
- Según el número de mediciones de las variables de estudio: estudio longitudinal porque se hizo la medición de variables en un tiempo programado de acuerdo a antecedentes y evidencia científica.
- Según el control de las mediciones de la variable de estudio: es estudio prospectivo, porque se estable cronológicamente mediciones y se analizó semanalmente índices de mortalidad y reposición.

3.1.1. ENFOQUE

El enfoque fue cuantitativo ya que el estudio se basó en la recopilación y análisis de datos numéricos y estadísticos para responder a preguntas de investigación. Este enfoque se caracterizó por su énfasis en la objetividad, la generalización y la replicabilidad de los resultados. Sin embargo, es importante reconocer que el enfoque cuantitativo puede complementarse con otros enfoques, como el cualitativo, para obtener una comprensión más completa de los fenómenos estudiados.

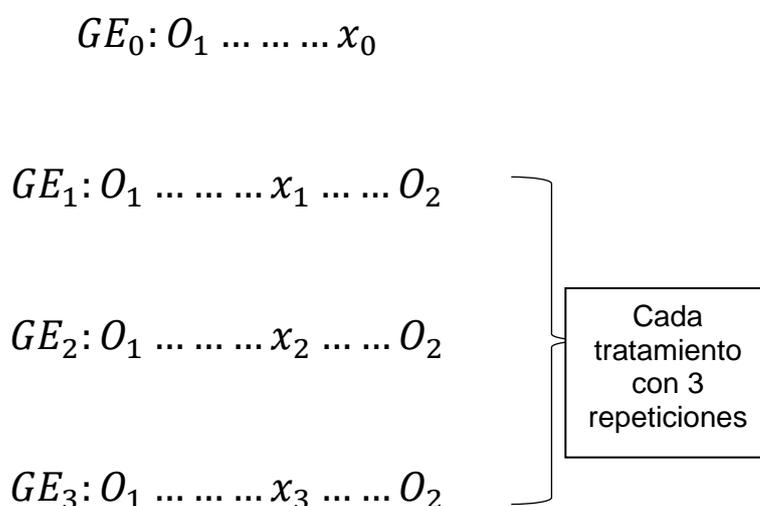
3.1.2. ALCANCE O NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación fue explicativo ya que este nivel busca establecer relaciones causales entre variables. Este nivel de investigación va más allá de la simple descripción de fenómenos y busca

explicar por qué ocurren ciertos eventos o fenómenos. En la investigación explicativa, el objetivo principal es identificar las causas o factores que influyen en un fenómeno o evento particular. Se busca establecer relaciones de causa y efecto entre variables, y se utilizan métodos y técnicas específicas para probar estas relaciones. Para la investigación realizada la causa principal fue el *Porcellio laevis*; y el efecto que se produjo sobre la reducción de algunos metales pesados.

3.1.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación realizada tuvo un diseño experimental. En este diseño, se manipularon las variables independientes de 200, 400 y 600 crustáceos isópodos que se colocaron en camas individuales con hojarasca de ficus y almendro para poder examinar sus efectos individuales en la reducción de metales pesados. Este diseño permitió analizar el efecto de cada variable independiente por separado y en combinación (Ziegel & John, 1999).



Leyenda:

GE_0 : Grupo de estudio sin tratamiento antes

O_1 : Análisis inicial

O_2 : Análisis final

x_1 : Intervención con 200 *Porcellio laevis* antes y después de los 3 meses

x_2 : Intervención con 400 *Porcellio laevis* antes y después de los 3 meses

x_3 : Intervención con 600 *Porcellio laevis* antes y después de los 3 meses

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población estuvo representada por 40 kg de suelo contaminado con metales pesados que fue extraído de la mina subterránea MARCAPUNTA - BUENAVENTURA – En Cerro De Pasco.

3.2.2. MUESTRA

Las muestras sometidas análisis para este estudio fueron:

1 muestra de 300 g para el pretest (antes).

Las demás muestras provinieron de los 3 tratamientos de 200, 400 y 600 *Porcellio laevis* con el suelo contaminado cuyas características son las mismas del control. Donde se extrajo 3 muestras de suelo de 300 gr del suelo tratado con 200 *Porcellio laevis*, 3 muestras del suelo tratada con 400 *Porcellio laevis* y 3 muestras de suelo tratado con 600 *Porcellio laevis*. Haciendo un total de 11 muestras de 300 g que fueron remitidas al laboratorio acreditado Alab de lima.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 4

Técnicas utilizadas para el análisis de muestras

Variable	Indicador	Técnica	Instrumento
Reducción de metales pesados	Concentración de metales pesados:	Observación donde se realizó los siguientes procedimientos:	
	Aluminio (*)		
	Antimonio (*)		
	Arsénico (*)		
	Bario (*)	* Preparación de	
	Berilio (*)	muestras para	
	Bismuto (*)	secado.	Ficha de recolección
	Boro (*)		de datos de
	Cadmio (*)	* Secado de	laboratorio
	Calcio (*)	muestras.	acreditado
	Cerio (*)	* Tamizado.	
	Cobalto (*)	* Digestión ácida	
	Cobre (*)	en Hotblock.	
	Cromo (*)	* Filtración de	
	Estaño (*)	muestras de	
	Estroncio (*)	digestadas.	
	Fosforo (*)	* Lectura de	
	Hierro (*)	muestras.	
	Litio (*)		
Magnesio (*)			
Manganeso (*)			
Mercurio (*)			
Molibdeno (*)			
Niquel (*)			
Plata (*)			
Plomo (*)			
Potasio (*)			

Nota: En la tabla se puede visualizar las técnicas que siguieron para lograr el análisis de las muestras, esta información fue tomada de la técnica que utiliza el laboratorio Alab donde se mandó a examinar las muestras - (*) metales que fueron analizados para la investigación.

➤ ETAPA DE RECOLECCION DE DATOS

Muestreo de detalle

Tuvo las siguientes etapas:

- **Diseño e implementación para la biorremediación:** Se adquirió 4 bandejas de plástico de 1.20 m de largo por 50 cm de ancho donde se coloco 10 kg de suelo altamente contaminado por metales pesados en cada bandeja y a los crustáceos Isópodos (200, 400 y 600 para cada tratamiento) además se colocó 2kg Hojarasca de ficus y almendro por cada bandeja. Se procedió a mantener húmedo regando por aspersión todos los días a las 7 pm.

- **Pre-Test:** Una vez que ya se tuvo el suelo homogenizado se procedió a llevar una muestra de un 300g al laboratorio para los análisis correspondientes para la determinación de grado de metales pesados que se encuentran en el suelo.
- **Técnica para el muestreo del suelo superficial:** Para la incorporación de los crustáceos isópodos (*Porcellio Laevis*) se puso en la parte superficial para que estos empiezan hacer efecto en la reducción de metales pesados, lo cual fueron evaluados en el periodo de 3 meses
- **Post-Test:** las muestras del post test fueron llevadas a laboratorio después de los 90 días; estas muestras se obtuvieron de la sectorización de las bandejas en 3 partes iguales de las cuales se sacaran 9 muestras en total; durante los 3 meses los crustáceos Isópodos realizaron sus cavernas bajo suelo e iniciaron también etapa reproductivas con presencia de gran cantidad de mancas juveniles.

Manejo de las muestras

- **Materiales para guardar y transportar muestras:** Los materiales que seran utilizados para guardar y transportar las muestra fueron compatibles con el material del suelo y los agentes contaminantes en estudio a muestrear, a su vez no se utilizó ningún agente químico para conservar la muestra de suelo y solo fue traslado en una caja conservadora.
- **Etiquetado:** La etiqueta se colocará en un lugar visible y no sobrepaso el tamaño de la caja y adherida adecuadamente para evitar su pérdida. La etiqueta contó con la identificación de hora, fecha, código y nombre.
- **Ficha de muestreo:** documento donde se recogera la información levantada en campo, donde se tomara en cuenta las condiciones del punto de muestreo y una descripción de las muestras tomadas.
- **Condiciones de seguridad de las muestras:**
 - a) El traslado de la muestra fue realizado con los cuidados requeridos para evitar su deterioro, para ello fue asegurado la caja conservadora para su traslado correspondiente.
 - b) El traslado de la muestra al laboratorio fue dentro de los plazos de 24 horas.

- c) Para la seguridad y limpieza en la manipulación de la muestra, se tuvo todo los cuidados y consideraciones y juntamente con los equipos de protección personal.

Medidas de seguridad ocupacional durante el muestreo

El levantamiento de información y muestras en un emplazamiento contaminado se considerará los aspectos relacionados con el riesgo a la salud y la seguridad del personal de apoyo, así como de la población cercana.

Determinación de puntos de muestreo

No se identificará las áreas que presentan una distribución similar en la contaminación por metales pesados.

Para la presentación de datos

Para la presentación de datos se tomará en cuenta todas las muestras recolectadas en el campo los cuales fueron llevados a un laboratorio para obtener los resultados de muestra.

Figura 3

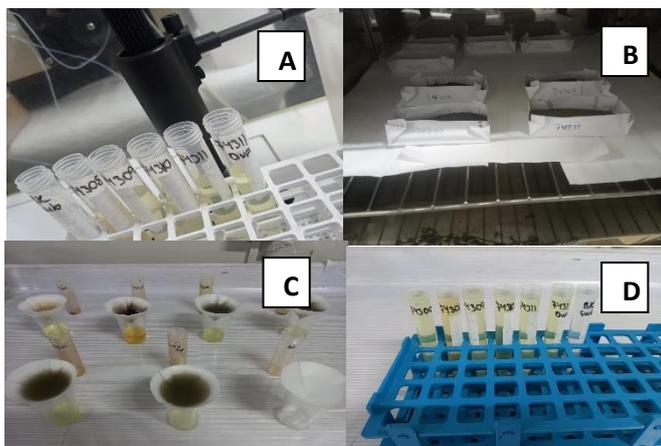
Fase de toma de muestra después de 3 meses



Nota: A: se visualiza el tamizado de tierra y al mismo tiempo el procedimiento utilizado para retirar a los crustáceos de las muestras a enviar al laboratorio. B: se observa los 9 post test incluyendo al grupo control terminado los 90 días. C: muestras de 300g según el requerimiento del laboratorio empaquetadas y rotuladas correctamente. D: mi persona como testista dando por concluido la etapa de muestreo y etiquetado.

