



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

**Revisión bibliográfica del uso de hongos para la biorremediación
de suelos contaminados por metales pesados**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

Quispe Yupanqui, Dany Joel (0000-0002-7439-9267)

ASESOR:

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

Esta tesis la dedicamos a nuestros papás, familiares y amigos que siempre nos apoyaron y motivaron a seguir luchando por nuestros sueños profesional y en nuestra vida.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por la vida que nos da y gracias a el podemos seguir consiguiendo nuestros objetivos en base a esfuerzo y dedicación.

INDICE DEL CONTENIDO

CARATULA	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE CONTENIDO.....	iv
INDICE DE TABLAS	v
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE ABREVIATURAS.....	v
RESUMEN	vi
ABSTRAC	vii
I. NTRODUCCION	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	17
3.1. Tipo y diseño de investigación	17
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización	17
3.3. Escenario de estudio.....	18
3.4. Participantes	18
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	19
3.6. Procedimiento	19
3.7. Rigor científico	20
3.8. Método de análisis de información.....	21
3.9. Aspectos éticos	21
IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
V. CONCLUSIONES	33
VI. RECOMENDACIONES	34
BIBLIOGRAFÍA	35
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Diferentes tipos de hongos utilizados para diferentes aplicaciones

Tabla N°2: Antecedentes de trabajos aplicando la biorremediación

Tabla N°3: Matriz de categorización apriorística

Tabla N°4: Resumen de criterio de búsqueda

Tabla N°5: Hongos más empleados para la biorremediación

Tabla N°6: Tipos de tecnología de biorremediación

Tabla N°7: Porcentaje de remoción de metales pesados

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Estimaciones de los valores que representan las concentraciones asociadas a los riesgos ecológicos y/o sanitarios

Figura N°2: Cambios de la estructura del suelo por biorremediación

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

LA : América Latina

MP : Metales pesados

HAP : Hidrocarburos aromáticos policíclicos

CD : Cadmio

LDF : Hongos que degradan la lignina

RSM : Metodología de Superficie de Respuesta

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar la eficiencia de la biorremediación en suelos contaminado, a través de los diferentes hongos que son empleados por los investigadores en diversos estudios y aplicando diferentes técnicas, para lo cual se utilizó una recopilación de informaciones extraídas de las bases de datos de: science direct, scielo, ProQuest, EBSCO y utilizando palabras claves teniendo en cuenta el criterio de selección de información: Respecto a los hongos más empleados para la biorremediación de suelos contaminados por metales pesados se tiene al grupo de hongos pertenecientes a la familia Trichocomaceae seguida de Phanerochaetaceae; dentro de las cuales influye la temperatura de adaptación del hongo siendo la más empleada entre 28 y 30°C. Respecto a los tipos de tecnología de biorremediación en suelos contaminados por metales pesados, se identificaron a dos; la tecnología de bioaumentación y bioestimulación, siendo ambas esenciales y complementarias para una mejor eficiencia. Por último, el porcentaje de remoción aplicando la técnica de biorremediación obtiene remociones del 80-90%, señalando que el tiempo que se aplique va influir en la remoción del contaminante. Se recomienda más investigaciones que apliquen hongos para la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados, así como investigar y comparar nuevas tecnologías.

Palabras clave: biorremediación, hongos, bioestimulación, bioaumentación.

ABSTRACT

The present research aims to determine the efficiency of bioremediation in contaminated soils, through the different fungi that are used by researchers in various studies and applying different techniques, for which we used a collection of information extracted from the databases of: science direct, scielo, ProQuest, EBSCO and using keywords taking into account the information selection criteria: Regarding the fungi most used for the bioremediation of soils contaminated by heavy metals we have the group of fungi belonging to the Trichocomaceae family followed by Phanerochaetaceae; within which influences the temperature of adaptation of the fungus being the most used between 28 and 30°C. Regarding the types of bioremediation technology in soils contaminated by heavy metals, two were identified; bioaugmentation and biostimulation technology, both being essential and complementary for better efficiency. Finally, the percentage of removal by applying the bioremediation technique obtained removals of 80-90%, indicating that the time applied will influence the removal of the contaminant. Further research is recommended to apply fungi for the bioremediation of soils contaminated with heavy metals, as well as to investigate and compare new technologies.

Key words: bioremediation, fungi, biostimulation, bioaugmentation.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el suelo desempeña un papel fundamental en el mantenimiento de los servicios de los ecosistemas, como el mantenimiento de la biodiversidad, los recursos hídricos protección, regulación del microclima, secuestro de carbono, producción de alimentos y satisfacción de necesidades culturales o recreativas (Adedeji et al., 2020, p.1); pero la gran acumulación de metales pesados en el suelo se ha convertido en un grave problema medioambiental (Liu et al., 2020, p.1).

Con la rápida expansión urbana y la industrialización, los suelos urbanos están cada vez más expuestos a los contaminantes de químicos tóxicos como los metales pesados; aunque estos existen naturalmente en el suelo las actividades antropogénicas, como la industrialización, la agricultura, la minería y la urbanización son la mayor fuente de generación a nivel mundial (Bhuiyan et al., 2010, p.1).

En América Latina (LA) millones de personas siguen expuestas a altos niveles de metales pesados como el arsénico, por fuentes naturales y antropogénicas durante muchos siglos (Khan et al., 2020, p.6).

Los Andes peruanos son muy ricos en depósitos de minerales y una importante actividad minera se ha desarrollado allí (Bech et al., 1997, p.2). Por ejemplo, en la Amazonía Peruana existen mineras a pequeña escala y artesanales que contaminan el suelo como parte de su proceso con la emisión de MP (Soto et al., 2020, p.3).

Por otro lado, aunque los MP son elementos naturales, con un alto grado de peso atómico y una densidad que es al menos cinco veces mayor que la del agua, incluyen tanto elementos biológicamente esenciales, como el cobalto (Co), el cobre (Cu), el cromo (Cr), el manganeso (Mn) y el zinc (Zn); como elementos no esenciales, como cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg), algunos MP en los suelos son fisiológicamente esenciales para las plantas y los animales (Liu et al., 2020, p.2) y aunque el metabolismo microbiano del suelo juega un papel vital en los ciclos biogeoquímicos y las funciones del suelo, la respuesta del metabolismo

microbiano a la contaminación por metales pesados en el suelo sigue siendo difícil de alcanzar a pesar de ofrecer una perspectiva importante sobre las consecuencias ecológicas y para la salud de los ecosistemas del suelo bajo tal contaminación (Wang et al., 2020, p.1).

La contaminación por MP conduce a un deterioro de la calidad del suelo y una pérdida de la función del suelo que es perjudicial a la salud humana, particularmente a través del suelo por los sistemas de plantas y suelo con la cadena de alimentos (Wood et al., 2016, p.1); la exposición a altas concentraciones de estos elementos es perjudicial para los seres vivos, incluidos los humanos (Di Marzio et al., 2020, p.2).

Por ello, es fundamental remediar el suelo contaminado por MP, teniendo la biorremediación las ventajas de alta eficiencia, bajo costo, fácil disponibilidad, inofensiva para el ecosistema y alta aceptación pública, que se ha desarrollado ampliamente en la remediación de la contaminación de metales pesados (Zhang et al., 2020, p.1).

La biorremediación de suelos multicontaminados no es una tarea fácil porque la técnica aplicada puede producir contradicciones, donde los efectos sobre la movilización o inmovilización de diferentes contaminantes y metales pesados suelen reducir la degradación de las contaminantes por microorganismos (Olaniran et al., 2013, p.1). La biodegradación de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) por los hongos que degradan la lignina (LDF) han mostrado un gran potencial porque las LDF segregan enzimas ligninolíticas extracelulares que tienen una baja especificidad de sustrato, y son capaces de difundirse en la matriz del suelo y potencialmente oxidar los HAP más allá de su respectiva cantidad biodisponible en el suelo (García et al., 2015, p.283).

En base a lo descrito anteriormente se formula el **objetivo General**: Determinar la eficiencia de la biorremediación en suelos contaminados, así mismo los **objetivos específicos son**: Analizar los hongos más empleados para la biorremediación de suelos contaminados por metales pesados, Analizar los tipos de tecnología de

biorremediación en suelos contaminados por metales pesados y Determinar el porcentaje de remoción de metales pesados con la biorremediación.

Así mismo surge el **problema General**: ¿Cuál es la eficiencia de la biorremediación en suelos contaminados? y como **problemas específicos son**: ¿Cuáles son los hongos más empleados para la biorremediación de suelos contaminados por metales pesados? ¿Cuáles son los tipos de tecnología de Biorremediación en suelos contaminados por metales pesados? y ¿Cuál es el porcentaje de remoción de metales pesados con la biorremediación?

Este estudio se justifica teóricamente por que busca recopilar datos con fines de proveer información para posteriores investigaciones de sustento con la finalidad de minimizar la contaminación en suelos por metales pesados utilizando como método de biorremediación a los hongos.

II. MARCO TEÓRICO

El suelo es un componente sustancial del medio ambiente y acumula una cantidad excesiva de contaminantes, especialmente metales pesados; causadas tanto por actividades naturales como por actividades antropogénicas aumentando su contenido en el suelo (Bali A., y Sidhu G., 2020, p.1). Los metales pesados existen de forma natural en el medio ambiente, pero debido a las actividades humanas y algunas actividades naturales, se han introducido en el suelo y se han convertido en uno de los principales problemas mundiales, siendo igualmente tóxicos tanto para las plantas como para los animales, ya que la mayoría de ellos no tienen ningún papel dentro del cuerpo de las plantas y los humanos (Rehman et al., 2020, p.1).

Así mismo la salud del suelo es un aspecto esencial, ya que está directamente relacionado con la seguridad alimentaria y la inocuidad de los alimentos, este puede ser contaminado por varios contaminantes orgánicos e inorgánicos (Baruah et al., 2020, p5). Entre estos contaminantes, la contaminación por metales pesados ha llamado especialmente la atención por su naturaleza tóxica, persistente y bioacumulativa (Kumar et al., 2016, p.1). A la contaminación de la corteza terrestre se suma la deposición atmosférica de metales pesados como arsénico, cadmio, plomo, zinc emitidos por vehículos y varias plantas industriales (Rahman et al., 2020, p.1).

A nivel mundial la contaminación por metales pesados ha sido un problema debido a su toxicidad y abundante fuente de bioacumulación (Lisiak et al., 2020, p.4). En china la contaminación del suelo se ha identificado como una prioridad nacional clave debido a los daños generados por la exposición del suelo con los metales pesados; ya que cambia la calidad del suelo, las funciones y conduce a la degradación del suelo, dañan sus estructuras básicas y teniendo el potencial de dañar la salud humana y ambiental (Sun et al., 2019, p.1).

