



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTA

**Fitorremediación Inducida por Microorganismos en Suelos
Contaminados con Iones de Metales Pesados: Revisión sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Berrio Ochoa, Marylin (ORCID: 0000-0002-8173-6647)

Figueroa Aguero, Juan Jose (ORCID: 0000-0002-5055-3821)

ASESOR:

Mgtr. Honores Balcázar, Cesar Francisco (ORCID: 0000-0003-3202-1327)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y gestión de los Recursos Naturales

**LIMA - PERÚ
2021**

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo va dedicado principalmente a Dios, por darme fuerzas para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados, a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

Marylin Berrio Ochoa

El presente trabajo de investigación va dedicado a Dios por darme la vida para seguir cumpliendo mis sueños, a mi familia por apoyarme incondicionalmente.

Juan Jose Figueroa Aguero

AGRADECIMIENTOS

Nuestro sincero agradecimiento a Dios por brindarnos salud, fortaleza, capacidad; por ser nuestro guía y acompañarnos en el transcurso de nuestra vida, Gracias a nuestra familia por ser el principal promotor de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado, a nuestros hijos que es mi motivo para lograr mis objetivos.

También hacemos extenso este reconocimiento de manera especial a nuestro asesor quien ha guiado con su paciencia y rectitud como asesor, quien con su experiencia, conocimiento y motivación nos orientó y nos dio las pautas para nuestra elaboración de tesis.

ÍNDICE

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS	vi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT.....	ix
I.- INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA	12
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	12
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización.....	13
3.3 Escenario de estudio.....	16
3.4 Participantes.....	16
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	16
3.6 Procedimientos.....	16
3.7 Rigor científico.....	18
3.8 Método de análisis de información	18
3.9 Aspectos éticos	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN... ..	20

V. CONCLUSIONES	28
VI. RECOMENDACIONES.....	29
REFERENCIAS.....	30

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Valores de referencia de metales pesados (según la Organización Mundial de la Salud)

Tabla N°2: Estrategias de fitorremediación

Tabla N°3: Antecedentes de Fitorremediación inducida por microorganismos

Tabla N°4: Matriz de categorización apriorística

Tabla N°5: Microorganismos más empleados para la fitorremediación

Tabla N°6: Porcentaje de remoción de iones de metales pesados en el suelo

Tabla N°7: Beneficio de suelos contaminados por inducción de microorganismos

ÍNDICE DE FIGURAS

Gráfico N°1: Procedimiento de información

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

HMA : Hongos micorrízicos arbusculares

PGPB : Bacterias promotoras del crecimiento de las plantas

Pb : Plomo

Hg : Mercurio

U : Uranio

Cd : Cadmio

Fe : Hierro

Zn : Zinc

Co : Cobalto

USEPA : Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

PCB : Los policlorobifenilos

HAPs : Hidrocarburos aromáticos poli cíclicos

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo general determinar cómo es la fitorremediación inducida, así como analizar los microorganismos más empleados para la fitorremediación de suelos contaminados con iones metálicos, definir los parámetros más influyentes en el porcentaje de remoción de iones de metales pesados en el suelo empleando la fitorremediación y determinar de qué manera la inducción de microorganismo en la fitorremediación ayuda a los suelos contaminados con iones de metales pesados.

Para lo cual, la metodología empleada fue el tipo aplicado con un diseño narrativo de tópico donde se recolectó artículos de investigación mediante el método de análisis documental y la matriz apriorística; incluyendo 20 investigaciones al estudio, los cuales fueron pasados previamente por procesos de selección.

Los resultados obtenidos muestran señalan que los microorganismos más empleados para la fitorremediación de suelos contaminados con iones metálicos son en un 62% a base de bacterias, ello debido a que las bacterias que se encuentran resistentes a los metales pesados presentan mayor estimulación a la biosorción de estos contaminantes; mejorando las propiedades bacterianas del suelo y en un 38% fueron empleados los hongos, los parámetros influyentes en el porcentaje de remoción de iones de metales pesados en el suelo empleando la fitorremediación se tuvo el tiempo de contacto es el parámetros más influyente generando los tiempos de contactos altos mayores a 60 días porcentajes de 80 a 90% de iones de metales pesados; por último la inducción de microorganismo en la fitorremediación ayuda a los suelos contaminados con iones de metales pesados a Fito estabilizar los iones metálicos del suelo, mejorando los índices de diversidad bacteriana y la estructura comunitaria del suelo, a las propiedades de adsorción de los microorganismos empleados en la fitorremediación del suelo contaminados.

Palabras Clave: Hongos, Cianobacterias, Bacterias, suelo contaminado, iones metálicos, fitorremediación.

ABSTRACT

The general objective of this research is to determine how induced phytoremediation works, as well as to analyze the microorganisms most commonly used for phytoremediation of soils contaminated with metal ions, to define the most influential parameters in the percentage removal of heavy metal ions in the soil using phytoremediation, and to determine how the induction of microorganisms in phytoremediation helps soils contaminated with heavy metal ions.

For which, the methodology used was the applied type with a topical narrative design where research articles were collected through the documentary analysis method and the aprioristic matrix; including 20 researches to the study, which were previously passed through selection processes.

The results obtained show that 62% of the microorganisms most used for phytoremediation of soils contaminated with metal ions are bacteria, due to the fact that bacteria that are resistant to heavy metals present greater stimulation to the biosorption of these contaminants; The parameters influencing the percentage of removal of heavy metal ions in the soil using phytoremediation were the contact time, which is the most influential parameter, generating high contact times greater than 60 days, with percentages of 80 to 90% of heavy metal ions; Finally, the induction of microorganisms in phytoremediation helps soils contaminated with heavy metal ions to phytostabilize the metal ions in the soil, improving the bacterial diversity indexes and the community structure of the soil, the adsorption properties of the microorganisms used in the phytoremediation of the contaminated soil.

Keywords: Fungi, Cyanobacteria, Bacteria, contaminated soil, metal ions, phytoremediation.

I. INTRODUCCIÓN

Muchos suelos y masas de agua de todo el mundo están muy contaminados: entre los contaminantes orgánicos se encuentran los disolventes, los herbicidas y pesticidas clorados, los PCB, los HAP, el gasóleo y muchos otros (Abramovitch et al., 2003, p.1). Los iones de metales pesados, incluidos los radionúclidos, son también importantes contaminantes del suelo, siendo considerado la descontaminación de suelos contaminados con iones de metales pesados uno de los problemas más difíciles de la tecnología de limpieza (Molinari et al., 2004, p.1). Y es bien sabido que el contenido total de metales pesados en los suelos es un mal indicador de los riesgos para la salud humana y medioambiental, comprobándose que la carga total de metales sobreestima el riesgo y, en consecuencia, la justificación de la contaminación aumenta (Kwon K. y Owens G., 2009, p.1).

Generalmente, los metales pesados son persistentes e indegradables a diferencia de otros contaminantes orgánicos y el suelo actúa como un adsorbente natural que inmoviliza los metales pesados y disminuye su biodisponibilidad. A través de diferentes mecanismos (precipitación, proceso de adsorción y reacciones redox), pero cuando las concentraciones de metales pesados superan la capacidad del suelo, los metales pesados se movilizan, provocando una grave contaminación de los productos agrícolas o de las aguas subterráneas (Shi et al., 2009, p.2).

Aunque los suelos tienen una capacidad natural para atenuar la biodisponibilidad y el movimiento de los metales a través de ellos mediante diferentes mecanismos (precipitación, procesos de adsorción y reacciones redox), cuando las concentraciones de metales pesados se vuelven demasiado altas para que el suelo pueda limitar sus efectos potenciales, los contaminantes pueden moverse, dando lugar a una grave contaminación de los productos agrícolas o de las aguas subterráneas (Chen et al., 2000, p.2). También las plantas experimentan estrés oxidativo al exponerse a metales

pesados que conduce al daño celular y debido a que las plantas acumulan iones metálicos, estos alteran la homeostasis iónica celular (Yadav S., 2010, p.1).

Debido a ello, siendo de manera obligada la búsqueda de remediación del suelo contaminado (Alghanmi et al., 2015, p.2). Ante ello, la Fitorremediación una nueva tecnología prometedora que utiliza plantas para degradar, asimilar, metabolizar o desintoxicar metales, hidrocarburos, pesticidas y solventes clorados (Susarla et al., 2002, p.1). Es un método ecológico, eficiente y económico de biorremediación de suelos contaminados con iones metales (Barbosa B. y Fernando A., 2018, p.1). Sin embargo, una mayor concentración de los metales provocan una disminución de la biomasa vegetal y un retraso en el crecimiento, para lo cual los microorganismos solubilizadores de fosfato, como *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, etc., han demostrado su eficacia en la biorremediación de metales e influyen en la fitorremediación por Fito extracción o por fitoestabilización en suelos contaminados con metales pesados (Prabhu et al., 2019, p.1).

Ante esta problemática el presente trabajo de investigación plantea el siguiente problema general: ¿Cómo es la fitorremediación inducida por microorganismos en suelos contaminados con iones de metales pesados? y los siguientes problemas específicos: ¿Cuáles son los microorganismos más empleados para la fitorremediación de suelos contaminados con iones metálicos?, ¿Cuáles son los parámetros influyentes en el porcentaje de remoción de iones de metales pesados en el suelo empleando la fitorremediación? Y ¿De qué manera la inducción de microorganismo en la fitorremediación ayuda a los suelos contaminados con iones de metales pesados?

Así mismo se dio lugar a la generación del objetivo general: Determinar cómo es la fitorremediación inducida por microorganismos en suelos contaminados con iones de metales pesados y a los objetivos específicos: Analizar los microorganismos más empleados para la fitorremediación de suelos contaminados con iones metálicos, Definir los parámetros influyentes en el porcentaje de remoción de iones de metales pesados en el suelo empleando la fitorremediación y Determinar de qué manera la

inducción de microorganismo en la fitorremediación ayuda a los suelos contaminados con iones de metales pesados.

