Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ciencias

Escuela Profesional de Biología con Mención en Biotecnología

Evaluación *in vitro* de la capacidad biorremediadora de hongos filamentosos aislados de suelos agrícolas contaminados con metales pesados

Tesis

Para optar el Título Profesional de Biólogo con Mención en Biotecnología

Autoras

Ada Yoselma Tello Carrillo
Milagros Virginia Salvador Rosales

Asesor
Dr. José Luis Romero Bozzetta

Blgo. Dr. Romero Bozzeta José Luis
C B P 1901
Blgo. Dr. José Luis Romero Bozzetta
C.B.P 1901

Huacho – Perú

2026



Reconocimiento – No Comercial – Sin Derivadas – Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/
Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un alcance a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.

UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN
LICENCIADA
(Resolución de consejo directivo N° 012 – 2020 SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ciencias

Escuela Profesional de Biología con Mención en Biotecnología

INFORMACIÓN

DATOS DE LOS AUTORES:		
NOMBRES Y APELLIDOS	**DNI**	**FECHA DE SUSTENTACIÓN**
Ada Yoselma Tello Carrillo	77356258	16/10/2026
Milagros Virginia Salvador Rosales	74573329	16/10/2026
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	**DNI**	**CÓDIGO ORCID**
José Luis Romero Bozzetta	15581525	https://orcid.org/0009-0005-2859-3439
DATOS DE LOS MIEMBROS DEL JURADO – PREGRADO		
NOMBRES Y APELLIDOS	**DNI**	**CÓDIGO ORCID**
Francisco Castillo More	15589942	https://orcid.org/0009-0005-8777-7764
Luis Alberto La Cruz Arévalo	15612160	https://orcid.org/0009-0009-4576-5107
Pedro James Vásquez Medina	16562688	https://orcid.org/0000-0001-6241-5525

Ada Tello & Milagros Salvador

Evaluación In Vitro de la capacidad biorremediadora de hongos filamentosos aislados de suelos agrícolas contaminad...

Quick Submit

Quick Submit

Facultad de Ciencias

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3450359472

Fecha de entrega
23 dic 2025, 3:27 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
23 dic 2025, 3:42 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
Tesis_Corregido_Tello_-_Salvador.pdf

Tamaño del archivo
2.6 MB

53 páginas

10.816 palabras

68.446 caracteres

14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

13% Fuentes de Internet
3% Publicaciones
7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado principalmente a nuestros padres por apoyarnos incondicionalmente en toda nuestra carrera universitaria, a nuestros hermanos, y familia por su apoyo moral, sin ellos no hubiéramos logrado llegar hasta estas instancias de realizar la tesis. Agradecerles por su constante motivación la cual nos llenó cada día de esmero y esfuerzo para la culminación de esta etapa.

ADA YOSELMA TELLO CARRILLO

SALVADOR ROSALES MILAGROS VIRGINIA

Agradecimiento

Agradecemos primeramente a Dios quien es nuestro guía, a nuestros padres, por el apoyo constante, que sentimos profundamente no hubiéramos llegado hasta este momento.

A nuestro asesor, el Dr. Jose Luis Romero Bozzetta, por él y sus consejos que nos impulsaron a solucionar cada problema planteado en este proyecto y por lo cual no hubiéramos podido terminar con las interrogantes planteadas en la tesis.

Luego agradecer a nuestros docentes de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión por su formación, por su amistad y consejos para lograr ser los profesionales que el día de hoy somos.

Finalmente agradecer a todos nuestros compañeros de labores los cuales directa e indirectamente contribuyeron para la realización de esta investigación, por proporcionarnos los ambientes y tiempo para poder realizar nuestro proyecto científico.

Índice

Dedicatoria iii
Agradecimiento iv
Índice de tablas viii
Índice de figuras ix
Resumen x
Abstract xi
Introducción xii
Capítulo I. Planteamiento del problema 1
1.1 Descripción de la realidad problemática 1
1.2 Formulación del problema 2
1.2.1 Problema general 2
1.2.2 Problemas específicos 2
1.3 Objetivos de la investigación 2
1.3.1 Objetivo general 2
1.3.2 Objetivos específicos 2
1.4 Justificación de la investigación 2
1.4.1 Justificación Técnica 2
1.4.2 Justificación Económica 3
1.5 Delimitación del estudio 3
1.5.1 Delimitación Espacial 3
1.5.2 Delimitación Temporal 3
Capítulo II. Marco teórico 4
2.1 Antecedentes de la investigación 4
2.1.1 Investigaciones internacionales 4
2.1.2 Investigaciones nacionales 6
2.2 Bases teóricas 9
2.2.1 Biorremediación 9
2.2.1.1 Tipos de biorremediación 9
2.2.2 Metales Pesados 10
2.2.2.1 Características de los Metales Pesados 10
2.2.3 Hongos Filamentosos 12

2.2.4 Evaluación In Vitro 13
2.2.5 Suelo Agrícola 13
2.2.6 Suelo Contaminado 14
2.2.6 Capacidad biorremediadora de hongos 14
2.3 Definición de términos básicos 15
2.4 Hipótesis de investigación 16
2.4.1 Hipótesis general 16
2.4.2 Hipótesis específicas 16
2.4.3 Operacionalización de las variables 16
Capítulo III. Metodología 19
3.1 Diseño metodológico 19
3.1.1 Tipo de investigación 19
3.1.2 Nivel de Investigación 19
3.1.3 Diseño 19
3.1.4 Enfoque 19
3.2 Población y muestra 19
3.2.1 Población 19
3.2.2 Muestra 19
3.3 Técnicas de recolección de datos 19
3.3.1 Técnicas para recolectar datos 19
3.3.2 Recolección de muestras 20
3.3.3 Determinación de la concentración inicial de Plomo y Cadmio inicial 20
3.3.4 Aislamiento y purificación hongos filamentosos 20
3.3.5 Identificación fenotípica de hongos filamentosos 20
3.3.6 Obtención de biomasa para los procesos de bioadsorción 20
3.3.7 Inoculación del hongo 20
3.3.8 Eficiencia de remoción 21
3.4 Técnicas para el procesamiento de la información 22
3.4.2 Estadística inferencia 22
3.4.3 Software para el análisis de datos 22
Capítulo IV. Resultados 23
4.1 Análisis de resultados 23
Capítulo V. Discusión 27
5.1 Discusión de resultados 27

Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones.....28
5.1 Conclusiones 28
5.2 Recomendaciones.....28
Capítulo VII. Referencias.....29
Anexos 34

Índice de tablas

Tabla 1 18
Operacionalización de variables 18

Índice de figuras

Figura 1 12
Fuentes de Contaminación por Metales Pesados en Aire, Suelo, Agua y Plantas 12
Figura 2. 23
Área de recolección de muestras en la provincia de Huaral (Zona roja) 23
Figura 3. 24
Cepa de hongo filamentoso en medio PDA. 24
Figura 4 25
Fotografías a 40x al microscopio óptico de la cepa fúngica aislada 25
Figura 5 25
Fotografía del hongo sacada de la referencia bibliográfica 25
Figura 6 26
Resultado de la disminución de Plomo (Pb) 26
Figura 7 26
Resultado de la disminución de Cadmio (Cd) 26

Resumen

Objetivo: Evaluar la capacidad biorremediadora de hongos filamentosos aislados de suelos agrícolas contaminados con metales pesados en la provincia de Huaral, 2024.

Metodología: La recolección se realizó en cada punto, las muestras se almacenaron en un cooler para posteriormente ser llevado al laboratorio de la UNALM para su respectivo análisis. Para el aislamiento y purificación hongos filamentosos, se pesaron 10 gramos de tierra, luego se disolvieron en un matraz que contenía 90 mL de agua purificada y se llevaron a cabo las diluciones por series desde 10-1 hasta la 10-9. Se inoculó en medio PDA. Se pesaron 10 gramos de tierra, luego se disolvieron en un matraz que contenía 90 mL de agua purificada y se llevaron a cabo las diluciones por series desde 10-1 hasta la 10-9. Se inoculó en medio PDA., se incubaron por un periodo de 10-15 días a 28ºC. La identificación fenotípica de hongos filamentosos se determinó por la forma, color, tamaño, consistencia, y presencia de pigmento. En la caracterización microscópica se hizo la evaluación de conidios, hifas y esporas para lo cual se realizará un montaje en lámina con azul de lactofenol. La evaluación de la capacidad biorremediadora, se realizó con las condiciones del suelo contaminado con Pb y Cd.

Resultados: En relación a los resultados alcanzados al disminuir la cantidad de plomo, los datos obtenidos muestran que si hubo una reducción de 78.76% de la concentración inicial de 207.15 ppm a 44.43 ppm de Pb y con respecto al Cadmio los resultados muestran que se obtuvo una reducción del 95.8% de Cd, teniendo un punto inicial de 45.03 ppm y teniendo un valor final de 2.15 ppm.

En los hallazgos conseguidos se puede afirmar que el hongo filamentosos que tiene la habilidad de limpiar suelos afectados por metales pesados como el plomo y el cadmio, corresponde a *Absidia sp*. una especie que se halla frecuentemente en los suelos.

Conclusiones: Se logró el aislamiento e identificación del hongo de muestra de suelo de campo agrícola cerca al relave minero, la especie fue identificada como *Absidia* sp. con ayuda de la referencia bibliográfica. Además, se comprobó la capacidad biorremediadora de metales pesados del hongo contra Pb y Cd.

Palabras clave: Hongo, biorremediación, metales pesados, filamentosos y Huaral.

Abstract

Objective: Evaluate the bioremediation capacity of filamentous fungi isolated from agricultural soils contaminated with heavy metals in the province of Huaral, 2024.

Methodology: The collection was carried out at each point, and the samples were stored in a cooler to be later transported to the UNALM laboratory for corresponding analysis. For the isolation and purification of filamentous fungi, 10 grams of soil were taken and diluted in a flask containing 90 mL of distilled water, followed by serial dilutions from 10^{-1} to 10^{-9}. The samples were plated on PDA medium and incubated for a period of 10–15 days at 28°C.