En los países en desarrollo ha aumentado en gran medida y también ha atraído gran atención debido a las amenazas frecuentes para la salud humana; en los últimos años, especialmente con el desarrollo de la urbanización, la industrialización

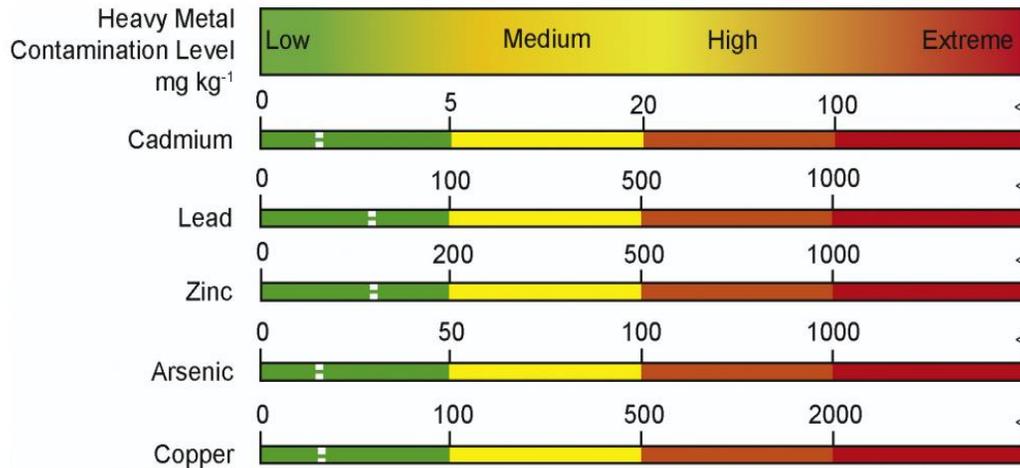
y la agricultura, la contaminación de los suelos por metales pesados ha incrementado (Adimalla et al., 2020, p.2). En el suelo no sólo pueden degradar la calidad del suelo y los cultivos de granos, también causan la pérdida de los nutrientes del suelo y la destrucción de la misma estructura y función que influye en la calidad y el rendimiento de los cultivos (Guan et al., 2018, p.2).

En el Perú se tiene como principal actividad económica a la agricultura, los diversos cultivos se caracterizan por su alta demanda de agroquímicos, como lo es en el caso del cultivo de arroz; en los últimos años se dio un incremento de forma significativa de áreas para su sembrío, donde, en el 2017, San Martín ocupó el primer puesto en producción de arroz, con un 27% de participación y actualmente ocupa el segundo lugar como productor de arroz en nuestro país, después de Lambayeque (MINAGRI, 2020, p.1).

En la región de Arequipa - Perú existen altas presencias de metales pesados (HM) en los cultivos y alimentos procesados; los metales encontrados son Cd, As, Sn, Pb y Hg; los cuales son una preocupación y representan un peligro potencial grave para la salud; sobrepasando los límites de la Norma General del Codex para As (0,17 mg kg⁻¹) y Cd (0,11 mg kg⁻¹) en los cereales en grano y concentraciones elevadas de Pb de 0,55, 0,75 y 5,08 mg kg⁻¹ para productos de quinua, maíz y arroz, respectivamente; estos valores generan riesgos de cáncer entre otras enfermedades graves para la salud humana (Ochoa et al., 2021, p.1).

Los metales de transición se conocen como metales pesados, que tienen el potencial para causar daño ambiental (Rahman et al., 2020, p.2). Los metales pesados o loides de las tierras agrícolas afectan directamente al crecimiento y la productividad de las plantas y pueden suponer una posible amenaza para la seguridad alimentaria y la salud humana (Chabukdhara et al., 2016, p.2). En particular, pueden ser ingeridos directamente a través de tres vías principales de exposición como la ingestión, el contacto dérmico (contacto con la piel) y la respiración en el cuerpo humano (Jiang et al., 2020, p.1).

Figura N°1: Estimaciones de los valores que representan las concentraciones asociadas a los riesgos ecológicos y/o sanitarios



Fuente: Aponte et al., 2020

En la figura 1 se puede visualizar la clasificación del contenido total (mg kg⁻¹) de varios metales (HM) en el suelo clasificados en cuatro niveles de contaminación por riesgo para la salud: Bajo, Medio, Alto y Extremo. La línea blanca punteada a la izquierda de cada escala representa el valor umbral relacionado con los riesgos ecológicos y/o sanitarios (Ministerio de Medio Ambiente, 2007).

La exposición a los metales pesados puede ser una de las principales causas de problemas de salud humana, como enfermedades cardiovasculares y del sistema nervioso, alergias de la piel, asma, riesgo incremental de cáncer durante la vida o enfermedades de la sangre y los huesos (Goudarzi et al., 2018, p.2).

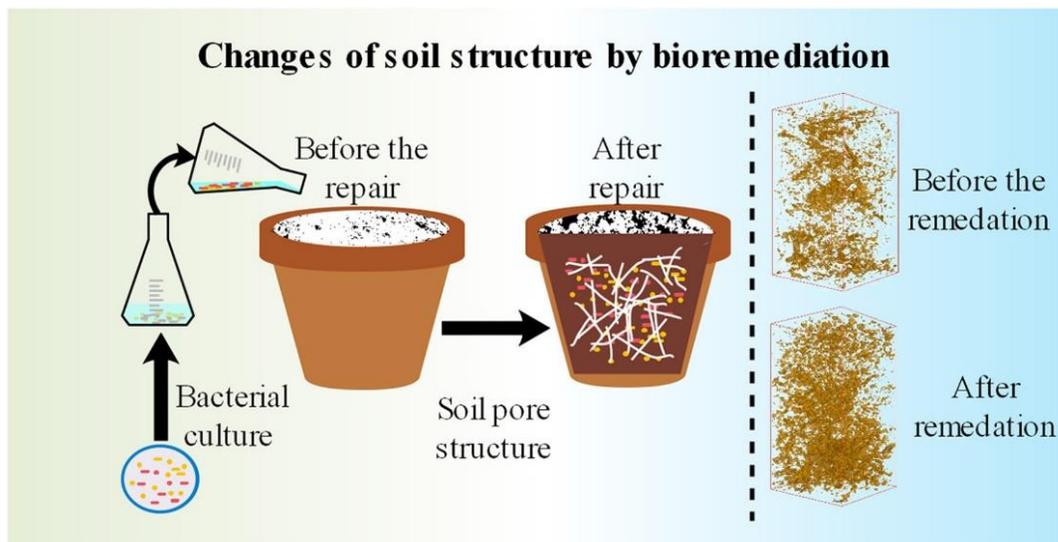
La remediación de suelos contaminados por contaminantes como MP se ha convertido en una necesidad urgente en todo el mundo; debido a ello se ha desarrollado una amplia variedad de técnicas, pero muchas de ellas están asociadas con inconvenientes (complejidad, altos costos, riesgos ambientales, etc.) por ello la biorremediación, el uso de organismos vivos para remediar sitios contaminados, es un enfoque alternativo que se considera una técnica rentable y más respetuosa con el medio ambiente (Morillo et al., 2020, p.1).

La biorremediación del suelo consiste en el uso de organismos vivos para remediar

sitios contaminados, y se considera una técnica de remediación rentable y respetuosa con el medio ambiente; incluye diferentes técnicas como la biodegradación utilizando microorganismos del suelo, fitorremediación utilizando plantas, o vermiremediación utilizando lombrices de tierra (Molnár et al., 2019, p.1).

Además, la biorremediación es la estrategia más sostenible y se basa en el uso de un mecanismo biológico para mitigar los efectos nocivos de los contaminantes dentro de esto, también está la micorremediación; técnica sustentable probada para remover metales pesados (Mathur M. y Gehlot P., 2021, p.2). La eliminación, destrucción o supresión de los contaminantes activos que causan efectos nocivos o de cualquier tipo en el medio ambiente mediante el uso de hongos o tecnología fúngica se conoce como micorremediación (*Myco¼fungi, remedium¼restauración del equilibrio*); también se puede definir simplemente como descontaminación del medio ambiente mediante el uso de tecnología basada en hongos (micorremediación) (Chaurasia et al., 2019, p.3).

Figura N°2: Cambios de la estructura del suelo por biorremediación



Fuente: Chen et al., 2016

En la figura 2 se puede visualizar la remediación por biorremediación del suelo por metales pesados, donde se mejora la aglomeración del suelo y la estructura de los

poros. De acuerdo con el autor Chen et al., (2016, p.1) la porosidad del suelo aumentó en un 73,78%, mejorando la permeabilidad del suelo y aumentando la conductividad hidráulica del suelo; por ende, el autor señala que la biorremediación no solo remedia la contaminación del suelo por metales pesados, sino que también promueve la estructura de agregación del suelo, que tiene una importante importancia para la remediación y mejora del suelo.

La biorremediación puede llevarse a cabo con dos enfoques: la bioestimulación consiste en la adición de cualquier material estimulante, enmiendas de nutrientes, agentes de carga y fertilizantes de liberación lenta para mejorar y apoyar el crecimiento microbiano para que pueden llevar a cabo la biorremediación de los suelos contaminados por hidrocarburos. El nitrógeno y el fósforo son los nutrientes esenciales que limitan el crecimiento microbiano. (Wu et al., 2019, p. 2). El uso de consorcio bacteriano y una mezcla de nutrientes logran una eficiencia de eliminación de contaminantes del 99%. Así mismo, la bioaumentación consiste en la adición de cultivos microbianos exógenos, comunidades microbianas autóctonas o microbios genéticamente modificados que se han adaptado y demostrado degradar contaminantes para mejorar la degradación. El uso de hongos autóctonos logra una eficiencia de eliminación de contaminantes del 79.7% (Ossai et al., 2020, p.8).

Por otro lado, se ha descubierto que los hongos, por sus capacidades metabólicas robustas y diversas, eliminan eficazmente los productos tóxicos y recalcitrantes como desechos farmacéuticos, metales pesados, hidrocarburos poliaromáticos, hidrocarburos clorados, aceites minerales y pesticidas, que ahora se acumulan excesivamente en el suelo, del medio ambiente y juegan un papel importante en la biorremediación (Jasu et al., 2021, p.2). La biorremediación aprovecha los microorganismos potenciales para abolir los contaminantes acumulados en la naturaleza; pero los hongos son uno de los candidatos potenciales que producen varias enzimas hidrolizantes que desempeñan un papel importante en la descomposición de los materiales de desecho y se adaptan a diferentes condiciones ambientales, lo que les permite sobrevivir en diversas condiciones (Singh et al., 2020, p.1).

A continuación, se muestra en la tabla 1 una clasificación de 14 investigaciones de diferentes tipos de hongos con diferentes aplicaciones.