De acuerdo a ello, se indica que esta investigación tiene una justificación teórica, ya que recopila y analiza una serie de documentos en diversos idiomas acerca de la fitorremediación inducida por microorganismos en suelos contaminados con iones de metales pesados, buscando generar un aporte literario a la investigación científica, y ayudar a futuros investigadores con una información actualizada y sintetizada de estudios a nivel mundial acerca del tratamiento del suelo mediante una tecnología eco amigable con el medio ambiente.

II. MARCO TEÓRICO

La contaminación por metales pesados en el suelo se ha convertido ya en un problema mundial, que está amenazando gradualmente el medio ambiente y la salud humana (Peng et al., 2015, p.2). En todo el mundo hay diez millones de sitios contaminados importantes, de los cuales más del 50% están contaminados por metales pesados (Gong et al., 2018).

La limpieza de suelos contaminados con iones tóxicos es una de las tareas más difíciles, debido a su toxicidad y a la larga adsorción de iones por los suelos. Por ejemplo, en China, las concentraciones medias de cadmio (Cd), arsénico (As), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) en el suelo han superado sus valores límite en un 7,0%, 2,7%, 2,1%, 1,5% y 0,9%, respectivamente (Guo et al., 2016). En Europa occidental hay 1.400.000 lugares contaminados con contaminantes inorgánicos y/o orgánicos; según la USEPA, 31.000 lugares en Estados Unidos están contaminados con metales (MEFQ, 2001, p.1) y según el Ministerio de Medio Ambiente y Fauna de Canadá, 5125 lugares están contaminados en Canadá, en la provincia de Quebec, el 11% de los cuales están contaminados con contaminantes inorgánicos (Ortega et al., 2008, p.2).

Los iones de metales pesados han sido un tema fundamental debido a su especial importancia bioquímica; estas son sustancias no biodegradables distribuidas de forma ubicua que conllevan un mayor riesgo para la salud humana por su acumulación en el cuerpo humano a través del aire, bebidas, emisiones de vehículos, cadena alimentaria y actividades industriales (Khalid et al., 2017, p.2). Exposición de iones de metales pesados como plomo (Pb), mercurio (Hg), uranio (U), cadmio (Cd), etc., incluso a baja concentración y algunos iones de metales nutrientes esenciales como hierro (Fe), zinc (Zn), cobalto (Co), etc., en alta concentración son tóxicos para la salud humana ya que causa enfermedades cardiovasculares, mortalidad por cáncer, trastornos neurológicos y también son tóxicos para el medio ambiente. Por tanto, la detección de estos iones

metálicos a baja concentración es previa para la protección del medio ambiente y para la prevención de enfermedades (Pen et al., 2019, p.4).

A diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales pesados no son biodegradables y tienen tendencia a acumularse en los seres vivos (Rai et al., 2019, p.3). De hecho, se sabe que la mayoría de ellos son cancerígenos potenciales y tienen varios peligros para la salud debido a la exposición continua y prolongada a metales pesados (Zhuang et al., 2009, p.1). Debido a que estos niveles de metales o metaloides se transfieren del suelo a los alimentos (Mcgrath S. y Zhao F., 2015, p.1).

Los valores de referencia para algunos de los metales pesados se enumeran en la Tabla N°1.

Metal pesado	Valor de referencia (mg L⁻¹)
Antimonio (Sb)	0,02
Arsénico (As)	0,01
Bario (Ba)	0,7
Cadmio (Cd)	0,003
Cobre (Cu)	2
Cromo (Cr)	0,05
Plomo (Pb)	0,01
Manganeso (Mn)	0,4
Mercurio (Hg)	0,006
Níquel (Ni)	0,07
Selenio (Se)	0,01
Uranio (U)	0,015

Tabla N°1: Valores de referencia de metales pesados (según la Organización Mundial de la Salud)

Fuente: Yadav et al., 2019, p.6

Estos iones de metales, son un problema cada vez más urgente en todo el mundo, como resultado del uso intensivo de aguas residuales para riego, lodos de depuradora, pesticidas y emisiones de escapes de vehículos, minería y fundición (Sunarso J. y Ismadji S., 2009, p.1). Pero también, se considera que las causas fundamentales de este problema son el rápido ritmo de urbanización, los cambios en el uso de la tierra y la industrialización, especialmente en países en desarrollo con poblaciones extremadamente altas, como India y China (Habitat U., 2004, p.1); también la eliminación de efluentes líquidos, fertilizantes y pesticidas, escorrentías terrestres y productos químicos provenientes de diversas actividades urbanas, industriales y agrícolas (Sun et al., 2018, p.1); así como las fuentes naturales; meteorización geológica, erosión y deposición atmosférica (Xiong et al., 2016, p.3).

Por estas actividades humanas se encuentran en el medio ambiente numerosos oligoelementos potencialmente peligrosos (Mandeng et al., 2019, p.2). Donde tienen un gran impacto en los parámetros del suelo y puede afectar negativamente las características del suelo y limitar sus funciones productivas y ambientales; siendo una de las acciones que tienen en el suelo, la disminución de la actividad microbiana de los microorganismos del suelo (Simona et al., 2004, p.3). Estos niveles elevados en el suelo también provocan una elevada absorción de metales pesados por parte de los vegetales y los cultivos y generan graves riesgos para la salud de los seres humanos (Xiong et al., 2016, p.1)

Dado que no son degradables y tienden a bioacumularse, es necesario establecer métodos adecuados para su eliminación eficaz del medio ambiente; siendo la fitorremediación el tratamiento de sitios contaminados el más utilizado con éxito (furuKawa K., 2000, p.3). La fitorremediación es una tecnología prometedora que utiliza plantas y sus microbios asociados para limpiar los contaminantes del medio ambiente.

En los últimos años, la fitorremediación asistida por bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPB) ha sido muy promocionada para limpiar metales tóxicos del suelo (Kong Z. y Glick B., 2017, p.1). Las bacterias / microbio - asistida en la fitorremediación es la única tecnología integrada con ambas tecnologías de

remediación de origen biológico; por esta razón, se está utilizando recientemente para la limpieza de varios sitios contaminados, incluidos metales pesados, hidrocarburos y pesticidas (Girolkar et al., 2021, p.1).

Estas PGPB incluyen bacterias rizosféricas, bacterias endofíticas y las bacterias que facilitan la fitorremediación. De otra manera (Zahoor Mahwish et al., 2017, p.1).

La fitorremediación se puede clasificar según el método y/o la naturaleza del contaminante; estos se distinguen por la forma en que las plantas afectan al proceso de tratamiento del ecosistema contaminado; mediante la Fitoextracción, fitoestabilización, fitoestimulación, fitovolatilización y fitodegradación (Kavamura V. y Esposito E., 2010, p.4).

La fitoextracción o fitoacumulación ha surgido como una técnica prometedora para la remediación del suelo que puede absorber fácilmente metales pesados y purificar el suelo de sus contaminantes (Ghori Zoya et al., 2016, p.1). La fitoestabilización asistida es un método biológico incluido en Gentle Opciones de Remediación, que, entre otras cosas, son seguras e interfieren in situ con el entorno natural lo menos posible (Radziemska Maja et al., 2020, p.3). También, la técnica de fitoestabilización puede ser asistida por la adición de diversas sustancias minerales u orgánicas al suelo y Su especial importancia en la recuperación de suelos contaminados (Zhang Quan et al., 2019, p.2).

Los procesos de fitoestimulación implican la biodegradación de contaminantes en el suelo por los microbios que se encuentran en la rizosfera, donde, los exudados de las raíces de la planta apoyan el crecimiento y la actividad de bacterias del suelo (Yarzabal Luis et al., 2019, p.1). La fitovolatilización tiene como objetivo transformar los contaminantes orgánicos e inorgánicos que se toman junto con el agua en especies gaseosas volátiles dentro de la planta, seguido de su eventual liberación a la atmósfera en concentraciones comparativamente bajas (Jan Arif et al., 2016, p.5).

Por último, la fitodegradación de compuestos orgánicos puede tener lugar dentro de la planta o dentro de la rizosfera de la planta; con este método se pueden eliminar del

medio ambiente muchos compuestos y clases de compuestos diferentes, incluidos los disolventes del agua subterránea, el petróleo y los compuestos aromáticos del suelo y los compuestos volátiles del aire (Al Baldawi et al., 2016, p.1). Para lo cual se detalla en la Tabla N°2.

ESTRATEGÍA	OBJETIVOS
FITOEXTRACCIÓN	Para absorber y acumular contaminantes en los tejidos vegetales.
FITUESTABILIZACIÓN	Para prevenir el movimiento de contaminantes en el suelo incorporándolos a las paredes celulares de las plantas (lignificación) o al humus del suelo (humificación) y, a veces, incluso precipitándolos como formas insolubles.
FITOMINERA	Para recoger metales preciosos del suelo y almacenarlos en los tejidos vegetales de los que pueden recuperarse mediante un procesamiento posterior.
FITOVOLATILIZACIÓN	Para absorber los contaminantes y liberarlos a la atmósfera en forma volátil.
RIZOFILTRACIÓN	Absorber contaminantes de ambientes acuosos y concentrarlos en las raíces de las plantas; este término también se refiere al uso de plantas cultivadas en condiciones hidropónicas
BLASTOFILTRACIÓN	Para eliminar los contaminantes del agua mediante el uso de plántulas en lugar de plantas completamente desarrolladas.
FITOSTIMULACIÓN (RIZODEGRADACIÓN)	Promover el crecimiento de microorganismos en la rizosfera proporcionando apoyo físico y exudados nutritivos, ya sea para estimular la absorción de contaminantes por las plantas o para permitir su degradación fuera de la planta.