Figura 4

Procedimientos empleados para el análisis de muestras



Nota: En la figura 4; A, B, C y D se visualiza las fases de preparación de las muestras que serán sometidas al análisis de ICP – MS, que hace referencia a la técnica de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo. Esta es una variante de las técnicas de análisis por espectrometría de masas. Esta técnica está establecida de manera estándar en laboratorios, para analizar: aguas, suelos, alimentos, muestras clínicas, entre otras. * Preparación de muestras para secado. A. Secado de muestras; B. Tamizado; C. Digestión ácida en Hotblock. D. Filtración de muestras digestadas.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para el procedimiento y análisis para esta investigación se utilizó el software SPSS versión 25 y Excel. Se presentará a continuación todo el análisis, resumen que incluye la parte estadística eh inferencial de la tesis elaborada

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS

Tabla 5

Comparación de las diferencias descriptivas entre el post test y pretest en Mg/kg; aplicados a suelo con tratamiento de 200 individuos adultos de Porcellio laevis

Metales totales en suelos ICP Ms	Pre Test	Post test Promedio	Error estándar de la media	LI 95% Nivel de confianza	Ls 95% Nivel de confianza
Aluminio	1397.84	3672.27	60.94	3602.24	3713.26
Antimonio (*)	50.22	20.36	0.91	19.31	20.92
Arsénico	129.45	247.82	6.43	241.13	253.96
Bario	121.05	144.64	9.13	136.29	154.38
Berilio (*)	0.42	0.03	0.00	0.03	0.03
Bismuto (*)	52.83	13.22	0.09	13.13	13.3
Boro	0.1	0.10	0.00	0.1	0.1
Cadmio (*)	29.204	7.78	90.74	7721	7888
Calcio	80903.9	121048.00	331.56	120836.2	121430.1
Cerio	0.10	5.10	0.11	5.02	5.23
Cobalto	3.95	14.27	0.21	14.13	14.51
Cobre	58.821	181.70	635.89	181035	182302
Cromo	1.67	5.39	0.19	5.21	5.59
Estaño	0.1	0.10	0.00	0.1	0.1
Estroncio	86.06	36.20	0.94	35.12	36.76
Fosforo	1644.22	2155.87	27.30	2124.73	2175.67
Hierro (*)	95641.26	25049.40	47.60	25015.54	25103.83
Litio	1.385	2.70	269.60	2432	2971
Magnesio	32715.81	67062.85	47.99	67034.12	67118.25
Manganeso (*)	18005.5	3324.46	353.99	3112.1	3733.1
Mercurio	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04
Molibdeno	0.10	0.10	0.00	0.1	0.1
Níquel	5.43	13.76	0.40	13.3	14.02
Plata	0.10	0.10	0.00	0.1	0.1
Plomo (*)	6314.34	1066.15	35.35	1033.39	1103.61
Potasio	501.83	523.66	9.38	515.99	534.12
Selenio	0.20	0.20	0.00	0.2	0.2
Silicio	1129.71	28880.03	382.08	28443.23	29152.16
Sodio	122.58	264.49	11.39	256.2	277.48
Talio	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04
Titanio	9.32	15.81	0.66	15.05	16.25
Torio (*)	1220.05	3.69	0.36	3.32	4.03
Uranio	0.03	0.03	0.00	0.03	0.03
Vanadio	0.04	20.46	0.68	20.01	21.24
Zinc (*)	3806.91	2836.98	32.91	2817.44	2874.98

Nota: en la tabla 5 se observa que (*) 10 metales han disminuido su concentración con respecto al pretest ellos son Sb, Be; Bi; Cd; Sr; Fe; Mn; Pb; Th y Zn.

Tabla 6

Comparación de las diferencias descriptivas entre el post test y pretest en Mg/kg; aplicados a suelo con tratamiento de 400 individuos adultos de *Porcellio laevis*

Metales totales en suelos ICP Ms	Pre Test	Post test Promedio	Error estándar de la media	LI 95% Nivel de confianza	Ls 95% Nivel de confianza
Aluminio (*)	1397.84	1356.70	35.58	1321.21	1392.36
Antimonio (*)	50.22	44.11	0.19	43.98	44.33
Arsénico (*)	129.45	88.79	0.49	88.25	89.19
Bario	121.05	139.75	0.51	139.31	140.31
Berilio (*)	0.42	0.03	0.00	0.03	0.03
Bismuto (*)	52.83	30.71	0.51	30.12	31.03
Boro	0.1	0.10	0.00	0.1	0.1
Cadmio	29.204	46.43	701.92	45629	46922
Calcio (*)	80903.9	79686.50	378.75	79446.2	80123.1
Cerio	0.10	2.20	0.27	2.02	2.51
Cobalto (*)	3.95	0.34	0.17	0.19	0.52
Cobre (*)	58.821	41.01	640.05	40269	41405
Cromo (*)	1.67	1.47	0.14	1.33	1.61
Estaño	0.1	0.10	0.00	0.1	0.1
Estroncio	86.06	95.08	0.80	94.18	95.72
Fosforo	1644.22	1670.19	84.42	1618.19	1767.6
Hierro	95641.26	111287.12	345.90	111124.26	111792.97
Litio	1.385	1.94	34.66	1918	1979
Magnesio	32715.81	44090.21	61.77	44020.06	44136.43
Manganeso	18005.5	22320.94	25.02	22301.02	22349.03
Mercurio	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04
Molibdeno	0.10	0.10	0.00	0.1	0.1
Níquel (*)	5,43	5.08	0.59	4.62	5.74
Plata	0.10	0.10	0.00	0.1	0.1
Plomo	6314.34	10228.02	102.81	10139.54	10340.8
Potasio	501.83	1085.30	82.28	1031.65	1180.03
Selenio	0.20	0.20	0.00	0.2	0.2
Silicio	1129.71	25704.49	76.78	25620.12	25770.25
Sodio	122.58	233.30	21.79	213.76	256.8
Talio	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04
Titanio	9.32	10.15	0.13	10.03	10.29
Torio (*)	1220.05	11.81	0.10	11.73	11.92
Uranio	0.03	0.03	0.00	0.03	0.03
Vanadio	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04
Zinc	3806.91	14508.98	76.29	14422.34	14566.11

Nota: en la tabla 6 se observa que (*) 11 metales han disminuido su concentración con respecto al pretest ellos son Al, Sb, As; Be; Bi; Ca; Co; Cu; Cr; Ni; y Th.

Tabla 7

Comparación de las diferencias descriptivas entre el post test y pretest en Mg/kg; aplicados a suelo con tratamiento de 600 individuos adultos de Porcellio laevis

Metales totales en suelos ICP Ms	Pre Test	Post test Promedio	Error estándar de la media	LI 95% Nivel de confianza	Ls 95% Nivel de confianza
Aluminio	1397.84	6455.40	4027.12	1805.64	8828.34
Antimonio (*)	50.22	46.46	0.45	45.96	46.84
Arsénico (*)	129.45	104.42	2.19	102.33	106.7
Bario	121.05	154.81	1.55	153.17	156.25
Berilio (*)	0.42	0.03	0.00	0.03	0.03
Bismuto (*)	52.83	36.32	2.49	34.75	39.19
Boro	0.1	0.10	0.00	0.1	0.1
Cadmio	29.204	48.67	157.98	48532	48840
Calcio (*)	80903.9	74763.43	114.13	74633.2	74846
Cerio	0.10	2.91	0.05	2.86	2.95
Cobalto (*)	3.95	0.53	0.04	0.5	0.57
Cobre (*)	58.821	55.44	501.86	55079	56012
Cromo	1.67	3.28	0.04	3.23	3.31
Estaño	0.1	0.10	0.00	0.1	0.1
Estroncio	86.06	93.35	1.33	91.87	94.46
Fosforo	1644.22	1880.74	40.05	1854.2	1926.8
Hierro	95641.26	109775.82	114.89	109687.36	109905.67
Litio	1.385	2.49	40.05	2450	2529
Magnesio	32715.81	41128.68	97.83	41035.33	41230.45
Manganeso	18005.5	22755.16	11.89	22742.05	22765.23
Mercurio	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04
Molibdeno	0.10	0.10	0.00	0.1	0.1
Níquel	5,43	5.48	0.43	4.99	5.81
Plata	0.10	0.10	0.00	0.1	0.1
Plomo	6314.34	10451.53	55.37	10403.97	10512.31
Potasio	501.83	1124.10	10.03	1114.23	1134.29
Selenio	0.20	0.20	0.00	0.2	0.2
Silicio	1129.71	31519.44	79.62	31427.96	31573.13
Sodio	122.58	233.30	2.33	231.9	235.99
Talio	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04
Titanio	9.32	17.45	0.11	17.35	17.56
Torio (*)	1220.05	11.69	0.06	11.62	11.74
Uranio	0.03	0.03	0.00	0.03	0.03
Vanadio	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04
Zinc	3806.91	14959.01	24.85	14941.19	14987.4

Nota: en la tabla 7 se observa que (*) 8 metales han disminuido su concentración con respecto al pretest ellos son Sb, As, Be; Bi; Ca; Co, Cu; y Th.

Tabla 8

Tabla de mortalidad y reposición del Porcellio laevis durante los 3 meses de experimentación

Fecha	T1	T2	T3	Total	Observación
29/07/2023 (Inicio)	200	400	600	1200	
5/08/2023	65	71	260	396	Alto nivel de mortalidad
8/08/2023	Añadió cama de hojarasca ^(a)				
12/08/2023	40	22	160	222	
19/08/2023	25	10	50	85	
25/08/2023 (Reposición) ^(b)	130	103	470	703	
27/08/2023	7	2	64	73	Mudas
3/09/2023	8	4	14	26	Mudas
10/09/2023	2	0	0	2	Mudas
17/09/2023	0	0	0	0	Comienzan hacer cuevas en el suelo
23/09/2023	0	394	0	0	Perdida de la población de T2; por aparición del depredador
23/09/2023 (Reposición) ^(b)	17	400	78	518	
1/10/2023	1	0	0	1	Aparición de manchas en gran cantidad sobre todo en T1
8/10/2023	4	10	21	35	Mudas
15/10/2023	0	0	0	0	Aparición de un anélido en T1 y gran cantidad de tancas en T2
22/10/2023	0	0	2	0	Ninguna
23/10/2023 (Reposición) ^(b)	5	10	23	38	
29/10/2023	3	1	5	0	Gran cantidad de tancas en T1, T2 Y T3
Total, Mortalidad Por Tratamiento	155	514	576	840	
Numero De Repuestos	152	513	571	1259	
% de Mortalidad	76%	128.25%	96%		

Nota. En la tabla 8 se puede observar el nivel de mortalidad que se produjo de los crustáceos isópodos sometidos a la experimentación. (a) al cabo de la semana de iniciación se añadió hojarasca de ficus y almendro a cada uno de los experimentos. (b) tras la mortalidad que se reportada todos los meses si tuvo que reponer a los crustáceos para mantener en equilibrio nuestros tratamientos.