Tipos de hongos	Funciones	Autor
Hongos queratinolíticos	Como indicador en la contaminación del suelo por hidrocarburos de petróleo y la biorremediación asociada	Ulfig et al. (2003)
Phanerochaete chrysosporium	Reducción significativa del TPH (hidrocarburo de petróleo total)	Borazjani et al. (2005)
Hongos filamentosos autóctonos	Biorremediación de un suelo contaminado por hidrocarburos	D'Annibale et al. (2006)
Hongos basidiomicetos	Impacto de los hongos basidiomicetos en la humectabilidad de la contaminación del suelo	Hallett et al. (2006)
Hongos seleccionados de la naturaleza	Biorremediación de suelos contaminados con dioxinas	Tachibana et al. (2007)
Aspergillus niger, Aspergillus flavus y Aspergillus nodulans	Tolerancia al ZnCl ₂ (25 ppm) y al NiCl ₂ (12 ppm)	Iram et al. (2009)
Penicillium spp.	Campo de la biorremediación	Leitao (2009)
Hongos filamentosos	Eliminación de hidrocarburos meteorizados en suelos contaminados	Perez-Armendariz et al. (2010)
Hongos aislados del suelo y del medio marino	Biorremediación de efluentes industriales	Saritha et al. (2010)
Saccharomyces cerevisiae	Biorremediación de suelos mediante la eliminación de metales pesados	Damodaran et al. (2011)
Aspergillus niger	Biorremediación de suelos contaminados con endosulfán	Bhalerao (2012)
Aspergillus flavus y Aspergillus niger,	Tolerante al Cr y al Pb	Iram et al. (2012)

Fusarium		
Fomitopsis meliae, Trichodermaghanense y Rhizopus microsporus	Tolerancia de los metales	Oladipo et al. (2018)
Oenothera picensis	Biorremediación de un suelo contaminado con cobre	Cornejo et al. (2017)

Tabla N°1: Diferentes tipos de hongos utilizados para diferentes aplicaciones

Fuente: Chaurasia et al., 2019

A continuación, se presenta la tabla N° 2, en la cual se describe los antecedentes nacionales e internacionales, donde se detalla el metal a remover del suelo, la metodología empleada y los resultados obtenidos.

Tabla N°2: Antecedentes de trabajos aplicando la biorremediación

Autor	Fuente	Metodología	Resultado
Erkelens et al., 2012	ScienceDirect	En este estudio se utilizaron dos tipos de suelos. El primer tipo fue un suelo contaminado por hidrocarburos biorremediado (50 kg) se recogió y almacenó a 4 °C antes de comenzar los experimentos. El segundo suelo era similar al primer tipo de suelo se obtuvo de un lugar sin antecedentes de contaminación por hidrocarburos de hidrocarburos. Los suelos recogidos se tamizaron (0,5 cm) para eliminar piedras y rocas grandes. Los análisis preliminares de los suelos tamizados para determinar el pH y las características del suelo, como el contenido de humedad y el contenido de materia orgánica, utilizando métodos estándar.	Las características fisicoquímicas de los suelos limpios (PNC) y biorremediados (PBR) mostraron que eran suelos franco-arenosos (76% de arena y 24% de franco), con un pH (8) y un contenido de humedad similar (15e16%) en el momento del muestreo. El contenido de materia orgánica de los dos suelos era variado (4% para PNC y 3% para PBR).
Pietro – Souza et al., 2020	ScienceDirect	Se utilizó hongos endofíticos, aislados del <i>Aeschynomene fluminensis</i> y del sistema radicular de <i>Polygonum acuminatum</i> . Se seleccionaron 32 cepas con un índice de tolerancia de 0,9. Las cepas se activaron en medio de cultivo Sabouraud durante 7 días a 28° C. Se cortaron tapones miceliales de 0,5 cm de diámetro de los bordes de ataque de los hongos y se inocularon en placas de Petri que contenían medio de cultivo Sabouraud suplementado con 0, 300, 450 y 600 mg mL ⁻¹ de Hg ²⁺ (HgCl ₂). La tasa de crecimiento del micelio (m) se determinó diariamente midiendo el diámetro del micelio y se expresó en mm. día ⁻¹ .	La mayoría de las cepas (~84%) fueron altamente tolerantes al mercurio y mostraron crecimiento micelial incluso cuando fueron tratadas con la mayor concentración de Hg ²⁺ probada (600 mg mL ⁻¹). Las cepas <i>Aspergillus japonicus</i> A32, <i>Microsphaeropsis arundinis</i> A36, <i>Penicillium janthinellum</i> A56 y <i>Trichoderma brevicompactum</i> P35 no crecieron cuando fueron tratadas con 450 mg mL ⁻¹ de Hg ²⁺ .
Tripathi et al., 2020	ScienceDirect	Se investigaron 21 aislados de hongos en total, tolerantes hasta 5000 mg l ⁻¹ AsV, para la eliminación de As (10 mg l ⁻¹ As) después de 21 días de cultivo en condiciones de laboratorio. La bioacumulación de As en la biomasa fúngica osciló entre 0,146 y 11,36 g kg ⁻¹ biomasa. El rango de As volatilizado estuvo entre 0.05	La presencia del gen <i>arsM</i> en la cepa 2WS1 sugiere una biovolatilización como posible biorremediación y una estrategia de mitigación del estrés de 2WS1. Por tanto, la aplicación de esta cepa de <i>Humicola</i> sp. La cepa 2WS1 en

		<p>y 53.39 mg kg⁻¹ de biomasa. El potencial de bioacumulación y biovolatilización más prometedor se observó en las cepas, a saber, 2WS1, 3WS1 y 2WS9. La cepa 2WS1 mostró la mayor biovolatilización de As (53,39 mg kg⁻¹ biomasa) y se identificó como <i>Humicola</i> sp. utilizando secuenciación de genes de ADN ITS / 5.8S.</p>	<p>suelos contaminados con As podría ser una estrategia de mitigación potencial y realista para reducir la contaminación de As en el sistema de cultivo junto con una mayor productividad.</p>
<p>Audu et al., 2020</p>	<p>ScienceDirect</p>	<p>En este estudio se utilizaron dos medios de cultivo diferentes (agar nutritivo y medio mínimo). El medio de agar nutritivo se utilizó para el aislamiento de bacterias de la muestra de suelo. Este medio contiene lo siguiente; peptona, cloruro de sodio y extracto de carne. El pH final se ajustó a 7,0. Se utilizó un medio mínimo para apoyar el crecimiento de aislamientos para la biorremediación. Este medio contenía; Extracto de levadura, CaCl₂, K₂HPO₄, MgSO₄, NaCl, KH₂PO₄ y (NH₄)₂SO₄, a pH 7,0. Todos los medios anteriores se sangraron en gramos por litro de agua destilada y, posteriormente, se esterilizaron en autoclave a 121 ° C durante 20 min.</p>	<p>Se observaron variaciones en las capacidades de biosorción de <i>P. agglomerans</i> para los metales pesados (Pb, Cu y Fe) en diferentes condiciones fisicoquímicas. <i>P. agglomerans</i> mostró una tendencia de biosorción de Pb > Fe > Cu a una temperatura óptima de 35 ° C. La tendencia de biosorción observada a un pH óptimo de 7 fue Pb > Fe > Cu. En una condición óptima de 5 mg / L, <i>P. agglomerans</i> mostró una tendencia de biosorción de Fe > Pb > Cu. Se estudió el porcentaje de biosorción de <i>P. agglomerans</i> en condiciones óptimas. La absorción de todos los metales estudiados (Pb, Cu y Fe) estuvo en el rango de 2 < 4 < 6 < 8. Además, se observó que <i>P. agglomerans</i> tenía el mayor potencial de biosorción de Fe (96,44%).</p>

Subashchandra et al., 2019	ScienceDirect	<p>Se desarrolló un sistema algal-bacteriano de estas dos cepas mediante el crecimiento a largo plazo de una mezcla de fenantreno, pireno y benzo[a]pireno (BaP). En un suelo adicionado con 50 mg L⁻¹ de fenantreno, 10 mg L⁻¹ de pireno y 10 mg L⁻¹ de BaP, el sistema algal-bacteriano degradó estos HAPs casi por completo en fase de lodo en 30 días. Además, el sistema algal-bacteriano fue capaz de remediar con éxito estos tres HAPs en un suelo contaminado a largo plazo con 245,1 mg kg⁻¹ de 16 HAPs y varios metales pesados en fase de purín en 21 días</p>	<p>El uso de ensayos adecuados como la estimación de la clorofila para la microalga y la PCR semicuantitativa para la bacteria confirmó la supervivencia de ambas cepas durante la biorremediación del suelo. Además, el ensayo de toxicidad residual con <i>Escherichia coli</i> DH5α que expresa la proteína verde fluorescente indicó el éxito de la biorremediación del suelo contaminado con HAPs en fase de purines. Por primera vez, demostramos el gran potencial de la sinergia entre algas y bacterias en la biorremediación de suelos. en la biorremediación de suelos contaminados a largo plazo con HAPs, incluso en presencia de metales pesados tóxicos.</p>
Njoku et al., 2020	ScienceDirect	<p><i>B. megaterium</i> se expuso a 3200 mg / L de PbCl₂, NiSO₄ y CdCl₂, mientras que <i>R. stolonifer</i> se expuso a 3200 mg / L de PbCl₂, NiSO₄ pero 800 mg de CdCl₂. Además, los dos organismos se expusieron a 1500 mg / L de los tres metales (que comprenden 500 mg / L de cada metal pesado) durante 96 horas a 30 ° C. Al final del estudio, el crecimiento sinérgico de <i>R. stolonifer</i> y <i>B. megaterium</i> tuvo la absorción máxima de Pb (541,50 mg). Además, el crecimiento individual de <i>B. megaterium</i> y <i>R. stolonifer</i> tuvo la mayor absorción de Ni (501.05 mg) y Cd (479.10 mg) respectivamente.</p>	<p>La mayor absorción de los MP combinados fue por <i>B. megaterium</i>. Para metales individuales. - la mayor pérdida de Pb (25,24%) y la menor pérdida de Ni (40,41%). En el caso de la contaminación por metales combinados. - Eficacia de biorremediación de <i>B. megaterium</i> y mejoró la eficacia de <i>R. stolonifer</i>. Hubo una ligera correlación negativa entre el pH y el porcentaje de pérdida de metales pesados del medio (p = 0,885) y entre la densidad óptica y el porcentaje de pérdida de metales pesados (p = 0,901).</p>