FITOTRANSFORMACIÓN (FITODEGRADACIÓN)	Absorber y convertir contaminantes tóxicos en compuestos inocuos activando los sistemas metabólicos de las plantas.
BOMBEO HIDRÁULICO	Para bajar el nivel freático evitando la migración de contaminantes y mejorando la pérdida de compuestos orgánicos volátiles de la superficie del suelo.
FITOSORCIÓN	Para absorber contaminantes en tejidos vegetales vivos o muertos.

Tabla N°2: Estrategias de fitorremediación

Fuente: Modificado de Gupta et al., 2013, p.1

La fitoextracción inducida es otra forma de aumentar la biodisponibilidad de iones metálicos siendo los microorganismos capaces de aumentar la eficiencia de la fitorremediación (Kaushal M., 2019, p.2).

Las bacterias endógenas o de la rizosfera capaces de mantener una relación estable con las plantas pueden no albergar las enzimas metabólicas necesarias para el catabolismo eficiente de los contaminantes persistentes. Debido a ello, y con el fin de mejorar la rizadorremediación se clonaron genes catabólicos clave de degradadores xenobióticos conocidos en bacterias endofíticas y rizosféricas específicas (Aken B. y Doty S., 2009, p.1).

Entre estas se encuentra las bacterias rizosféricas transgénicas para fitorremediación; estas son los primeros microorganismos diseñados específicamente para aplicaciones de fitorremediación (Dhankher et al., 2012, p.1). Se reveló que las bacterias de la rizosfera secretan diversas fitohormonas que estimulan el crecimiento de las plantas, demostrando que las cepas de *Bradyrhizobium japonicum* cultivadas en cultivo puro producen auxinas ácido abscísico y etileno (Parray J. y Shameem N., 2020, p.85).

Pero, la velocidad de remediación es un reto importante de la aplicación con éxito; debido a ello, la fitorremediación asistida por potenciadores podría ser una buena forma de resolver los problemas de eficiencia de la remediación (Liu et al., 2018, p.1).

Ya que, Los procesos fisiológicos emprendidos por ciertos microorganismos pueden alterar la actividad biológica de los metales pesados en el suelo, mejorando o reduciendo así la absorción de metales pesados por las plantas (Veiga et al., 2006, p.2).

Por otra parte; el presente estudio tiene un conglomerado de 64 antecedentes de los cuales se expone los 15 más resaltantes en la tabla N°3; donde se detalla la fitorremediación empleando diversos microorganismos para tratar contaminantes del suelo.

Tabla N°3: Antecedentes de Fitorremediación inducida por microorganismos

Fitorremediación a base de	Tipo de microorganismo	Remoción de contaminantes	Autor
Hongos micorrízicos arbusculares y lombrices de tierra	<i>Glomus caledonium</i> L y <i>Eisenia foetida</i>	Metales pesados 74,3% y 79,5%	Lu Yan et al., 2016
Bacterias	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Cd: 49.4%	Ni Gang et al., 2021
Bacterias	<i>Bacillus spp.</i> y <i>Halomonas spp.</i>	Cr (VI): 97%	Fu Lijuan et al., 2021
Hongos filamentosos	<i>Aspergillus ustus</i> y <i>Purpureocillium lilacinum</i>	Petróleo crudo: 44,55% y 30,43%	Benguenab A. y Chibani A., 2020
Fitobacteriano	<i>Pseudomonas resinovorans</i> , <i>Plantibacter auratus</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Staphylococcus pasteurii</i> , and <i>Bacillus atrophaeus</i>	Petróleo crudo con bacteria: 53,3% al 87,4%	Kiamarsi Z. et al., 2019
Fitobacteriano	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Metales pesados: 46-76%	Ebadi Ali et al., 2018

Bacterias ureolíticas	<i>Bacillu</i>	Cd: 96% Ni: 89%	Khadim Hussein et al., 2019
Bacterias	<i>Bacillus Zhanjiangensis</i>	Cipermetrina: 82,18%	Liu Jie et al., 2017
Bacterias	<i>Bacillu</i>	Pb: 93,94%	Teng Zedong et al., 2021
Cepa microbiana nativa	<i>Pseudomonas guguanensis</i>	Petróleo crudo: 80%	Ajona M. y Vasanthi P., 2021
Bacterias nativas	<i>Pseudomonas cloritidismutans</i> y <i>Rhodococcus qingshengii</i>	Hidrocarburos de petróleo: 86%	Rodríguez Uribe et al., 2021
Comunidad microbiana	<i>Proteobacteria</i> y <i>Firmicutes</i>	Cu, Zn, Pb: Proteobacteria: 41,71% Firmicutes: (20,44%	Zhao Xingqing et al., 2019
Bacterias	<i>Bacillus subtilis</i>	Zn: 27,32% Cd: 39.25%	Li Yiman et al., 2021
Comunidad microbiana	<i>itrospiraceae no identificadas, Blastocatella y Acidobacteria</i>	Cd, Pb y Zn: >85%	Guo Honghong et al., 2017
Bacterias y Hongos	<i>Avicennia marina</i>	Zn: 70% Cu: 62% Pb: 62%	Kayalvizhi K. y Kathiresan K., 2019

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente estudio se basa en un tipo de investigación aplicada, la cual se define como aquella investigación pragmática o utilitaria que consiste y nace en base a conocimientos previamente obtenidos de otras investigaciones básicas o teóricas, con el fin de dar solución a problemas inmediatos (Sánchez, Reyes & Mejía, 2018, p.79). Por otro lado, para Hernández, Fernández y Baptista (2014), dicha investigación abarca aspectos como el evaluar, comparar, interpretar, establecer precedentes y determinar casualidades (p.25). Ante lo mencionado, el estudio tuvo como principal objetivo determinar las características y aspectos de la fitorremediación inducida para ello se realizó la búsqueda de información y antecedentes en referencia al tema.

En otro aspecto, el estudio presenta un enfoque cualitativo, que se comprende un análisis de datos o información no numérica es decir se desarrolla mediante características de comparaciones, diferenciaciones, clasificaciones, categorizaciones y descripciones de datos con la finalidad de comprenderlos e interpretarlos (Sánchez, Reyes & Mejía, 2018, p.16). Así mismo tiene las características de ser una perspectiva abierta, flexible creativa y emergente, que hace que los investigadores y metodólogos adscritos al mismo se resistan a establecer recetas y prescripciones para un documento que refleje de un modo convencional un proceso estructurado (Facal, 2015 p. 6). Es por ello que para el presente estudio con enfoque cualitativo se pretendió realizar un análisis de las características componentes, procesos, etc., de la fitorremediación inducida.

Por otro lado, se determina al presente estudio como diseño de investigación narrativa es decir pretende conceptualizar épocas, lugares y tiempos donde ocurrieron hechos, sucesos, fenómenos o experiencias los cuales se tomarán como evidencias para desarrollar la problemática. (Hernández, Fernández, y Baptista, 2014, p. 75). De este

modo, la investigación se realizó en base a una revisión bibliográfica de exploración y descripción de las principales características que dan lugar a la fitorremediación inducida.

3.2. Categorías, subcategoría y matriz de categorización apriorística

Para llevar a cabo una investigación, se debe realizar una serie de procedimientos dentro de los cuales la organización y recopilación de la información, es uno de los esenciales a tener en cuenta, tal como lo menciona, Herrera, Guevara, y Munster (2015) la distribución o división de los temas a tratar formaran parte del desarrollo del estudio. Para ello se designa categorías que son aquellas que denotan un tópico en sí mismo, así mismo se plantean las subcategorías detallan los tópicos en micro aspectos, los cuales son definidas antes o durante la recopilación de información y surge de la formulación de problemas y objetivos de la investigación (p.125). Tal como se muestra en el siguiente cuadro, se plantea como categorías y subcategorías a:

Tabla N°4: Matriz de categorización apriorística

Objetivos Específicos	Problemas Específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2
Analizar los microorganismos más empleados para la fitorremediación de suelos contaminados con iones metálicos.	¿Cuáles son los microorganismos más empleados para la fitorremediación de suelos contaminados con iones metálicos?	Microorganismos (Sharma P., 2021, p.1).	<ul style="list-style-type: none"> • Por inducción de Hongos • Por inducción de Algas • Por inducción de Cianobacterias (Barbosa B. y Fernando A., 2018, p.4). 	De acuerdo al ion metal pesado presente en el suelo	De acuerdo al grado de contaminación del suelo
Definir los parámetros influyentes en el porcentaje de remoción de iones de metales pesados en el suelo empleando la fitorremediación.	¿Cuáles son los parámetros influyentes en el porcentaje de remoción de iones de metales pesados en el suelo	Parámetros influyentes (Castrillón et al., 2016, p.3).	<ul style="list-style-type: none"> • Dosis inicial • Metales pesados • Tiempo (Lin et al., 2021, p.1). 	De acuerdo al peso del ion metal pesado encontrado en el suelo	De acuerdo al tiempo de remoción

Objetivos Específicos	Problemas Específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2
	empleando la fitorremediación?				
Determinar de qué manera la inducción de microorganismos en la fitorremediación ayuda a los suelos contaminados con iones de metales pesados.	¿De qué manera la inducción de microorganismos en la fitorremediación ayuda a los suelos contaminados con iones de metales pesados?	Efectos por fitorremediación con microorganismos (Delgadillo et al., 2011, p.1).	<ul style="list-style-type: none"> • Fitoestabilización • Volatilizar • Metabolizar (Delgadillo et al., 2011, p.2).	De acuerdo al microorganismo empleado	De acuerdo al porcentaje de remoción obtenido

3.3. Escenario de estudio

Se denomina escenario de estudio al lugar, espacio o contexto de investigación sobre el cual se desarrolla una problemática (Magallanes, Colaneri, y Rodríguez, 2013, p.587). Ante ello, en la presente investigación se determinó como escenario de estudio a los suelos contaminados por iones de metales pesados, en el cual se determinara los efectos y eficiencia de la aplicación de la fitorremediación inducida.