Phenotypic identification of filamentous fungi was determined based on shape, color, size, consistency, and the presence of pigment. Microscopic characterization involved the evaluation of conidia, hyphae, and spores, for which a slide was prepared using lactophenol blue stain. The evaluation of the bioremediation capacity was conducted under conditions simulating soil contaminated with Pb and Cd.

Results: Regarding the results obtained from the reduction of lead concentration, the data show a significant decrease of 78.76%, from an initial concentration of 207.15 ppm to 44.43 ppm of Pb. As for cadmium, the results indicate a reduction of 95.8%, with an initial concentration of 45.03 ppm and a final value of 2.15 ppm.

Based on these findings, it can be confirmed that the filamentous fungus species with the capacity to remediate soils contaminated with heavy metals such as Pb and Cd is *Absidia* sp., a species commonly found in soil environments.

Conclusions: The isolation and identification of the fungus from a soil sample collected in an agricultural field near a mining tailing site was successfully achieved. The species was identified as *Absidia* sp. with the help of bibliographic references. In addition, the fungus's bioremediation capacity against heavy metals, specifically Pb and Cd, was confirmed.

Keywords: Fungus, bioremediation, heavy metals, filamentous and Huaral.

Introducción

El empleo de sustancias toxicas en los suelos, tales como subproductos de la minería, así como el vertimiento de ellos o su enterramiento en lugares inapropiados ha sido agravado en las últimas décadas los problemas en el suelo y en el agua. En la actualidad tras la obtención de materias primas se arrojan a los cauces públicos una multitud de sustancias contaminantes. Entre las más severas son las que se producen a causa de los metales pesados porque tienden a acumularse en diversos lugares (Coello Paredes, 2011).

Tales metales pesados como el cadmio, mercurio, plomo, cobre, níquel, antimonio y bismuto tienen la capacidad de inducir cambios evolutivos a causa de sus efectos perjudiciales. Pueden ser contaminantes extremadamente dañinos ya que afectan negativamente el aire, el agua y la tierra. La inadecuada gestión de los materiales y desechos peligrosos ha generado un problema de contaminación de suelos y cuerpos de agua a nivel global. Entre las contaminaciones más graves se encuentran las causadas por metales pesados, ya que tienden a acumularse en los organismos vivos. La bioacumulación se refiere a un incremento en la concentración de una sustancia química en un organismo en un período específico, en comparación con la concentración de dicha sustancia en su entorno (Schmidt, 2002).

En la actualidad, hay varios métodos tradicionales para retirar metales pesados de efluentes, especialmente cuando están en elevadas concentraciones. Sin embargo, estas técnicas suelen ser costosas y poco efectivas cuando las concentraciones son bajas, lo que agrava la situación. Para abordar este desafío, en los últimos diez años, la biorremediación ha sido considerada como una alternativa prometedora, gracias a su economía y su capacidad para atraer metales pesados en niveles bajos (Flores et-al., 2005).

Sin embargo, ciertos microorganismos tienen la habilidad de soportar y multiplicarse en lugares donde hay altos niveles de metales pesados. Esta habilidad puede ser utilizada por los humanos para crear procesos biotecnológicos y representa actualmente un desafío para los científicos, quienes buscan reducir al mínimo el efecto ambiental que causan los metales pesados (Garza González, 2005).

Capítulo I. Planteamiento del problema

1.1 Descripción de la realidad problemática

La contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, como el plomo y el cadmio, es un problema creciente en muchas regiones del mundo, particularmente en zonas cercanas a actividades mineras. En la provincia de Huaral, ubicada en el Departamento de Lima, los terrenos agrícolas próximos a empresas mineras muestran una notable acumulación de estos metales, lo que constituye un peligro tanto para la salud de las personas como para la diversidad biológica del área.

Los metales pesados influyen de manera directa en la calidad de los terrenos, modificando su composición y disminuyendo su habilidad para mantener la vegetación, lo que pone en riesgo la producción agrícola (Loyde et al., 2022).

Además de los impactos en los suelos, las plantas pueden absorber metales pesados, lo que lleva a su acumulación en los cultivos y, a la larga, en la cadena alimentaria. Esto no solo tiene repercusiones en la salud de quienes consumen esos productos, sino que también altera los ecosistemas agrícolas y los recursos hídricos, afectando a las comunidades locales que dependen de la agricultura para sobrevivir (Loyde et al., 2022).

Para reducir los impactos de la polución en los suelos, la biorremediación utilizando microorganismos se ha presentado como una opción prometedora. Específicamente, los hongos filamentosos han mostrado su habilidad para descomponer o modificar metales pesados, lo que disminuye su presencia en suelos contaminados. Varios estudios han evidenciado que estos hongos poseen un gran potencial para limpiar suelos dañados, proporcionando una solución sostenible y asequible para restaurar tierras perjudicadas por la minería (Chávez et al., 2013).

El objetivo de este proyecto de investigación es evaluar in vitro la capacidad biorremediadora de hongos filamentosos aislados de suelos agrícolas contaminados con plomo y cadmio. Mediante este estudio, se intenta evaluar cuán eficientes son estos hongos en disminuir los niveles de metales pesados, lo que permitirá considerar su uso en procesos de rehabilitación ecológica en zonas afectadas por la minería en Huaral y áreas similares.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿De qué manera la capacidad biorremediadora de hongos filamentosos puede reducir la contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas de la provincia de Huaral?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo la biorremediación con hongos filamentosos reduce la concentración de metales pesados en el suelo?
- ¿Qué especies de hongos filamentosos son más eficaces en la remediación de suelos contaminados con plomo y cadmio?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la capacidad biorremediadora de hongos filamentosos aislados de suelos agrícolas contaminados con metales pesados en la provincia de Huaral, 2024.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la reducción de la concentración de plomo y cadmio en suelos contaminados mediante la biorremediación con hongos filamentosos.
- Identificar las especies de hongos filamentosos con mayor capacidad para remediar suelos contaminados con metales pesados.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación Técnica

La investigación sobre la capacidad biorremediadora de los hongos filamentosos permite avanzar en el desarrollo de técnicas biológicas más eficientes y sostenibles para la rehabilitación de suelos contaminados. Al evaluar la capacidad de hongos en la remediación de metales pesados, se logra generar un enfoque científico que contribuye a la mejora de los procesos de descontaminación en suelos agrícolas, específicamente en áreas afectadas por la minería. Además, el uso de hongos para biorremediación ofrece una alternativa ecológica frente a métodos tradicionales que pueden ser costosos y contaminantes.

1.4.2 Justificación Económica

La recuperación de tierras agrícolas afectadas por metales pesados es fundamental para volver a hacer productivas las parcelas en el distrito de Huaral, lo que representa una oportunidad económica significativa para los agricultores de la región. La aplicación de técnicas biológicas basadas en hongos filamentosos reduce los costos asociados a otros métodos de tratamiento, como la remoción física de metales o el uso de productos químicos. Este estudio puede ser ventajoso para la economía de la zona, al potenciar la calidad del terreno y aumentar la producción de cultivos, así como para la salud de la población, al reducir los peligros vinculados a la contaminación en la cadena de suministro de alimentos.

1.5 Delimitación del estudio

1.5.1 Delimitación Espacial

La investigación se realizó en terrenos agrícolas afectados por metales pesados en Huaral, en particular en zonas adyacentes a la Minera Colquisiri, ubicada en la provincia de Huaral, en el Departamento de Lima.

1.5.2 Delimitación Temporal

El estudio tuvo lugar entre diciembre de 2024 y marzo de 2025, en el laboratorio de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión (UNJFSC) y en el área de investigación de Huaral.

Capítulo II. Marco teórico

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Investigaciones internacionales

Hernández et al. (2020), en su estudio titulado "Identificación de microorganismos biorremediadores de suelos agrícolas del norte de Antioquia para degradación del clorpirifos", se enfocaron en la problemática de la acumulación de agroquímicos, específicamente el clorpirifos, en suelos agrícolas. El clorpirifos, un insecticida organofosforado utilizado indiscriminadamente en cultivos como papa y hortalizas, es altamente tóxico, liposoluble y volátil, lo que genera un riesgo de bioacumulación en el suelo y en los productos agrícolas. El objetivo principal de la investigación fue identificar microorganismos biorremediadores presentes en suelos contaminados que pudieran degradar este plaguicida, así como evaluar las condiciones óptimas para potenciar su capacidad de biodegradación. A través de un proceso experimental que incluyó la bioaumentación y bioestimulación, se identificaron bacterias como *Pseudomonas*, *Bacillus* y hongos como *Aspergillus* que demostraron ser capaces de descomponer el clorpirifos en concentraciones de hasta 200 ppm. El estudio adoptó un enfoque práctico que combinó la estimulación natural de las poblaciones microbianas con la adición de nutrientes esenciales para mejorar la biodegradación del pesticida. Se aisló suelo agrícola de la zona norte de Antioquia, conocido por su uso intensivo de plaguicidas, y se introdujeron microorganismos seleccionados en condiciones controladas. Los resultados demostraron que los microorganismos biorremediadores no solo redujeron la concentración de clorpirifos en el suelo, sino que también contribuyeron a la mejora de la calidad del suelo, favoreciendo su recuperación y reduciendo la toxicidad tanto para las plantas como para los consumidores. Este trabajo resalta la importancia de la biorremediación como una estrategia sostenible para mitigar la contaminación por agroquímicos, ofreciendo una alternativa ecológica y económica para la recuperación de suelos agrícolas afectados por la contaminación.