Li Hui et al., 2017	Sciencedirect	Analizar los mecanismos de transporte de Cd en el arroz, los factores que afectan la absorción de Cd (incluidas las características fisicoquímicas del suelo y las características ecofisiológicas del arroz) y discutimos las medidas eficientes para inmovilizar el Cd en el suelo y reducir la absorción de Cd por el arroz (incluidas las prácticas agronómicas y la biorremediación). y biología molecular (técnicas).	La pérdida radial de oxígeno controla la formación de placa de Fe en las raíces del arroz y afecta la absorción de Cd. Además, los sistemas de cultivo intercalado y de rotación pueden disminuir la absorción de Cd por el arroz.
Kushwaha Anamika et al., 2018	Sciencedirect	Identificar especiación del plomo en el suelo, su movilidad, toxicidad, mecanismos de absorción y desintoxicación en plantas y bacterias y estrategias de biorremediación para la remediación de depósitos contaminados con plomo.	El plomo no tiene ninguna función biológica e induce efectos tóxicos en la microflora del suelo y las plantas; además, las plantas y los microbios tienen varios mecanismos en respuesta al plomo que se pueden aplicar para la biorremediación de varios sitios contaminados con plomo.
Cycón Mariusz et al., 2017	Sciencedirect	Analizar la selección de microorganismos que utilizan plaguicidas de diversas fuentes, su potencial para la degradación de plaguicidas de diferentes clases químicas en medios líquidos.	Las cepas bacterianas de los géneros <i>Alcaligenes</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Brucella</i> , <i>Burkholderia</i> , <i>Catellibacterium</i> , <i>Pichia</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Rhodococcus</i> , <i>Serratia</i> , <i>Sphingomonas</i> , <i>Stenotrophomonas</i> , <i>Streptomyces</i> y <i>Verticillum</i> , son las que tienen mayor aplicaciones potenciales en la biorremediación de suelos contaminados con plaguicidas utilizando tecnología de bioaumentación.
Rajtor Monika et al., 2016	Sciencedirect	El documento presenta y evalúa el papel y la importancia de los HMA en la fitorremediación de sitios contaminados con hidrocarburos. Nos enfocamos en un impacto de los hidrocarburos en la simbiosis micorrízica arbuscular, un potencial de los HMA para mejorar la fitorremediación y determinantes que influyen en la	Se ha concluido que los sistemas de fitorremediación de tres componentes basados en interacciones sinérgicas entre raíces de plantas, HMA y microorganismos degradantes de hidrocarburos demostraron una alta

		efectividad de la remoción de hidrocarburos de suelos contaminados.	efectividad en la disipación de contaminantes orgánicos en el suelo.
Tiway Meenakshi et al., 2016	Sciencedirect	Realizar la biorremediación de cipermetrina en presencia de metales pesados mediante una nueva cepa tolerante a metales pesados, <i>Bacillus sp.</i> AKD1; empleando la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM).	Un aislado, designado como <i>Bacillus sp.</i> AKD1, basado en la secuencia del gen de ARNr 16S, pudo transformar 86% ± 3.6% de cipermetrina (concentración inicial de 100 ppm) en 7 días, pero la biotransformación se inhibió a concentraciones superiores a 150 ppm.
Teng Ying et al., 2017	Sciencedirect	Una bacteria que degrada el pentacloronitrobenceno (PCNB), <i>Cupriavidus sp.</i> YNS-85, se aisló de una plantación de <i>Panax notoginseng</i> contaminada .	La cepa co-metabolizó 200 mg L ⁻¹ PCNB en solución acuosa con una tasa de eliminación del 73,8% después de 5 días. La bacteria también degradó eficazmente el PCNB en condiciones ácidas (pH 4-6) y mostró resistencia a oligoelementos tóxicos (arsénico, cobre y cadmio). También se confirmó su capacidad para utilizar los intermedios de PCNB propuestos como únicas fuentes de carbono.
Wang Ying et al., 2018	Sciencedirect	Se llevó a cabo un experimento en macetas para investigar los efectos combinados de biorremediación en suelos co-contaminados. Después de recolectar los cuerpos fructíferos maduros de cada maceta, se registró la biomasa de los hongos. Además, se determinaron los recuentos bacterianos y la actividad de la enzima lacasa en el suelo.	Los resultados indicaron que co-cultivo de <i>P. eryngii</i> y <i>C. comatus</i> ejerció el mejor efecto de remediación en el suelo co-contaminado. La biomasa de hongo en el grupo co-cultivadas (grupo T) era 1,57 a 13,20 y 19,75 a 56,64% mayor que el grupo cultivado individualmente con <i>P. eryngii</i> (grupo P) o <i>C. comatus</i> (Grupo C), respectivamente.
Jia Zhilei et al., 2017	Sciencedirect	Se llevaron a cabo experimentos en macetas para investigar el efecto de SLS sobre la distribución de Cd y la disipación de DCP. Se determinaron los recuentos microbianos y la tasa de respiración del suelo. Se	Los resultados mostraron que la adición de SLS o SLS esterilizado (SSLS) podría facilitar las propiedades biológicas del suelo, incluidos los

		analizaron las enzimas ligninolíticas (peroxidasa de manganeso y lacasa) y las enzimas del suelo (deshidrogenasa, ureasa y fosfatasa ácida).	recuentos microbianos, la intensidad de la respiración y las actividades de las enzimas del suelo en comparación con el suelo de control. El Cd extraíble HOAc disminuyó en un 10,94–17,09 y un 9,63–12,02% en suelo modificado SLS y SSLS, respectivamente.
Ceci Andrea et al., 2018	Sciencedirect	El hongo saprotrófico <i>Penicillium griseofulvum</i> fue elegido como organismo modelo para estudiar las respuestas a una mezcla de isómeros de hexaclorociclohexano (HCH) (α -HCH, β -HCH, γ -HCH, δ -HCH) y metales potencialmente tóxicos (vanadio, plomo) en sólidos. y medios líquidos. El <i>P. griseofulvum</i> La cepa FBL 500 se aisló de suelo contaminado que contenía altas concentraciones de isómeros de HCH y elementos potencialmente tóxicos (Pb, V).	El análisis de la secuencia utilizando las regiones del espaciador transcrito interno (ITS) (ITS1F y ITS4) confirmó la identificación de <i>P. griseofulvum</i> de <i>P. griseofulvum</i> FBL 500 mediante claves taxonómicas convencionales. Se obtuvo una identidad de secuencia del 100% sobre el alineamiento BLAST con el nombre de la secuencia de referencia <i>P. griseofulvum</i> SH207147.07FU y KJ467353 para las bases de datos UNITE y NCBI, respectivamente.

Elaboración propia

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente trabajo de investigación es cualitativa básica ya que se usa la recolección y el análisis de sus datos para la finalidad de la investigación. También es abierto, flexible durante el trabajo, (Hernández, 2014, p.40).

El diseño de investigación es un diseño cualitativo narrativo de tópicos, estos tipos de diseños buscan describir y analizar las ideas, estos conocimientos se obtienen de la recolección de los datos de las revistas, documentos, artículos que son de interés para el investigador, (Salgado, 2007, p.1).

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización

En la tabla N°2 se muestra las categorías y sub categorías que se van analizar en la presente investigación; las cuales van a estar clasificadas de acuerdo a los objetivos específicos y problemas específicos; donde se va a conocer el uso de hongos para la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados y los tipos de tecnología de biorremediación en suelos contaminados por metales pesados que existen y son aplicados en los diversos trabajos de investigación recolectados para la presente revisión bibliográfica.

Tabla N°3: Matriz de categorización apriorística

Objetivo Específico	Problemas Específicos	Categorías	Sub Categorías	Unidad de análisis
Analizar los hongos más empleados para la biorremediación de suelos contaminados por metales pesados.	¿Cuáles son los hongos más empleados para la biorremediación de suelos contaminados por metales pesados?	Hongos	Temperatura	(Chen et al., 2016, p.1), (Morillo et al., 2020, p.1), (Goudarzi et al., 2018, p.2), (Ministerio de Medio Ambiente, 2007).
			Tiempo	
			pH	
Analizar los tipos de tecnología de	¿Cuáles son los tipos de	Tipos	Bioaumentación	(Molnár et al., 2019, p.1), (Mathur M. y

Biorremediación en suelos contaminados por metales pesados.	tecnología de Biorremediación en suelos contaminados por metales pesados?		Bioestimulación	Gehlot P., 2021, p.2), (Chaurasia et al., 2019, p.3), (Chen et al., 2016, p.1), (Jasu et al., 2021, p.2), (Singh et al., 2020, p.1).
Determinar el porcentaje de remoción de metales pesados con la biorremediación.	¿Cuál es el porcentaje de remoción de metales pesados con la biorremediación?	Remoción	Tiempo de remoción	(Zhang et al., 2019, p.2) (Baghaie et al., 2017, p.5). (Behere et al., 2020, p. 4). (Baghaie et al., 2017, p.1).
			Concentración	

3.3. Escenarios de estudio

La presente investigación no cuenta con un escenario de estudio ya que no hay un entorno físico en el cual se realizó la investigación; al ser una revisión bibliográfica presentamos una revisión bibliográfica a nivel nacional e internacional de todos los artículos acerca de los diferentes hongos para la biorremediación de suelos contaminados por metales pesados a nivel nacional e internacional.

3.4. Participantes

Se empleó una investigación teórica, basada en recopilación de información de diversos tipos de documentos. Esta investigación se fundamentó de acuerdo a los objetivos trazados, empleados como base de este informe de investigación, se definieron los términos utilizados para la búsqueda, donde las palabras claves fueron: biorremediación, contaminación de suelos, metales pesados, hongos, métodos de biorremediación, micorremediación. Las informaciones obtenidas en el presente estudio fueron obtenidas de la base de datos de: science direct, scielo, ProQuest, EBSCO; las cuales nos permiten obtener informaciones confiables y acreditadas de documentos como artículos, revistas científicas entre otras páginas webs.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En el presente estudio se realizó una recolección de datos de diferentes investigaciones de revistas a nivel nacional e internacional, los cuales se encuentran detallados en la ficha de recolección de datos de los documentos, encontrado en el Anexo N° 1; quedando detallada la información sobre la elaboración del uso de hongos para la biorremediación de suelos contaminados por metales pesados, extrayendo datos de cada investigación como: referencia del autor, objetivos, porcentaje de remoción, métodos de biorremediación. La técnica es el análisis de las investigaciones explora el procedimiento de los documentos de análisis de experiencias de investigaciones reales, utilizando datos extraídos de los documentos (Bowen, G.,2009 p.30).

3.6. Procedimientos

Para llevar a cabo la revisión bibliográfica de la biorremediación con hongos para suelos contaminados por metales pesados, se tendrá en cuenta un proceso riguroso donde la principal fuente de enriquecimiento de información, serán artículos publicados en revistas indexadas, además de revistas, libros y publicaciones en general que tengan la información y data necesaria para el desarrollo, así mismo se tendrá en cuenta el prestigio y fiabilidad de la fuente

Las etapas que se siguieron para la elaboración del presente estudio fueron: el muestreo de diferentes trabajos de investigación, en las cuales utilizamos palabras claves como: biorremediación, contaminación de suelos, metales pesados, hongos, métodos de biorremediación, bioestimulación, bioaumentación, entre otros; en las bases de datos aprobadas (science direct, scielo, ProQuest, EBSCO); para poder obtener investigaciones que nos sirvan de referencia en la presente revisión bibliográfica; obteniendo en total 100 investigaciones dentro de las cuales se filtraron mediante criterios de exclusión, obteniendo 13 artículos científicos y 2 libros. Se detalla en la Tabla N°4.