3.4. Participantes

Para llevar a cabo la investigación se considera como principales fuentes a los artículos de investigaciones que refieran y contribuyan al desarrollo de los objetivos propuestos. Cabe agregar que dichos materiales fueron buscados de las plataformas de Science Direct, Springer Link, Dialnet Web of Science, ProQuest, Research Gate, Redalyc, Scielo.

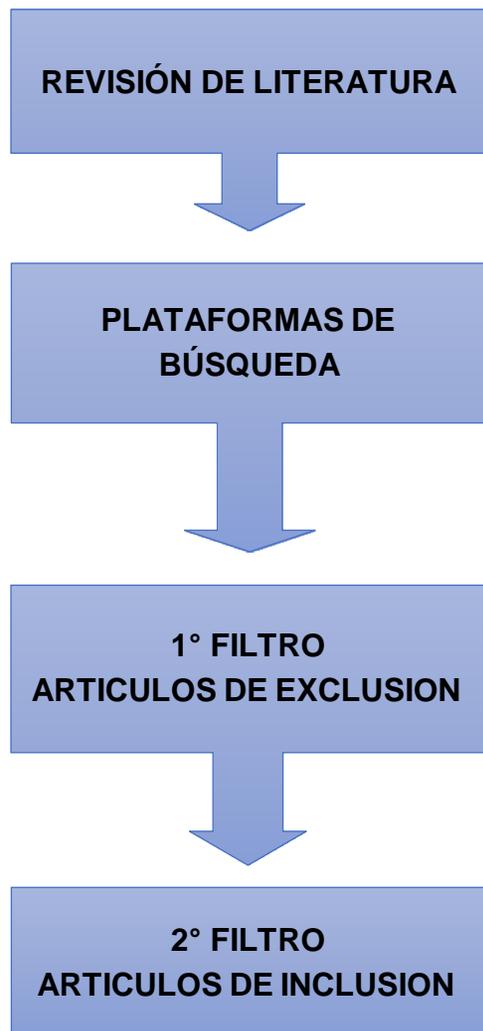
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Niño (2011), refieren que las técnicas de recolección de datos son aquellas operaciones, procedimientos o actividades (desde la observación, entrevista, bibliografía, etc.), con las cuales se llevarán a cabo la investigación. Mientras que los instrumentos son aquellos elementos o materiales con los cuales se ejecutaran las técnicas. (p.29). En tal sentido, para nuestro presente estudio, se desarrolló la recolección de datos e información mediante un instrumento principal denominado "ficha de análisis de contenido" (*Anexo N°1*).

3.6. Procedimientos

Para llevar a cabo la revisión sistemática, se tuvo en cuenta la búsqueda de información en fuente como artículos publicados en revistas indexadas, que tengan la información y data necesaria teniendo en cuenta ciertos criterios de inclusión, tal como se muestra en el siguiente diagrama.

Gráfico N°1: Procedimiento de información



Palabras clave: Phytoremediation, Phytoremediation by micro-organisms, soils contaminated with heavy metal ions.



Literatura Seleccionada = 80

Artículos Duplicados.	= 27
Artículos No Relevantes.	= 16
Artículos sin resultados.	= 17

Total, Artículos Excluidos = 60

Estudios enfocados en países de Sudamérica.	= 5
Estudios enfocados en especies forestales endémicas	= 11
Estudios realizados entre 2015 y 2020	= 4

Total, de artículos incluidos y evaluados = 20

3.7. Rigor científico

El rigor científico aplicado a una investigación cualitativa, permiten establecer lineamientos teóricos, metodológicos y procedimientos, con lo cual se busca las respuestas ante los problemas planteados. Es por ello que se considera 4 aspectos importantes: la credibilidad o validez; que permite reflejar la realidad del concepto que se pretende dar, es decir un proceso reiterado de comparación y reconfirmación de los conceptos o conocimientos adquiridos durante la investigación. Transferibilidad o transferencia; es un aspecto que permite trasladar los resultados a otros contextos de estudios de tal modo que permitirá comparan las investigaciones. Fiabilidad o confirmación; que consiste en aplicar repetidamente una técnica al mismo objetivo y que este siempre logre un mismo resultado, lo cual también pretende revelar la veracidad de los resultados sin que estos estén influenciados por intereses propios del autor y finalmente la Consistencia; que está enfocada en la neutralidad del análisis y la interpretación de la información, la cual se logra cuando en otras investigaciones se llegan a los mismos hallazgos, (Arias, M. y Giraldo, C., 2011, p.502-503).

En tal sentido, el rigor científico para el presente estudio se basará en mantener una postura de credibilidad (valor de verdad) y confirmación (auditabilidad) mediante las fuentes seleccionadas, es decir determinar estudios realizados en el contexto real sin que estos contengan opiniones propias o supuestos de autor, así mismo considerar las investigaciones que estén avaladas por plataformas oficiales. Por otro lado, para determinar el aspecto de dependencia o consistencia se utilizar las palabras claves de búsqueda (todo lo correspondiente a fitorremediación inducida para suelos contaminados por metales), obteniendo data verificable y apta para el estudio. Finalmente, el factor transferencia, estarán dados mediante la comprobación es decir verificar si la información obtenida es verdadera.

3.8. Método de análisis de información

La recolección de información para el desarrollo de la presente investigación fue realizada en base a los procedimientos del punto 3.6. Mientras que, para el proceso

de análisis de datos, este se realizó en base a los criterios designados para cada categoría descrita en el punto 3.2.

El procedimiento realizado fue siguiente la matriz apriorística; el cual emplea 3 categorías Microorganismos, Parámetros influyentes, efectos en el suelo por fitorremediación con microorganismos; de los cuales se generaron 3 subcategorías para cada una; Microorganismos (Por inducción de Hongos, Por inducción de Algas, Por inducción de Cianobacterias), Parámetros influyentes (Dosis inicial, Metales pesados, Tiempo) y Efectos en el suelo por fitorremediación con microorganismos (Fitoestabilización, Volatilizar, Metabolizar).

3.9. Aspectos éticos

Los aspectos éticos a tener en cuenta en la presente revisión sistemática se basan en el respeto a la autoría de las fuentes de información, citando apropiadamente con estilos internacionales (ESTILO ISO 690), así mismo mantener los principios de la bioética (beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia), además del cumplimiento de los aspectos relevantes del código de ética del área de investigación de la universidad Cesar Vallejo y de la escuela de ingeniería ambiental, en el cual se indica que para realizar una investigación esta se basa en una serie de normas que regulan las buenas prácticas y los principios éticos, para de tal modo garantizar la responsabilidad y honestidad de los investigadores. Es por ello que, el autor está sometido a recibir las sanciones e infracciones descritas en la Resolución de Consejo Universitario N° 0126-2017/UCV, Artículo 22, si en caso se comprobara cualquier infracción y la cual estará sujeta a consideración del Tribunal de Honor de la Universidad.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la realidad problemática y el objetivo de determinar cómo es la fitorremediación inducida en suelos contaminados con iones de metales pesados, se tienen los siguientes resultados:

Tabla N°5: Microorganismos más empleados para la fitorremediación

Microorganismo	Tipo de microorganismo	Metal	Autor
<i>No indica</i>	Bacterias	Cd y Ni	Wang Ying et al., 2020
<i>Ascomycota</i>	Hongos	Cr, Cu, As, Fe, Mn	Hassan Auwalu et al., 2020
<i>Basidiomycota</i>			
<i>Pseudomonas Bacillus</i>	Biosurfactante (Microbio)	Cu, Zn, Ni	Mishra Sandhya et al., 2021
<i>Candida tropi calisse</i>			
<i>Bacillus subtilis</i>	Bacterias	Cd, Cu, Pb y Zn	Jeyasundar Parimala et al., 2021
<i>Bacillus megaterium</i>	Bacteria	Pb, Cd y Ni	Njoku et al., 2020
<i>Rhizopus stolonifer</i>	Moho		
<i>Pseudomonas sp</i>	Bacteria	Cd, Cu y Pb	Sun Wuyang et al., 2021
<i>No indica</i>	Bacteria	As	Zhu Ganghui et al., 2021
<i>Bacillus licheniformis, Bacillus subtilis, Serratia sp., Serratia sp. y Bacillus cereus</i>	Bacteria	Plomo (II), Cobre (II), Niquel (II) o Zinc (II)	Muñoz Silva et al., 2019
<i>Fusarium temperatum, Fusarium temperatum, Fusarium oxysporum, Fusarium oxysporum, Fusarium inflexum y Penicillium vanluykii</i>	Hongos		
<i>No indica</i>	Bacterias	Cr	Gu Wenzhi et al., 2021

<i>P. aeruginosa</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Sphingomonadales</i> , <i>Nitrospira</i>	Bacterias	Cd	Ni Gang et al., 2021
<i>Claroideoglomus etunicatum</i>	Hongos	K, P, Ca y Mg	Hao Lijun et al., 2021
Hongos micorrízicos arbusculares	Hongos	Cd	Xiao Yan et al., 2021
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Bacteria	Cd	Aalipour Hamed et al., 2021
<i>Rhizophagus irregularis a</i>	Hongo		
Hongos micorrízicos arbusculares	Hongo	Pb y Cd	Chaturvedi Ritu et al., 2018
Hongos micorrízicos arbusculares	Hongo	Cd y Ni	Gujre Nihal et al., 2021
<i>B. thuringiensis</i>	Bacterias	Cu, Zn y Pb	Anusha Ponniah et al., 2021
<i>P. aeruginosa</i>			
<i>B. cereus</i>			
<i>B. anthracis</i>			
<i>Bacterias autóctonas</i>	Bacterias	Ni, Cu y Zn	Wu Chuncheng et al., 2020
Hongos ectomicorrízicos	Hongos	Pb, Zn, Mn, As, Cr, Cd y Cu	Yu Peiyi et al., 2020
Biom mineralización de 6 bacterias	Bacterias	Ni, Cu, Pb, Co, Zn y Cd	Li C. y Xiaohui G., 2016
<i>Bacterias ureolíticas</i>	Bacterias	Cu, Zn, Ni, Cd	Qiao Suyu et al., 2021