Tabla 9

*Promedios de metales encontrados entre los tratamientos de 200; 400 y 600 unidades de *Porcellio laevis* después de los 3 meses de exposición al suelo contaminado*

Metales totales en suelos ICP Ms	Promedio 200 <i>P. laevis</i>	Promedio 400 <i>P. laevis</i>	Promedio 600 <i>P. laevis</i>	ECA – Perú MINAN 2017 Suelo Industrial	Norma Mexicana NOM-147-Industrial (mg/kg)	Metales en Suelos Industriales (BOPA N.º 91 de 21/04/2014).
Aluminio	3672.27	1356.70	6455.40			
Antimonio ^(b)	20.36	44.11	46.46			295
Arsénico ^(a)	247.82	88.79	104.42	140	260	200
Bario ^(b)	144.64	139.75	154.81	2000	67000	10000
Berilio ^(b)	0.03	0.03	0.03		1900	205
Bismuto	13.22	30.71	36.32			
Boro	0.10	0.10	0.10			
Cadmio ^(c)	7.78	46.43	48.67	22	450	200
Calcio	121048.00	79686.50	74763.43			
Cerio	5.10	2.20	2.91			
Cobalto ^(b)	14.27	0.34	0.53			300
Cobre ^(b)	181.70	41.01	55.44			4000
Cromo ^(b)	5.39	1.47	3.28	1000	510	1000
Estaño ^(b)	0.10	0.10	0.10			10000
Estroncio	36.20	95.08	93.35			
Fosforo	2155.87	1670.19	1880.74			
Hierro	25049.40	111287.12	109775.82			
Litio	2.70	1.94	2.49			
Magnesio	67062.85	44090.21	41128.68			
Manganeso ^(d)	3324.46	22320.94	22755.16			9635
Mercurio ^(b)	0.04	0.04	0.04	24	310	100
Molibdeno ^(b)	0.10	0.10	0.10			600
Níquel ^(b)	13.76	5.08	5.48		20000	6500
Plata ^(b)	0.10	0.10	0.10		5100	200
Plomo ^(e)	1066.15	10228.02	10451.53	800	800	800
Potasio	523.66	1085.30	1124.10			
Selenio ^(b)	0.20	0.20	0.20		5100	2500
Silicio	28880.03	25704.49	31519.44			
Sodio	264.49	233.30	233.30			
Talio ^(b)	0.04	0.04	0.04		67	10
Titanio	15.81	10.15	17.45			
Torio	3.69	11.81	11.69			
Uranio	0.03	0.03	0.03			
Vanadio ^(b)	20.46	0.04	0.04		10000	1505
Zinc ^(d)	2836.98	14508.98	14959.01			10000

Nota. ^(a) el promedio de tratamiento de 200 *P. laevis* no cumplen con los ECA para Perú, pero los demás tratamientos si cumplen los estándares para un suelo industrial. ^(b) el promedio de los 3 tratamientos cumple con los estándares para un suelo industrial. ^(c) el promedio de los tratamientos de 400 y 600 *P. laevis* no cumplen los ECA para Perú, para las demás normativas se cumple los estándares para un suelo industrial. ^(d) solo el promedio de 200 *P. laevis* cumple con la norma (BOPA). ^(e) ningún promedio de los tratamientos cumple con las 3 normativas de calidad ambiental para suelos industriales.

Tabla 10

Promedios de metales encontrados entre los tratamientos de 200; 400 y 600 unidades de *Porcellio laevis* después de los 3 meses de exposición al suelo contaminado

Metales totales en suelos ICP Ms	Promedio 200 <i>P. laevis</i>	Promedio 400 <i>P. laevis</i>	Promedio 600 <i>P. laevis</i>	ECA – Perú MINAN 2017 Suelo Agrícola	Norma Oficial Mexicana NOM-147-Usos Agrícola (mg/kg)	Metales en Suelos Agrícolas del Principado de Asturias (BOPA N° 91 de 21/04/2014).
Aluminio	3672.27	1356.70	6455.40			
Antimonio	20.36	44.11	46.46			5
Arsénico	247.82	88.79	104.42	50	22	40
Bario ^(a)	144.64	139.75	154.81	750	5400	1540
Berilio ^(a)	0.03	0.03	0.03		150	20
Bismuto	13.22	30.71	36.32			
Boro	0.10	0.10	0.10			
Cadmio	7.78	46.43	48.67	1.4	37	2
Calcio	121048.00	79686.50	74763.43			
Cerio	5.10	2.20	2.91			
Cobalto	14.27	0.34	0.53			25
Cobre ^(c)	181.70	41.01	55.44			55
Cromo ^(d)	5.39	1.47	3.28	0.4	280	2
Estaño	0.10	0.10	0.10			4360
Estroncio	36.20	95.08	93.35			
Fosforo	2155.87	1670.19	1880.74			
Hierro	25049.40	111287.12	109775.82			
Litio	2.70	1.94	2.49			
Magnesio	67062.85	44090.21	41128.68			
Manganeso	3324.46	22320.94	22755.16			2135
Mercurio ^(a)	0.04	0.04	0.04	6.6	23	1
Molibdeno ^(a)	0.10	0.10	0.10			6
Níquel ^(a)	13.76	5.08	5.48		1600	65
Plata ^(a)	0.10	0.10	0.10		390	2
Plomo	1066.15	10228.02	10451.53	70	400	70
Potasio	523.66	1085.30	1124.10			
Selenio ^(a)	0.20	0.20	0.20		390	25
Silicio	28880.03	25704.49	31519.44			
Sodio	264.49	233.30	233.30			
Talio ^(a)	0.04	0.04	0.04		5.2	1
Titanio	15.81	10.15	17.45			
Torio	3.69	11.81	11.69			
Uranio	0.03	0.03	0.03			
Vanadio ^(a)	20.46	0.04	0.04		78	50
Zinc	2836.98	14508.98	14959.01			455

Nota. ^(a) el promedio de los 3 tratamientos se encuentra dentro del rango de las normativas de calidad ambiental para suelos. ^(c) Solo el promedio de 400 *P. laevis* cumple con la normativa de calidad ambiental para suelo. ^(d) los promedios de este metal solo cumplen para la normativa mexicana

4.2. CONTRASTACIÓN DE LAS HIPÓTESIS

Tabla 11

Comparaciones múltiples HSD Tukey

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Antimonio	200 Ch	400 Ch	-23,74667 ^a	0.48857	0.000	-25.2457	-22.2476
		600 Ch	-26,09667 ^a	0.48857	0.000	-27.5957	-24.5976
	400 Ch	600 Ch	-2,35000 ^a	0.48857	0.007	-3.8491	-0.8509
Arsénico	200 Ch	400 Ch	159,02667 ^a	3.21139	0.000	149.1732	168.8801
		600 Ch	143,39333 ^a	3.21139	0.000	133.5399	153.2468
	400 Ch	600 Ch	-15,63333 ^a	3.21139	0.007	-25.4868	-5.7799
Bario	400 Ch	600 Ch	-15,06000 ^a	4.37006	0.032	-28.4685	-1.6515
Bismuto	200 Ch	400 Ch	-17,49667 ^a	1.19885	0.000	-21.1751	-13.8183
		600 Ch	-23,10333 ^a	1.19885	0.000	-26.7817	-19.4249
	400 Ch	600 Ch	-5,60667 ^a	1.19885	0.008	-9.2851	-1.9283
Cadmio	200 Ch	400 Ch	-38649,33333 ^a	341.85301	0.000	-39698.2322	-37600.4344
		600 Ch	-40881,66667 ^a	341.85301	0.000	-41930.5656	-39832.7678
	400 Ch	600 Ch	-2232,33333 ^a	341.85301	0.001	-3281.2322	-1183.4344
Calcio	200 Ch	400 Ch	41361,50000 ^a	243.31259	0.000	40614.9501	42108.0499
		600 Ch	46284,56667 ^a	243.31259	0.000	45538.0168	47031.1165
	400 Ch	600 Ch	4923,06667 ^a	243.31259	0.000	4176.5168	5669.6165
Cerio	200 Ch	400 Ch	2,90333 ^a	0.13934	0.000	2.4758	3.3309
		600 Ch	2,19000 ^a	0.13934	0.000	1.7625	2.6175
	400 Ch	600 Ch	-,71333 ^a	0.13934	0.005	-1.1409	-0.2858
Cobalto	200 Ch	400 Ch	13,93000 ^a	0.12611	0.000	13.5431	14.3169
		600 Ch	13,74333 ^a	0.12611	0.000	13.3564	14.1303
Cobre	200 Ch	400 Ch	140693,00000 ^a	486.68699	0.000	139199.7107	142186.2893
		600 Ch	126261,66670 ^a	486.68699	0.000	124768.3773	127754.9560
	400 Ch	600 Ch	-14431,33333 ^a	486.68699	0.000	-15924.6227	-12938.0440