Loyde et al. (2022), en su artículo titulado "Suelos agrícolas y metales pesados, una relación tóxica que se puede remediar", examinaron la cuestión de la contaminación por metales pesados (MP) en los suelos agrícolas, subrayando la necesidad de restaurar estos suelos por la presencia de contaminantes como el arsénico (As), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cadmio (Cd). Los suelos son cruciales para la producción global de alimentos, ya que más

del 95% de la producción se basa en ellos, sin embargo, la polución por metales pesados representa un riesgo para la calidad del suelo y la salud de las personas. El artículo revisa diversas propuestas para la remediación de estos suelos, entre ellas técnicas biológicas como la fitorremediación, que utiliza plantas para remover o inmovilizar los metales, y tratamientos térmicos como la desorción térmica. Estas metodologías tienen como objetivo reducir la toxicidad de los metales pesados y evitar su acumulación en los cultivos, optimizando la calidad del suelo para la agricultura. Los escritores señalaron que los metales pesados pueden encontrarse de manera natural en los suelos, pero la principal causa de contaminación se origina en las actividades humanas, como la aplicación de fertilizantes, el uso de pesticidas y el riego con agua residual. Dentro de este marco, la restauración de suelos contaminados es esencial para asegurar la seguridad alimentaria y el bienestar del medio ambiente.

Villota (2022) en el estudio titulado "Eficiencia de los Hongos *Pleurotus ostreatus* y *Aspergillus niger* en la Biorremediación de Suelos Contaminados con Metales Pesados", se evaluó la efectividad de estos hongos en la reducción de contaminantes como mercurio y cadmio en suelos contaminados provenientes de la industria minera en el cantón Zaruma, provincia de El Oro. El objetivo principal fue identificar cuál de los dos hongos tiene mayor capacidad para biorremediar estos metales pesados. Se llevaron a cabo pruebas con 12 muestras de tierra, organizadas en grupos que recibieron 5 UFC/mL de P. ostreatus y A. niger, así como un grupo de control sin intervención. Las mediciones de la cantidad de metales se realizaron utilizando espectrofotometría de absorción atómica, analizando los niveles de mercurio y cadmio a los 0, 15 y 30 días. Los hallazgos indicaron que el hongo P. ostreatus resultó ser más eficaz en la disminución del mercurio, reduciendo de 51. 45 mg/kg a 31. 25 mg/kg, mientras que *A. niger* logró bajar los niveles de mercurio de 54. 2 mg/kg a 47. 05 mg/kg. En lo que respecta al cadmio, *A. niger* resultó ser más efectivo, disminuyendo la concentración de 39. 15 mg/kg a 19. 5 mg/kg, mientras que *P. ostreatus* logró reducir el cadmio de 38. 05 mg/kg a 25. 05 mg/kg. La investigación concluyó que ambos tipos de hongos son útiles en la biorremediación de suelos que han sido contaminados, aunque *P. ostreatus* es más eficiente en la eliminación de mercurio y *A. niger* en la de cadmio.

Ibarra (2022), en su revisión titulada "Perspectivas para la biorremediación de suelos contaminados con plomo en Colombia", se planteó el tema de la contaminación del suelo debido a metales pesados en Colombia, enfocándose en áreas rurales y urbanas impactadas por la minería, la agricultura y el crecimiento urbano. La presencia de metales pesados, en

especial el plomo, constituye un reto para la sostenibilidad de los suelos, que son fundamentales para los servicios ecosistémicos. Dado este contexto, la investigación se centró en las perspectivas y alternativas para la biorremediación de estos suelos contaminados. Se analizaron diversas técnicas de biorremediación, especialmente el uso de organismos y microorganismos para reducir las concentraciones de metales pesados en el suelo. Aunque la biorremediación ha mostrado resultados prometedores, aún existen lagunas en el conocimiento sobre las implicaciones de la contaminación con metales pesados, las características específicas de los contaminantes y las interacciones microbianas en los procesos de remediación. La revisión destacó que, en Colombia, la bioestimulación es una estrategia comúnmente utilizada como complemento para mejorar los procesos de biorremediación. No obstante, se enfatizó la importancia de considerar las interacciones entre los microorganismos, las condiciones ambientales al momento de aplicar el tratamiento y las necesidades de las poblaciones microbianas a ser bioestimular.

2.1.2 Investigaciones nacionales

Nuñez et al. (2023), en su estudio titulado “Potencial de la biomasa fúngica: producción y mecanismos de biorremediación de metales pesados del compost de residuos sólidos orgánicos municipales”, Se trató la cuestión de los metales pesados en el compost obtenido de residuos sólidos orgánicos municipales y urbanos (RSOM/U). Elementos como el cadmio, plomo, arsénico, mercurio y selenio que se encuentran en este tipo de compost son extremadamente nocivos y pueden acumularse en las plantas, lo que plantea un peligro para la salud de las personas y los animales. El objetivo principal de la investigación fue analizar la capacidad de la biomasa de hongos para la biorremediación de estos metales pesados en el compost. En el documento, los autores resaltaron la efectividad de los hongos para eliminar metales pesados del compost, siendo esta una técnica que resulta ser asequible, respetuosa con el medio ambiente y accesible. Los hongos como agentes biorremediadores pueden reducir la biodisponibilidad de metales pesados, evitando su translocación a las plantas y mejorando la calidad del suelo. Se mencionaron los mecanismos de biorremediación, como la bioadsorción fúngica, que permite secuestrar los metales pesados y prevenir su acumulación en los tejidos vegetales. Además, la investigación concluyó que el compost producido con una adecuada segregación de materia prima, combinado con la biorremediación fúngica, podría ser una alternativa viable para la remoción de metales pesados en suelos agrícolas. El artículo también señala la importancia de investigaciones

futuras para mejorar la eficiencia de la biomasa fúngica y explorar el uso de técnicas híbridas que combinen la biorremediación con otros métodos físicos y químicos. Además, se hace un llamado a continuar con las investigaciones para evitar la contaminación de suelos agrícolas con metales pesados derivados del compost de RSOM/U.

Calle y Chávez (2023), en su tesis titulada "Efecto del hongo *Pleurotus ostreatus* para biorremediar suelos contaminados por hidrocarburos en los establecimientos automotrices", Se analizó cómo el hongo *P. ostreatus* influye en la limpieza de suelos contaminados con hidrocarburos en áreas cercanas a talleres de automóviles. Los objetivos del estudio fueron detectar las zonas perjudicadas por la polución, medir cuán efectivas son varias cantidades de *P. ostreatus* para disminuir los hidrocarburos, y comparar las propiedades del suelo antes y después de la aplicación del hongo, de acuerdo a los estándares de calidad establecidos. Para lograr esto, se realizaron tres tratamientos utilizando diferentes dosis de micelio de *P. ostreatus* en los suelos contaminados. Durante un periodo de 30 días de incubación, el tratamiento con 200 g de micelio mostró una colonización rápida y eficiente, mientras que el tratamiento con 150 g presentó una colonización exitosa, aunque con un proceso algo más lento y menos extensivo. Por su parte, el tratamiento con 100 g mostró un retraso inicial en la colonización, pero eventualmente progresó de forma más gradual. Los análisis de hidrocarburos realizados utilizando el método EPA 8015 revelaron diferencias significativas entre las concentraciones, sugiriendo que *P. ostreatus* tiene un gran potencial para la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos en este contexto.

Fernández (2020), en su estudio titulado "Atenuación natural y biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, Amazonas, Perú", investigó la aplicación de las técnicas de atenuación natural y biorremediación para descontaminar suelos agrícolas afectados por derrames de petróleo. Los objetivos principales fueron caracterizar las concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) en el suelo, evaluar la evolución de la biorremediación a lo largo del tiempo, y determinar los factores que influyen en su desarrollo. El estudio empleó pruebas experimentales para analizar diversos parámetros del suelo y la cuenta bacteriana, revelando que tanto la atenuación natural como la biorremediación fueron efectivas para reducir la concentración de HTP. Los resultados experimentales mostraron que el uso de compost y agua fue suficiente para promover la degradación de los hidrocarburos, logrando una remoción de más del 99% de los HTP. Además, el contenido de agua resultó ser un factor crítico para el éxito del proceso de

degradación, ya que favoreció la actividad microbiana y la biodegradación de los contaminantes. Los análisis de HTP antes y después del tratamiento confirmaron que las concentraciones se redujeron considerablemente, alcanzando niveles inferiores a los estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas.

Palomino (2022), en su revisión sistemática titulada "Biorremediación con hongos y bacterias en suelos contaminados con pesticidas", analizó 40 artículos científicos con el objetivo de evaluar la efectividad de la biorremediación de suelos contaminados con pesticidas utilizando hongos y bacterias. Se identificaron diversas especies de bacterias y hongos con capacidades de degradación, destacando entre las bacterias más comunes *Pseudomonas* sp. (33%), *Bacillus* sp. (17%), *Cinetobacter* sp. (13%), y otras como *Paenibacillus* sp., *Stenotrophomonas* sp., *Novosphingobium* sp., *Rhizobium* sp., y *Sphingomonas* sp. En cuanto a los hongos, se encontró que especies como *Trametes versicolor* (27%), *Phanerochaete* sp. (20%) y *Tricholoma giganteum* (7%) son las más utilizadas. El estudio también detalló los pesticidas más comunes degradados por estas especies. Las bacterias fueron más eficaces en la degradación de insecticidas (77%), seguidas de fungicidas (13%) y herbicidas (10%). Los hongos, por su parte, también mostraron una gran capacidad para degradar insecticidas (80%), con menor efectividad en herbicidas (30%) y fungicidas (7%). En términos de efectividad, las bacterias lograron una alta efectividad de degradación en un 81%, mientras que los hongos mostraron una efectividad del 70%, siendo ambos significativamente efectivos en la remoción de pesticidas del suelo.