De acuerdo al primer objetivo de analizar el microorganismo más empleado para la fitorremediación; se tuvo de una comparación de investigaciones a nivel mundial que el 62% emplea la fitorremediación inducida por microorganismos a base de bacterias; siendo ello corroborado por los 13 de 20 que lo aplicaron: Wang Ying et al., 2020, Jeyasundar Parimala et al., 2021, Njoku et al., 2020, Sun Wuyang et al., 2021, Zhu Ganghui et al., 2021, Muñoz Silva et al., 2019, Gu Wenzhi et al., 2021, Ni Gang et al., 2021, Aalipour Hamed et al., 2021, Anusha Ponniah et al., 2021, Wu Chuncheng et al., 2020, Li C. y Xiaohui G., 2016 y Qiao Suyu et al., 2021.

Esto es apoyado por Wei Yuquan et al., (2020, p.1) quien señala que las bacterias resistentes a metales pesados del compostaje tienen mejores capacidades de unión a metales que la humina, y la adición combinada de humina y bacterias podría estimular aún más la biosorción de metales pesados con una eliminación de metales del 60 al 80% y mejorar la diversidad y biomasa de la comunidad bacteriana.

De manera análoga, al saber que la contaminación ambiental causada por metales pesados ha recibido atención mundial debido a su ubicuidad, escasa degradabilidad y fácil bioacumulación en las células huésped; debido a ello Cui Jinyu et al., (2020, p.1) señala que una posible solución, son las cianobacterias fotosintéticas, que se han considerado un chasis de remediación prometedor y se han aplicado ampliamente en varios procesos de biorremediación de metales pesados.

Además; el 38% de los investigadores emplearon hongos, como hongos micorrízicos, ectomicorrízicos o arbusculares; siendo 8 de los 20 quienes lo emplean como tratamiento de fitorremediación para la eliminación de metales pesados del suelo; siendo ello respaldado por los siguientes investigadores; Hassan Auwalu et al., 2020, Muñoz Silva et al., 2019, Hao Lijun et al., 2021, Xiao Yan et al., 2021, Aalipour Hamed et al., 2021, Chaturvedi Ritu et al., 2018, Gujre Nihal et al., 2021 y Yu Peiyi et al., 2020. Ello es también apoyado por Riaz et al., (2020, p.1) quien indica que el alivio de la fitotoxicidad por metales pesados asistido por hongos micorrízicos arbusculares (HMA) es una estrategia rentable y respetuosa con el medio ambiente.

Aunque también, existen investigadores como Aalipour Hamed et al., 2021, Muñoz Silva et al., 2019 y Njoku et al., 2020 quienes realizan la combinación de dos tipos de microorganismo; como bacteria-hongos o bacteria-moho. Siendo esto avalado por Harindintwali Jean et al., (2020, p.2) quien indica que algunas interacciones entre microbios o microbios y plantas mejoran el proceso de biorremediación, con bacterias promotoras del crecimiento de plantas resistentes a metales pesados que se utilizan ampliamente para ayudar a la fitorremediación de HM.

Tabla N°6: Parámetros influyentes en el porcentaje de remoción de iones de metales pesados en el suelo

Dosis inicial	Tiempo de contacto	de	Remoción %	Autor
Ni: 100 mg/L Cd: 20 mg/L	60 días		Reducción de Cd: 6.26-15.33% Ni: 13.31-19.53%	Wang Ying et al., 2020
No indica	100 días		Remoción: As (77%) Mn (71%) Cr (60%) Cu (52%) Fe (56%)	Hassan Auwalu et al., 2020
No indica	No indica		Cu (37%) Zn (13%) Ni (27%)	Mishra Sandhya et al., 2021
Cd: 45 mg/kg Cu: 1,5 mg/kg Pb: 15 mg/kg Zn: 800 mg/kg	No indica		El consorcio bacteriano mejoró las propiedades del suelo en un 33% más,	Jeyasundar Parimala et al., 2021
<i>B. megaterium</i> se expuso a 3200 mg / L de PbCl ₂ , NiSO ₄ y CdCl ₂ , <i>R. stolonifer</i> se expuso a 3200 mg / L de PbCl ₂ , NiSO ₄ pero 800 mg de CdCl ₂ . Los dos organismos se expusieron a 1500 mg / L de los tres metales	96 horas		Absorción por el crecimiento de ambos microorganismos Pn: 541,50 mg <i>B. megaterium</i> y <i>R. stolonifer</i> dio Ni (501.05 mg) y Cd (479.10 mg) Pérdida de Pb: 5,24% Ni: 40,41%	Njoku et al., 2020
Biosurfactante: 40,7 g / L Cd: 50 ml Pb: 50 ml Cu: 50 ml	24 horas		Remoción Cd: 78.7% Cu: 65.7 % Pb: 56.9 %	Sun Wuyang et al., 2021
No indica	3 meses		Reducción de	Zhu Ganghui et al., 2021

		As: 22,49% - 44,09%	
Pb: 1 mM Cu: 1 mM Ni: 1 mM Zn: 1 mM Ag: 0.1 mM Cr: 0.1 mM Cd: 0.1 mM	72 horas	Pb: 70% de los hongos mostraron tolerancia	Muñoz Silva et al., 2019
Cr: 100 mg/ L	24 horas	Cr: 68,31%	Gu Wenzhi et al., 2021
No indica	60 días	Cd: 49.4%	Ni Gang et al., 2021
P: 3,93 mg/kg K: 76,00 mg/kg	3 meses	Cd: 51,53%	Hao Lijun et al., 2021
Cd: 20mg/kg	6 meses	Cd: 50%	Xiao Yan et al., 2021
Cd: 0, 5, 10, 15 y 20 mg/kg	No indica	Cd: 75%	Aalipour Hamed et al., 2021
Pb: 29,64 mg/kg en raíces y 23,08 mg/kg en brote As (3,84 mg kg - 1 en raíces; 8,20 mg/kg en brote) y, Cd (0,96 mg/kg en raíces; 2,12 mg/kg).		Cd >Pb > As	Chaturvedi Ritu et al., 2018
	60 días	72,8%	
	90 días	65.7%	
	30 días	7,17%	
No indica	70 días	Cd: >80% Ni: >90%	Gujre Nihal et al., 2021
No indica	80 días	Cu: 92,7% Zn: 90,3% Pb: 86%	Anusha Ponniah et al., 2021
Ni: 84 mg/kg Cu: 284 mg/kg Zn: 394 mg/kg	No indica	Ni 35,35% Cu 74,27% Zn 69,92%	Wu Chuncheng et al., 2020
Cd: 0.3 mg/kg Zn: 94.4 mg/kg Mn: 441 mg/kg Cu: 27.3 mg/kg	2 días	90%	Yu Peiyi et al., 2020
No indica	42 días	Eliminación del 88% al 99%	Li C. y Xiaohui G., 2016
Concentración de todos los metals: 160 mg/kg	2 horas	Cu: 75,10% Zn: 98,03% Ni: 59,46%	Qiao Suyu et al., 2021

Después de realizar la comparación de 20 literaturas empleando Fitorremediación inducida por microorganismos a base de hongos, bacterias, moho entre otros; se tuvo que el porcentaje de remoción se da en un intervalo del 80 al 90%; siendo el parámetro más influyente el tiempo de contacto.

Los porcentajes más altos fueron obtenidos en los tiempos de >60 días; De acuerdo con Gujre Nihal et al., 2021 al emplear un tiempo de contacto de 70 días obtuvo un porcentaje de remoción del mayor al 80% para Cd y 90% para Ni; al igual que Anusha Ponniah et al., 2021, quien empleando un tiempo de contacto de 80 días obtuvo una remoción de los metales Cu, Zn y Pb en un 92.7%, 90.3% y 86% respectivamente.

Así también, los porcentajes más altos encontrados en los estudios que aplicado la inducción de bacterias para la fitorremediación del suelo. Ello es apoyado por Khadim Hussein et al., 2019 en la tabla 3 de antecedentes; quien empleando Bacterias del género *ureolíticas Bacillu* obtuvo una remoción del 96% para el cadmio y 89% para níquel.

Mientras que, los metales pesados que generan más interés y preocupación por su eliminación son Cd, Pb, Zn y Ni; debido a que la eliminación de metales pesados es un tema desafiante, que es muy necesario para prevenir / reducir sus efectos tóxicos en el cuerpo humano y la alteración del equilibrio ecológico (Parvin et al., 2019, p.7). Y los metales pesados como el plomo, cadmio, mercurio y el arsénico se liberan constantemente al medio ambiente debido a las actividades industriales y son las más preexistentes en el suelo (Pathakoti et al., 2018, p.5).

Pero estas afirmaciones son rechazadas por Li C. y Xiaohui G., 2016 quien utilizó 48 horas para la remoción de metales pesados y obtuvo 88 y 99% de remoción al igual que Yu Peiyi et al., 2020 quien también apoya lo dicho por Li C. y Xiaohui G., 2016; consiguiendo una remoción del 90% de los metales Cd, Zn, Mn y Cu.