Cromo	200	400	3,92333 ^a	0.11310	0.000	3.5763	4.2704
	Ch	Ch					
		600	2,11667 ^a	0.11310	0.000	1.7696	2.4637
	400	600	-1,80667 ^a	0.11310	0.000	-2.1537	-1.4596
	Ch	Ch					
Estroncio	200	400	-58,88000 ^a	0.85568	0.000	-61.5055	-56.2545
	Ch	Ch					
		600	-57,14667 ^a	0.85568	0.000	-59.7721	-54.5212
		Ch					
Fosforo	200	400	485,67333 ^a	45.88790	0.000	344.8767	626.4700
	Ch	Ch					
		600	275,13000 ^a	45.88790	0.002	134.3333	415.9267
	400	600	-210,54333 ^a	45.88790	0.009	-351.3400	-69.7467
	Ch	Ch					
Hierro	200	400	-86237,71667 ^a	145.05886	0.000	-86682.7971	-85792.6362
	Ch	Ch					
		600	-84726,41667 ^a	145.05886	0.000	-85171.4971	-84281.3362
		Ch					
	400	600	1511,30000 ^a	145.05886	0.000	1066.2196	1956.3804
	Ch	Ch					
Litio	200	400	758,33333 ^a	129.51848	0.003	360.9351	1155.7316
	Ch	Ch					
	400	600	-554,33333 ^a	129.51848	0.012	-951.7316	-156.9351
	Ch	Ch					
Magnesio	200	400	22972,64000 ^a	59.04635	0.000	22791.4696	23153.8104
	Ch	Ch					
		600	25934,17333 ^a	59.04635	0.000	25753.0029	26115.3437
		Ch					
	400	600	2961,53333 ^a	59.04635	0.000	2780.3629	3142.7037
	Ch	Ch					
Manganeso	200	400	-18996,48667 ^a	167.38118	0.000	-19510.0581	-18482.9152
	Ch	Ch					
		600	-19430,70333 ^a	167.38118	0.000	-19944.2748	-18917.1319
		Ch					
Níquel	200	400	8,68667 ^a	0.39333	0.000	7.4798	9.8935
	Ch	Ch					
		600	8,28000 ^a	0.39333	0.000	7.0731	9.4869
		Ch					
Plomo	200	400	-9161,87333 ^a	57.51090	0.000	-9338.3326	-8985.4141
	Ch	Ch					
		600	-9385,38000 ^a	57.51090	0.000	-9561.8392	-9208.9208
		Ch					
	400	600	-223,50667 ^a	57.51090	0.019	-399.9659	-47.0474
	Ch	Ch					
Potasio	200	400	-561,64000 ^a	39.32474	0.000	-682.2991	-440.9809
	Ch	Ch					
		600	-600,44333 ^a	39.32474	0.000	-721.1024	-479.7842
		Ch					
Silicio	200	400	3175,54000 ^a	187.50829	0.000	2600.2131	3750.8669
	Ch	Ch					
		600	-2639,41333 ^a	187.50829	0.000	-3214.7403	-2064.0864
		Ch					
	400	600	-5814,95333 ^a	187.50829	0.000	-6390.2803	-5239.6264
	Ch	Ch					
Titanio	200	400	5,65667 ^a	0.32141	0.000	4.6705	6.6428
	Ch	Ch					

		600 Ch	-1,64333 ^a	0.32141	0.005	-2.6295	-0.6572
	400 Ch	600 Ch	-7,30000 ^a	0.32141	0.000	-8.2862	-6.3138
Torio	200 Ch	400 Ch	-8,11667 ^a	0.17693	0.000	-8.6595	-7.5738
		600 Ch	-8,00333 ^a	0.17693	0.000	-8.5462	-7.4605
Vanadio	200 Ch	400 Ch	20,42000 ^a	0.31969	0.000	19.4391	21.4009
		600 Ch	20,42000 ^a	0.31969	0.000	19.4391	21.4009
Zinc	200 Ch	400 Ch	-11671,99667 ^a	40.88281	0.000	-11797.4364	-11546.5570
		600 Ch	-12122,02667 ^a	40.88281	0.000	-12247.4664	-11996.5870
	400 Ch	600 Ch	-450,03000 ^a	40.88281	0.000	-575.4697	-324.5903

Nota: En la tabla 10 se muestra los datos en donde se asume una distribución normal según los antecedentes analizados, también se observa solo los metales que cumplen con las diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Se puede verificar que el Antimonio, Arsénico, Bismuto Cadmio, Calcio, Cerio, Cobre; Cromo; Fósforo; Hierro; Magnesio; Plomo, Silicio Titanio Y Zinc; estos 15 metales muestran diferencias significativas en los tratamientos 1 2 y 3. ^a. La diferencia de medias es significativa comparado con el nivel de significancia convencional de 0.05.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo al objetivo general de la investigación evaluar la eficacia de la biorremediación con crustáceos isópodos (*Porcellio laevis*) para la reducción de metales pesados en suelos contaminados se determinó diferencias significativas al comparar los tratamientos de 200, 400 y 600 crustáceos isópodos (*Porcellio laevis*) para 15 metales de los 35 identificados en el suelo contaminado proveniente de una mina en Cerro de Pasco.

Para evaluar la eficacia de la biorremediación del suelo a través de los crustáceos Isopos *Porcellio laevis* se tomaron en cuenta a 19 parámetros para dichos análisis, debido a que en la actualidad las normas nacionales e internacionales de calidad ambiental no establecen límites permitidos para los 35 metales que se analizó. Se tomó en cuenta suelos de uso industrial y suelos de uso agrícola, al realizar la comparación de los promedios se obtuvo que para un suelo industrial el promedio de cada uno de los tratamientos de 200, 400 y 600 *P. laevis* cumplen los estándares para un suelo industrial en 14 de los metales analizados demostrando su eficacia para estos. Para el suelo agrícola solo el promedio de los tratamientos de 200, 400 y 600 *P. laevis* cumplen los estándares para un suelo agrícola en 9 metales analizados demostrando su eficacia para estos.

Varios autores han informado concentraciones de metales dentro de varios grupos de invertebrados estos datos han sido derivados de un gran número de lugares dispersos mostrando niveles muy diferentes de contaminación ambiental por una amplia gama de metales. En este sentido, la acumulación de metales dentro de los isópodos del suelo ha sido bien estudiado por Hussein et al., (2006); los metales que este investigador analizó fueron plomo, cadmio, zinc y cobre en suelo encontrando que la mayor concentración de metales se da durante época de verano; para cadmio un 0.45 mg/g; para plomo 9.88 mg/g; para cobre 11.7 mg/g y para zinc 59.5 mg/g; estas concentraciones de metales se asocian a la concentración que se encontró en los cuerpos de los *Porcellio laevis*.

En relación a los resultados encontrados en el plomo, cadmio y zinc se identificó una disminución significativa para el suelo tratado con 200 individuos de *Porcellio laevis*, para el caso del cobre los tratamientos de 400 y 600 individuos mostraron disminuir este metal en el suelo contaminado. Al analizar estos resultados podemos afirmar que los crustáceos isópodos modifican las concentraciones de Cd, Pb, Cu y As en el suelo.

Los *P. laevis*, tienen la capacidad de regular su carga corporal rápidamente y mantener una baja concentración depurando los contaminantes. Mazzei et al., (2014) en su investigación utilizó 3 especies de crustáceos isópodos siendo *Armadillidium granulatum*, *Armadillidium vulgare* y *Porcellio laevis*; a estas especies se las sometió a hojarasca contaminada con 10, 50 y 100 mg/kg de cadmio y 100, 500 y 1000 mg/kg de plomo. La mayor capacidad de acumulación de *P. laevis* (CF $\frac{1}{4}$ 4.2 a 50 mg L1 Cd) implicó que la exposición a 100 mg L1 Cd fue letal para todas las muestras. Para la investigación realizada la cantidad de Cd a la que se expuso a los *P. laevis* fue de 29.204 mg/kg, sin embargo, el suelo solo mostro una reducción en el promedio del tratamiento 1 a base de 200 individuos de *P. laevis*, teniendo en cuenta que la letalidad en el tratamiento 1 fue del 76% esto permite describir nuestro objetivo 3. La información nos permite reconocer que el cadmio se acumula en el organismo del *P. laevis* tal como se visualiza en las imágenes de microscopia electrónica del hepatopáncreas en la investigación de Mazzei et al., (2014).

En la investigación de Raessler et al., (2005); las cochinillas de las especies *P. scaber* y *P. dilatatus* fueron cultivados permanentemente bajo condiciones estandarizadas en una cámara climática a temperatura constante de 22.8C y una humedad del 90%. La especie donde se encontró mayor concentración en las pieles que muda fue para *P. scaber*; para Cd se determino 0.99 mg/kg; Cr 4.63 mg/kg; Cu 116 mg/kg y Ni 4.16 mg/kg el investigador concluye que la muda puede considerarse un medio de desintoxicación de cochinillas de algunos metales de Cr y Ni. Durante la fase de investigación realizada no se evaluó la concentración de metales en la piel de muda de los *P. laevis*, si embargo se detalla que durante todos los 3 meses la muda en esta especie fue constante.

Los crustáceos isópodos han demostrado ser capaces de transformar el Hg dentro del intestino de *Porcellio scaber*. (Jereb et al., 2003). Nolde et al. (2005) plantearon la hipótesis de que la desmetilación de Hg dominaba en el sistema digestivo de la misma especie de isópodos cuando se alimentaban con hojas contaminadas con Hg. Para entender ello Morgado et al.; (2022) plantea experimentos de toxicidad y bioacumulación que se replicaron a 15 °C, 20 °C y 25 °C. El fundamento para la selección de las temperaturas fue comprender cómo las temperaturas subóptimas afectan la toxicocinética y la toxicodinámica del Hg a través de la exposición del suelo para el *Porcellionides pruinosus*. El resultado mas relevante fue que la temperatura promovió una desintoxicación más rápida, ya sea aumentando las tasas de toxicocinética o los mecanismos de reparación de daños. Este aumento de la desintoxicación impulsado por el metabolismo condujo a un mayor agotamiento de las reservas de energía y probablemente desencadenó vías de respuesta al estrés. Este trabajo enfatizó la necesidad de enfoques experimentales integrales que puedan integrar los múltiples procesos involucrados en las interacciones temperatura-metal. De acuerdo al segundo objetivo específico se determinó que la concentración promedio de mercurio para los 3 tratamientos fue de 0.04 mg/kg, este metal su concentración fue mínima por lo cual se puede afirmar que no fue causante de mortalidad y que los *P. laevis* no tienen afinidad por este metal a diferencia del *Porcellionides pruinosus* que según esta investigación Morgado et al.; (2022) si permite analizar los efectos directos en esta especie.

Al observar los resultados de nuestra investigación; para describir el objetivo 3; los metales pesados resultaron siendo tóxicos para los *Porcellio laevis* 76% para el primer tratamiento a base de 200 individuos; 128.25% para el tratamiento 2 de 400 individuos y 96% para el tratamiento 3 de 600 individuos fueron los porcentajes de mortalidad que se registraron en cada tratamiento; cabe mencionar que debido a esta mortalidad se realizó los replazos correspondientes para evitar que se pierda el efecto en relación al número de individuos por tratamiento, lo que fue originando una adaptación para cada tratamiento. Se llego a finalizar con más individuos debido al nacimiento de mancas que aumentaron la población de *Porcellio laevis*.