Briceño y Camposano (2023), en su estudio titulado "Uso de hongo filamentoso para biorremediación de aguas ácidas contaminadas con Cadmio en zonas aledañas a pasivos mineros, Shorey", investigaron la capacidad de un hongo filamentoso para remover cadmio (Cd) en aguas ácidas contaminadas en la localidad de Shorey - Quiruvilca, área afectada por pasivos mineros derivados de actividades formales e informales. El propósito fue analizar la efectividad del hongo en la descontaminación del cadmio en estas aguas contaminadas. La investigación experimental in vitro separó y midió la resistencia de los hongos *Trichophyton spp.* y *Purpureocillium spp.* al cadmio en niveles de 50 mg/L. Los resultados mostraron que *Purpureocillium* spp. presentó una mayor tolerancia al cadmio, con un 89% de tolerancia frente al 67% de *Trichophyton* spp. En cuanto a la eficiencia de remoción, *Purpureocillium* spp. logró una reducción del 98.3% a una concentración de 1 g/L y un 98.9% a 2 g/L del

hongo después de 9 días, lo que sugiere que ambos hongos son altamente eficientes para eliminar casi el 100% del cadmio en las aguas ácidas contaminadas.

2.2 Bases teóricas

De acuerdo con las teorías prevalecientes en los estudios científicos y libros vamos a llevar a cabo la exploración de los principios vinculados a los elementos que constituyen el presente estudio, será indispensable plantear algunos parámetros que sirvan como bases conceptuales sobre los que apoyaremos y reforzaremos un entendimiento de nuestro proyecto:

2.2.1 Biorremediación

Según Iturbe (2010), la biorremediación es una técnica que emplea microorganismos presentes en el suelo y subsuelo para degradar contaminantes, transformándolos en sustancias menos tóxicas o inofensivas. Estos microorganismos, que incluyen bacterias, protozoos, actinomicetos, hongos y algas, metabolizan compuestos como hidrocarburos, convirtiéndolos en agua y dióxido de carbono. Para que este proceso sea eficiente, es esencial mantener condiciones óptimas de temperatura, humedad, pH, oxígeno y nutrientes, ya que estos factores influyen directamente en la actividad y proliferación microbiana. La biorremediación puede aplicarse directamente en el sitio contaminado (in situ) o mediante la extracción del material afectado para su tratamiento en otro lugar. Esta metodología se destaca por ser una solución práctica y natural para la descontaminación de suelos afectados por diversas sustancias nocivas.

2.2.1.1 Tipos de biorremediación

La biorremediación se clasifica según la estrategia empleada, el lugar de aplicación y los organismos utilizados. En cuanto a la estrategia, se distinguen la bioestimulación, que optimiza las condiciones para que los microorganismos autóctonos degraden contaminantes, y la bioaumentación, que introduce microorganismos específicos para acelerar este proceso. Según el lugar de aplicación, la biorremediación puede ser in situ, cuando se trata el contaminante en su ubicación original, o ex situ, cuando el material contaminado se extrae para su tratamiento en otro sitio. Respecto a los organismos empleados, se identifican la biorremediación microbiana, que utiliza bacterias y hongos; la degradación enzimática, que aplica enzimas específicas; y la fitorremediación, que involucra plantas capaces de absorber o transformar contaminantes (Bordino, 2021).

A) Biorremediación en suelos contaminados con metales pesados

La contaminación del suelo por metales pesados constituye un riesgo importante para la salud humana y el equilibrio del medio ambiente. Elementos como el mercurio, el arsénico y el plomo son especialmente alarmantes debido a su toxicidad y frecuencia. La peligrosidad de estos metales en el suelo está relacionada con la cantidad que los organismos pueden absorber, lo cual depende de factores fisicoquímicos del suelo, como el pH, el potencial redox y la cantidad de materia orgánica. Para enfrentar este problema, se utilizan técnicas de remediación que comprenden métodos fisicoquímicos y biológicos. La biorremediación, específicamente, aprovecha el potencial metabólico de organismos vivos, tales como bacterias y hongos, para limpiar los suelos contaminados. Los procesos más habituales en la biorremediación de metales pesados incluyen la absorción, precipitación, lixiviación y volatilización de estos metales. Sin embargo, es esencial investigar más sobre la diversidad microbiana en zonas contaminadas para descubrir cepas que sean más adaptadas y efectivas en la biorremediación de estos contaminantes (Covarrubias et al., 2015)

2.2.2 Metales Pesados

Los metales pesados son elementos químicos caracterizados por su gran densidad y peso atómico, y su clasificación puede variar bajo distintos criterios, como el peso atómico (por ejemplo, el cobre tiene un peso atómico de 63. 55 y el mercurio de 200. 59) o su densidad, la cual normalmente se encuentra entre 4 y 7 g/cm3.

A pesar de que no todos los metales de alta densidad son perjudiciales, hay algunos, como el mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd) y talio (Tl), así como otros como el cobre (Cu), zinc (Zn) y cromo (Cr), que son reconocidos por su potencial para causar graves peligros para el medio ambiente y la salud humana.

En términos legales, es notable el Protocolo de Aarhus (Dinamarca) relacionado con la contaminación del aire a través de fronteras, que surge del Convenio de Ginebra, y tiene como objetivo regular la liberación de metales pesados a grandes distancias mientras se busca reducir sus efectos adversos en la salud y el medio ambiente (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2025).

2.2.2.1 Características de los Metales Pesados

La principal característica que hace peligrosos a los metales pesados es que no pueden ser degradados ni por procesos químicos ni biológicos. Además, tienen la capacidad de bioacumularse y biomagnificarse. Esto significa que, a medida que los metales pesados

11 se trasladan a lo largo de la cadena alimentaria, se acumulan en los organismos vivos, alcanzando concentraciones más altas que las que se encuentran en su entorno o en los alimentos. Esta acumulación progresiva puede causar efectos tóxicos tanto físicos (dolores crónicos, trastornos sanguíneos) como psíquicos (ansiedad, pasividad). (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2025)

Los metales pesados se caracterizan por su alta densidad, que es al menos cinco veces mayor que la del agua. Estos metales se extraen de fuentes naturales, como los yacimientos mineros, y son componentes comunes en productos de uso diario, como baterías, termómetros, dispositivos electrónicos y pinturas. Además, aunque no son biodegradables, pueden ser liberados al medio ambiente a través de diversas fuentes como la quema de combustibles fósiles, actividades industriales y el mal manejo de chatarra, entre otros (Gobierno de Argentina, s.f.).

a) Efectos en el Medio Ambiente y la Salud Humana

La presencia de metales pesados en el entorno, como el mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) y arsénico (As), se produce tanto por actividades humanas como por causas naturales. Estos metales son muy persistentes, lo que quiere decir que no pueden ser descompuestos ni por procesos biológicos ni por actividades humanas. Una vez que están en los ecosistemas, son transportados a través de matrices como el aire, el agua y el suelo, y sufren transformaciones por medio de procesos biogeoquímicos. Los metales se distribuyen en varias formas físico-químicas, incluyendo materia particulada (>0.45 μm), coloidal (1 nm-0.45 μm) y disuelta (=1 nm); esto afecta cómo son transportados, adsorbidos y permanecen en los ecosistemas. Los metales pesados, como el plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd) y arsénico, están presentes en el medio ambiente. (Reyes et al., 2010).

En cuanto a la salud humana, la exposición a metales pesados ocurre principalmente por inhalación o ingestión de alimentos contaminados. Los efectos tóxicos de estos metales dependen del tipo específico, la concentración presente y la edad de la población expuesta. Metales como el cadmio, mercurio, plomo y arsénico son particularmente peligrosos debido a su impacto en la salud y su capacidad para bioacumularse a lo largo de la cadena alimentaria. La exposición prolongada puede causar una variedad de efectos adversos, desde problemas crónicos físicos y sanguíneos hasta efectos psíquicos como ansiedad o depresión (Reyes et al., 2010)

.

Figura 1

Fuentes de Contaminación por Metales Pesados en Aire, Suelo, Agua y Plantas.



Fuente: Reyes et al., 2016

2.2.3 Hongos Filamentosos

Los hongos filamentosos son organismos eucarióticos, heterótrofos por absorción, que se caracterizan por su crecimiento apical y la formación de una estructura filiforme. Su reproducción puede ser tanto asexual como sexual, generalmente a través de la producción de esporas. La pared celular de estos hongos está compuesta principalmente por quitina o celulosa. Se estima que existen alrededor de 140,000 especies de hongos en la Tierra, aunque solo se han estudiado y aprovechado aproximadamente el 10% de ellas. Entre los hongos más conocidos y útiles para la humanidad se encuentran los comestibles, como los champiñones, que representan solo el 5% de las especies conocidas, dejando una gran cantidad de hongos sin explorar, que podrían tener aplicaciones beneficiosas para diversos campos (Rosales, 2019).

Los hongos filamentosos son ampliamente investigados debido a su capacidad para producir pigmentos naturales. Géneros como *Monascus* spp., *Paecilomyces* spp., *Aspergillus* spp., y *Penicillium* spp. son conocidos por su habilidad para generar pigmentos de colores como amarillos, naranjas y rojos, que tienen aplicaciones en la industria alimentaria, en

particular para la producción de colorantes naturales. Además, aunque las levaduras también se utilizan para producir pigmentos rojos, los hongos filamentosos siguen siendo los más importantes en este campo debido a su diversidad y capacidad de producción (Rosales, 2019).

2.2.4 Evaluación In Vitro

Los métodos in vitro se refieren a los ensayos realizados fuera de un organismo vivo, generalmente en tejidos, órganos o células aisladas. El término "*in vitro*", que significa "en vidrio", implica que estos experimentos se llevan a cabo en un entorno controlado en laboratorio, sin la necesidad de utilizar organismos vivos. Estos métodos pueden ser utilizados para cumplir parcial o completamente con los requisitos de información que, de otro modo, requerirían ensayos realizados en organismos vivos, conocidos como ensayos in vivo.

Existen dos tipos principales de métodos in vitro: aquellos que cumplen con los criterios de validación internacionalmente acordados y aquellos que no. Para cumplir con las normativas de registro como REACH, se recomienda el uso de métodos que estén suficientemente desarrollados y validados conforme a los criterios internacionales, como los establecidos por el Centro Europeo para la Validación de Métodos Alternativos (CEVMA). Además, desde 2016, los métodos de ensayo in vitro se han convertido en la opción predeterminada para evaluar algunas propiedades toxicológicas, conforme a los cambios en los anexos VII y VIII de REACH.