Por otro lado, la fitorremediación es un enfoque relativamente nuevo para eliminar contaminantes del medio ambiente, metales pesado, contaminantes orgánicos, hidrocarburos, entre otros y puede definirse como el uso de plantas para eliminar, destruir o secuestrar sustancias peligrosas del medio ambiente; desafortunadamente, incluso las plantas que son relativamente tolerantes a varios contaminantes ambientales a menudo permanecen pequeñas en presencia del contaminante; para remediar esta situación, se pueden hacer uso microorganismos como bacterias, hongos, los cuales secuestran los iones metálicos y son promotoras del crecimiento de las plantas que facilitan su proliferación, especialmente en condiciones de estrés ambiental (Glick B., 2015, p.1). Ver tabla 7.

Tabla N°7: Repercusiones en el suelo por fitorremediación con microorganismos

<i>Beneficios</i>	<i>Microorganismo</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Mejora de los índices de diversidad bacteriana y la estructura comunitaria del suelo (yuan qiusheng et al., 2022, P.2). • Mejoran el crecimiento de las plantas controlando la hormona del crecimiento, la seguridad nutricional, produciendo sideróforos, metabolitos secundarios y mejorando el sistema de enzimas antioxidantes (yuan qiusheng et al., 2022, P.2). • biotransformar contaminantes en sustancias menos tóxicas y / o retener contaminantes dentro de la matriz orgánica, reduciendo así la biodisponibilidad de contaminantes (Liu chenjing et al., 2022, P.1). • Capacidad de eliminar las contaminantes in situ (Shackira A. et al., 2021, p.17). • Descontaminación de los metales del suelo aprovechando el potencial metabólico de las bacterias y hongos (Liu chenjing et al., 2022, P.1). • Limpieza de suelos contaminados con MH y se evita la translocación de ellos a otros suelos limpios (Liu chenjing et al., 2022, P.1). 	<p>Bacterias</p> <p>Hongos</p> <p>Moho</p>

La fitorremediación es demostrado que es una tecnología de limpieza prometedor para suelos contaminados con metales pesados; como se observa en el promedio del porcentaje de remoción en la tabla 6. De acuerdo con Khalid Muhammad et al., (2021, p.1). La fitorremediación asistida por microbios es una estrategia prometedor para hiperacumular, desintoxicar o remediar los contaminantes del suelo.

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se encuentran asociados con casi todas las plantas, lo que contribuye a su desempeño saludable y brinda resistencia contra el estrés ambiental; en el suelo reduciendo la acumulación de iones metálicos; colonizan las raíces de las plantas y extienden sus hifas a la región de la rizosfera, ayudando en la absorción de nutrientes minerales y la regulación de la adquisición de metales pesados (Nandy Samapika et al., 2020, p.3).

V. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos para determinar cómo es la fitorremediación inducida; se tuvo las siguientes conclusiones:

- ✓ Los microorganismos más empleados para la fitorremediación de suelos contaminados con iones metálicos son en un 62% a base de bacterias, ello debido a que las bacterias que se encuentran resistentes a los metales pesados presentan mayor estimulación a la biosorción de estos contaminantes; mejorando las propiedades bacterianas del suelo y en un 38% fueron empleados los hongos.
- ✓ De acuerdo a los parámetros influyentes en el porcentaje de remoción de iones de metales pesados en el suelo empleando la fitorremediación se tuvo el tiempo de contacto es el parámetro más influyente generando los tiempos de contactos altos mayores a 60 días porcentajes de 80 a 90% de iones de metales pesados.
- ✓ Por último; la inducción de microorganismo en la fitorremediación ayuda a los suelos contaminados con iones de metales pesados a Fito estabilizar los iones metálicos del suelo, mejorando los índices de diversidad bacteriana y la estructura comunitaria del suelo, a las propiedades de adsorción de los microorganismos empleados en la fitorremediación del suelo contaminados.

VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Se sugiere a los siguientes tesisistas o futuros investigadores continuar de manera práctica con el estudio; empleando los dos tipos de microorganismos que presentan mayor efectividad (bacterias y hongos), para determinar su efectividad en el campo.
- ✓ Se sugiere realizar mayores ensayos a escala comercial para emplear la fitorremediación a base de hongos o bacterias en la eliminación o control de los metales pesados del suelo; ya que, la efectividad a nivel de laboratorio queda incierto en muchos casos a nivel de campo; o trayendo otras desventajas de su aplicación.
- ✓ Emplear la remediación electrocinética ya que es una tecnología ampliamente admitida para rectificar suelos contaminados con metales pesados; pero no es comúnmente empleada debido a los pocos conocimientos que se tiene sobre este método.

REFERENCIAS

1. AALIPOUR, Hamed; NIKBAKHT, Ali; ETEMADI, Nematollah. Physiological response of Arizona cypress to Cd-contaminated soil inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria. *Rhizosphere*, 2021, vol. 18, p. 100354. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100354>
2. ABRAMOVITCH, Rudolph A., et al. In situ remediation of soils contaminated with toxic metal ions using microwave energy. *Chemosphere*, 2003, vol. 53, no 9, p. 1077-1085. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00572-1](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00572-1)
3. AJONA, M.; VASANTHI, P. Bio-remediation of crude oil contaminated soil using recombinant native microbial strain. *Environmental Technology & Innovation*, 2021, vol. 23, p. 101635. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101635>
4. AKEN, Benoit Van; DOTY, Sharon Lafferty. Transgenic plants and associated bacteria for phytoremediation of chlorinated compounds. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 2009, vol. 26, no 1, p. 43-64. Disponible en: <https://doi.org/10.5661/bger-26-43>
5. AL-BALDAWI, Israa Abdulwahab, et al. Phytodegradation of total petroleum hydrocarbon (TPH) in diesel-contaminated water using *Scirpus grossus*. *Ecological Engineering*, 2015, vol. 74, p. 463-473. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.007>
6. ALGHANMI, Shorouq I., et al. Acid leaching of heavy metals from contaminated soil collected from Jeddah, Saudi Arabia: kinetic and thermodynamics studies. *International Soil and Water Conservation Research*, 2015, vol. 3, no 3, p. 196-208. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.08.002>
7. ANUSHA, Ponniah; NATARAJAN, Devarajan; NARAYANAN, Mathiyazhagan. Heavy metal removal competence of individual and bacterial consortium, evolved from metal

- contaminated soil. *Materials Today: Proceedings*, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.566>
8. ARIAS, María y GIRALDO, Clara. El rigor científico en la investigación cualitativa. *Revista Investigación y Educación en Enfermería*, Colombia, 2011, 29(3): 500-514pp. ISSN: 0120-507. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1052/105222406020.pdf>
 9. BARBOSA, Bruno; FERNANDO, Ana L. Aided Phytostabilization of mine waste. En *Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation*. Elsevier, 2018. p. 147-157. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812986-9.00009-9>
 10. BENGUENAB, Asma; CHIBANI, Abdelwaheb. Biodegradation of petroleum hydrocarbons by filamentous fungi (*Aspergillus ustus* and *Purpureocillium lilacinum*) isolated from used engine oil contaminated soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2020.10.008>
 11. CASTRILLÓN TRUJILLO, Vanessa Katherine, et al. Evaluación de la Fitorremediación como alternativa para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con mercurio producto de la minería aurífera (artesanal y pequeña escala). 2016. Disponible en:
 12. CHATURVEDI, Ritu, et al. Assessment of edibility and effect of arbuscular mycorrhizal fungi on *Solanum melongena* L. grown under heavy metal (loid) contaminated soil. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2018, vol. 148, p. 318-326. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.10.048>
 13. CHEN, H. M., et al. Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals. *Chemosphere*, 2000, vol. 41, no 1-2, p. 229-234. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64046-8.00353-0>
 14. CUI, Jinyu, et al. Deciphering and engineering photosynthetic cyanobacteria for heavy metal bioremediation. *Science of The Total Environment*, 2020, p. 144111. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144111>
 15. DELGADILLO-LÓPEZ, Angélica Evelin, et al. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 2011, vol. 14, no 2, p. 597-612. Disponible en: ISSN 1870-0462

DHANKHER, Om Parkash, et al. Biotechnological approaches for phytoremediation. En Plant biotechnology and agriculture. Academic Press, 2012. p. 309-328. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381466-1.00020-1>

16. EBADI, Ali, et al. Remediation of saline soils contaminated with crude oil using the halophyte *Salicornia persica* in conjunction with hydrocarbon-degrading bacteria. Journal of environmental management, 2018, vol. 219, p. 260-268. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.115>
17. Facal, T. (2015). Guía para elaborar un proyecto de investigación social. Ediciones digitales. [en línea] Madrid, p. 6, 25 cap. 2: Elementos esenciales de un proyecto de investigación. [fecha de consulta: 29 de noviembre del 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=LULUBgAAQBAJ&pg=PA2&dq=dise%C3%B1o+cualitativo&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjShdXPleTpAhV2H7kGHfwQDPQ4HhDoAQgwMAE#v=onepage&q=dise%C3%B1o%20cualitativo&f=false>. ISSN: 978-84-283-3546-1
18. FU, Lijuan, et al. Remediation of soil contaminated with high levels of hexavalent chromium by combined chemical-microbial reduction and stabilization. Journal of Hazardous Materials, 2021, vol. 403, p. 123847. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123847>
19. FURUKAWA, Kensuke. Biochemical and genetic bases of microbial degradation of polychlorinated biphenyls (PCBs). The Journal of general and applied microbiology, 2000, vol. 46, no 6, p. 283-296. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64046-8.00347-5>
20. GIROLKAR, Sneha; THAWALE, Prashant; JUWARKAR, Asha. Bacteria-assisted phytoremediation of heavy metals and organic pollutants: challenges and future prospects. En Bioremediation for Environmental Sustainability. Elsevier, 2021. p. 247-267. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820318-7.00012-5>