Tabla N°4: Resumen de criterio de búsqueda

Resumen de criterio de búsqueda				
Tipo de documento	Cantidad	Palabras clave de búsqueda	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículo científico	13	Contaminación de suelos, biorremediación, clasificación de hongos, bioestimulación, bioaumentación	-Se encuentren dentro de las fuentes aceptadas como: EBSCO, google académico, scielo, ScienceDirect. -Presenten antigüedad no mayor de 15 años. -Investigaciones a nivel nacional.	-No contar con doi. -Que sea una revista no indexada. - Investigación internacional
Libros	2	Contaminación de suelos, biorremediación, clasificación de hongos, Técnicas de biorremediación,		-Que no estén referidos a suelo.

3.7. Rigor científico

Los criterios que se utilizaran para evaluar el rigor científico del presente informe de investigación son la dependencia, credibilidad, transferibilidad y la confiabilidad (Salgado, 2015, p.74).

- Dependencia: Permite obtener la dependencia del estudio; donde se utiliza la información recolectada para el diseño y descripción de la investigación; la recolección recolectaba se basa en los resultados con gran similitud de todas las investigaciones obtenidas.
- Credibilidad: El criterio de credibilidad permite brindar a la investigación la validez interna de acuerdo a la metodología que se describe y enfocadas al problema de la investigación; presentando

como respaldo la autenticidad de los resultados presentados ya que son recolección de las investigaciones obtenidas.

- **Transferibilidad:** Permite tener la validez del estudio; la información, permite aportar o transferir la información e ideas sobre lo estudiado a otros lectores, de tal forma que influye la percepción y juicios sobre el problema estudiado.
- **Confiabilidad:** Depende enteramente de la descripción detallada que realice el evaluador sobre el tiempo, lugar y cultura donde ocurre la evaluación, para poder así transferir juicios hacia otros evaluadores. bajo la perspectiva cualitativa, es un proceso empírico para verificar el grado de similitud entre el contexto del evaluador y el contexto del evaluado.

3.8. Método de análisis de información

El análisis de la información se ejecutará por medio de categorías, teniendo como objetivo definir los criterios semejantes, estas categorías se concretan por descripciones similares, por ejemplo: hongos más empleados para la biorremediación de suelos contaminados por metales pesados, tipos de tecnología de Biorremediación y porcentaje de remoción; teniendo en cuenta las categorías (Hongos, tipos, remoción) y subcategorías (temperatura, tiempo, pH, Bioaumentación, bioestimulación, tiempo de remoción y concentración) mencionadas en la tabla N° 1. De esta manera otros grupos Identificarán la caracterización de las propiedades fisicoquímicas en la preparación de biochar (Giraldo, M. 2011.p.83-84).

3.9. Aspectos éticos

La elaboración de la presente investigación se realizó respetando los derechos de autor, citando y referenciando toda la información extraída de otras fuentes.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados respecto a los hongos más empleados para la biorremediación de suelos contaminados por metales pesados se obtuvieron después de realizar una comparación de 15 investigaciones, donde se detalla los resultados en la Tabla N°5.

Tabla N° 5 Hongos más empleados para la biorremediación

N°	Autor	Hongo (Familia)	Adaptación	Contaminante
1	Anasonye et al., 2015	<i>Gymnopilus luteofolius</i> (Strophariaceae)	Temperatura: 25 y 30°C Tiempo: 10-14 días pH: 7	2,4,6-trinitrotolueno (TNT)
		<i>Kuehneromyces mutabilis</i> (Strophariaceae)		
		<i>Phanerochaete velutina</i> (Phanerochaetaceae)		
2	Liu et al., 2015	<i>Clitocybe máxima</i> (Tricholomataceae)	Temperatura: 60 °C Tiempo: 3 días Adición: 0,05 g de glucosa	Cu, Cd
3	Liu et al., 2021	-	Temperatura: 30°C Tiempo: 24 horas. pH: 5 Adición: microbios (<i>Sporosarcina pasteurii</i>)	Pb, Zn y Cd
4	Talukdar et al., 2020	<i>Aspergillus flavus</i> (Trichocomaceae)	Temperatura: 80°C Tiempo: 2 d pH: 5 Adición: colonias fúngicas	Cr(VI) Cd(II)
		<i>Aspergillus fumigatus</i> (Trichocomaceae)		
5	Chang et al., 2020	<i>Penicillium</i> (Trichocomaceae)	Temperatura: 30°C Tiempo: 2 días pH: 5,3 Adición: células	Hg

			fúngicas	
6	Purnomo et al., 2011	<i>Gloeophyllum trabeum</i> (Polyporaceae) <i>Fomitopsis pinicola</i> (Fomitopsidaceae) <i>Daedalea dickinsii</i> (Fomitopsidaceae)	Temperatura: 30°C Tiempo: 2 días pH 5.6 Adición: Fe ²⁺ (5,18 g / kg)	DDT
7	Hassan et al., 2020	<i>Basidiomycota</i>	Temperatura: 28°C Tiempo: 4 días pH 7	Cr, Cu, As, Fe, Mn
8	Winqvist et al., 2014	<i>Phanerochaete velutina</i> (Phanerochaetaceae)	Temperatura: 105 °C Tiempo: 16 horas Adición: Desechos verdes compostados	hidrocarburos poliaromáticos (HAP)
9	Kurniati et al., 2014	<i>Aspergillus flavus</i> (Trichocomaceae)	Temperatura: 25 a 35 °C Tiempo: 7 días pH: 5,5 a 7	Mercurio (Hg)
10	Mancera et al., 2008	<i>Rhizopus sp</i> (Mucoraceae) <i>Penicillium funiculosum</i> (Trichocomaceae) <i>Aspergillus sydowii</i> (Trichocomaceae)	Bioaumentación: pH: 6 Temperatura: 28°C Tiempo: 24 horas Adición: <i>Rhizopus sp</i> / <i>Penicillium funiculosum</i> / <i>Aspergillus sydowii</i> Bioestimulación: Temperatura: 30°C Tiempo 35 días pH: 7,43 Adición: Microcosmos incubados	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH)
11	Meysami P. y Baheri H., 2013	<i>Bjerkandera adusta</i> (Meruliaceae)	Temperatura: 28°C Tiempo: 5-7 días pH: 6	-

			Adición: Madera de pino y escamas de salvado de Kellogg	
12	Agnello et al., 2016	-	Temperatura: 70°C Tiempo: 3 días pH: 8.1 Adición: Pseudomonas aeruginosa	Pb Zn Cu Hidrocarburos de petróleo
13	Vaxevanido et al., 2008	-	Temperatura: 30°C pH: 8.65 Adición: Desulfuromonas palmitatis	Pb y Zn
14	Pietro et al., 2020	<i>Aspergillus sp</i> (Trichocomaceae) <i>Curvularia geniculata</i> (Pleosporaceae) <i>lindgomyces</i> (Lindgomycetaceae) <i>Westerdykella sp</i> (Sporormiaceae)	Temperatura: 28 °C Tiempo: 7 días	Hg
15	Chang et al., 2019	<i>Lecythophora hoffmannii</i>	Temperatura: 30°C Tiempo: 16 horas pH: 7.5 Adición: Biocarbón	Hg

De acuerdo a una clasificación de diversas investigaciones a nivel nacional e internacional se obtuvieron 15 investigaciones que utilizan la biorremediación para eliminar contaminantes como metales pesados del suelo; de los cuales 12 utilizan hongos, siendo los más empleado: *Aspergillus sydowii*, *Penicillium funiculosum*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Clitocybe máxima*; todos pertenecientes a una clasificación de hongos de la familia

Trichocomaceae; siendo empleada 7 veces para la eliminación de metales pesados como mercurio (Hg) seguido de cadmio (Cd). De acuerdo con Ossai et al., (2020, p.8) el uso de hongos autóctonos logra una eficiencia de eliminación de contaminantes del 79.7%.

La segunda familia de hongos más empleada es la Phanerochaetaceae; siendo los hongos *Phanerochaete velutina* y *Phanerochaete velutina* empleados por Winqvist et al., 2014 y Anasonye et al., 2015 respectivamente para la eliminación de hidrocarburos aromáticos.

De igual manera se encontró que los hongos son comúnmente empleados para tratar contaminación del suelo por hidrocarburos. De acuerdo con Liu et al., (2017, p.2) la contaminación combinada de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y metales pesados son tratados principalmente por bacterias y hongos mediante la técnica de biorremediación.

Con respecto a los hongos más empleados para la extracción de metales pesados; las investigaciones de Meysami P. y Baheri H., 2013, Mancera et al., 2008 y Hassan et al., 2020, emplean una temperatura de 28°C como parámetro principal para la adaptación de dichos hongos y esta información es apoyado por Pietro – Souza et al., 2020 en la Tabla N°1 de antecedentes quien también emplea una temperatura de 28°C de adaptación.

Los investigadores Hassan et al., 2020 y Mancera et al., 2008 apoyan la afirmación de Meysami P. y Baheri H., 2013; ya que ellos también aplican una temperatura de adaptación de 28°C para los hongos pertenecientes a la familia Trichocomaceae.

Asimismo, Mancera et al., 2008 emplea en su investigación dos temperaturas similares (28°C y 30°C) para la adaptación de los hongos; esto es apoyado por Anasonye et al., 2015, quien también utiliza las temperaturas de 25° y 30°C para una misma investigación, para la adaptación de los hongos

Por otro lado, los investigadores Talukdar et al., 2020, Chang et al., 2020, Purnomo et al., 2011, confirman que el tiempo de adaptación de un hongo es el adecuado a

los 2 días con un pH de 5 independientemente de la temperatura; esto es refutado por Mancera et al., 2008, Hassan et al., 2020 y Anasonye et al., 2015 quienes señalan en sus investigaciones que para presentar la adaptación de un hongo es necesario un pH de 7 o más con periodos de tiempo mayores a 3 días.

Así mismo las tecnologías de biorremediación pueden ser de dos tipos; bioestimulación o bioaumentación; realizando una clasificación de 15 investigaciones se obtienen los resultados en la tabla N° 6.