Aunque se empleen métodos in vitro que aún no estén validados internacionalmente, los resultados obtenidos siguen siendo útiles como parte de un enfoque global de evaluación, siempre que se presenten de manera clara y detallada, incluyendo las condiciones del ensayo y una interpretación precisa de los datos (ECHA, 2025)

2.2.5 Suelo Agrícola

El suelo agrícola se caracteriza por tener una estructura adecuada y baja compactación, lo que facilita un funcionamiento equilibrado y saludable del ecosistema del suelo. Un buen suelo agrícola debe contar con niveles óptimos de materia orgánica, lo cual no solo mejora la reserva de nutrientes, sino que también incrementa la capacidad de intercambio catiónico. Además, la materia orgánica proporciona energía a los microorganismos del suelo, aumenta la capacidad calorífica del mismo y ayuda a reducir las variaciones térmicas. Estos atributos

hacen del suelo agrícola un medio favorable para el crecimiento de las plantas y la actividad biológica. (El suelo Agrícola, s.f.)

2.2.6 Suelo Contaminado

Un suelo contaminado es aquel cuyas características físicas, químicas o biológicas han sido alteradas debido a la presencia de componentes peligrosos de origen humano. La contaminación en el suelo se produce cuando la concentración de estos contaminantes alcanza niveles que suponen un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente, según los estándares establecidos por las autoridades correspondientes. Estos contaminantes, que incluyen metales pesados, hidrocarburos y productos químicos industriales, pueden permanecer en el suelo durante largos períodos debido a su persistencia, lo que representa una amenaza tanto para los ecosistemas como para las actividades humanas.

Los suelos contaminados pueden tener efectos muy diversos, desde problemas de salud como trastornos respiratorios y dérmicos, hasta la contaminación de fuentes de agua y la afectación de la biodiversidad. La contaminación en suelos puede ser causada por actividades como el almacenamiento y uso de sustancias peligrosas, la disposición inadecuada de residuos industriales, o el uso de agua contaminada para riego. Un suelo se considera contaminado cuando las concentraciones de ciertos contaminantes superan los niveles de referencia establecidos, lo que genera riesgos inaceptables para la salud humana o el medio ambiente, y cuando se detecta toxicidad significativa en bioensayos con el suelo o sus lixiviados (Sabroso, 2004).

2.2.6 Capacidad biorremediadora de hongos

La capacidad biorremediadora de los hongos filamentosos se refiere a la habilidad de estos microorganismos para degradar contaminantes presentes en su entorno, como los hidrocarburos derivados del petróleo. En investigaciones realizadas en suelos contaminados por derrames de petróleo crudo en Colombia, se evaluó la efectividad de varias cepas de hongos filamentosos, tales como *Neosartorya* sp., *Aspergillus* sp., y *Rhizomucor* sp., sobre su capacidad para descomponer el petróleo crudo en concentraciones que oscilaban entre 20,000 ppm y 100,000 ppm.

El proceso de biorremediación in vitro se llevó a cabo mediante la técnica de agitación por centrifugación, una metodología rápida y económica que permite la extracción de petróleo de sustratos contaminados, como el suelo.

Durante los ensayos, se evaluaron las cepas de hongos tanto de manera individual como en consorcios, y se analizó su capacidad de degradación mediante espectrofotometría. Los resultados mostraron que los hongos filamentosos no solo actuaron de manera eficaz en la remoción de contaminantes, sino que también utilizaron enzimas peroxidasas como mecanismo de acción en el proceso de degradación, favoreciendo la mineralización del petróleo y la liberación de dióxido de carbono y agua.

Los estudios también confirmaron la efectividad de especies como *Neosartorya* sp., que, además de su capacidad para mineralizar el petróleo, tiene la habilidad de catabolizar compuestos complejos como los asfáltenos. Esta investigación representa un avance importante, ya que, hasta este estudio, *Neosartorya* sp. no había sido reportado previamente en suelos contaminados con petróleo crudo en Colombia, destacando su potencial como herramienta para la biorremediación de este tipo de contaminantes (Bedoya Ciro & Estupiñan, 2018)

2.3 Definición de términos básicos

a) Biorremediación: La biorremediación es un proceso biológico que utiliza organismos vivos, como microorganismos y plantas, para transformar o degradar contaminantes ambientales en sustancias menos tóxicas. (Aparicio Jiménez, 2025)

b) Metales Pesados: Los metales pesados son elementos químicos con alta densidad (mayor de 5 g/cm3) y peso atómico entre 63.55 u y 200.59 u, que son peligrosos para la salud y el medio ambiente. (MINSA, 2024).

c) Hongos Filamentosos: Los hongos filamentosos son organismos eucarióticos con estructuras ramificadas llamadas hifas, que forman el micelio y se alimentan de materia orgánica. (Estrada & Ramírez, 2019)

d) Evaluación In Vitro: El estudio in vitro se refiere a experimentos realizados con componentes aislados de organismos vivos, fuera de su entorno biológico habitual, permitiendo un análisis detallado y controlado (Lattime y Gerson, 2014).

e) Suelo Agrícola: El suelo agrícola posee una estructura suelta, rica en materia orgánica, lo que favorece la retención de nutrientes, la actividad microbiana y la regulación térmica. (El suelo Agrícola, s.f.)

f) Capacidad Biorremediadora de Hongos: La capacidad biorremediadora de los hongos es su habilidad para descomponer contaminantes mediante enzimas, ayudando a restaurar el equilibrio ambiental. (Fungi Foundation, 2025).

g) Plomo (Pb): El plomo es un metal tóxico que afecta múltiples sistemas corporales, especialmente el sistema nervioso, y es particularmente dañino para los niños. (OPS/OMS, 2025)

h) Cadmio (Cd): El cadmio es un metal natural presente en la corteza terrestre, utilizado en la fabricación de baterías, pigmentos y otros productos industriales. (Cadmio, 2015)

i) Técnica Landfarming: El Landfarming es un método de biorremediación que consiste en excavar suelos contaminados y tratarlos en capas, estimulando la actividad microbiana mediante aireación y adición de nutrientes. (Recuperación de Suelos Contaminados: Biorremediación, 2017).

j) Espectrofotometría UV-VIS: Es una técnica analítica que mide la absorción de luz ultravioleta y visible por una sustancia, permitiendo análisis cualitativos y cuantitativos, como la identificación de contaminantes o la determinación de concentraciones de sustancias (METTLER TOLEDO, 2025).

2.4 Hipótesis de investigación

2.4.1 Hipótesis general

La biorremediación con hongos filamentosos reducirá la contaminación por metales pesados en suelos agrícolas de la provincia de Huaral.

2.4.2 Hipótesis específicas

- Se reducirá la concentración de plomo y cadmio en suelos contaminados mediante la biorremediación con hongos filamentosos.
- Se determinará los hongos filamentosos con mayor capacidad para remediar suelos contaminados con metales pesados.

2.4.3 Operacionalización de las variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos	Escalas
(X) Capacidad biorremediadora de hongos filamentosos	Radica en su habilidad para degradar contaminantes utilizando enzimas, contribuyendo así a la recuperación del equilibrio ecológico. (Fungi Foundation, 2025)	Es la habilidad de estos microorganismos para transformar materiales tóxicos en componentes inocuos para el medio ambiente.	X.1.- Reducción de concentración de metales pesados. X.2.- Eficiencia biorremediadora de hongos.	X.1.1.- Reducción porcentual de plomo (Pb) en el suelo. X.1.2.- Reducción porcentual de cadmio (Cd) en el suelo. X.1.3.- Tiempo de remediación para alcanzar la concentración mínima de metales. X.2.1.- Eficiencia de remoción de metales a 30 días. X.2.2.- Comparación de la eficiencia entre diferentes especies de hongos.	1. Espectrofotometría UV-VIS. 2. Método gravimétrico y análisis de absorbancia.	1. Espectrofotómetro UV-VIS.	1. Porcentaje de reducción. 2. Porcentaje de eficiencia de remoción.
(Y) Contaminación con metales pesados en suelos agrícolas	Es la presencia de metales tóxicos en suelos utilizados para el cultivo, lo que altera su equilibrio natural y pone en riesgo la Productividad agrícola y la salud humana. (Loyde et al., 2022)	Es un problema ambiental que se produce cuando se abandonan metales tóxicos en el suelo, los cuales se acumulan en las plantas y tejidos orgánicos.	Y.1. Concentración de metales en el suelo. Y.2.- Impacto en la calidad del suelo	Y.1.1. Concentración de plomo (Pb) en suelos (ppm). Y.1.2. Concentración de cadmio (Cd) en suelos (ppm). Y.1.3.- Porcentaje de contaminación por metales pesados.	1. Análisis espectrofotométrico. 2. Test de pH y análisis de materia Orgánica.	1. Espectrofotómetro UV-VIS. 2. pH-metro, Balanza analítica	1. ppm. 2. Unidad de medida estándar

Capítulo III. Metodología

3.1 Diseño metodológico

3.1.1 Tipo de investigación

Experimental.

3.1.2 Nivel de Investigación

El nivel de la investigación es de tipo aplicado.

3.1.3 Diseño

El diseño de la investigación es cuasi-experimental.

3.1.4 Enfoque

El enfoque de la investigación es cuantitativo.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

Los suelos agrícolas contaminados, recolectados de un área de cerca de 2,000 m2 situada en el centro poblado de Jecuán, distrito y provincia de Huaral, y departamento de Lima, fueron la población.

3.2.2 Muestra

Se tomó 2 Kg de suelos agrícolas contaminados con metales pesados, que fueron recolectados de cada punto de muestreo.

3.3 Técnicas de recolección de datos

3.3.1 Técnicas para recolectar datos

Se determinó la región agrícola más próxima a la Minera Colquisiri. La recolección se llevó a cabo en bolsas ziploc, las cuales fueron etiquetadas con el código correspondiente y almacenadas en un recipiente (cooler) para después ser enviadas al laboratorio especializado de UNALM para su correspondiente análisis. Los datos de ubicación fueron tomados con un GPS.