21. GLICK, Bernard R. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. *Biotechnology advances*, 2015, vol. 21, no 5, p. 383-393. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(03\)00055-7](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(03)00055-7)
22. GONG, Yanyan; ZHAO, Dongye; WANG, Qilin. An overview of field-scale studies on remediation of soil contaminated with heavy metals and metalloids: Technical progress over the last decade. *Water research*, 2018, vol. 147, p. 440-460. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.024>
23. GHORI, Zoya, et al. Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soil. En *Plant metal interaction*. Elsevier, 2016. p. 385-409. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803158-2.00015-1>
24. GU, Wenzhi, et al. Carboxylic acid reduction and sulfate-reducing bacteria stabilization combined remediation of Cr (VI)-contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, vol. 218, p. 112263. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112263>
25. GUJRE, Nihal, et al. Deciphering the dynamics of glomalin and heavy metals in soils contaminated with hazardous municipal solid wastes. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 416, p. 125869. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125869>
26. GUO, Honghong, et al. Understanding the variation of microbial community in heavy metals contaminated soil using high throughput sequencing. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2017, vol. 144, p. 300-306. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.06.048>
27. GUO, Xiaofang, et al. Effect of soil washing with only chelators or combining with ferric chloride on soil heavy metal removal and phytoavailability: field experiments. *Chemosphere*, 2016, vol. 147, p. 412-419. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.087>
28. GUPTA, D. K.; HUANG, H. G.; CORPAS, F. J. Lead tolerance in plants: strategies for phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 2013, vol. 20, no 4, p. 2150-2161. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B0-12-227050-9/00239-8>

29. HABITAT, U. N. The State of the World's Cities. Globalization and Urban Culture. 2004. HAO, Lijun, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi alter microbiome structure of rhizosphere soil to enhance maize tolerance to La. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2021, vol. 212, p. 111996. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111996>
30. HARINDINTWALI, Jean Damascene, et al. Biochar-bacteria-plant partnerships: Eco-solutions for tackling heavy metal pollution. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2020, vol. 204, p. 111020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111020>
31. HASSAN, Auwalu, et al. Bioaugmentation assisted mycoremediation of heavy metal and/metalloid landfill contaminated soil using consortia of filamentous fungi. Biochemical Engineering Journal, 2020, vol. 157, p. 107550. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2020.107550>
32. HERRERA, J., GUEVARA, G. Y MUNSTER. H. Los diseños y estrategias para los estudios cualitativos. Un acercamiento teóricometodológico. Gaceta Médica Espirituana [en línea], 2015, 17, (2): 120-134pp. ISSN 1608-8921. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1608
33. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos & BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación. 6° ed., McGraw-Hill, México. 2014, 634pp. ISBN: 978-1-4562-2396-0
34. JAN, Arif Tasleem; ARIF, A.; QAZI, M. R. H. Phytoremediation: a promising strategy on the crossroads of remediation. Soil Remedation and Plants: Prospects and Challenges, 2014, p. 63-84. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799937-1.00003-6>
35. JEYASUNDAR, Parimala Gnana Soundari Arockiam, et al. Green remediation of toxic metals contaminated mining soil using bacterial consortium and Brassica juncea. Environmental Pollution, 2021, vol. 277, p. 116789. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116789>
36. KAUSHAL, Manoj. Climatic resilient agriculture for root, tuber, and banana crops using plant growth-promoting microbes. En Climate Change and Agricultural Ecosystems.

- Woodhead Publishing, 2019. p. 307-329. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816483-9.00012-8>
37. KAVAMURA, Vanessa Nessner; ESPOSITO, Elisa. Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals. *Biotechnology advances*, 2010, vol. 28, no 1, p. 61-69. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64046-8.00350-5>
 38. KHADIM, Hussein J.; AMMAR, Saad H.; EBRAHIM, Shahlaa E. Biomineralization based remediation of cadmium and nickel contaminated wastewater by ureolytic bacteria isolated from barn horses soil. *Environmental Technology & Innovation*, 2019, vol. 14, p. 100315. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100315>
 39. KHALID, Muhammad, et al. Advances in fungal-assisted phytoremediation of heavy metals: A review. *Pedosphere*, 2021, vol. 31, no 3, p. 475-495. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60091-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60091-1)
 40. KHALID, Sana, et al. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, vol. 182, p. 247-268. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.11.021>
 41. KAYALVIZHI, K.; KATHIRESAN, K. Microbes from wastewater treated mangrove soil and their heavy metal accumulation and Zn solubilization. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2019, vol. 22, p. 101379. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101379>
 42. KIAMARSI, Z., et al. Conjunction of *Vetiveria zizanioides* L. and oil-degrading bacteria as a promising technique for remediation of crude oil-contaminated soils. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 253, p. 11 p. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119719>
 43. KONG, Zhaoyu; GLICK, Bernard R. The role of plant growth-promoting bacteria in metal phytoremediation. *Advances in microbial physiology*, 2017, vol. 71, p. 97-132. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/bs.ampbs.2017.04.001>
 44. KWON-RAE, Kim; OWENS, Gary. Chemodynamics of heavy metals in long-term contaminated soils: Metal speciation in soil solution. *Journal of Environmental*

- Sciences, 2009, vol. 21, no 11, p. 1532-1540. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62451-1](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62451-1)
45. LI, Meng; CHENG, Xiaohui; GUO, Hongxian. Heavy metal removal by biomineralization of urease producing bacteria isolated from soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2016, vol. 76, p. 81-85. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.06.016>
46. LI, Yiman, et al. *Bacillus subtilis* and saponin shifted the availability of heavy metals, health indicators of smelter contaminated soil, and the physiological indicators of *Symphytum officinale*. *Chemosphere*, 2021, p. 131454. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131454>
47. LIN, Hai, et al. *Trifolium repens* L. regulated phytoremediation of heavy metal contaminated soil by promoting soil enzyme activities and beneficial rhizosphere associated microorganisms. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 402, p. 123829. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123829>
48. LIU, Chenjing, et al. Screening endophyte with capability to improve phytoremediation efficiency from hyperaccumulators: A novel and efficient microfluidic method. *Chemosphere*, 2022, vol. 286, p. 131723. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131723>
49. LIU, Jie, et al. Combination of biochar and immobilized bacteria in cypermethrin-contaminated soil remediation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2017, vol. 120, p. 15-20. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.01.039>
50. LIU, Zhongchuang, et al. Enhancer assisted-phytoremediation of mercury-contaminated soils by *Oxalis corniculata* L., and rhizosphere microorganism distribution of *Oxalis corniculata* L. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2018, vol. 160, p. 171-177. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.05.041>
51. LU, Yan-Fei, et al. Remediation of polychlorinated biphenyl-contaminated soil by using a combination of ryegrass, arbuscular mycorrhizal fungi and earthworms. *Chemosphere*, 2016, vol. 106, p. 44-50. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.12.089>

52. MAGALLANES, A., Colaneri, D. y Rodríguez, M. (2013). Un escenario de investigación para el desarrollo de una educación estadística crítica en el nivel medio. Actas de las Jornadas Virtuales en Didáctica de la Estadística, Probabilidad y Combinatoria, 587-593 pp. MANDENG, Eugene Pascal Binam, et al. Contamination and risk assessment of heavy metals, and uranium of sediments in two watersheds in Abiete-Toko gold district, Southern Cameroon. *Heliyon*, 2019, vol. 5, no 10, p. e02591. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02591>
53. MCGRATH, S. P.; ZHAO, F. J. Concentrations of metals and metalloids in soils that have the potential to lead to exceedance of maximum limit concentrations of contaminants in food and feed. *Soil Use and Management*, 2015, vol. 31, p. 34-45. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/sum.12080>
54. MEFAQ, 2001. Bilan sur les terrains contaminés/Statistiques générales en décembre 2001. Disponible en: <http://www.menv.gouv.qc.ca/sol/terrains/bilan-2001/index.htmS>
55. MISHRA, Sandhya, et al. Biosurfactant is a powerful tool for the bioremediation of heavy metals from contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, p. 126253. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126253>
56. MOLINARI, Raffaele; GALLO, Saverio; ARGURIO, Pietro. Metal ions removal from wastewater or washing water from contaminated soil by ultrafiltration–complexation. *Water research*, 2004, vol. 38, no 3, p. 593-600. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.10.024>
57. MUÑOZ-SILVA, Loyer, et al. Microorganismos tolerantes a metales pesados del pasivo minero Santa Rosa, Jangas (Perú). *Revista peruana de biología*, 2019, vol. 26, no 1, p. 109-118. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v26i1.15912>
58. NANDY, Samapika, et al. Fungal endophytes: Futuristic tool in recent research area of phytoremediation. *South African Journal of Botany*, 2020, vol. 134, p. 285-295. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.02.015>
59. NI, Gang, et al. Selenium improved the combined remediation efficiency of *Pseudomonas aeruginosa* and ryegrass on cadmium-nonylphenol co-contaminated