(Reis et al., 2018), que se centra en las elecciones dietéticas de *Porcellio dilatatus* en respuesta al manejo de la tierra. Ambos estudios contribuyen a comprender la intrincada relación entre las prácticas de gestión de la tierra y las respuestas ecológicas de los organismos terrestres, arrojando luz sobre los impactos multifacéticos de la gestión ambiental en las preferencias de especies y la dinámica climática regional. A diferencia del estudio de Hussein et al. (2006) se centraron en la variación estacional en la acumulación de metales pesados en el isópodo terrestre *Porcellio laevis* en una población subtropical. La investigación encontró que la acumulación de metales pesados en los isópodos variaba según las diferentes estaciones, lo que indica un patrón estacional en la acumulación de metales. Esto es significativo ya que resalta la influencia de factores estacionales en la bioacumulación de metales pesados en los ecosistemas terrestres, arrojando luz sobre la dinámica de la absorción y almacenamiento de metales en estos organismos.

El proceso de bioacumulación de metales pesados dentro de los crustáceos isópodos evaluados ha sido demostrado por gran cantidad de evidencia científica que se tiene; por esa razón se comparó como los suelos pueden modificarse tras la intervención de estos crustáceos, los resultados más relevantes demuestran que el bismuto, cadmio, calcio, cobalto y plomo cambiaron significativamente su concentración en el suelo después de la intervención de esos Isópodos; es muy importante evaluar también al antimonio y al arsénico que fueron 2 metales que se redujeron drásticamente después de la intervención; existe la posibilidad que otros factores puedan estar interviniendo, se necesita mas estudios que se centren en evaluar resultados sobre como se modifica el suelo después de la intervención de estos crustáceos.

CONCLUSIONES

El estudio permitió realizar las siguientes conclusiones:

Se concluye que la eficacia en la reducción de los metales al comparar con normativas nacionales e internacionales como son ECA para Perú; Normativa mexicana y Normativa BOPA Asturias de España, para suelo destinado a actividades industriales; 14 de los metales analizados cumplen la normativa para suelos industriales estos fueron: *Antimonio* (BOPA – España), *Bario* (ECA – Perú), (NOM – México), (BOPA – España) - *Berilio* (NOM – México), (BOPA – España), *Cobalto* (BOPA – España), *Cobre* (BOPA – España), *Cromo* (ECA – Perú), (NOM – México), (BOPA – España), *Estaño* (BOPA – España),, *Mercurio* (ECA – Perú), (NOM – México), (BOPA – España), *Molibdeno* (BOPA – España), *Níquel* (NOM – México), (BOPA – España), *Plata* (NOM – México), (BOPA – España), *Selenio* (NOM – México), (BOPA – España), *Talio* (NOM – México), (BOPA – España), *Vanadio* (NOM – México), (BOPA – España).

9 metales cumplen las normativas para suelos agrícolas *Bario* (ECA – Perú), (NOM – México), (BOPA – España), *Berilio* (NOM – México), (BOPA – España), *Mercurio* (ECA – Perú), (NOM – México), (BOPA – España), *Molibdeno* (BOPA – España), *Níquel* (NOM – México), (BOPA – España), *Plata* (NOM – México), (BOPA – España), *Selenio* (NOM – México), (BOPA – España), *Talio* (NOM – México), (BOPA – España), y *Vanadio* (NOM – México), (BOPA – España)

Se observaron diferencias significativas en los tres tratamientos para los metales antimonio y Arsénico estos con un p valor de 0.0; demostraron diferencias entre tratamientos lo que es indicativo de una disminución de la concentración del metal en relación al pretest evaluado por lo cual se demuestra que para el antimonio y al Arsénico el tratamiento de 200 400 y 600 Porcellio laevis demuestran una eficacia en la reducción de los niveles de estos dos metales.

Se concluye también una disminución radical en el tratamiento 1 y en el tratamiento 2 para el metal bismuto encontrándose diferencias significativas

entre estos dos tratamientos comparándolo con el pre test se evidencia una disminución radical de este metal, sin embargo, al comparar el t2 y el t3 las diferencias entre estos tratamientos no son significativas. No se puede realizar una evaluación de eficacia debido que el bismuto es un metal blanco que no tiene definido sus estándares de calidad ambiental.

Se concluye también que el cadmio es uno de los metales que muestra una disminución radical para el tratamiento 1, sin embargo, las diferencias significativas encontradas entre los tratamientos realizados no son causal de disminución de este metal.

Otro metal en donde se encuentran diferencias significativas en los tres tratamientos es el calcio donde se evidencia que los niveles de este metal si disminuyen radicalmente en los tres tratamientos.

Para el caso del cobalto los tratamientos que evidencia una reducción son el dos y el tres donde se visualiza diferencias significativas entre estos dos tratamientos para el caso del tratamiento 1 al compararlo con el tratamiento 3 no se evidencia la reducción de este metal.

Finalmente, el plomo muestra una disminución radical para el tratamiento 1 al realizar las comparaciones entre el t1 y el t3 estos no tienen significancia estadística es decir no existe diferencias entre estos dos tratamientos lo que indica que solamente el tratamiento uno provoca una reducción de este metal. Esta reducción no cumple el estándar de calidad ambiental ni para suelo agrícola y suelo industrial por ello la eficacia en el tratamiento de suelos altamente contaminados con plomo no esta demostrado, pero su bioacumulación si, con respecto a diversas investigaciones.

Al evaluar la mortalidad se concluye que fue una característica muy interesante ya que nos permitió evaluar la toxicidad de estos contaminantes en el suelo al finalizar el experimento se identificó un 76% de mortalidad para el tratamiento 1 y un 96% para el tratamiento 3 sin embargo el tratamiento 2; tuvo los niveles más altos de mortalidad es un 128.25% estos se debió a la presencia de un depredador que alteró el número de crustáceos isópodos presentes en este tratamiento se trató de un roedor que se comió a los

porcellio laevis durante la investigación, inmediatamente se tuvo que sustituir rápidamente el número de crustáceos para este tratamiento. Otro resultado muy interesante es que la mortalidad se acentuó en la primera semana del armado de las camas. También se verificó gran cantidad de mudas y la aparición al finalizar los tratamientos de un anélido para el tratamiento uno lo que demuestra la efectividad de estos crustáceos Al momento de remediar los suelos.

Del objetivo general del presente estudio no se logra demostrar una eficacia en todos los parámetros de metales pesados analizados, al parecer existen otros factores que condicionarían a la eficacia de los crustáceos isópodos a la remediación de un suelo contaminado por metales pesados. Se puede inferir que el tiempo de acción de estos crustáceos podría remediar de mejor manera estos suelos contaminados. Al ser un experimento que solamente duró tres meses la reducción más efectiva se dio para el antimonio Arsénico calcio y Torio; estadísticamente estos cuatro metales demostraron diferencias significativas con respecto al pretest y los tres tratamientos sin embargo la eficacia no se puede demostrar debido a que no existen normas que propongan estándares de calidad ambiental para estos parámetros. Una reducción parcial se obtuvo para el tratamiento del bismuto y cobalto, y la efectividad para un solo tratamiento que resulta siendo de mejores resultados con respecto al tratamiento 1 de cadmio y plomo que demostraron una reducción significativa de sus parámetros.

RECOMENDACIONES

El estudio permite hacer las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda hacer más ensayos para remediar suelos con mayor tiempo de experimentación.
- Se recomienda 6 meses para tener en cuenta la fase reproductiva de estos crustáceos que podrían aumentar la efectividad para la remediación de los suelos.
- Se recomienda incluir en los análisis de datos de futuros experimentos variables intervinientes como nivel de Humedad, temperatura y características físicas y microbiológicas del suelo.
- Realizar estudios de ecotoxicidad para el *Porcellio laevis* nativo de la ciudad de Huánuco.
- Hacer estudio sobre la muda de estos crustáceos y proponer estudios que puedan vincular una relación estrecha entre los contaminantes y el número de mudas que tienen durante el tiempo de monitoreo de estos crustáceos.
- Hacer un estudio sobre el ciclo biológico de estos crustáceos ya que al momento de experimentación son muchas las dudas de su ciclo biológico con respecto a la poca información presente de esta especie.
- Someter suelos contaminados con otros tipos de elementos para verificar si estos crustáceos tienen más opciones de remediar otros compuestos.
- Evaluar los parámetros de sensibilidad y tolerancia que estos crustáceos pueden tener al exponerse a altas dosis de contaminantes.
- Comparar la efectividad remediadora de estos crustáceos con otras especies que cumplan el mismo rol en la naturaleza.
- Compartir esta Data con los futuros investigadores que realicen y ejecuten la línea de investigación de ecotoxicología ambiental.
- Proponer al programa académico de ingeniería ambiental una línea exclusivamente de investigación para estudios ecotoxicológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvaro, C., Arocena, L., Martínez, M., & Nudelman, N. (2017). Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región patagonia norte, argentina. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 33(2), 247-257. <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.02.06>
- Alvaro, C., Arocena, L., Martínez, M., & Nudelman, N. (2017). Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región patagonia norte, argentina. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 33(2), 247-257. <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.02.06>
- Alvaro, C., Martinez, M., & Arocena, L. (2014). Estudio comparativo del agregado de enmiendas orgánicas e inorgánicas en procesos de biorremediación de suelos norpatagónicos contaminados con petróleo. *Revista De La Sociedad Química Del Perú*, 80(4), 251-261. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v80i4.177>
- Aportela, O. G. and Paulino, L. R. M. (2020). Evaluación de metales pesados en ríos y truchas *oncorhynchus mykiss* de la región pasco, Perú. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 32-48. <https://doi.org/10.46380/rias.v3i2.93>
- Arias, J. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 8(1), 151-167. <https://doi.org/10.22490/21456453.1846>
- Arias, J. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 8(1), 151-167. <https://doi.org/10.22490/21456453.1846>