Tabla N°6 Tipos de tecnología de biorremediación

N°	Autor	Tipo de tecnología (Bioestimulación/ Bioaumentación)	Adición
1	Anasonye et al., 2016	Bioestimulación/ Biológico	-
2	Liu et al., 2015	Bioestimulación/ Biológico	Adición: 0,05 g de glucosa
3	Liu et al., 2021	Bioaumentación/ Biológico	Adición: microbios (Sporosarcina pasteurii)
4	Talukdar et al., 2020	Bioaumentación/ Biológico	Adición: colonias fúngicas
5	Chang et al., 2020	Bioaumentación/ Biológico	Adición: células fúngicas
6	Purnomo et al., 2011	Bioestimulación/ Biológico	-
7	Hassan et al., 2020	-	
8	Winqvist et al., 2014	Bioestimulación/ Biológico	Adición: Desechos verdes compostados
9	Kurniati et al., 2014	-	
10	Mancera et al., 2008	Bioaumentación/ Biológico	Adición: Rhizopus Penicillium funiculosum Aspergillus

			sydowii
		Bioestimulación/ Biológico	Adición: Microcosmos incubados
11	Meysami P. y Baheri H., 2013	Bioestimulación/ Biológico	Adición: Madera de pino y escamas de salvado de Kellogg
12	Agnello et al., 2016	Bioaumentación/ Biológico	Adición: Pseudomonas aeruginosa
13	Vaxevanido et al., 2008	Bioaumentación/ Biológico	Adición: Desulfuromonas palmitatis
14	Pietro et al., 2020	-	
15	Chang et al., 2019	Bioestimulación/ Biológico	Adición: Biocarbón

Elaboración propia

En la Tabla N°6 se obtuvo una selección de investigaciones para determinar los tipos de tecnologías de biorremediación más aplicados; donde 13 de 15 investigadores aplican la técnica de bioaumentación y bioestimulación relativamente en la misma cantidad de veces; siendo la bioaumentación aplicada 6 veces y la bioestimulación 7 veces. De acuerdo con Raimondo et al., (2020, p. 2) la biorremediación es una tecnología prometedora que puede combinar procesos de bioaumentación y bioestimulación para la restauración del suelo por metales pesados presentando la incorporación de ambos mejores resultados. Por ello se sugiere el uso de la bioaumentación en combinación con la bioestimulación para el aumento de la alta eficiencia para tratar los contaminantes del suelo (Zeneli et al., 2019, p.3).

Esto es refutado por Reimond et al., (2019, p.1) quien señala que los efectos de la bioaumentación, aunque son específicos para cada caso son controvertido por algunos investigadores debido a que la bioaumentación sólo mejora la eficacia de la degradación temporalmente y que la bioestimulación representa una estrategia

de remediación más idónea para lograr una descontaminación eficaz del suelo.

La biorremediación por bioestimulación utiliza por lo general la adición de nutrientes y bacterias que estimulan el crecimiento microbiano para que se pueda llevar a cabo la biorremediación de los suelos contaminados por metales pesados o hidrocarburos (Wu et al., 2019, p.2).

Con respecto a los tipos de tecnología de biorremediación (Tabla N°4) los investigadores que aplican la bioestimulación son: Anasonye et al., 2015, Liu et al., 2015, Purnomo et al., 2011, Winqvist et al., 2014, Mancera et al., 2008, Meysami P. y Baheri H., 2013 y Chang et al., 2019; por adición de: biocarbón, microcosmos incubados, compost, glucosa, entre otros.

Mientras que; Vaxevanido et al., 2008, Agnello et al., 2016, Mancera et al., 2008, Talukdar et al., 2020, Chang et al., 2020, Liu et al., 2021. aplicaron en sus investigaciones a la bioaumentación; adicionando en su mayoría microbios como: *Sporosarcina pasteurii*, colonias fúngicas, células fúngicas, *Rhizopus*, *Penicillium funiculosum*, *Aspergillus sydowii*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Desulfuromonas palmitatis* respectivamente.

Para la aplicación de la tecnología de bioaumentación; Talukdar et al., 2020, Chang et al., 2020 y Mancera et al., 2008, afirman que la utilización de hongos incrementa y mejora la capacidad de degradación del suelo, utilizando: colonias fúngicas, *Rhizopus*, *Penicillium funiculosum*, *Aspergillus sydowii* y células fungicas, esto es refutado por Agnello et al., 2016 y Vaxevanido et al., 2008, quienes aplican bacterias como los: *Pseudomonas aeruginosa* y *Desulfuromonas palmitatis* respectivamente para el incremento de la capacidad de degradación del suelo contaminado por metales pesados.

Así mismo, para determinar cuál es el mayor porcentaje de remoción que se da en los diferentes metales pesados, se detalla en la Tabla N°7.

Tabla N°7: Porcentaje de remoción de metales pesados

N°	Autor	Hongo	Tiempo de remoción	Concentración (metal)	Remoción (Porcentaje de remoción)
1	Anasonye et al., 2015	P. velutina	42 días	TNT: 1000 mg/kg	80% TNT
		G. luteofolius	42 días	TNT: 1000 mg/kg	54% TNT
		K. mutabilis	21 días	TNT: 1000 mg/kg	0% TNT
2	Liu et al., 2015	C. máxima	3 días	Cd: 58 mg/kg Cu: 20,43 mg/kg	Aumento del % de la extracción del: Cd: 70,66% Cu: 96,24%
3	Liu et al., 2021	-	5 días	Pb: 342 mg/kg Cd: 6,79 mg/kg Zn: 235 mg/kg	Pb: 72,2% Zn: 78,2% Cd :85,6%
4	Talukdar et al., 2020	A. flavus A.fumigatus	5 días	Cr :1000 mg / L Cd :1000 mg/ L	Aspergillus flavus 73% Cr(VI) Aspergillus fumigatus 74% cd (II)
5	Chang et al., 2020	Penicillium	7 días	8,5 mg/kg	Hg: 84 %
6	Purnomo et al., 2011	G. trabeum:	14 días	5,44 g/kg	DDT: 41%
		F. pinicola:			DDT: 9%
		D. dickinsii:			DDT: 15%

7	Hassan et al., 2020	Basidiomycota	100 días	10 mg/L 20 mg/L 30 mg/L 40 mg/L	As: 77% Mn: 71% Cr: 60% Cu: 52%
8	Winqvist et al., 2014	<i>P. velutina</i>	3 meses	6000 mg/kg	HAP: 96%
9	Kurniati et al., 2014	<i>A. flavus</i>	7 días	10 mg/L	Hg: 97,50% y 98,73%
10	Mancera et al., 2008	<i>Rhizopus sp</i>	7 días	Bioaumentación 60.600 mg/kg	% de eliminación con bioaumentación 36% 30% 17% Bioestimulación 29-36%
		<i>Penicillium funiculosum</i>		Bioestimulación 1717 mg/kg	
		<i>Aspergillus sydowii</i>			
11	Meysami P. y Baheri H., 2013	<i>B. adusta</i>	35 días	10 000 ppm	-
12	Agnello et al., 2016	-	90 días	Pb: 100 mg /kg Zn: 110 mg /kg Cu: 87 mg /kg Hidrocarburos de petróleo: 3800 mg /kg	% de adsorción Hidrocarburos de petróleo 68% Capacidad de adsorción: Pb: 0,80 mg /g Zn: 0,41 mg /g Cu: 0,38 mg /g
13	Vaxevanido et al., 2008	-	120 días	Pb: 19 600 mg/kg Zn:24000 mg/kg	Pb: 85% Zn: 50%

14	Pietro et al., 2020	Aspergillus C. geniculata lindgomyces Westerdykella	14 días	Hg: 90 mg/mL	% de remoción con la unión de los 4 hongos: Hg: 57,14%
15	Chang et al., 2019	Lecythophora	56 horas	Hg: 84,5 mg/L	% de remoción Hg: 86% Capacidad de adsorción: 29,3 mg/kg

Elaboración propia

La biorremediación permite obtener un 80% de remoción de metales como: Pb, Cd, Zn, Hg, Cu, entre otros, siendo eficiente para la remoción de metales pesados en suelos contaminados; pudiendo decirse que este tipo de tecnología presenta un alto grado de eficiencia para la eliminación y remoción; siendo el mercurio (Hg) el metal que ha presentado mayores porcentajes de remoción.

Los mayores porcentajes de remoción aplicando la técnica de biorremediación varían entre el 80-90%, presentes en los metales Pb, Cd, Zn, Hg, Cu e hidrocarburos. Siendo 10 de 15 investigaciones lo que presentan altos porcentajes de remoción de estos metales pesados del suelo.

Los autores que presentan mayores porcentajes son Anasonye et al., 2015 con un 80%, Liu et al., 2021 con un 85%, Talukdar et al., 2020 con un 74%, Chang et al., 2020 con un 84%, Hassan et al., 2020 con un 77%, Winqvist et al., 2014 con un 96%, Kurniati et al., 2014 con un 98.73%, Vaxevanido et al., 2008 con un 85% y Chang et al., 2019 con un 86%.

Para el proceso de biorremediación no solo es importante el volumen del suelo a restaurar, sino también, el tiempo de tratamiento (Raimond et al., 2020, p.2). Debido a ello los investigadores Liu et al., 2015, Liu et al., 2021, Talukdar et al., 2020, Chang et al., 2020, Kurniati et al., 2014, Mancera et al., 2008, aplican un tiempo de

remoción no mayor a 10 días; mientras que estos tiempos son contrastados por Anasonye et al., 2015, Purnomo et al., 2011, Hassan et al., 2020, Winqvist et al., 2014, Meysami P. y Baheri H., 2013, Agnello et al., 2016, Vaxevanido et al., 2008, Pietro et al., 2020, quienes toman tiempos de remoción de más de dos semanas hasta 3 meses.

De acuerdo con Chang et al., 2019, aplicando una cantidad de 84,5 mg/L de mercurio (Hg) se opteniendo un excelente porcentaje de remoción del 86%, esto es respaldado por Kurniati et al., 2014, quien aplica 10 mg/L obteniendo también un porcentaje de remoción óptimo del 98.73%. Esta información es rectificada por Pietro et al., 2020, quien aplicando una concentración de mercurio (Hg) de 90 mg/mL; obtuvo un porcentaje bajo de remoción del 57.14%.

V. CONCLUSIONES

Se concluye respecto a la eficiencia de la biorremediación de suelos contaminados que es una tecnología prometedora y eficiente para la restauración de suelos contaminados, de acuerdo a los resultados que obtuvieron investigadores al aplicarlo, remueve con gran eficacia metales pesados, así como otros contaminantes.