- soil. *Environmental Pollution*, 2021, p. 117552. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117552>
60. NJOKU, K. L.; AKINYEDE, O. R.; OBIDI, O. F. Microbial Remediation of Heavy Metals Contaminated Media by *Bacillus megaterium* and *Rhizopus stolonifer*. *Scientific African*, 2020, vol. 10, p. e00545. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00545>
61. NIÑO, V., (2011). *Metodología de la investigación*. Ediciones de la U, Bogotá, 2011, 156pp. ISBN: 978-958-8675-94-7
- ORTEGA, Lina M., et al. Effectiveness of soil washing, nanofiltration and electrochemical treatment for the recovery of metal ions coming from a contaminated soil. *Water research*, 2008, vol. 42, no 8-9, p. 1943-1952. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.11.025>
62. Parray, J. A., & Shameem, N. (2020). Molecular mechanism of plant-microbe interactions. *Sustainable Agriculture*, 85–136. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817109-7.00003-1>
63. PARVIN, Fahmida; RIKTA, Sharmin Yousuf; TAREQ, Shafi M. Application of nanomaterials for the removal of heavy metal from wastewater. En *Nanotechnology in water and wastewater treatment*. Elsevier, 2019. p. 137-157. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813902-8.00008-3>
64. PATHAKOTI, Kavitha; MANUBOLU, Manjunath; HWANG, Huey-Min. Nanotechnology applications for environmental industry. En *Handbook of nanomaterials for industrial applications*. Elsevier, 2018. p. 894-907. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813351-4.00050-X>
65. PENG, Bo, et al. Nanohybrid Materials Based Biosensors for Heavy Metal Detection. En *Nanohybrid and Nanoporous Materials for Aquatic Pollution Control*. Elsevier, 2019. p. 233-264. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814154-0.00008-6>
66. PENG, Li, et al. Remediation of metal contamination by electrokinetics coupled with electrospun polyacrylonitrile nanofiber membrane. *Process Safety and Environmental*

- Protection, 2015, vol. 98, p. 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.06.003>
67. PRABHU, Neha; BORKAR, Sunita; GARG, Sandeep. Phosphate solubilization by microorganisms: overview, mechanisms, applications and advances. *Advances in Biological Science Research*, 2019, p. 161-176. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817497-5.00011-2>
68. QIAO, Suyu, et al. Multiple heavy metals immobilization based on microbially induced carbonate precipitation by ureolytic bacteria and the precipitation patterns exploration. *Chemosphere*, 2021, vol. 274, p. 129661. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129661>
69. RADZIEMSKA, Maja, et al. Assisted phytostabilization of soil from a former military area with mineral amendments. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2020, vol. 188, p. 109934. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109934>
70. RAI, Prabhat Kumar, et al. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. *Environment international*, 2019, vol. 125, p. 365-385. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.067>
71. RIAZ, Muhammad, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi-induced mitigation of heavy metal phytotoxicity in metal contaminated soils: a critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, p. 123919. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123919>
72. SÁNCHEZ, Hugo, REYES, Carlos y MEJIA, Katia. Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística. 1° edición, *Bussiness Support Aneth S.R.L.*, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, 2018, 146 pp. ISBN: 978-612-47351-4-1
- SHACKIRA, A. M.; JAZEEL, K.; PUTHUR, Jos T. Phycoremediation and phytoremediation: Promising tools of green remediation. En *Sustainable Environmental Clean-up*. Elsevier, 2021. p. 273-293. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823828-8.00013-X>
73. SIMONA, Castaldi; ANGELA, Rutigliano Flora; DE SANTO AMALIA, Virzo. Suitability of soil microbial parameters as indicators of heavy metal pollution. *Water, Air, and Soil*

- Pollution, 2004, vol. 158, no 1, p. 21-35. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/B:WATE.0000044824.88079.d9>
74. SUN, Wuyang, et al. Optimization of biosurfactant production from *Pseudomonas* sp. CQ2 and its application for remediation of heavy metal contaminated soil. *Chemosphere*, 2021, vol. 265, p. 129090. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129090>
75. SHARMA, Pooja. Efficiency of bacteria and bacterial assisted phytoremediation of heavy metals: An update. *Bioresource Technology*, 2021, p. 124835. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124835>
76. SHI, Wei-yu, et al. Progress in the remediation of hazardous heavy metal-polluted soils by natural zeolite. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, vol. 170, no 1, p. 1-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.04.097>
77. SUSARLA, Sridhar; MEDINA, Victor F.; MCCUTCHEON, Steven C. Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering*, 2002, vol. 18, no 5, p. 647-658. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00026-5)
78. SUN, Zehang, et al. Heavy metal pollution caused by small-scale metal ore mining activities: A case study from a polymetallic mine in South China. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 639, p. 217-227. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.176>
79. SUNARSO, Jaka; ISMADJI, Suryadi. Decontamination of hazardous substances from solid matrices and liquids using supercritical fluids extraction: a review. *Journal of hazardous materials*, 2009, vol. 161, no 1, p. 1-20. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.069>
80. TENG, Zedong, et al. Phosphate functionalized iron based nanomaterials coupled with phosphate solubilizing bacteria as an efficient remediation system to enhance lead passivation in soil. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, p. 126433. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126433>

81. RODRÍGUEZ-URIBE, Mónica Liliana, et al. Native bacteria isolated from weathered petroleum oil-contaminated soils in Tabasco, Mexico, accelerate the degradation petroleum hydrocarbons in saline soil microcosms. *Environmental Technology & Innovation*, 2021, p. 101781. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101781>
82. VEIGA, Marcello M.; MAXSON, Peter A.; HYLANDER, Lars D. Origin and consumption of mercury in small-scale gold mining. *Journal of cleaner production*, 2006, vol. 14, no 3-4, p. 436-447. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.08.010>
83. WANG, Ying, et al. Characteristics and in situ remediation effects of heavy metal immobilizing bacteria on cadmium and nickel co-contaminated soil. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2020, vol. 192, p. 110294. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110294>
84. WEI, Yuquan, et al. Roles of different humin and heavy-metal resistant bacteria from composting on heavy metal removal. *Bioresource technology*, 2020, vol. 296, p. 122375. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122375>
85. WU, Chuncheng, et al. Feasibility of bioleaching of heavy metals from sediment with indigenous bacteria using agricultural sulfur soil conditioners. *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 703, p. 134812. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134812>
86. XIAO, Yan, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi mitigate the negative effects of straw incorporation on *Trifolium repens* in highly Cd-polluted soils. *Applied Soil Ecology*, 2021, vol. 157, p. 103736. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103736>
87. XIONG, Qingrong; BAYCHEV, Todor G.; JIVKOV, Andrey P. Review of pore network modelling of porous media: Experimental characterisations, network constructions and applications to reactive transport. *Journal of contaminant hydrology*, 2016, vol. 192, p. 101-117. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2016.07.002>
88. XIONG, TianTian, et al. Kinetic study of phytotoxicity induced by foliar lead uptake for vegetables exposed to fine particles and implications for sustainable urban agriculture. *Journal of Environmental Sciences*, 2016, vol. 46, p. 16-27. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.08.029>

89. YADAV, S. K. Heavy metals toxicity in plants: an overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. South African journal of botany, 2010, vol. 76, no 2, p. 167-179. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2009.10.007>
90. YADAV, Manavi; GUPTA, Radhika; SHARMA, Rakesh Kumar. Green and sustainable pathways for wastewater purification. En Advances in Water Purification Techniques. Elsevier, 2019. p. 355-383. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814790-0.00014-4>
91. YARZÁBAL, Luis Andrés; CHICA, Eduardo J. Role of rhizobacterial secondary metabolites in crop protection against agricultural pests and diseases. En New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. Elsevier, 2019. p. 31-53. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63504-4.00003-7>
92. YU, Peiyi, et al. The effects of ectomycorrhizal fungi on heavy metals' transport in Pinus massoniana and bacteria community in rhizosphere soil in mine tailing area. Journal of hazardous materials, 2020, vol. 381, p. 121203. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121203>
93. YUAN, Qiusheng, et al. Phytoremediation of cadmium-contaminated sediment using Hydrilla verticillata and Elodea canadensis harbor two same keystone rhizobacteria Pedosphaeraceae and Parasegetibacter. Chemosphere, 2022, vol. 286, p. 131648. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131648>
94. ZAHOOR, Mahwish, et al. Alleviation of heavy metal toxicity and phytostimulation of Brassica campestris L. by endophytic Mucor sp. MHR-7. Ecotoxicology and environmental safety, 2017, vol. 142, p. 139-149. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.04.005>
95. ZHANG, Quan, et al. Heavy metal uptake in rice is regulated by pH-dependent iron plaque formation and the expression of the metal transporter genes. Environmental and Experimental Botany, 2019, vol. 162, p. 392-398. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.03.004>

96. ZHAO, Xingqing, et al. Study on the influence of soil microbial community on the long-term heavy metal pollution of different land use types and depth layers in mine. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019, vol. 170, p. 218-226. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.136>
97. ZHU, Ganghui, et al. Potential of arsenate-reducing bacterial inoculants to enhance field-scale remediation of arsenic contaminated soils by *Pteris vittata* L. *Ecological Engineering*, 2021, vol. 169, p. 106312. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106312>
98. ZHUANG, Ping, et al. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. *Science of the total environment*, 2009, vol. 407, no 5, p. 1551-1561. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.10.061>

ANEXOS

ANEXOS N° 1:

 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
--	---------------------------------------

TÍTULO:

DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S) / PAGINAS UTILIZADAS / AÑO DE PUBLICACIÓN / LUGAR DE PUBLICACIÓN	
TIPO DE INVESTIGACIÓN:	
CÓDIGO:	
PALABRAS CLAVES :	
TIPOS DE MICROORGANISMOS:	
PORCENTAJE DE REMOCIÓN	
RESULTADOS :	
CONCLUSIONES:	



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, BERRIO OCHOA MARYLIN, FIGUEROA AGUERO JUAN JOSE estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación / Tesis titulado: "FITORREMEDIACIÓN INDUCIDA POR MICROORGANISMOS EN SUELOS CONTAMINADOS CON IONES DE METALES PESADOS: REVISIÓN SISTEMÁTICA", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que el Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima 03 de noviembre de 2021

Apellidos y Nombres del Autor	Firma
BERRIO OCHOA MARYLIN DNI: 24810802 ORCID: 0000-0002-8173-6647	
FIGUEROA AGUERO JUAN JOSE DNI: 40417030 ORCID: 0000-0002-5055-3821	