- Arias-Álvarez, G., Vanegas-Alarcón, D., García-Hernández, A., & Santos-Heredia, C. (2022). Efecto de la cobertura vegetal en escarabajos coprófagos (coleoptera: scarabaeinae) y sus funciones ecológicas en un bosque andino de colombia. *Revista De Biología Tropical*, 70(1). <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v70i1.47849>
- Balseca, A. and Cabrera, T. (2017). Tratamiento de drenaje ácido de mina con el uso de zeolita natural a escala experimental. *Figempa Investigación Y Desarrollo*, 1(2), 29-40. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.67>
- Bautista-Medina, Y. (2020). Toxicidad del lodo de perforación minera en el bioindicador porcellio laevis (latreille, 1804) (crustacea: isopoda). *Paideia*, 10(1), 95-119. <https://doi.org/10.31381/paideia.v10i1.2986>
- Cañete, J., Hüne, M., Haro, D., Medina, A., González, P., & Cañete, I. (2013). Parasitismo ocular en patagonotothen cornucola (pisces: nototheniidae) por un copépodo siphonostomatoida (pennellidae) en la región de magallanes, chile. *Anales Del Instituto De La Patagonia*, 41(2), 65-74. <https://doi.org/10.4067/s0718-686x2013000200005>
- Cerrón, R., Loli, O., Azabache, A., & Sánchez, G. (2018). Phytoremediation with corn (zea mays l.) and stevia compost on soils degraded by contamination with heavy metals. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 551-560. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.11>
- Cortés, J., Bautista, F., Delgado, C., Quintana, P., Aguilar, D., García, A., ... & Gogichaishvili, A. (2016). Spatial distribution of heavy metals in urban dust from ensenada, baja california, mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 23(1), 47-60. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.02.005>
- Covarrubias, S. and Cabriales, J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en méxico: problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 33(esp01), 7-21. <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.esp01.01>

- Covarrubias, S., Berumen, J., & Cabriales, J. (2015). Microorganisms role in the bioremediation of contaminated soils with heavy metals. *Acta Universitaria*, 25(NE-3), 40-45. <https://doi.org/10.15174/au.2015.907>
- Cruz, E., Huamán, W., Sumarriva-Bustinza, L., Chávez-Sumarriva, N., & Yaulilahua-Huacho, R. (2023). Concentración de metales pesados plomo y arsénico en el botadero de mollebamba, huancavelica. *Revista Alfa*, 7(19), 64-71. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i19.198>
- Cruz, V. A. d. I., Huaman, O. C., Campos, C. C., Esteban, C. E. A., & Mendoza, V. R. R. (2023). Uso de estiércol y aserrín en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo, huancavelica, Perú. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 785-801. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4430
- Cuellar, L., Rodríguez-Suárez, L., Murcia-Torrejano, V., Orduz-Tovar, S., Ordoñez-Espinosa, C., & Suárez, J. (2020). Macrofauna del suelo y condiciones edafoclimáticas en un gradiente altitudinal de zonas cafeteras, huila, colombia. *Revista De Biología Tropical*, 69(1). <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i1.42955>
- Fernández, J. (2021). Dispersión geoquímica de metales pesados y su impacto en los suelos de la cuenca del río mantaro, departamento de junín-perú. *Revista Del Instituto De Investigación De La Facultad De Minas Metalurgia Y Ciencias Geográficas*, 24(47), 47-56. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20643>
- Flores, S., Nuñez, P., Zegarra, E., & Flores, J. (2019). Metodología de tratamiento de remediación de pasivos ambientales mineros de cerro el toro de huamachuco para el desarrollo sostenible. *Revista Del Instituto De Investigación De La Facultad De Minas Metalurgia Y Ciencias Geográficas*, 22(44), 85-94. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v22i44.17289>
- Flores-Paucarima, A. and Vitteri-Zumarán, J. (1999). La biotecnología en el impacto ambiental y su aplicación en el Perú. *Ingeniería Industrial*, 0(023), 105. <https://doi.org/10.26439/ing.ind1999.n023.522>

- Ghemari, C., Jelassi, R., Khemaissia, H., Waterlot, C., Raimond, M., Souty-Grosset, C.,... y Nasri-Ammar, K. (2020). Respuestas fisiológicas e histopatológicas de *Porcellio laevis* (isopoda, crustáceos) como indicadores de contaminación por oligoelementos metálicos. *Investigación y técnica de microscopía*, 83(4), 402-409. <https://doi.org/10.1002/jemt.23428>
- Hidalgo, N., Fernández, P., Bustos, D., Rosa, M., & Senese, A. (2022). Cepas nativas tolerantes a metales pesados aislados del pasivo minero de la mina hualilán, argentina. *Revista Colombiana De Materiales*, (18). <https://doi.org/10.17533/udea.rcm.n18a02>
- Mahecha-Pulido, J., Trujillo-González, J., & Torres-Mora, M. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del ariari, departamento del meta. *Orinoquia*, 19(1), 118. <https://doi.org/10.22579/20112629.345>
- Mahecha-Pulido, J., Trujillo-González, J., & Torres-Mora, M. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del ariari, departamento del meta. *Orinoquia*, 19(1), 118. <https://doi.org/10.22579/20112629.345>
- Martínez, Z. and Gonzalez, M. (2017). Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, zona minera el alacrán, colombia. *Temas Agrarios*, 22(2), 21-31. <https://doi.org/10.21897/rta.v22i2.941>
- Mendoza-Escalona, B., Torres-Rodríguez, D., Marcó, L., Gómez, C., Estanga-Barrios, M., & García-Orellana, Y. (2021). Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *Tecnológicas*, 24(51), e1738. <https://doi.org/10.22430/22565337.1738>
- Muñoz-Rojas, M., Delgado-Baquerizo, M., & Lucas-Borja, M. (2021). Soil biodiversity and organic carbon are essential to reverse desertification. *Ecosistemas*, 30(3), 2238. <https://doi.org/10.7818/ecos.2238>
- Muñoz-Silva, L., Olivera-Gonzales, P., Santillán-Torres, M., & Tamariz-Angeles, C. (2019). Microorganismos tolerantes a metales pesados del

- pasivo minero santa rosa, jangas (perú). *Revista Peruana De Biología*, 26(1), 109-118. <https://doi.org/10.15381/rpb.v26i1.15914>
- Muñoz-Silva, L., Olivera-Gonzales, P., Santillán-Torres, M., & Tamariz-Angeles, C. (2019). Microorganismos tolerantes a metales pesados del pasivo minero santa rosa, jangas (perú). *Revista Peruana De Biología*, 26(1), 109-118. <https://doi.org/10.15381/rpb.v26i1.15914>
- Ortiz, O., Mesa, J., & Quintero, G. (2006). Aislamiento e identificación de diez cepas bacterianas desnitrificantes a partir de un suelo agrícola contaminado con abonos nitrogenados proveniente de una finca productora de cebolla en la laguna de tota, boyacá, colombia. *Nova*, 4(6), 50. <https://doi.org/10.22490/24629448.360>
- Ortiz, P., Lárraga, J., Limas, E., Rodríguez, L., Requena, F., & Meza, B. (2018). Bioestimulación y biorremediación de recortes de perforación contaminados con hidrocarburos. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 34(2), 249-262. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.02.06>
- Pérez-Martínez, I. and Romero, F. (2015). Uso de parámetros indirectos para la evaluación de la contaminación de suelos por metales pesados en una zona minera de san luis potosí, méxico. *Boletín De La Sociedad Geológica Mexicana*, 67(1), 1-12. <https://doi.org/10.18268/bsgm2015v67n1a1>
- Preciado, A. and Martínez, J. (2015). Estudio de isópodos terrestres (crustacea: isopoda: oniscidea) en tres localidades de boyacá, colombia. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 31(2), 14-23. <https://doi.org/10.22267/rcia.143102.28>
- Quadros, A. (2010). Os isópodos terrestres são boas ferramentas para monitorar e restaurar áreas impactadas por metais pesados no brasil?. *Oecologia Australis*, 14(02), 569-583. <https://doi.org/10.4257/oeco.2010.1402.13>

- Quadros, A. (2010). Os isópodos terrestres são boas ferramentas para monitorar e restaurar áreas impactadas por metais pesados no Brasil?. *Oecologia Australis*, 14(02), 569-583. <https://doi.org/10.4257/oeco.2010.1402.13>
- Raymundo, M., Morales, F., Óliver, J., & Echevarría, L. (2022). Metales pesados en hortalizas y suelos agrícolas irrigados con aguas superficiales: una revisión sistemática. *Idesia (Arica)*, 40(3), 33-41. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292022000300033>
- Raymundo, M., Morales, F., Óliver, J., & Echevarría, L. (2022). Metales pesados en hortalizas y suelos agrícolas irrigados con aguas superficiales: una revisión sistemática. *Idesia (Arica)*, 40(3), 33-41. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292022000300033>
- Reis, F., Nascimento, E., Castro, H., Gonçalves, AL, Simões, S., García-Palacios, P., ... & Silva, PM d. (2018). El manejo de la tierra impacta las preferencias alimentarias de la cochinilla *porcellio dilatatus* (isopoda: oniscidea) a través de cambios en la calidad de la hojarasca. *Ecología de suelos aplicada*, 132, 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.apsil.2018.08.018>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación Y Desarrollo*, 16(2). <https://doi.org/10.19053/1900771x.v16.n2.2016.5447>
- Rocha-Ramírez, A., Álvarez, F., Alcocer, J., Chávez-López, R., & Escobar-Briones, E. (2009). Lista anotada de los isópodos acuáticos epicontinentales de México (Crustacea: Isopoda). *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 80(003). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2009.003.159>
- Rojas, M. and Vivanco-Galván, O. (2018). Análisis de comunidades bacterianas asociadas a la rizósfera de especies vegetales miconia

zamorensis y erato polymnoides en suelos contaminados por metales pesados. Bionatura, 3(2). <https://doi.org/10.21931/rb/2018.03.02.6>

Schejter, L., Chiesa, I., Doti, B., & Bremec, C. (2011). *Mycale (aegogropila) magellanica* (porifera: demospongiae) in the southwestern atlantic ocean: endobiotic fauna and new distributional information. *Scientia Marina*, 0(0). <https://doi.org/10.3989/scimar.03490.21a>

Torrecilla, M. and Javier, F. (2011). Mejora de la eficacia escolar en iberoamérica. *Revista Iberoamericana De Educación*, 55, 49-83. <https://doi.org/10.35362/rie550525>

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Pardave Tineo, J. (2024). *Eficacia de la biorremediación con crustáceos isópodos (porcellio laevis) para la reducción de metales pesados en suelos contaminados* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

RESULTADOS DE LABORATORIO PRE TEST

logo Alab logo inacal

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-16440

I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.-RAZON SOCIAL : JIMENA PARDAVE TINEO
2.-DIRECCIÓN : URB. SANTA ELENA MZ I LT9. HUANUCO- HUANUCO- AMARILIS
3.-PROYECTO : MUESTRA DE SUELOS CONTAMINADOS POR METALES PESADOS
4.-PROCEDENCIA : MINA SUBTERRANEA MARCAPUNTA - BUENAVENTURA - CERRO DE PASCO
5.-SOLICITANTE : JIMENA PARDAVE TINEO
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 0000003891-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
8.-MUESTREADO POR : MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2023-08-16

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

- 1.-PRODUCTO : Suelos
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2023-08-02
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2023-08-09 al 2023-08-16

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Metales Totales en suelos ICP MS ⁽¹⁾	EPA METHOD 6020B, Rev.2, 2014/EPA METHOD 3050B Rev. 2, 1996. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance: B, Ca, Ce, Fe, K, Li, Mg, Mo, Na, P, Si, Sn, Sr, Ti, Bi, U, Th). 2020.	METALES TOTALES: Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V, Zn, Hg, B, Ca, Ce, Fe, K, Li, Mg, Mo, Na, P, Si, Sn, Sr, Ti, Bi, U, Th. Inductively coupled plasma-mass spectrometry / Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils.