- De acuerdo al primer objetivo se determinó que existen pocas investigaciones enfocadas en la biorremediación a base de hongos para el tratamiento de suelos contaminados por metales pesados.
- Así también el grupo de hongos de la familia Tricholomataceae es el más empleado entre los investigadores a nivel internacional para ser aplicada en la biorremediación de suelos contaminados por metales pesados, donde la temperatura y el tiempo son los parámetros más influyentes para la adaptación del hongo, siendo la temperatura más empleado las que se encuentran en los rangos de 28°C y 30°C y el tiempo de
- Respecto al segundo objetivo de determinar los tipos de tecnología de Biorremediación en suelos contaminados por metales pesados las tecnologías de bioaumentación y bioestimulación son aplicadas de igual manera debido a que de la bioaumentación en combinación con la bioestimulación generan una mejor eficiencia.
- Por último, respecto al tercer objetivo se pudo determinar que los mayores porcentajes de remoción aplicando la técnica de biorremediación varían entre el 80-90%; confirmando que el tiempo que se aplique para la remoción si influye, siendo el más empleado periodos no mayores a 10 días.

VI. RECOMENDACIONES

Considerando la presente investigación y en función a los objetivos se recomienda a los futuros investigadores lo siguiente:

- Se recomienda mayor aplicación de hongos en la biorremediación de suelos contaminados por metales pesados, ya que se ha comprobado que es una tecnología que presenta óptimos resultados.
- Realizar mayores investigaciones a nivel nacional en función a las técnicas de bioaumentación donde desarrollen mayor aprovechamiento de los hongos.
- Realizar mayores revisiones bibliográficas que muestren la eficiencia de la bioaumentación acoplado a la bioestimulación.
- Se recomienda ahondar más en tecnologías y métodos de remediación a base de hongos ya que está demostrado la capacidad que estos presentan para degradar contaminantes del suelo.

BIBLIOGRAFIA

1. ADEDEJI, O. H., et al. Assessing spatial distribution, potential ecological and human health risks of soil heavy metals contamination around a Trailer Park in Nigeria. [En línea]. Scientific African, 2020, vol. 10, p. e00650. [Fecha de consulta: 16 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00650>
2. ADIMALLA, Narsimha; CHEN, Jie; QIAN, Hui. Spatial characteristics of heavy metal contamination and potential human health risk assessment of urban soils: A case study from an urban region of South India. [En línea]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2020, vol. 194, p. 110406. [Fecha de consulta: 20 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110406>
3. AGNELLO, Ana Carolina, et al. Comparative bioremediation of heavy metals and petroleum hydrocarbons co-contaminated soil by natural attenuation, phytoremediation, bioaugmentation and bioaugmentation-assisted phytoremediation. [En línea]. Science of the Total Environment, 2016, vol. 563, p. 693-703. [Fecha de consulta: 3 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.061>
4. ANASONYE, Festus, et al. Bioremediation of TNT contaminated soil with fungi under laboratory and pilot scale conditions. [En línea]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2015, vol. 105, p. 7-12. [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.08.003>
5. APONTE, Humberto, et al. Meta-analysis of heavy metal effects on soil enzyme activities. [En línea]. Science of The Total Environment, 2020, vol. 737, p. 139744. [Fecha de consulta: 29 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139744>
6. AUDU, Kalen Ephraim; ADENIJI, Shola Elijah; OBIDAH, John Solomon. Bioremediation of toxic metals in mining site of Zamfara metropolis using resident bacteria (*Pantoea agglomerans*): A optimization approach. [En

- línea]. Heliyon, 2020, vol. 6, no 8, p. e04704. [Fecha de consulta: 4 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04704>
7. BALI, Aditi Shreeya; SIDHU, Gagan Preet Singh. Heavy metal contamination indices and ecological risk assessment index to assess metal pollution status in different soils. [En línea]. En Heavy Metals in the Environment. Elsevier, 2020. p. 87-98. [Fecha de consulta: 20 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821656-9.00005-5>
 8. BHUIYAN, Mohammad AH, et al. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. [En línea]. Journal of hazardous materials, 2010, vol. 173, no 1-3, p. 384-392. [Fecha de consulta: 16 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139709>
 9. BOWEN, G. Document analysis as a qualitative research method. Qualitative research journal [En línea]. 2009. Vol. 9, N°2. [Fecha de consulta: 1 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>
 10. CECI, Andrea, et al. Metabolic synergies in the biotransformation of organic and metallic toxic compounds by a saprotrophic soil fungus. Applied microbiology and biotechnology, 2018, vol. 102, no 2, p. 1019-1033. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8614-9>
 11. CHABUKDHARA, Mayuri, et al. Heavy metal contamination in vegetables grown around peri-urban and urban-industrial clusters in Ghaziabad, India. [En línea]. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2016, vol. 22, no 3, p. 736-752. [Fecha de consulta: 19 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1105723>
 12. CHANG, Junjun, et al. Bioremediation of Hg-contaminated soil by combining a novel Hg-volatilizing *Lecythophora* sp. fungus, DC-F1, with biochar: Performance and the response of soil fungal community. [En línea] Science of the Total Environment, 2019, vol. 671, p. 676-684. [Fecha de consulta: 3 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.409>

13. CHANG, Junjun, et al. The bioremediation potentials and mercury (II)-resistant mechanisms of a novel fungus *Penicillium* spp. DC-F11 isolated from contaminated soil. [En línea] *Journal of hazardous materials*, 2020, vol. 396, p. 122638. [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122638>
14. CHAURASIA, Pankaj Kumar; BHARATI, Shashi Lata; MANI, Ashutosh. Significances of fungi in bioremediation of contaminated soil. En *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering*. [En línea]. Elsevier, 2019. p. 281-294. [Fecha de consulta: 29 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64191-5.00020-1>
15. CHEN, Minjie, et al. Study on soil physical structure after the bioremediation of Pb pollution using Microbial-induced carbonate precipitation methodology. [En línea]. *Journal of Hazardous Materials*, p. 125103. [Fecha de consulta: 20 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125103>
16. CYCÓN, Mariusz; MROZIK, Agnieszka; PIOTROWSKA-SEGET, Zofia. Bioaugmentation as a strategy for the remediation of pesticide-polluted soil: A review. *Chemosphere*, 2017, vol. 172, p. 52-71. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.129>
17. DI MARZIO, A., et al. From Mexico to the Beagle Channel: A review of metal and metalloid pollution studies on wildlife species in Latin America. [En línea]. *Environmental research*, 2019, vol. 176, p. 108462. [Fecha de consulta: 16 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.04.029>
18. ERKELENS, Mason, et al. Sustainable remediation—the application of bioremediated soil for use in the degradation of TNT chips. [En línea]. *Journal of environmental management*, 2012, vol. 110, p. 69-76. [Fecha de consulta: 22 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.022>
19. GARCÍA-DELGADO, Carlos; YUNTA, Felipe; EYMAR, Enrique. Bioremediation of multi-polluted soil by spent mushroom (*Agaricus bisporus*)

- substrate: Polycyclic aromatic hydrocarbons degradation and Pb availability. [En línea]. *Journal of Hazardous Materials*, 2015, vol. 300, p. 281-288. [Fecha de consulta: 16 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.07.008>
20. GOUDARZI, Gholamreza, et al. Health risk assessment on human exposed to heavy metals in the ambient air PM 10 in Ahvaz, southwest Iran. [En línea]. *International journal of biometeorology*, 2018, vol. 62, no 6, p. 1075-1083. [Fecha de consulta: 20 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1510-x>
21. GUAN, Qingyu, et al. Source apportionment of heavy metals in agricultural soil based on PMF: A case study in Hexi Corridor, northwest China. [En línea]. *Chemosphere*, 2018, vol. 193, p. 189-197. [Fecha de consulta: 20 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.151>.
22. HASSAN, Auwalu, et al. Bioaugmentation assisted mycoremediation of heavy metal and/metalloid landfill contaminated soil using consortia of filamentous fungi. [En línea]. *Biochemical Engineering Journal*, 2020, vol. 157, p. 107550. [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2020.107550>
23. JASU, Amrita, et al. Fungi in bioremediation of soil organic pollutants. En *Fungi Bio-Prospect in Sustainable Agriculture, Environment and Nanotechnology*. [En línea]. Academic Press. p. 381-405. [Fecha de consulta: 22 de enero del 2021]. Disponible en:
24. JIA, Zhilei, et al. Bioremediation of cadmium-dichlorophen co-contaminated soil by spent *Lentinus edodes* substrate and its effects on microbial activity and biochemical properties of soil. *Journal of Soils and Sediments*, 2017, vol. 17, no 2, p. 315-325. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1562-7>
25. JIANG, Hui-Hao, et al. An integrated approach to quantifying ecological and human health risks from different sources of soil heavy metals. [En línea]. *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 701, p. 134466. [Fecha de

- consulta: 20 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134466>
26. KHAN, Khalid M., et al. Health effects of arsenic exposure in Latin America: an overview of the past eight years of research. [En línea]. Science of The Total Environment, 2020, vol. 710, p. 136071. [Fecha de consulta: 16 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136071>
27. KUMAR, Manoj, et al. Concentrations of inorganic arsenic in groundwater, agricultural soils and subsurface sediments from the middle Gangetic plain of Bihar, India. [En línea]. Science of the Total Environment, 2016, vol. 573, p. 1103-1114. [Fecha de consulta: 19 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.109>
28. KURNIATI, Evi, et al. Potential bioremediation of mercury-contaminated substrate using filamentous fungi isolated from forest soil. [En línea] Journal of Environmental Sciences, 2014, vol. 26, no 6, p. 1223-1231. [Fecha de consulta: 3 de febrero del 2021]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(13\)60592-6](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60592-6)
29. KUSHWAHA, Anamika, et al. A critical review on speciation, mobilization and toxicity of lead in soil-microbe-plant system and bioremediation strategies. Ecotoxicology and environmental safety, 2018, vol. 147, p. 1035-1045. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.049>
30. LI, Hui, et al. Cadmium in rice: transport mechanisms, influencing factors, and minimizing measures. Environmental Pollution, 2017, vol. 224, p. 622-630. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.087>
31. LISIAK-ZIELIŃSKA, Marta, et al. How polluted are cities in central Europe?- Heavy metal contamination in Taraxacum officinale and soils collected from different land use areas of three representative cities. [En línea] Chemosphere, 2020, vol. 266, p. 129113. [Fecha de consulta: 20 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129113>