3.3.2 Recolección de muestras

Primero se identificó el área agrícola más cercana a la Minera Colquisiri. Después, siguiendo la Guía de muestreo de suelos del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, se eligieron ocho puntos de muestreo distribuidos homogéneamente y con georreferencias adecuadas. En cada uno de estos puntos, se llevó a cabo una calicata con una profundidad de 30 cm y un metro de longitud. Se recogió el material en bolsas ziploc, las cuales fueron etiquetadas con la codificación apropiada y almacenadas en una hielera para su posterior análisis en el laboratorio de la UNALM.

3.3.3 Determinación de la concentración inicial de Plomo y Cadmio inicial

Para esto se llevó 1kg de muestra de suelo que fueron tomados de cada punto de muestreo a los laboratorios de la UNALM.

3.3.4 Aislamiento y purificación hongos filamentosos

Se tomaron 10 gramos de suelo y se diluyo en un matraz con 90 mL de agua destilada, se homogenizo para luego realizar las diluciones seriadas desde 10^{-1} hasta as 10^{-9}. Se sembraron en medio Agar Papa Dextrosa (PDA) suplementado con cloranfenicol, se incubaron por un periodo de 10-15 días a 28ºC para después realizar la purificación realizando resiembras en placas de los hongos filamentosos que crecieron satisfactoriamente.

3.3.5 Identificación fenotípica de hongos filamentosos

Para la caracterización macroscópica de las colonias se determinó por la forma, color, tamaño, consistencia, y presencia de pigmento. Para esto se cultivó en medio PDA durante 10 - 15 días.

La caracterización microscópica se hizo para evaluar la presencia de conidios, hifas y esporas para lo cual se realizó un montaje en lámina con azul de lactofenol.

3.3.6 Obtención de biomasa para los procesos de bioadsorción

El medio de cultivo líquido Caldo papa dextrosa (PDB) se preparó primero para expandir la cepa fúngica y lograr una producción máxima de biomasa esporas. El cultivo fue sembrado en medio PDB. Para producir la biomasa, se utilizó el medio de cultivo elegido en matraces y se incubó a temperatura ambiente durante 72 horas.

3.3.7 Inoculación del hongo

Para esto seguimos el protocolo de Velarde Chacón et al. (2024), con ciertas modificaciones.

Después de que se completó la esterilización, se extrajeron 300 mL del hongo. El hongo se coloca con cuidado en las bolsas ziploc junto con la tierra contaminada, que después son cerradas de manera hermética. Las muestras inoculadas fueron llevadas a una habitación oscura con temperatura controlada entre 23 y 24 °C, y con un nivel de humedad del 75-80%, para propiciar un desarrollo ideal. Después de un lapso de quince días y confirmar que el micelio se ha extendido por completo y que toda la base tenga un color blanco, se puso el suelo restante con el hongo y se traspasó a las macetas con tierra estéril, ya pesadas. Se sellaron las tapas de estas macetas utilizando bolsas plásticas.

Luego se realizó una extracción de las muestras, para esto fueron llevadas al Laboratorio de la UNALM para evaluar la capacidad de remoción de los mestales.

3.3.8 Eficiencia de remoción

De acuerdo con cada tratamiento analizado, se determinó a través de una correlación porcentual entre la concentración inicial y final de cadmio y plomo en el medio acuoso que había en los matraces. (Marcovecchio y Moreno, 1991).

$$E_r = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Dónde:

Er = eficiencia de remoción (%)

Ci = Concentración inicial (g/mL)

Cf = Concentración final (g/mL).

3.4 Técnicas para el procesamiento de la información

3.4.1 Estadística descriptiva

Se realizó un análisis descriptivo de los datos obtenidos, como medias, desviaciones estándar y frecuencias, para describir las características de las muestras de suelo y la eficacia de los hongos en la remediación.

3.4.2 Estadística inferencia

Se utilizó pruebas estadísticas inferenciales, como el análisis de varianza (ANOVA), para determinar si existen diferencias significativas en la remoción de metales pesados entre las diferentes cepas de hongos y las concentraciones de metales.

3.4.3 Software para el análisis de datos

El análisis de los datos se llevó a cabo utilizando software estadístico como SPSS v.26, para realizar los análisis descriptivos e inferenciales, y se interpretaron los resultados en función de los objetivos establecidos.

Capítulo IV. Resultados

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Recolección de muestras

4.1.2 La recolección de las muestras se llevó a cabo en 8 puntos de muestreo, los cuales están georreferenciados correctamente y fueron determinados conforme a la Guía de muestreo de suelos establecida por el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM.

Figura 2

Área de recolección de muestras en la provincia de Huaral (Zona roja)



Fuente: Google Maps

Tabla 1

Ubicación GPS recepcionados de la zona muestreada en Huaral

Código	Ubicación GPS
1	**-11,4902277 -77,2763226**
2	**-11,4905731 -77,2763501**
3	**-11,4905731 -77,2763501**
4	**-11,4902277 -77,2763226**
5	**-11,4905584 -77,2761799**
6	**-11,4904354 -77,2763197**
7	**-11,4905560 -77,2764343**
8	**-11,4902277 -77,2763226**

4.1.3 Determinación de la concentración inicial de Plomo y Cadmio inicial

Tabla 2

Resultados de la Concentración inicial de los metales pesados

Metales Pesados	Concentración inicial (ppm)
Plomo (Pb)	207.15
Cadmio (Cd)	45.03

4.1.4 Aislamiento y purificación hongos filamentosos

De las muestras de tierra que fueron procesadas y sembradas en medio PDA, crecieron una sola especie de hongos filamentosos ya que presentaban las mismas características, estas se seleccionaron y purificaron.

Figura 3

Cepa de hongo filamentoso en medio PDA



4.1.5 Identificación fenotípica de hongos filamentosos

Con respecto a los resultados obtenidos con para identificar la cepa obtenida, según la referencia consultada con la referencia (Pacasa-Quisbert et al., 2017), se puede confirmar que la especie de hongo filamentoso con la capacidad para remediar suelos contaminados con metales pesados con Pb y Cu, que tiene la coloración ploma y que tiene rápido crecimiento, se trataría de *Absidia sp*. Una especie que se encuentra comúnmente en los suelos.

Figura 4

Fotografías a 40x al microscopio óptico de la cepa fúngica aislada

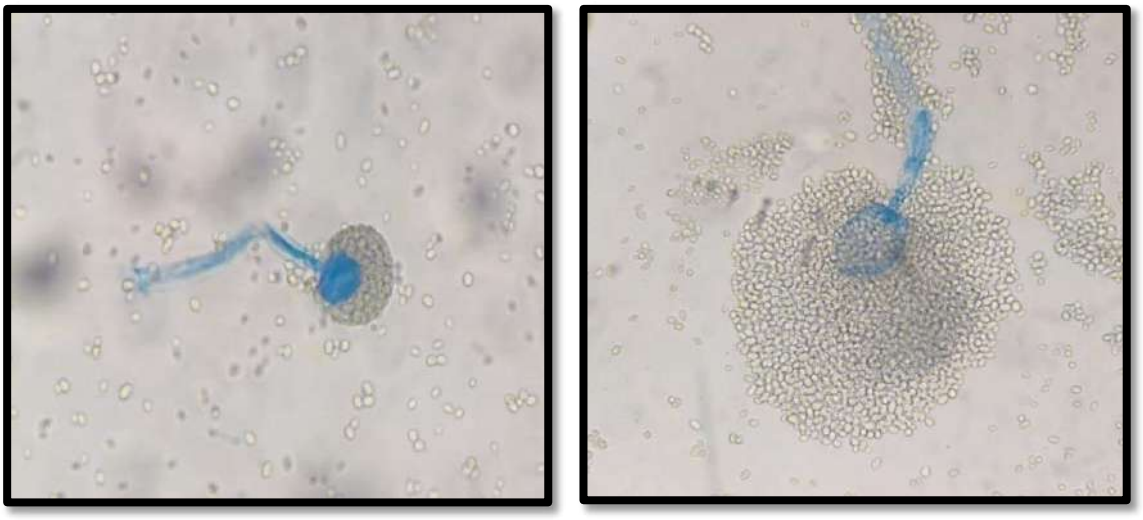


Figura 5

Fotografía del hongo sacada de la referencia bibliográfica.

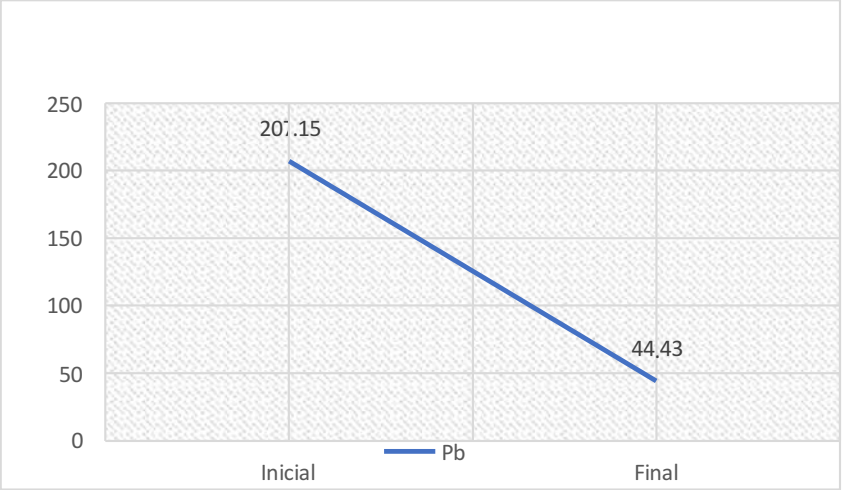


4.1.6 Eficiencia de remoción

Con respecto a los resultados obtenidos con la reducción de la concentración de plomo, los datos obtenidos muestras que si hubo una reducción de 78.76% de la concentración inicial de 207.15 ppm a 44.43 ppm de Pb en la muestra de tierra como se muestra en la Figura 6.