⁽¹⁾ "EPA": U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

IV. RESULTADOS

ITEM	1
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-52913
CÓDIGO DEL CLIENTE:	MS-01
COORDENADAS:	E:0364528.00
UTM WGS 84:	N:8821471
PRODUCTO:	Suelos
SUB PRODUCTO:	Suelo
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :	01-08-2023 10:30

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Metales Totales en suelos				
ICP MS				
Aluminio (*)	mg/Kg	0,10	0,30	1 397,84
Antimonio (*)	mg/Kg	0,06	0,20	50,22
Arsénico (*)	mg/Kg	0,02	0,10	129,45
Bario (*)	mg/Kg	0,01	0,03	121,05
Berilio (*)	mg/Kg	0,01	0,03	0,42
Bismuto (*)	mg/Kg	0,06	0,20	52,83
Boro (*)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10
Cadmio (*)	mg/Kg	0,005	0,020	29,204
Calcio (*)	mg/Kg	0,1	0,4	80 903,9
Cerio (*)	mg/Kg	0,04	0,10	<0,10
Cobalto (*)	mg/Kg	0,05	0,20	3,95
Cobre (*)	mg/Kg	0,005	0,020	58,821
Cromo (*)	mg/Kg	0,01	0,03	1,67
Estaño (*)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10
Estroncio (*)	mg/Kg	0,05	0,20	86,06
Fosforo (*)	mg/Kg	0,04	0,10	1 644,22
Hierro (*)	mg/Kg	0,06	0,20	95 641,26
Litio (*)	mg/Kg	0,003	0,010	1,385
Magnesio (*)	mg/Kg	0,06	0,20	32 715,81
Manganeso (*)	mg/Kg	0,01	0,03	18 005,50
Mercurio (*)	mg/Kg	0,01	0,04	<0,04
Molibdeno (*)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10
Niquel (*)	mg/Kg	0,01	0,04	5,43
Plata (*)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10
Plomo (*)	mg/Kg	0,05	0,20	6 314,34
Potasio (*)	mg/Kg	0,30	1,00	501,83

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA
 L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
 L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-52913
CÓDIGO DEL CLIENTE:				MS-01
COORDENADAS:				E:0364528.00
UTM WGS 84:				N:8821471
PRODUCTO:				SUELOS
SUB PRODUCTO:				Suelo
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				01-08-2023 10:30
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Selenio (*)	mg/Kg	0,05	0,20	<0,20
Silicio (*)	mg/Kg	0,02	0,07	1 129,71
Sodio (*)	mg/Kg	0,03	0,10	122,58
Talio (*)	mg/Kg	0,01	0,04	<0,04
Titanio (*)	mg/Kg	0,03	0,10	9,32
Torio (*)	mg/Kg	0,01	0,03	1 220,05
Uranio (*)	mg/Kg	0,01	0,03	<0,03
Vanadio (*)	mg/Kg	0,01	0,04	<0,04
Zinc (*)	mg/Kg	0,01	0,02	3 806,91

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $<$ "= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, " $<$ "= Menor que el L.D.M.

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

ANEXO 2

RESULTADOS DE LABORATORIO POST TEST



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-23776

N° Id.: 0000091941

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : JIMENA PARDAVE TINEO
2.-DIRECCIÓN : URB. SANTA ELENA MZ I LT9. HUANUCO- HUANUCO- AMARILIS
3.-PROYECTO : ANALISIS DE SUELO
4.-PROCEDENCIA : MINA SUBTERRANEA-BELLAVISTA-CERRO DE PASCO
5.-SOLICITANTE : JIMENA PARDAVE TINEO
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 0000005726-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
8.-MUESTREADO POR : MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2023-11-09

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Suelos
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 10
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2023-11-02
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2023 11-02 al 2023-11-07

Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
CIP N° 211662



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

Pág.1 de 6

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-23776

N° Id.: 0000091941

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Metales Totales en suelos ICP MS ⁽¹⁾	EPA METHOD 6020B, Rev.2, 2014/EPA METHOD 3050B Rev. 2, 1996. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance: B, Ca, Ce, Fe, K, Li, Mg, Mo, Na, P, Si, Sn, Sr, Ti, Bi, U, Th). 2020.	METALES TOTALES: Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V, Zn, Hg, B, Ca, Ce, Fe, K, Li, Mg, Mo, Na, P, Si, Sn, Sr, Ti, Bi, U, Th. Inductively coupled plasma-mass spectrometry / Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils.

⁽¹⁾EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

Pág.2 de 6

 **SEDE PRINCIPAL**
 Av. Guardia Chalaca N° 1877,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0756
 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

 **SEDE ZARUMILLA**
 Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0836
 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

 **SEDE AREQUIPA**
 COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
 Arequipa
 Telf.: (+054) 616 843
 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

 **SEDE PIURA**
 Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
 Castilla - Piura
 Telf.: (+073) 542 335
 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-23776

N° Id.: 0000091941

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-74308	M-23-74308	M-23-74308			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	MS-01 - 1	MS-01 - 2	MS-01 - 3			
COORDENADAS:	E:0365145.91	E:0365145.91	E:0365145.91			
UTM WGS 84:	N:8902526.196	N:8902526.196	N:8902526.196			
PRODUCTO:	Suelos	Suelos	Suelos			
SUB PRODUCTO:	Suelos	Suelos	Suelos			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	31-10-2023 16:08	31-10-2023 16:20	31-10-2023 16:28			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Metales Totales en suelos ICP MS						
Aluminio (*)	mg/Kg	0,10	0,30	3 713,26	3 602,24	3 701,31
Antimonio (*)	mg/Kg	0,06	0,20	20,86	19,31	20,92
Arsénico (*)	mg/Kg	0,02	0,10	253,96	241,13	248,36
Bario (*)	mg/Kg	0,01	0,03	154,38	143,24	136,29
Berilio (*)	mg/Kg	0,01	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bismuto (*)	mg/Kg	0,06	0,20	13,22	13,30	13,13
Boro (*)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Cadmio (*)	mg/Kg	0,005	0,020	7,888	7,721	7,743
Calcio (*)	mg/Kg	0,1	0,4	120 877,7	121 430,1	120 836,2
Cerio (*)	mg/Kg	0,04	0,10	5,06	5,02	5,23
Cobalto (*)	mg/Kg	0,05	0,20	14,18	14,13	14,51
Cobre (*)	mg/Kg	0,005	0,020	181,764	182,302	181,035
Cromo (*)	mg/Kg	0,01	0,03	5,38	5,59	5,21
Estaño (*)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Estroncio (*)	mg/Kg	0,05	0,20	36,76	36,72	35,12
Fosforo (*)	mg/Kg	0,04	0,10	2 175,67	2 167,20	2 124,73
Hierro (*)	mg/Kg	0,06	0,20	25 028,84	25 103,83	25 015,54
Litio (*)	mg/Kg	0,003	0,010	2,689	2,971	2,432
Magnesio (*)	mg/Kg	0,06	0,20	67 118,25	67 034,12	67 036,18
Manganeso (*)	mg/Kg	0,01	0,03	3 128,17	3 112,10	3 733,10
Mercurio (*)	mg/Kg	0,01	0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Molibdeno (*)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Niquel (*)	mg/Kg	0,01	0,04	13,30	14,02	13,97
Plata (*)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Plomo (*)	mg/Kg	0,05	0,20	1 061,45	1 103,61	1 033,39
Potasio (*)	mg/Kg	0,30	1,00	515,99	520,86	534,12
Selenio (*)	mg/Kg	0,05	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Silicio (*)	mg/Kg	0,02	0,07	29 044,70	29 152,16	28 443,23
Sodio (*)	mg/Kg	0,03	0,10	277,48	256,20	259,80
Talio (*)	mg/Kg	0,01	0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Titanio (*)	mg/Kg	0,03	0,10	16,25	15,05	16,13
Torio (*)	mg/Kg	0,01	0,03	3,32	3,72	4,03
Uranio (*)	mg/Kg	0,01	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Vanadio (*)	mg/Kg	0,01	0,04	21,24	20,13	20,01
Zinc (*)	mg/Kg	0,01	0,02	2 817,44	2 818,52	2 874,98

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $<$ "= Menor que el L.D.M

Pág.3 de 6

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-23776

N° Id.: 0000091941

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-74309	M-23-74309	M-23-74309			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	MS-02 - 1	MS-02 - 2	MS-02 - 3			
COORDENADAS:	E:0365149.80	E:0365149.80	E:0365149.80			
UTM WGS 84:	N:8902520.120	N:8902520.120	N:8902520.120			
PRODUCTO:	Suelos	Suelos	Suelos			
SUB PRODUCTO:	Suelos	Suelos	Suelos			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	31-10-2023 16:30	31-10-2023 16:40	31-10-2023 16:50			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Metales Totales en suelos ICP MS						
Aluminio (*)	mg/Kg	0,10	0,30	1 321,21	1 392,36	1 356,52
Antimonio (*)	mg/Kg	0,06	0,20	44,33	44,02	43,98
Arsénico (*)	mg/Kg	0,02	0,10	88,93	89,19	88,25
Bario (*)	mg/Kg	0,01	0,03	139,64	140,31	139,31
Berilio (*)	mg/Kg	0,01	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bismuto (*)	mg/Kg	0,06	0,20	30,99	30,12	31,03
Boro (*)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Cadmio (*)	mg/Kg	0,005	0,020	46,922	45,629	46,749
Calcio (*)	mg/Kg	0,1	0,4	79 490,2	79 446,2	80 123,1
Cerio (*)	mg/Kg	0,04	0,10	2,07	2,02	2,51
Cobalto (*)	mg/Kg	0,05	0,20	0,32	0,52	0,19
Cobre (*)	mg/Kg	0,005	0,020	41,405	41,348	40,269
Cromo (*)	mg/Kg	0,01	0,03	1,61	1,33	1,47
Estaño (*)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Estroncio (*)	mg/Kg	0,05	0,20	95,72	94,18	95,34
Fosforo (*)	mg/Kg	0,04	0,10	1 767,60	1 618,19	1 624,79
Hierro (*)	mg/Kg	0,06	0,20	111 792,97	111 124,26	111 612,13
Litio (*)	mg/Kg	0,003	0,010	1,979	1,918	1,920
Magnesio (*)	mg/Kg	0,06	0,20	44 020,06	44 114,14	44 136,43
Manganeso (*)	mg/Kg	0,01	0,03	22 301,02	22 312,78	22 349,03
Mercurio (*)	mg/Kg	0,01	0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Molibdeno (*)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Niquel (*)	mg/Kg	0,01	0,04	4,87	4,62	5,74
Plata (*)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Plomo (*)	mg/Kg	0,05	0,20	10 340,80	10 203,73	10 139,54
Potasio (*)	mg/Kg	0,30	1,00	1 031,65	1 180,03	1 044,21
Selenio (*)	mg/Kg	0,05	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Silicio (*)	mg/Kg	0,02	0,07	25 770,25	25 620,12	25 723,10
Sodio (*)	mg/Kg	0,03	0,10	256,80	213,76	229,34
Talio (*)	mg/Kg	0,01	0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Titanio (*)	mg/Kg	0,03	0,10	10,03	10,29	10,14
Torio (*)	mg/Kg	0,01	0,03	11,77	11,92	11,73
Uranio (*)	mg/Kg	0,01	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Vanadio (*)	mg/Kg	0,01	0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Zinc (*)	mg/Kg	0,01	0,02	14 538,48	14 422,34	14 566,11

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

Pág.4 de 6

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-23776

N° Id.: 0000091941

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-74310	M-23-74310	M-23-74310			
CÓDIGO DEL CLIENTE	MS-03 - 1	MS-03 - 2	MS-03 - 3			
COORDENADAS	E:0365190.02	E:0365190.02	E:0365190.02			
UTM WGS 84	N:8901731.150	N:8901731.150	N:8901731.150			
PRODUCTO	Suelos	Suelos	Suelos			
SUB PRODUCTO	Suelos	Suelos	Suelos			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	31-10-2023 17:00	31-10-2023 17:10	31-10-2023 17:20			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Metales Totales en suelos ICP MS						
Aluminio (*)	mg/Kg	0,10	0,30	1 805,64	8 732,29	8 828,34
Antimonio (*)	mg/Kg	0,06	0,20	45,96	46,58	46,84
Arsénico (*)	mg/Kg	0,02	0,10	106,70	102,33	104,24
Bario (*)	mg/Kg	0,01	0,03	156,25	153,17	155,02
Berilio (*)	mg/Kg	0,01	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bismuto (*)	mg/Kg	0,06	0,20	34,75	39,19	35,02
Boro (*)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Cadmio (*)	mg/Kg	0,005	0,020	48,840	48,532	48,625
Calcio (*)	mg/Kg	0,1	0,4	74 846,0	74 633,2	74 811,1
Cerio (*)	mg/Kg	0,04	0,10	2,95	2,93	2,86
Cobalto (*)	mg/Kg	0,05	0,20	0,52	0,57	0,50
Cobre (*)	mg/Kg	0,005	0,020	55,079	55,225	56,012
Cromo (*)	mg/Kg	0,01	0,03	3,29	3,31	3,23
Estaño (*)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Estroncio (*)	mg/Kg	0,05	0,20	94,46	93,71	91,87
Fosforo (*)	mg/Kg	0,04	0,10	1 926,80	1 861,21	1 854,20
Hierro (*)	mg/Kg	0,06	0,20	109 905,67	109 734,43	109 687,36
Litio (*)	mg/Kg	0,003	0,010	2,450	2,529	2,501
Magnesio (*)	mg/Kg	0,06	0,20	41 120,25	41 035,33	41 230,45
Manganeso (*)	mg/Kg	0,01	0,03	22 742,05	22 765,23	22 758,20
Mercurio (*)	mg/Kg	0,01	0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Molibdeno (*)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Níquel (*)	mg/Kg	0,01	0,04	5,81	4,99	5,65
Plata (*)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Plomo (*)	mg/Kg	0,05	0,20	10 438,31	10 403,97	10 512,31
Potasio (*)	mg/Kg	0,30	1,00	1 134,29	1 123,78	1 114,23
Selenio (*)	mg/Kg	0,05	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Silicio (*)	mg/Kg	0,02	0,07	31 427,96	31 573,13	31 557,24
Sodio (*)	mg/Kg	0,03	0,10	235,99	231,90	232,01
Talio (*)	mg/Kg	0,01	0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Titanio (*)	mg/Kg	0,03	0,10	17,35	17,56	17,45
Torio (*)	mg/Kg	0,01	0,03	11,74	11,72	11,62
Uranio (*)	mg/Kg	0,01	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Vanadio (*)	mg/Kg	0,01	0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Zinc (*)	mg/Kg	0,01	0,02	14 987,40	14 948,43	14 941,19

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL – DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<= Menor que el L.C.M.

Pág. 5 de 6

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

ANEXO 3

MATRIZ DE CONSISTENCIA”

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cuál es la eficacia de la biorremediación con crustáceos isópodos (Porcellio laevis) para la reducción de metales pesados en suelos contaminados?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Evaluar la eficacia de la biorremediación con crustáceos isópodos (Porcellio laevis) para la reducción de metales pesados en suelos contaminados.</p> <p>OBJETIVO ESPECIFICO</p> <p>Describir el efecto de 200, 400 y 600 Porcelio laevis sobre los metales pesados evaluados en los suelos sometidos a experimentación</p> <p>Describir la concentración de metales pesados en el suelo</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL</p> <p>HI: Existe eficacia significativa en algunos de los grupos de tratamientos de 200; 400 o 600 de Porcellio laevis en la disminución de metales pesados.</p> <p>HIPOTESIS ESPECIFICAS</p> <p>HI. La exposición de 200 crustáceos isópodos resulta siendo más eficaz en la reducción de metales pesados que los otros 2 tratamientos.</p> <p>HI. La exposición de 400 crustáceos isópodos resulta</p>	<p>Variable Dependiente</p> <p>Disminución de metales pesados</p> <p>Variable Independiente</p> <p>Biorremediación</p>	<p>Tipo de investigación</p> <p>Según la intervención del investigador el estudio es sin intervención; según la planificación y el tiempo de recolección de datos el estudio es prospectivos; según el número de mediciones de la variable de estudio el estudio es transversal y según el número de variables analíticas mi estudio es analíticos.</p> <p>Enfoque</p> <p>Presenta un enfoque cuantitativo</p> <p>Nivel de investigación</p> <p>El nivel de investigación es explicativo.</p> <p>Población</p>

afectado por metales pesados antes y después de la biorremediación con los crustáceos isópodos (Porcellio laevis)

Describir la mortalidad de los crustáceos Isópodos; en los 3 meses de experimentación

-

siendo más eficaz en la reducción de metales pesados que los otros 2 tratamientos.

HI. La exposición de 600 crustáceos isópodos resulta siendo más eficaz en la reducción de metales pesados que los otros 2 tratamientos.

HI. Existen variaciones de los metales pesados en alguno de los tratamientos que demuestre ser más eficaz.

La población estuvo representada por 40 kg de suelo contaminado con metales pesados que fue extraído de la MINA SUBTERRANEA Marcapunta - Buenaventura – En Cerro De Pasco.

Muestra

Las muestras fueron:

2 muestra de 300 g para el pretest (antes) y post test (después) con la finalidad de que nuestro control evidencia la no existencia de variables intervinientes en los 3 meses de estudio.

ANEXO 4. PANEL FOTOGRAFICO

Fase 1 (Llegada de Isópodos y suelo contaminado)

Llegada de los *Porcellio laevis*



Preparación de camas en conjunto con los *Porcellio laevis*



Extracción de suelo de minera en Cerro de Pasco



Llegada de los *Porcellio laevis* y reconocimiento de suelo



Armado de bandejas para recibir al suelo y a los Isópodos



Apoyo a la tesista en calidad de asesor para el armado de camas



Fase 2 (Acondicionamiento para el Porcellio laevis)

Primer día de llegada de los crustáceos isópodos y exposición al suelo contaminado



Se visualiza un alto nivel de mortalidad para los tratamientos T3 y T2



Se aplica Hojarasca de ficus y almendra para poder proporcionar el hábitat de los Isopos



Es estas figuras se visualiza las camas y el riego por aspersión que se realiza dejando un día para mantener húmedo el suelo que esta siendo sometido a experimentación.



Fase 3 (Adaptación del Porcellio laevis al suelo contaminado)

Visita de mi asesor a mis módulos experimentales



Riego mediante aspersión Inter diario para mantener la humedad



Los Porcellio comienzan adaptarse, la mortalidad disminuye y hacen agujeros en el suelo.



En la siguiente imagen se observa en la parte inferior los individuos muertos que se sacan una vez por semana con la finalidad de evaluar mortalidad.



Fase 4 (Termino de etapa de experimentación y secado de muestras)

Se aprecia la tierra húmeda con gran cantidad de isópodos y mareas en diversas etapas.



Se aprecia la presencia de mareas en gran cantidad debido a la preñez de las hembras



Se aprecia pequeños hoyos donde se localizan los isópodos



Fase 4 (Termino de etapa de experimentación y secado de muestras)



En las imágenes que se observa, se puede verificar el procedimiento del secado al sol de las camas luego de haber retirado la hojarasca y de haber retirado a todos los *Porcellio laevis*; en la imagen se observa la bandeja del tratamiento 1 donde se pudo visualizar la presencia de una lombriz en este tratamiento

Fase 5 (Toma de muestras sectorizadas por bandeja)

Sectorizando las bandejas para la toma de muestras representativas



Haciendo uso de una bandeja para sacar cada sector y homogenizar la muestra



Extrayendo isópodos que aún se encuentran en el suelo; y cerniendo la tierra



Sectorizando las muestras



9 muestras de 300g listas para análisis de laboratorio en la ciudad de Lima