32. LIU, Shao-Heng, et al. Bioremediation mechanisms of combined pollution of PAHs and heavy metals by bacteria and fungi: A mini review. [En línea] Bioresource technology, 2017, vol. 224, p. 25-33. [Fecha de consulta: 3 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.095>
33. LIU, Peng, et al. Bioremediation of metal-contaminated soils by microbially-induced carbonate precipitation and its effects on ecotoxicity and long-term stability. [En línea] Biochemical Engineering Journal, 2021, vol. 166, p. 107856. [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2020.107856>
34. LIU, Hongying, et al. Bioremediation of soils co-contaminated with heavy metals and 2, 4, 5-trichlorophenol by fruiting body of Clitocybe maxima. [En línea] Journal of hazardous materials, 2015, vol. 294, p. 121-127. [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.04.004>
35. LIU, Peng; YANG, Yang; LI, Mei. Responses of soil and earthworm gut bacterial communities to heavy metal contamination. [En línea] Environmental Pollution, 2020, p. 114921. [Fecha de consulta: 16 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114921>
36. MANCERA-LÓPEZ, M. E., et al. Bioremediation of an aged hydrocarbon-contaminated soil by a combined system of biostimulation–bioaugmentation with filamentous fungi. [En línea]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2008, vol. 61, no 2, p. 151-160. [Fecha de consulta: 3 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2007.05.012>
37. MATHUR, Manish; GEHLOT, Praveen. Mechanistic evaluation of bioremediation properties of fungi. En New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. [En línea]. Elsevier, 2021. p. 267-286. [Fecha de consulta: 29 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821005-5.00020-X>

38. MEYSAMI, P.; BAHERI, H. Pre-screening of fungi and bulking agents for contaminated soil bioremediation. [En línea] *Advances in Environmental Research*, 2013, vol. 7, no 4, p. 881-887. [Fecha de consulta: 3 de febrero del 2021]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(02\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(02)00083-7)
39. MOLNÁR, M.; GRUIZ, K.; FENYVESI, É. Biodegradation-based remediation—overview and case studies. [En línea] *Engineering Tools for Environmental Risk Management: 4. Risk Reduction Technologies and Case Studies*, 2019, p. 243. [Fecha de consulta: 20 de enero del 2021].
ISBN: 9781315778754
40. MORILLO, E., et al. Soil bioremediation by cyclodextrins. [En línea] *A review. International Journal of Pharmaceutics*, 2020, p. 119943. [Fecha de consulta: 20 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.119943>
41. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO – MINAGRI. Abastecimiento y Precios del Cultivo de Arroz en el Perú. 2019. Disponible en: <https://www.minagri.gob.pe/portal/boletin-de-arroz/arroz-2019>
42. NJOKU, K. L.; AKINYEDE, O. R.; OBIDI, O. F. Microbial Remediation of Heavy Metals Contaminated Media by *Bacillus megaterium* and *Rhizopus stolonifer*. [En línea]. *Scientific African*, 2020, vol. 10, p. e00545. [Fecha de consulta: 4 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00545>
43. Ochoa et al., Heavy metal contamination and health risk assessment in grains and grain-based processed food in Arequipa region of Peru. [En línea]. 2021. [Fecha de consulta: 28 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129792>
44. OLANIRAN, Ademola O.; BALGOBIND, Adhika; PILLAY, Balakrishna. Bioavailability of heavy metals in soil: impact on microbial biodegradation of organic compounds and possible improvement strategies. [En línea] *International journal of molecular sciences*, 2013, vol. 14, no 5, p. 10197-

10228. [Fecha de consulta: 16 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijms140510197>
45. OSSAI, Innocent et al. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review [en línea]. Noviembre 2019, Vol. 17. [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2021]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235218641830364X#b320>
46. PAREDES SANDOVAL, Michelle. Evaluación de la biodegradación de un insecticida Carbamato en muestras de suelos de cultivo de papa mediante *Trichoderma harzianum* y *Pleurotus ostreatus*. [En línea] Tesis (Pregrado). Quito: Universidad Politécnica Salesia. Ecuador. 2017. [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2021].
47. PIETRO-SOUZA, William, et al. Mercury resistance and bioremediation mediated by endophytic fungi. [En línea] *Chemosphere*, 2020, vol. 240, p. 124874. [Fecha de consulta: 22 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124874>
48. PURNOMO, Adi Setyo, et al. Bioremediation of DDT contaminated soil using brown-rot fungi. [En línea] *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2011, vol. 65, no 5, p. 691-695. [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.04.004>
49. RAHMAN, Zunaithur, et al. Electrokinetic remediation: An innovation for heavy metal contamination in the soil environment. [En línea] *Materials Today: Proceedings*, 2020. [Fecha de consulta: 19 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.541>
50. RAIMONDO, Enzo E., et al. Coupling of bioaugmentation and biostimulation to improve lindane removal from different soil types. [En línea] *Chemosphere*, 2020, vol. 238, p. 124512. [Fecha de consulta: 4 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124512>
51. RAIMONDO, Enzo E., et al. Bioremediation of lindane-contaminated soils by combining of bioaugmentation and biostimulation: Effective scaling-up from microcosms to mesocosms. [En línea] *Journal of Environmental*

- Management, 2020, vol. 276, p. 111309. [Fecha de consulta: 4 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111309>
52. RAJTOR, Monika; PIOTROWSKA-SEGET, Zofia. Prospects for arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) to assist in phytoremediation of soil hydrocarbon contaminants. *Chemosphere*, 2016, vol. 162, p. 105-116. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.07.071>
53. REHMAN, Ata Ur, et al. Toxicity of heavy metals in plants and animals and their uptake by magnetic iron oxide nanoparticles. [En línea] *Journal of Molecular Liquids*, 2020, p. 114455. [Fecha de consulta: 29 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114455>
54. SINGH, Rajesh Kumar, et al. Fungi as potential candidates for bioremediation. [En línea] *En Abatement of Environmental Pollutants*. Elsevier, 2020. p. 177-191. [Fecha de consulta: 29 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818095-2.00009-6>
55. SOTO-BENAVENTE, Margarita, et al. Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. [En línea] *Scientia Agropecuaria*, 2020, vol. 11, no 1, p. 49-59. [Fecha de consulta: 16 de enero del 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06>
56. SUBASHCHANDRABOSE, Suresh R., et al. Bioremediation of soil long-term contaminated with PAHs by algal–bacterial synergy of *Chlorella* sp. MM3 and *Rhodococcus wratislaviensis* strain 9 in slurry phase. [En línea] *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 659, p. 724-731. [Fecha de consulta: 4 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.453>
57. SUN, Yiming, et al. Soil contamination in China: Current priorities, defining background levels and standards for heavy metals. [En línea] *Journal of environmental management*, 2019, vol. 251, p. 109512. [Fecha de consulta: 20 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109512>

58. TALUKDAR, Daizee, et al. Evaluation of novel indigenous fungal consortium for enhanced bioremediation of heavy metals from contaminated sites. [En línea] Environmental Technology & Innovation, 2020, vol. 20, p. 101050. [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101050>
59. TENG, Ying, et al. Biodegradation of pentachloronitrobenzene by *Cupriavidus* sp. YNS-85 and its potential for remediation of contaminated soils. Environmental Science and Pollution Research, 2017, vol. 24, no 10, p. 9538-9547. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8640-2>
60. TIWARY, Meenakshi; DUBEY, Ashok K. Cypermethrin bioremediation in presence of heavy metals by a novel heavy metal tolerant strain, *Bacillus* sp. AKD1. International Biodeterioration & Biodegradation, 2016, vol. 108, p. 42-47. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.11.025>
61. TRIPATHI, Pratibha, et al. Bioremediation of arsenic by soil methylating fungi: Role of *Humicola* sp. strain 2WS1 in amelioration of arsenic phytotoxicity in *Bacopa monnieri* L. [En línea] Science of The Total Environment, 2020, vol. 716, p. 136758. [Fecha de consulta: 29 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136758>
62. ZENELI, Aikaterini, et al. Monitoring the biodegradation of TPH and PAHs in refinery solid waste by biostimulation and bioaugmentation. [En línea] Journal of Environmental Chemical Engineering, 2019, vol. 7, no 3, p. 103054. [Fecha de consulta: 4 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103054>
63. WANG, Xia, et al. A novel extracellular enzyme stoichiometry method to evaluate soil heavy metal contamination: Evidence derived from microbial metabolic limitation. [En línea] Science of The Total Environment, 2020, vol. 738, p. 139709. [Fecha de consulta: 16 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139709>
64. WANG, Ying, et al. Combined bioremediation of soil co-contaminated with cadmium and endosulfan by *Pleurotus eryngii* and *Coprinus comatus*. Journal

- of soils and sediments, 2018, vol. 18, no 6, p. 2136-2147. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1762-9>
65. WINQUIST, Erika, et al. Bioremediation of PAH-contaminated soil with fungi– From laboratory to field scale. [En línea] International Biodeterioration & Biodegradation, 2014, vol. 86, p. 238-247. [Fecha de consulta: 3 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.09.012>
66. WOOD, Jennifer L.; TANG, Caixian; FRANKS, Ashley E. Microbial associated plant growth and heavy metal accumulation to improve phytoextraction of contaminated soils. [En línea] Soil Biology and Biochemistry, 2016, vol. 103, p. 131-137. [Fecha de consulta: 16 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.021>
67. WU, Manli, et al. Effect of bioaugmentation and biostimulation on hydrocarbon degradation and microbial community composition in petroleum-contaminated loessal soil. [en línea]. Chemosphere, 2019, vol. 237, p. 124456. [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124456>
68. WU, M. et al. Bioaugmentation and biostimulation of hydrocarbon degradation and the microbial community in a petroleum-contaminated soil [en línea]. Febrero 2016. Vol. 107. [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830515301414>
69. WU, M. et al. Effect of bioaugmentation and biostimulation on hydrocarbon degradation and microbial community composition in petroleumcontaminated loessal soil [en línea]. December 2019, vol. 237 n°. [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653519316807?via%3Dihub>
70. ZHANG, Hanyan, et al. Bioremediation of co-contaminated soil with heavy metals and pesticides: influence factors, mechanisms and evaluation methods. [En línea]. Chemical Engineering Journal, 2020, p. 125657. [Fecha

de consulta: 15 de enero del 2021]. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125657>

Anexo N°1

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

TÍTULO:

PAGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACIÓN	LUGAR DE PUBLICACIÓN

TIPO DE INVESTIGACIÓN:	AUTOR (ES):

CÓDIGO	
PALABRAS CLAVES	biorremediación, contaminación de suelos, metales pesados, hongos, métodos de biorremediación, bioestimulación, bioaumentación.
HONGOS (FAMILIA)	
BIOAUMENTACIÓN Y BIOESTIMULACIÓN	
PORCENTAJE DE REMOCIÓN	
RESULTADOS	
CONCLUSIONES:	



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, HONORES BALCAZAR CESAR FRANCISCO docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, aseso del Trabajo de Investigación / Tesis titulada: "Revisión bibliográfica del uso de hongos para la biorremediación de suelos contaminados por metales pesados", del autor QUISPE YUPANQUI DANY JOEL, constató que la investigación cumple con el índice de similitud establecido, y verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender el Trabajo de Investigación / Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido asumo 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, 02 de noviembre de 2021

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
HONORES BALCAZAR CESAR FRANCISCO DNI: 41134159 ORCID: 0000-0003-3202-1327	