Figura 6

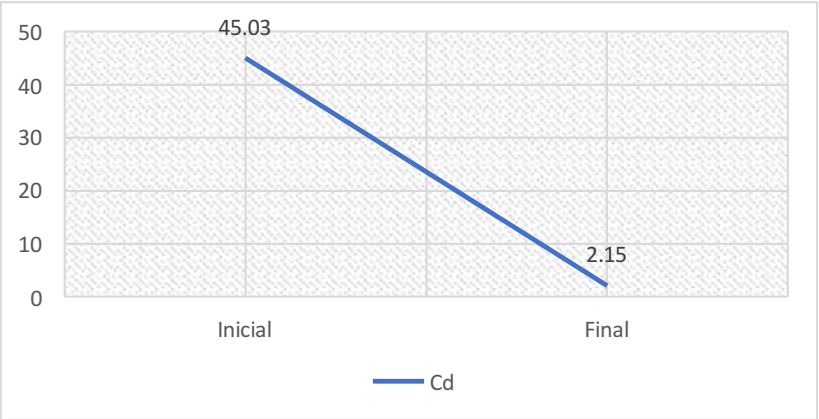
Resultado de la disminución de Plomo (Pb)



Con respecto al Cadmio los resultados muestran que se obtuvo una reducción del 95.8% de Cd, teniendo un punto inicial de 45.03 ppm y teniendo un valor final de 2.15 ppm como se muestra en la Figura 3.

Figura 7

Resultado de la disminución de Cadmio (Cd



Capítulo V. Discusión

5.1 Discusión de resultados

Con respecto al aislamiento e identificación de *Absidia* sp. la cual fue aislada de suelos agrícolas cercanos a los relaves mineros como el estudio de Pacasa-Quisbert et al., (2017), los cuales tienen similaridad en su estructura ya sea a nivel microscópico como a nivel macroscópico a comparación con la referencia bibliográfica. En el estudio de Silva Hernández, (2021), también logro aislar el hongo *Absidia* sp. De muestras de suelo de zonas áridas y semiáridos en una localidad de México. Además, en la investigación de Carreño-Bugarín et al., (2023) logro aislar de muestras de suelo del bosque de Prosperina – Ecuador, diversos hongos y entre uno de ellos *Absidia* sp., lo cual nos indica que es un hongo muy cosmopolita que se encuentra en muchos nichos ecológicos y en muy gran diversidad de zonas. En el Perú se ha identificado un género de *Absidia corymbifera* de suelos agrícolas como muestra el estudio de Aguilera Becerra et al. (2021), visto este punto de estudio sería bueno realizar más pasos de una identificación más precisa de la especie aislada.

Según el objetivo de obtener resultados de disminuir la concentración de plomo y cadmio, los datos obtenidos muestras que si ubo una reducción de 78.76% de la concentración inicial de 207.15 ppm a 44.43 ppm de Pb y se obtuvo una reducción del 95.8% de Cd, teniendo un punto inicial de 45.03 ppm y teniendo un valor final de 2.15 ppm como se muestra en el experimento. Además, Benjelloun et al., (2023) en su estudio presenta por primera vez el efecto de bioaumentación de la cepa fúngica *Absidia cylindrospora* en un suelo industrial co-contaminado, en el cual demostró su capacidad para acumular simultáneamente Cd, Co, Cu, Ni y Zn. La capacidad de la cepa fúngica para acumular metales tuvo muy buenos resultados. Quentin et al., (2018) en su estudio realizo ensayos in vitro para evaluar la tolerancia y las capacidades de biosorción del hongo *Absidia cylindrospora* frente a tres metales traza: cadmio (Cd), cobre (Cu) y plomo (Pb). En el cual evaluaron la tolerancia de la cepa en agar de extracto de malta enriquecido con metales (MEA) y luego la capacidad de biorremediación teniendo buenos valores de bioadsorción de 59 % de Pb y el 68 % de Cd tras la exposición durante 3 días a 50 mg L −1, valores muy parecidos a nuestro estudio. También la investigación de Benjelloun et al., (2021) se centró en la bioacumulacion con el hongo *Absidia cylindrospora* de un suelo contaminado artificialmente con metales (Cd, Cu y Pb), en el cual fue capaz de bioabsorber los metales, acumulando 146 mg de Cd y 119 mg de Pb.

Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Se logró el aislamiento del hongo de muestra de suelo de campo agrícola cerca al relave minero.
- Se logró la identificación del hongo *Absidia* sp. aislado de suelo de campo agrícola con ayuda de la referencia bibliográfica
- Se comprobó la capacidad biorremediadora de metales pesados del hongo *Absidia* sp. Contra Pb y Cd.

5.2 Recomendaciones

- Seguir aislando e identificando más cepas fúngicas a partir de muestras que contengan alto contenido en metales pesados y evaluarlos como bioadsorbente de metales pesados.
- Evaluar la capacidad de remoción de otros metales pesados que no fueron considerados en el estudio.
- Tener una colección de cepas de hongos con capacidad biorremediadora de metales pesados.

- Realizar una identificación más precisa con métodos más avanzados a la cepa del hongo estudiado para tener una mayor cobertura de su capacidad genética.

Capítulo VII. Referencias

Aguilera Becerra, A.M., Higuera Blanco, J.P. y Univio Munevar, E.O. (2021). Hongos fitopatógenos en ambientes terrestres y acuáticos presentes en Latinoamérica. *Anales Real Acad. Farm, 87*(4), 371 – 380.

Andrade Linarez, K., Castillo Coaquira, I., y Quispe Riquelme, R. (2020). Determinación de metales pesados en suelos agrícolas y suelos para cultivo de *Solanum tuberosum* de la bahía interior de Puno. *Investigación & Desarrollo, 20*(1), 147 - 153. http://repositorio.upb.edu/handle/123456789/80

Aparicio Jiménez, M.A. (25 de mayo del 2025). *Biorremediación. El uso de organismos para retirar contaminantes ambientales*. INESEM: https://www.inesem.es/revistadigital/biosanitario/biorremediacion/

Bedoya Ciro, C.C., & Estupiñan, L.H. (2018). Evaluación in vitro de la capacidad biorremediadora de hongos filamentosos sobre petróleo crudo. *Nova, 16*(30), 37-58. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702018000200037

Benjelloun, I., Garon, D., Heutte, N., Leleyter, L. y Baraud, F. (2021). Un nuevo microcosmos del suelo para evaluar la biosorción de Cd, Cu y Pb por *Absidia cylindrospora*. *Bioremediation Journal, 26*(4), 318 – 327. https://doi.org/10.1080/10889868.2021.1974333

Bordino, J. (2021). Biorremediación: qué es y tipos. https://www.ecologiaverde.com/biorremediacion-que-es-tipos-y-ejemplos-3566.html

Briceño Minchan, C.V. y Camposano De la Cruz, H.S. (2023). *Uso de hongo filamentoso para biorremediación de aguas ácidas contaminadas con Cadmio en zonas aledañas a pasivos mineros, Shorey 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]

Calle Medina, M.F. y Chavez Cubas, J.O. (2023). *Efecto del hongo Pleurotus ostreatus para biorremediar suelos contaminados por hidrocarburos en los establecimientos automotrices* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]

Carreño, G., Quijije, G., Diaz, B., Maridueña, M. y Cevallos, J. (2023). Identificación de hongos filamentosos asociados al suelo del bosque protegido de Prosperina. *Revista Bionatura, 8*(1), 22. http://dx.doi.org/10.21931/RB/2023.08.01.22

Chávez, G., Estrado, N., Gómez, J., Choque, R., Crespo, C. y Alvarez, M.T. (2013). Potencial de cepas fúngicas aisladas en el área de Biotecnología Fúngica. Primera parte: Uso de hongos en biorremediación. *Revista Con-ciencia, 1*(1), 85 - 92.

Coello Paredes, J.M. (2011). *Aplicación del hongo Pleurotus ostreatus como alternativa para la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador]

Covarrubias, S.A., García Berumen, J.A. y Peña Cabriales, J.J. (2015). El papel de los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Acta Universitaria, 25*(3), 40-45.

El suelo Agrícola. (s.f.). Universidad Nacional de la Plata, 1-14. https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/52/27752/f8cb0e577b80bbe6aa23dd8ad9098379.pdf

Estrada Salazar, G.I. y Ramírez Galeano, M.C. (2019). *Micología general*. Universidad Católica de Manizales.

European Chemicals Agency (ECHA) (25 de mayo del 2025). *Métodos in vitro*. https://echa.europa.eu/es/support/registration/how-to-avoid-unnecessary-testing-on-animals/in-vitro-methods

Fernández Valqui, R.L. (2020). *Atenuación natural y biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, Amazonas, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas].

Flores, J.A., Navarro, A.E., Ramos, K.P., Chang, L., Ale, N., Ly, M. y Maldonado, H.J. (2005). Adsorción de Cu(II) por quitosano en polvo y perlas de gel. *Revista de la Sociedad Química del Perú, 71*(1), 17 - 25).

Fungi Foundation (25 de mayo de 2025). *¿Por qué hongos?. Micorremediación*. https://www.ffungi.org/why-fungi/micoremediacion

Garza González, M.T. (2005). *Aislamiento de microorganismos con alta capacidad de tolerar y remover Pb(II), Cr(VI), Cd(II), Cu(II), Zn(II) y Ni(II)* [Tesis de Doctorado, Universidad de La Habana]

Grupo Ígneo (6 de abril de 2017). *Recuperación de Suelos Contaminados: Biorremediación*. https://www.emberizamedioambiente.es/noticia-medio-ambiente/recuperacion-de-suelos-contaminados-biorremediacion

Hernandez Angel, M.L., Lopez, E.P., Jaramillo Granda, M.C. y Posada Usuga, A.P. (2020). Identificación de microorganismos biorremediadores de suelos agrícolas del norte de Antioquía para la degradación del clorpirifos. *Revista Politécnica, 16*(32), 96 - 110. https://doi.org/https://doi.org/10.33571/rpolitec.v16n32a9

Ibarra Ramos, R.E. (2022). Perspectivas para la biorremediación de suelos contaminados con plomo en Colombia [Tesis de pregrado, Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá].

Instituto Nacional del Cáncer (NIH) (2015). *Cadmio*. https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/cadmio

Iturbe Argüelles, R. (2010). *¿Qué es la biorremediación?*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Lattime, E.C. and Gerson, S.L. (Eds.) (2014). Terapia génica del cáncer. Elservier Inc. https://doi.org/10.1016/C2011-0-06951-X

Loyde de la Cruz, L.A., González Méndez, B., Cruz Avalos, A.M. y Loredo Portales, R. (2022). Suelos agrícolas y metales pesados, una relación tóxica que se puede remediar. *EPISTEMUS, 16*(33), 93 – 98. https://doi.org/https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.228

Marcovecchio, J. y Moreno, V. (1991). Metal accumulation in tissues of sharks from the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Marine Environmental Research, 31*(4), 263 - 274. https://doi.org/10.1016/0141-1136(91)90016-2

Mettler Toledo (5 de mayo del 2025). Espectroscopia ultravioleta-visible: conceptos básicos. https://www.mt.com/es/es/home/applications/Application_Browse_Laboratory_Analytics/uv-vis-spectroscopy/uvvis-spectroscopy-explained.html

Ministerio de Salud (MINSA) (25 de mayo de 2025). *¿Qué son los metales pesados?*. https://www.gob.pe/47991-que-son-los-metales-pesados

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (25 de mayo del 2025). *Metales pesados*. https://cdn-portal-miteco-stage.adobecqms.net/es/calidad-y-

evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/metales_pesados.html

Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS) (25 de mayo de 2025). *Plomo*. https://www.paho.org/es/temas/plomo

Pacasa-Quisbert, F., Loza-Murguia, M.G., Bonifacio-Flores, A., Vino-Nina, L. y Serrano-Canaviri, T. (2017). Comunidad de hongos filamentosos en suelos del Agroecosistema de K'iphak'iphani, Comunidad Choquenaira-Viacha. *Journal of the Selva Andina Research Society, 8*(1), 2 - 25.

Palomino Pariona, E. (2022). *Biorremediación con hongos y bacterias en suelo contaminados con pesticidas 2022: Revisión sistémica* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].

Quentin, A., Leleyter, L., Lemoine, M., Heutte, N., Rioult, J.P, Sage, L., Baraud, F. y Garon, D. (2018). Comparación de la tolerancia y biosorción de tres metales traza (Cd, Cu, Pb) por el hongo del suelo *Absidia cylindrospora*. *Quimosfera, 196*, 386 – 392. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.156

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz Lagos, M., & González Jimenez, E. E. (Diciembre de 2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería, Investigación y Desarrollo, 16*(2), 66 - 77.

Rosales-López, C. (2019). Otro uso importante de los hongos. *Revista Tecnología en Marcha, 32*(2), 82 - 90. https://doi.org/https://doi.org/10.18845/tm.v32i2.4351

Sabroso González, M.C. (2004). *Guía sobre suelos contaminados*. SINIA.

Schmidt, W. (2002). *Suelos contaminados con Hidrocarburos: La biorremediación como una solución ecológicamente compatible*. Corporación técnica alemana.

Silva Hernández, A. (2021). *Identificación de hongos filamentosos aislados de una zona endémica de coccidioidomicosis (Hermosillo, Sonora)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]

Velarde Chacón, G.E., Martinez Guillen, M.F. and Velásquez Marín, M. (2024). Use of the fungus *Pleurotus ostreatus* in Triticum straw and *Zea mays* crown substrates to bioremediate soils contaminated with cadmium. *22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Sustainable Engineering for a Diverse, Equitable, and Inclusive Future at the Service of*

Education, Research, and Industry for a Society 5.0. Hybrid Event, San Jose – COSTA RICA

Villota García, V. P. (2022). *Eficiencia de los Hongos Pleurotus ostreatus y Aspergillus niger en la Biorremediación de Suelos Contaminados con Metales Pesados* [Tesis de maestría, Universidad Estatal de Milagro]

Anexos

Anexo 1. Recolección de muestras de suelo por parte de la tesista.



Anexo 2. Recolección de muestra de suelo de la tesista.



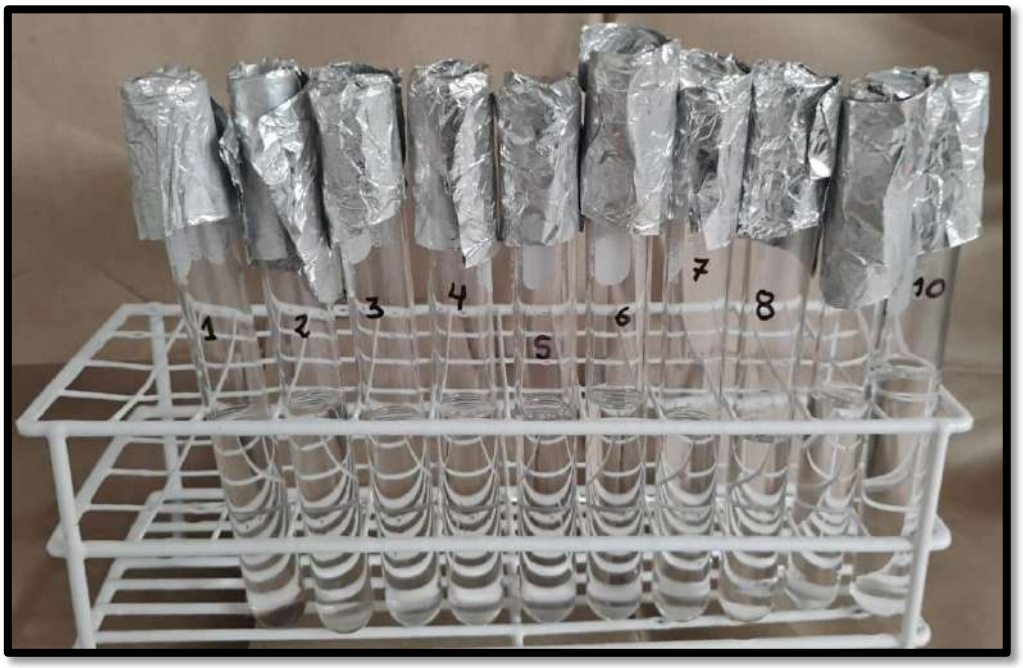
Anexo 3. Muestras de tierra en bolsas ziploc.



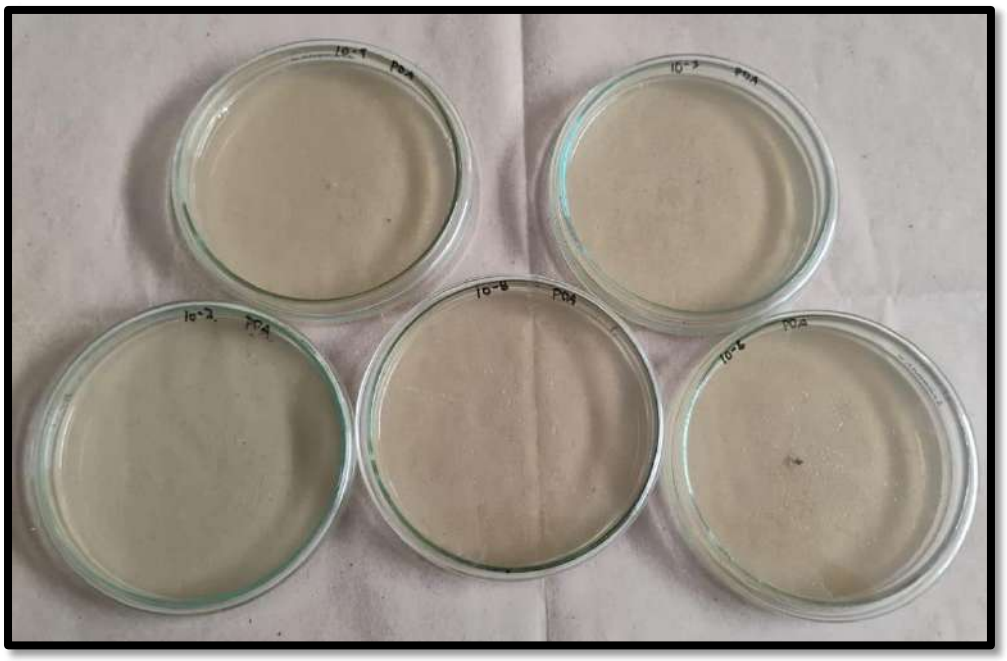
Anexo 4. Pesaje de los 10g de tierra para la difusión seriada.



Anexo 5. Diluciones seriadas de la muestra de tierra.



Anexo 6. Placas petri con medio PDA para el aislamiento del hongo.



Anexo 7. Realización de las diluciones seriadas.



Anexo 8. Informe de análisis inicial de suelo.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : ADA YOSELMA TELLO CARRILLO/ MILAGROS SALVADOR ROSALES

PROCEDENCIA : LIMA/ HUARAL/ CHANCAY

REFERENCIA : H.R. 84653

BOLETA : 7084

FECHA : 15/01/2025

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Pb total ppm	Cd total ppm
8257		207.15	45.03

Dra. Lily Tello Peramás
Jefa de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946-505-254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 9. Informe de análisis final del suelo.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : ADA TELLO CARRILLO/ MILAGROS SALVADOR ROSALES

PROCEDENCIA : LIMA/ HUARAL/ CHANCAY

REFERENCIA : H.R. 85400

BOLETA : 7262

FECHA : 15/05/2025

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Pb total ppm	Cd total ppm
1501	SUELO 1	44.43	2.15

Dra. Lily Tello Peramás
Jefa de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946-505-254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe