



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**“Revisión Sistemática: Métodos de remediación biológica de metales pesados para la remediación de suelos contaminados”**

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

**AUTORAS:**

Arroyo Maravi, Alessandra Kelly (ORCID: 0000-0003-2237-5295)

Palacios Gutierrez, Patricia Rosa (ORCID: 0000-0002-5120-7920)

**ASESORES:**

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

Dr. Tullume Chavesta, Milton Cesar (ORCID: 0000-0003-1504-2089)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA-PERÚ

2020

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación va dedicado a Dios por brindarnos salud para llegar a nuestros objetivos y alcances como universitarios, cumpliendo nuestras metas y sueños con la ayuda de nuestro padre celestial y el esfuerzo de cada uno de nosotras. Igualmente, dedicamos este presente a nuestros padres, hermanos y docentes por la paciencia y consejos que cada día nos motivaron para seguir con nuestras responsabilidades.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por darnos la sabiduría de alcanzar nuestras metas y demostrar que con la fe todo es posible. De antemano, a nuestros padres por saber entendernos y apoyarnos en nuestra carrera profesional, ya que, no sólo es por el medio económico, sino también, por su comprensión y amor que nos demuestran a diario. De la misma forma, para nuestros queridos docentes por las enseñanzas y recomendaciones que nos otorgan a ser mejor cada día y finalmente a la Universidad César Vallejo por las experiencias académicas.

## Índice de contenido

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de gráficos y figuras .....	vi
Índice de abreviaturas.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	16
3.1. Tipo y Diseño de Investigación .....	16
3.2. Categorías, Sub-categorías y matriz de categorización apriorística.....	17
3.3. Escenario de Estudio.....	19
3.4. Participantes.....	19
3.5. Técnica e Instrumentos de Recolección .....	19
3.6. Procedimientos.....	20
3.7. Rigor científico.....	22
3.8. Método de Análisis de Información .....	24
3.9. Aspectos Éticos .....	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
V. CONCLUSIONES.....	36
VI. RECOMENDACIONES.....	37
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
ANEXOS.....	54

## **Índice de tablas**

Tabla 1: Método biológico para la remediación de suelos

Tabla 2: Método biológico aplicado en la remediación de suelos

Tabla 3: Matriz de categorización apriorística.

Tabla 4: Métodos biológicos que se emplean en la remediación de suelos

Tabla 5: Condiciones de operación que influyen en la remediación de suelos

Tabla 6: Ventajas y desventajas en la remediación de los suelos

## **Índice de gráficos y figuras**

Figura 1: Principales Mecanismos de Remediación Microbiana

Figura 2: Principales Mecanismos de Fitorremediación

Figura 3: Selección de artículos

## Índice de abreviaturas

MP: Metales Pesados

Hg. Mercurio

As: Arsénico

Pb: Plomo

Cd: Cadmio

Ni: Níquel

Cr: Cromo

Zn: Zinc

Cu: Cobre

Se: Selenio

Co: Cobalto

Mg: Magnesio

Cr(VI): Cromo hexavalente

Fe: Hierro

MIPP: Precipitación de fosfato inducida microbianamente

BCM: Mineralización biológicamente controlada

BIM: Mineralización inducida biológicamente

MICP: Precipitación de calcita inducida microbianamente

PMFC: Pila de combustible microbiana vegetal

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo expresar los métodos de remediación biológica de metales pesados que mejoran los suelos contaminados, considerando 64 referencias bibliográficas y 10 antecedentes por la importancia e interés de información, lo cual, el 65% de artículos son provenientes de la base de datos ScienceDirect y otros 35% de revistas científicas. Por ello, se utilizó la técnica de análisis documental donde el procedimiento consistió en la evaluación inicial de la literatura de palabras claves, teniendo en cuenta los criterios de inclusión y los resultados obtenidos de la revisión sistemática. Se concluyó, que los métodos usados en la remediación de suelos contaminados por metales pesados son eficientes, lo cual, el método de remediación microbiana mostró una eficiencia de 100 % 96.8%, 61,0% y 66% respectivamente según los artículos revisados y el método de fitorremediación mostró una eficiencia de 87%, 70,6%, 66 % y 59%. Finalmente, se recomienda en las futuras investigaciones promover el desarrollo de los métodos de remediación biológica, como la fitorremediación y la remediación microbiana combinando plantas, microorganismos y enmiendas entre sí para que haya mejores resultados, puesto que, son herramientas naturales para remediar suelos contaminados con metales pesados reduciendo la toxicidad, y promoviendo el crecimiento de las plantas. Además, estos métodos pueden ser una alternativa ecológica a las tecnologías físico-químicas convencionalmente costosas y perjudiciales para el medio ambiente.

**Palabras claves:** Métodos, remediación biológica, suelos, metales pesados y contaminación.



## ABSTRACT

The present research aims to express the methods of biological remediation of heavy metals that improve contaminated soils, considering 64 bibliographic references and 10 antecedents for the importance and interest of information, which, 65% of articles are from the database of ScienceDirect data and another 35% from scientific journals. Therefore, the documentary analysis technique was used, where the procedure consisted of the initial evaluation of the key word literature, taking into account the inclusion criteria and the results obtained from the systematic review. It was concluded that the methods used in the remediation of soils contaminated by heavy metals are efficient, which, the microbial remediation method showed an efficiency of 100% 96.8%, 61.0% and 66% respectively according to the articles reviewed and the Phytoremediation method showed an efficiency of 87%, 70.6%, 66% and 59%. Finally, it is recommended in future research to promote the development of biological remediation methods, such as phytoremediation and microbial remediation, combining plants, microorganisms and amendments with each other so that there are better results, since they are natural tools to remedy soils contaminated with heavy metals reducing toxicity, and promoting plant growth. Furthermore, these methods can be an environmentally friendly alternative to conventionally expensive and environmentally damaging physico-chemical technologies.

**Keywords:** Methods, biological remediation, soils, heavy metals and pollution.

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados (MP), es una dificultad que afecta al ambiente y la salud humana, debido a su toxicidad y abundancia. Donde los metales más estudiados son el Hg, As y Pb. (Covarrubias, et al., 2015, p. 40 y Ma Yongsong, et al., 2018, p. 2)

En México la contaminación por metales pesados viene siendo una problemática ambiental, a causa, de las actividades humanas y la minería. Donde estos contaminantes como el mercurio, arsénico y plomo se encuentran según su toxicidad causando un impacto ambiental. Por otro lado, los lugares más vulnerables por metales pesados presentes en suelos fueron en las regiones de Zacatecas, Querétaro, Hidalgo y San Luis Potosí. (Covarrubias y Peña, 2017, p. 7)

La presencia de (MP) en el cultivo es una incertidumbre para los agricultores de las regiones de Huánuco y Ucayali (Huamaní, et al. 2012, p. 339). Siendo afectada por la extracción de oro aluvial en la amazonia peruana donde se ha corregido en un factor clave de la degradación, la tierra, la deforestación y la liberación asociada de mercurio en el ambiente, ya que, plantea riesgos directos para la salud humana y es probable que genere efectos en cascada en las cadenas alimentarias. (Velásquez, et al., 2020)

La contaminación por metales pesados es un peligro para la salud pública, puesto que, sus manifestaciones toxicológicas son perjudiciales para el ambiente. Por otro lado, los (MP) como el cadmio (Cd) y níquel (Ni) en el suelo han causado graves problemas ambientales y han aumentado los riesgos para la salud humana y los organismos vivos (flora y fauna). (Batul, 2016, p.1 y Wang, et al., 2020, p.1)

La acumulación de los metales pesados (MP) en el suelo viene siendo una problemática ambiental. (Liu et al., 2020, p.1). Debido que, los suelos contaminados por metales pesados se degradan por las toxinas acumuladas que son persistentes y traen consigo riesgos para la salud del ser humano y el ambiente. (Quero Jiménez, et al., 2017, p. 53)

Los (MP) manifiestan ser un peligro en la salud, el recurso natural y la agricultura, debido a su persistencia y desintegración que presentan altas concentraciones de contaminantes, de tal forma que, alteran la productividad de la agricultura y el manejo de la conservación en el desarrollo de la cadena alimentaria. (Liu, et al., 2020, p. 4)

De acuerdo a la problemática expuesta la presente investigación tiene por objetivo general Expresar los métodos de remediación biológica de metales pesados que mejoran la remediación de suelos contaminados y los objetivos específicos son: Revisar los métodos eficientes de remediación biológica de metales pesados que influyen en la remediación de suelos contaminados, Reconocer las condiciones de operación en los métodos de remediación biológica de metales pesados que influyen en la remediación de suelos contaminados y Explicar las ventajas y desventajas en la remediación biológica de metales pesados que influyen en la remediación de suelos contaminados.

Asimismo, se planteó el problema general ¿En qué medida los métodos de remediación biológica de metales pesados influyen en la remediación de suelos contaminados?, y los problemas específicos ¿Cuáles son los métodos eficientes de remediación biológica de metales pesados que influyen en la remediación de suelos contaminados?, ¿Cuáles son las condiciones de operación en los métodos de remediación biológica de metales pesados que influyen en la remediación de suelos contaminados? Y ¿De qué forma las ventajas y desventajas en la remediación biológica de metales pesados influyen en la remediación de suelos contaminados?

En consiguiente, en la justificación existen diversos métodos biológicos para suelo contaminado por metal pesado, aplicando una revisión sistemática, de manera que, en la presente tesis se hace uso del método biológico para la remediación de suelos. Asimismo, se dará a conocer la justificación social, económica y ambiental, demostrando lo siguiente:

En los últimos años, la actividad minera y antropogénica provoca conflictos socio ambiental, debido que, muchas empresas mineras tienen sus áreas de extracción

cerca a comunidades o poblados que en sus procesos de obtención de minerales causan efectos negativos en la salud y el ambiente. (Vera, 2018, p. 3)

Por lo tanto, la justificación social provocada un impacto ambiental causado por las minerías, debido que, cuando sucede un incidente afecta directamente a la población más cercana, ya que, arrojan sus relaves mineros a los ríos, lagos y suelos. Provocando daños directos y demostrando una falta de conciencia y conflicto entre los ciudadanos.

Los metales pesados son un gran problema ambiental debido a que deterioran el suelo, disminuyendo la calidad, la temperatura, humedad y la textura del suelo. Por otro lado, los procesos de fijación de los metales pesados se ven afectados, pero en su mayoría son muy lentos lo que ocasiona una mayor toxicidad ambiental. Por tales motivos, es necesaria la remediación en la zona afectada aplicando una remediación biológica. (Vera, 2018, p. 2)

En tal sentido, la justificación ambiental conlleva a la remediación de suelos, aplicando el método biológico, debido a su eficiencia para suelos contaminados con metales pesados, ya que, son ecológicos y amigables con el ambiente.

La remediación de suelo contaminado por metal pesado presenta costos muy elevados, lo cual, depende del tipo de remediación, el lugar donde se efectuará y la tecnología que se aplicará en dicho impacto ambiental. (Vera, 2018, p. 3). Por ello, la fitorremediación es una tecnología de bajo costo que hace uso de plantas siendo conocido como un método biológico. (Delgadillo, et. al., 2011, p. 597).

Por ello, la justificación economía es un conflicto para remediar suelos contaminados con metales pesados a bajo costo. Sin embargo, se practican y aplican los métodos biológicos para tratar dicho impacto ambiental, por lo que, es económica y eficiente.

Por consiguiente, esta tesis sirva a futuras investigaciones de remediación que deseen implementar, conocer y poner en práctica los métodos de remediación biológica.

## II. MARCO TEÓRICO

La revisión sistemática propone recopilar y sintetizar informaciones sobre un tema que se desea investigar, lo cual, se conoce como aspectos cuantitativos y cualitativos demostrando una importancia en la medida que fortalece y propone nuevas ideas para una unidad de análisis, es decir, estudios que se desea aplicar en un tema, ya que, puede responder preguntas de investigaciones científicas mediante procesos sistemáticos y explícitos. *(Sobrino y Rumbo, et al., 2018, p.388)*

Los (MP) existen en la corteza terrestre y se liberan en el suelo a través de diversas actividades humanas que resultan un alto contenido de metal pesado en el suelo, siendo los más comunes como el Pb, Cr, As, Zn, Cd, Cu y Hg. Del mismo modo, las fuentes naturales pueden provocar la contaminación del suelo con metales pesados. *(Khalid, et al., 2017, p.250)*

Además, los (MP) se han convertido en contaminantes ambientales a causa de su toxicidad y persistencia en el ambiente. Por otro lado, se pueden generar por fuentes naturales, como la erosión de rocas que contienen metales y erupciones volcánicas. Mientras que, en las fuentes antropogénicas, por la minería, las actividades industriales, agrícolas y los ecosistemas terrestres que contienen metales pesados. *(Ali, et al., 2019, p.1 y Delgado, et al., 2019, p. 90)*

Los (MP) son tóxicos y peligrosos teniendo como características más comunes la persistencia y su alta toxicidad, ya que, se localizan en el ecosistema por mucho tiempo porque son difíciles de degradar de forma natural. *(Rodríguez, 2017, p.1)*. Los metales pesados se acumulan en el ambiente llegando a contaminar la cadena alimenticia. Por lo tanto, esta contaminación presenta un peligro en la salud y ambiental, siendo cancerígenos, disruptores mutagénicos, teratogénicos y endocrinos, a la vez, representan cambios neurológicos y comportamiento especial en menores de edad. *(Ali, et al., 2013, p.869)*

Del mismo modo, los (MP) son términos químicos que se refieren a elementos con una densidad superior a  $5 \text{ g/cm}^3$ , sin embargo, al describir metales pesados no incluyen

elementos tóxicos como el aluminio que tiene una densidad de  $2,6 \text{ g/cm}^3$ , ya que, los elementos traza (flúor, vanadio, estaño y entre otros) suelen hacer referencia en un medio o sistema de concentración muy baja. Asimismo, los metaloides distintos de los metales y no metales como el arsénico o el antimonio presentan densidades de  $5,7$  y  $6,6 \text{ g/cm}^3$ . (Gonzales, et al., 2017, p.4)

La contaminación del suelo por (MP) y metaloides ha sido una preocupación ambiental tanto para la salud humanidad y la calidad del ambiente, pues el alto contenido de (MP) en los relaves mineros lo convierte en un problema ambiental. Por ello, es importante desarrollar estrategias para remediar los suelos. (Amezcuca, et al., 2020, p.79 y Gong, et al., 2018, p.2)

Los desechos mineros provienen de los (MP) que al estar unido a la dispersión eólica e hídrica causa la contaminación del suelo. (Pérez y Martín, 2015, p. 1). La contaminación del suelo con metales tóxicos es un problema ambiental generalizado como resultado de la industrialización global en los últimos años, por lo tanto, la descontaminación de suelos es muy importante para reducir los riesgos asociados y para el mantenimiento de la salud ambiental y la restauración ecológica. (Ashraf, et al., 2019, p.174)

El suelo es un recurso vital que debe preservarse y restaurarse después de la contaminación, en tal sentido, viene siendo una problemática grave en todo el mundo por el daño que genera a la salud del ser humano y el ambiente. (Floris, et al., 2016, p.2 y Song, et al., 2017, p. 43)

Sin embargo, los (MP) son una preocupación creciente en todo el mundo, ya que, las actividades del ser humano como la descarga industrial, minería, fundición y eliminación de residuos sólidos afectan al suelo por su persistencia y acumulación de (MP), de igual manera, pueden ser absorbidos por los tejidos vegetales que al entrar al ecosistema se incorpora en la red alimentaria. (Shah y Daverey, 2020, p.1)

No cabe duda, que las operaciones mineras influyen en la contaminación del suelo, agua, flora y fauna. De igual manera, la industrialización, los pesticidas químicos y otras actividades propias del desarrollo social actual han originado un crecimiento de










metales pesados como el Hg, Pb, As, Cd, Cu, Cr y entre otros. (Londoño, et al., 2016, p.145)

Mientras tanto, en la revisión sistemática se ha podido reconocer 2 métodos de remediación de suelos contaminados por metales pesados donde estos métodos tiene una serie de mecanismos específicos que han demostrado efectividad en la remediación de suelos con metal pesado.

En los últimos años, el desarrollo de estrategias biotecnológicas en el campo de la remediación ha recibido mucha atención por ser más rentable, eficiente y respetuoso con el ambiente, por ello, las bacterias son métodos imprescindibles para suelos contaminados con metales pesados. (Govin, et al., 2020, p.188)

Del mismo modo, la remediación biológica viene siendo una de las alternativas de solución más factible para remediar y restaurar el estado natural del suelo que se encuentre contaminado. Se hace necesario resaltar que, la biorremediación hace uso de los microorganismos, hongos, plantas y enzimas para eliminar metales pesados presentes en el suelo. Por esta razón, es rentable y eficiente, dado que, brinda un adecuado resultado. (Khalid, et al., 2017, p. 22)

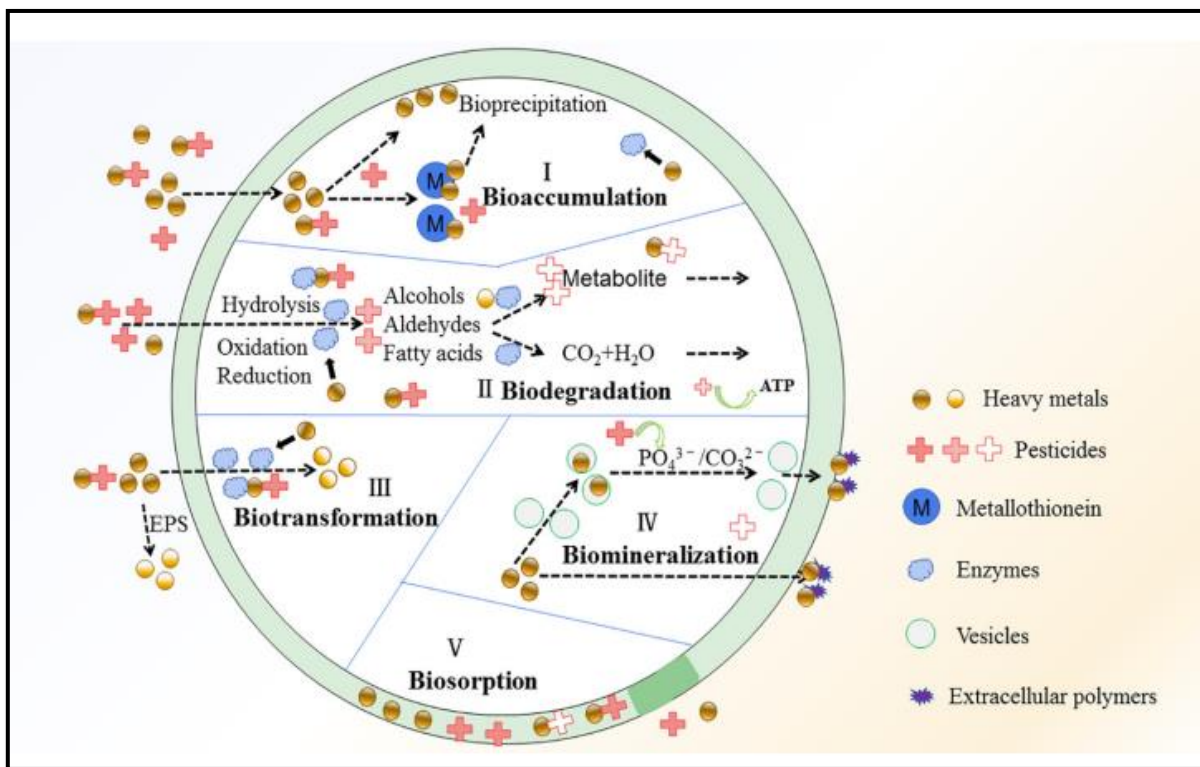
**Tabla 1.** Método biológico para la remediación de suelos contaminados por metales pesados.

REMEDIACIÓN MICROBIANA	LA FITORREMEDIACIÓN
 Biosorción	 Fitodegradación
 Bioacumulación	 Fitoestabilización
 Biotransformación	 Fitoextracción
 Biomineralización	 Fitoestimulación
 Biodegradación	 Fitovolatilización

**Fuente:** Elaboración Propia.

La remediación microbiana es un proceso por microbios para eliminar o inmovilizar contaminantes, ya que, existen microbios que degradan algunos contaminantes orgánicos en productos finales o en intermedios metabólicos que se utilizan como sustratos para el crecimiento celular. Sin embargo, los principales mecanismos asociados a la remediación microbiana de metales y pesticidas son la biosorción, bioacumulación, biotransformación, biomineralización y biodegradación. (Zhang, et al., 2020, p. 7)

**Figura 1.** Se presenta los principales mecanismos de remediación microbiana utilizados para suelos con metales pesados y pesticidas.



**Fuente:** Los mecanismos de remediación microbiana I. Biosorción, II. Bioacumulación, III. Biotransformación, IV. Biomineralización, V. Biodegradación. (Zhang, et al., 2020, p. 8)

En paralelo, la biosorción tiene la función de captar iones metálicos por medio de la biomasa viva o muerta mostrando la diferencia que la toxicidad del metal afectará el trabajo con biomasa viva. En tal sentido, la biomasa viva se utiliza a través de



mecanismos físicos y químicos como adsorción e intercambio iónico en diferentes procesos metabólicos que son esenciales para el desarrollo de cualquier organismo vivo que pueda colaborar al proceso. *(Mejía, 2006, p. 89)*

El mecanismo de biosorción implica la disminución superficial y la precipitación como alternativa al tratamiento de metales, ya que, son fenómenos estudiados en la biorremediación de MP como cadmio y cromo. Los microorganismos empleados como biosorbente se aíslan de ecosistemas contaminados porque retienen metales pesados en un corto intervalo de tiempo cuando entran en contacto con soluciones metálicas, lo que minimiza el costo del proceso de remediación, debido que, los microorganismos no necesitan ser metabolizados activamente. Además, que proporcionan nutrientes al sistema donde la biomasa se extrae fácilmente del sistema de agua. *(Rajendran, et al., 2003, p. 77)*. Citado por *(Beltrán, 2016, p. 176)*

Siguiendo a lo anterior, la biosorción es un fenómeno estudiado para la biorremediación de metales como el Cd, Cr, Pb, Ni, Zn y Cu. Además, es un proceso económico y con ventajas respecto a otros métodos. Siendo, una alternativa viable para la utilización de microorganismos, debido que, pueden usarse como biosorbente y aislar los ecosistemas contaminados. *(Guerra, et al., 2014, p. 54)*

La bioacumulación es un concepto que se utiliza para explicar la retención de sustancias químicas en estructuras biológicas. En los últimos años, la biotecnología remedia el ambiente contaminado con el uso de plantas y microorganismos vinculados con la fitorremediación, debido que, algunas plantas son tolerantes y acumulativas a los metales pesados. *(Navarro, et al., 2007, p. 13)* Citado en *(Hernández, 2016, p. 7-8)*

Por otro lado, los procesos de biotransformación emplean un sistema biológico de organismos avanzados, microorganismos, plantas, enzimas o células para modificar la estructura de compuestos extraños. Del mismo modo, la aplicación directa de la biotransformación es la obtención de compuestos quirales adecuados para la síntesis asimétrica de moléculas de interés comercial, tales como fármacos, intermedios

farmacéuticos, aditivos alimenticios, agroquímicos, etc. (Correa, 2009, p. 22-24). Citado por el autor (Espinel, 2016, p. 20-21)

En la biotransformación existen algunas moléculas inorgánicas y microorganismos que pueden interactuar, lo que cambia su biodisponibilidad en el medio, debido a que, existen algunos microorganismos que son tolerantes a los efectos peligrosos de la presencia de metales pesados. Asimismo, los estudios sobre estas interacciones y sus mecanismos de tolerancia han revelado su potencial en procesos de remediación biológica para la contaminación ambiental originada por metales pesados. (Soto, et al., 2010, p.195)

En siguiente, la biotransformación consiste en biotransformar y bioacumular metales pesados y metaloides, ya que, existen bacterias que son tolerantes a los metales pesados y los mecanismos de adaptación desarrollan y permiten ser persistentes en un ambiente tóxico que desarrollan los metales. (Santana, et al., 2019, p. 67)

Entre las tecnologías de la biorremediación y biomineralización de la precipitación de fosfato inducida microbianamente (MIPP) es una novedad de método para la remediación de suelos que está captando el interés de los investigadores, ya que, en el proceso de biomineralización (MIPP) mediante la adición de una fuente de fosfato, la actividad metabólica como la fosfatasa o fitasa producida a partir de microbios puede aumentar la disponibilidad de fosfato y luego la mineralización de iones tóxicos que demuestra como resultado la precipitación de minerales que contienen fósforo en las superficies celulares. (Zhao et al., 2019, p. 133)

De otro modo, la biomineralización se refiere al proceso de los organismos, es decir, desde procariontas hasta eucariotas (incluidos los humanos) que producen una variedad de diferentes minerales, pues en términos de formación los microorganismos son la segunda categoría de importancia. A la vez, existen dos procesos de biomineralización diferentes una de ellas es la mineralización biológicamente controlada (BCM) y la mineralización inducida biológicamente (BIM). (Pérez, et al., 2010, p. 58)

La biomineralización es un proceso de cristalización que ocurre bajo control biológico, formando una estructura ordenada con una determinada composición química llamada biominerales. Estos pueden existir en forma de redes covalentes ilimitadas o formas iónicas. Asimismo, existen organismos con capacidad para formar biominerales en todos los grupos principales incluidas las bacterias y ciertos virus, siendo el grupo más conveniente de los animales, bacterias, plantas vasculares, hongos y protozoos. (Orduño, et al., 2019, p. 60-61)

En cuanto a, la biodegradación consiste en microorganismos y cepas bacterianas que tienen la función de degradar, ser resistentes y tolerables a los metales pesados limitando la supervivencia de contaminantes. Por otro lado, proporciona mecanismos prometedores que ayudaran en el proceso de biorremediación. (Cecotti, et al., 2015, p. 56)

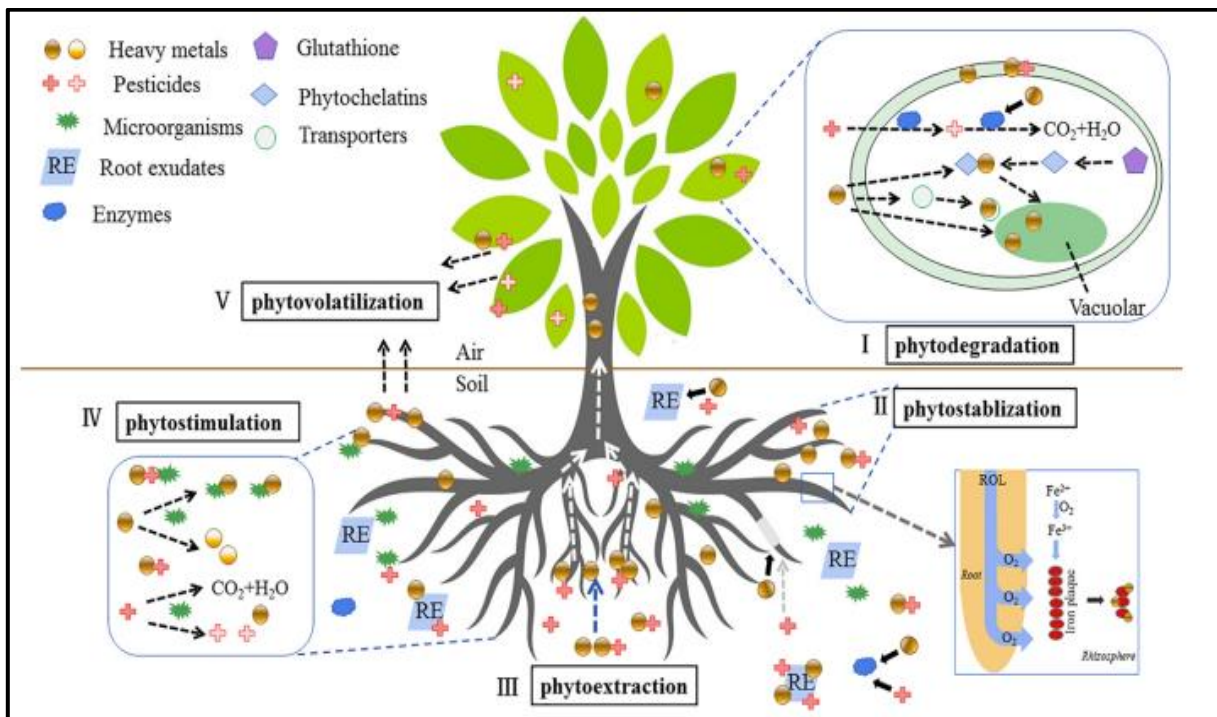
Según lo anterior, existen dos métodos para la biorremediación y la biodegradación una de ella es la bioaumentación que se enfoca en la adición externa de microorganismos degradables y la bioestimulación que se da mediante la adición de nutrientes para promover el crecimiento de microorganismos y aumentar la velocidad de la degradación de contaminantes. (Rodríguez, et al., 2012, p. 103)

La interacción entre metales pesados y enzimas, provocan la inhibición de contaminantes que se encuentran en los suelos. Asimismo, estos microorganismos son efectivos para desintegrar metales pesados, ya que, son involucradas en la biodegradación porque provocan la inhibición de ellos. Sin embargo, los metales podrían unirse a algunos grupos funcionales, inhibiendo así la degradación de dichos contaminantes. (Zhang, et al., 2020, p. 9)

Asimismo, la fitorremediación se basa en el uso de las plantas para tratar suelos, agua y aire contaminado por residuo orgánico o metal pesado, extrayendo los contaminantes. A la vez, considerándose ecológico, productivo, eficiente y rentable siendo utilizado en diversos métodos con otras combinaciones de remediación. (Jara-Peña, et al., 2014, p. 145 y Khalid, et al., 2017, p.254)

La fitorremediación implica el uso de la vegetación y los microorganismos rizosféricos donde los metales y los organismos seleccionados concentran los contaminantes del ambiente para que luego induzcan al metabolismo molecular. Del mismo modo, la fitorremediación implica varias estrategias que cada parte de las plantas tiende a seguir un mecanismo de acción específico. Donde los principales mecanismos asociados a la fitorremediación de metales y pesticidas son la fitoextracción, fitovolatilización, fitoestabilización, fitoestimulación y fitodegradación. (Zhang, et al., 2020, p. 9)

**Figura 2.** Se presenta los principales mecanismos de fitorremediación utilizados para suelos contaminados con metales pesados y pesticidas.



**Fuente:** Los mecanismos de Fitorremediación I. Fitodegradación, II. Fitoestabilización, III. Fitoextracción, IV. Fitoestimulación V. Fitovolatilización. (Zhang, et al., 2020, p. 10)

El término de fitodegradación se utiliza para designar la descomposición enzimática de contaminantes en productos más simples o menos tóxicos por plantas. Este proceso se demuestra en la rizosfera antes de su captación o en la raíz después de su

absorción seguida de una mayor síntesis, asimismo, es conocido como fitotransformación. *(Pandey y Bajppai, 2019, p.10)*

De igual manera, la fitodegradación se basa en la degradación de contaminantes utilizando enzimas vegetales o microorganismos que tienen la capacidad de degradar y tolerar ciertos contaminantes. *(Morrero, et al., 2012, p.55)*

Del mismo modo, es utilizado para tratar contaminantes orgánicos como hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos totales, pesticidas y compuestos clorados, donde los contaminantes pueden ser degradados en su totalidad o parcialmente según la tolerancia enzimática que ejecutan los microorganismos y plantas. *(Bernal Andrea, 2014, p. 250)*

Respecto a, la fitoestabilización también se conoce como fitosequestración, debido que, los contaminantes se absorben en la superficie de las raíces y son retenidos en la rizosfera de la planta, lo cual, se inmovilizan en el suelo. Por lo tanto, los sitios contaminados están siendo tratados con especies de plantas tolerantes en algunos (MP) como Cd, Cr, As, Cd o Zn. *(Zhao et al., 2016, p.94).*

También se utilizan determinadas especies para fijar contaminantes por acumulación en las raíces donde se emplean plantas que desarrollan sistemas profundos en sus raíces para disminuir la disponibilidad a través del mecanismo de fitosequestración. Igualmente, este proceso reduce la movilidad de los contaminantes e impide el traslado de ellos al agua, aire y suelo. *(Bernal Andrea, 2014, p. 249)*

La fitoextracción para remediación se basa en la aplicación de plantas capaces de extraer y acumular metales de suelos contaminados. De igual manera, es beneficioso para reducir el impacto ambiental, puesto que, no requiere de uso continuo de contaminantes y contribuyen a la restauración del suelo. *(Ramírez, et al., 2017, p.574).*

Asimismo, es una solución para eliminar contaminantes no degradables, ya que, para hacer un buen uso de las plantas se debe tener en cuenta dos factores importantes, uno de ellos es la biomasa y la eficiencia de bioconcentración. Si bien la acumulación de plantas es un buen método de fitorremediación muchas de ellas tienen muy poca biomasa, por lo que el uso de tecnología de ingeniería genética puede transferir y sobre expresar genes de bacterias y levaduras, favoreciendo así, la acumulación excesiva de plantas con gran biomasa. *(Delgadillo, et al., 2011, p.602)*

*Ramírez, et al., (2018)* menciona que, la fitoextracción con la planta de mora (*Solanum nigrum* L.) es un método alternativo importante para restaurar suelos contaminados con cadmio (Cd), ya que, es seguro y amigable con el ambiente. *(p. 421)*. Esta especie es reconocida como hiper acumulativa y tiene la suficiencia de tolerar y aumentar en suelos con elevadas concentraciones de (MP). También es llamada fitoacumulación vegetal que incluye la absorción y transporte de metales desde las raíces de las plantas hasta la superficie. *(Morrero, et al., 2012, p. 55)*

La fitoacumulación consiste en la capacidad de ciertas plantas para acumular contaminantes en sus hojas, tallos o follaje. Este mecanismo se emplea para metales pesados, contaminantes orgánicos y elementos radiactivos, mediante el uso de plantas metalofitas o acumuladores de metales. Asimismo, este mecanismo se puede desarrollar usando una o más plantas, proporcionando su crecimiento durante semanas o meses para luego cosecharlas e incinerarlas y puedan ser utilizadas como compostaje y recuperarlos. *(Bernal Andrea, 2014, p. 249)*

La actividad de las rizobacterias se muestra reforzada por la adición de bacterias en la raíz de la planta que ayudan a las micorrizas en la remoción de metales pesados. Además, es de bajo costo para eliminar Cd, otros metales pesados y compuestos orgánicos. *(Jia, et al., 2016, p.116)*.

Por otro lado, es adecuado para tratar suelos contaminados por metales, metaloides y fenoles, lo que significa, que la acumulación en sus raíces genera la inmovilidad de los contaminantes, por lo que, es importante lograr una cubierta vegetal. *(Castellanos, et al., 2010, p. 5)*

*Castellanos, et al., (2010)* define que, la fitovolatilización es un método que conlleva una serie de limitaciones, ya que, en muchos casos los compuestos volátiles de forma original o de complejos órgano-metálicos pueden persistir en el aire y luego volver al suelo al cabo de un tiempo sin haber resuelto el problema inicial, asimismo, es muy complicado detener el proceso de transpiración de las plantas y captar el impuesto liberado a la atmósfera, debido que, es un desafío económico y técnico muy difícil de superar (p. 6).

Igualmente, la absorción se basa y orientación de contaminantes por las plantas, ya que algunas son capaces de volatilizar el (Hg) y (Se) que se encuentran en el suelo y agua, a su vez, algunos elementos se transportan hacia las raíces y se trasladan a las hojas, volatizándose en densidades bajas en el ambiente, además, los contaminantes se absorben, metabolizan y trasladan desde la raíz hasta la parte superior y luego se liberan a la atmósfera en una forma volátil que es menos tóxica. (*Bernal Andrea, 2014, p. 250*)

El presente trabajo de investigación se realizó de los métodos biológicos para determinar su eficiencia, donde se tiene en cuenta los resultados obtenidos, lo cual, varían de acuerdo a las condiciones de operación. Según los distintos autores muestran en sus estudios los métodos biológicos, condiciones de operación y los resultados, señalando la posible conclusión de sintetizar la información, así como, se muestra en la tabla 2.

**Tabla2.** Método biológico aplicado en la remediación de suelos contaminados por metales pesados.

AUTOR (ES)	MÉTODO	CONDICIONES DE OPERACIÓN	RESULTADOS
Cui, et al., 2019.	Remediación microbiana	pH 7,6. Temperatura 25 ° C. Tiempo de operación 20 días.	Eficiencia 61,0%
Xiaodong, et al., 2020	Remediación microbiana	pH 7,6. Temperatura 25 ° C. Tiempo de operación 60 días	Eficiencia 65,5%
Guan, Hu y Yu, 2019.	Remediación microbiana	pH 7,03. Temperatura 30 °C. Tiempo de operación 10 meses.	Eficiencia 96,8%
Zhang, et al., 2019.	Remediación microbiana	pH 8,4. Temperatura 30 ° C. Tiempo de operación 24 h	Eficiencia 89%
Betancourt, et al, 2018.	Remediación microbiana	pH. 6,96. Temperatura 30 ° C. Tiempo de operación 35 días.	Eficiencia 100%
Li, et al., 2019.	La fitorremediación	pH 8,49. Temperatura 18 a 34 ° C. Tiempo de operación 105 días.	Eficiencia 59,7%
Steliga y Kluk, 2020.	La fitorremediación	pH 7,8. Temperatura 105 ° C. Tiempo de operación 6 meses.	Eficiencia: Pb (34,1%), Ni (23,8%), Cd (46,7%)
Jara Peña, et al., 2014.	La fitorremediación	pH 6.72. Temperatura 60 ° C. Tiempo de operación 12 meses.	Eficiencia 68.5%
Amezcuca-Ávila, Hernández-Acosta y Vargas, 2020.	La fitorremediación	pH 7. Tiempo de operación 103 días.	Eficiencia 66%
Zahoor, et al., 2017.	La fitorremediación	pH 8,5. Temperatura 30 ° C. Tiempo de operación 7 días.	Eficiencia 87%



### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y Diseño de Investigación

La investigación aplicada se basa en conocer, ampliar y profundizar una realidad de un estudio que se desea realizar. Del mismo modo, se pretende obtener leyes y teorías buscando información, a través de artículos, revistas o libros. Por ello, se siguió una aplicación de forma directa ante los problemas de la sociedad o el sector productivo, siendo demostrada de forma tecnológica la investigación en un proceso teórico. *(McWilliams, et al., 2019, p.1)*. La investigación de tipo aplicada busca la difusión de conocimiento con la aplicación a los problemas de la sociedad o grupo productivo. Esto se justifica en el descubrimiento de métodos de remediación en la investigación, en el proceso de enlaces entre la teoría y el producto. Donde, la investigación aplicada permite cambiar la epistemología teórica que procede de la investigación básica en conceptos, prototipos y productos, progresivamente. *(Lozada, 2014, p.34-38)*

El tipo de investigación es aplicada, debido que, el proyecto se basó en conocer y profundizar el tema abordar, a través de información de artículos y revistas brindadas. Puesto que, la preocupación del investigador es dar respuestas a preguntas específicas que se mostraron en el estudio. Por ello, consta en una información relevante para entender, verificar, corregir o aplicar en un estudio que se desea realizar.

El diseño narrativo de tópicos se basa en orientar una temática, situación o fenómeno, así como, se encarga de recolectar datos e información en artículos, revistas, documentos, entre otros. Dado que, su objetivo es conseguir la redacción de una narración de forma individual o grupal especificando la historia del personaje, tiempo, lugar, acontecimiento y ambiente. Además, se pueda resolver los interrogantes de los temas que no se entienden de forma clara. *(Salgado Ana, 2007, p.8)*.

El diseño narrativo comprende la continuidad de eventos, situaciones, fenómenos y procesos que implica pensamientos, sentimientos, emociones e interacciones por medio de la experiencia del autor. A su vez, estas historias detallan o explican un evento relacionado o grupo de eventos en orden cronológico. Del mismo modo, están distribuidos en tópicos que están dirigidos en los hechos, acontecimientos o fenómenos y bibliográficos de individuos, grupos o comunidades que no incluyen las narraciones de los participantes que se encuentran vivos, ya sea, porque murieron, por su edad, porque se enfermaron o son inaccesibles y autobiográficos sobre individuos, grupos o comunidades, implicando el testimonio oral y presencial del participante. (Czarniawska, 2004 y Mertens, 2010). Como se citó en el artículo del autor. (Hernández Roberto, 2014, p. 488-490)

El diseño que se aplicó en la revisión sistemática es cualitativo narrativo de tópicos, ya que, este diseño cumplió con las definiciones dadas en las citas, demostrando ser directa en una temática, situación y realidad acerca del tema de métodos de remediación biológica para el suelo contaminado con metal pesado, así como, el diseño propuesto. Por otro lado, se ocupó de buscar información y recolectar datos necesarios, debido que, se pretendió llenar el vacío de conocimiento que existe acerca de este tema y de la problemática que se genera a nivel global, hacia el ambiente causando un impacto negativo en el suelo, ecosistemas, flora y biodiversidad.

### **3.2. Categorías, Sub-categorías y matriz de categorización apriorística**

El investigador es quien proporciona sentido a los resultados de su investigación en los fundamentos básicos de la selección de tópicos o temas que se busca y donde se ordena la información. Asimismo, estos temas se manifiestan en la investigación a partir de la formulación de los objetivos específicos que se desglosan y operan como los primeros. En donde, estos tópicos se distinguen en la investigación de categorías apriorísticas separadas en subcategorías, es decir, construidas antes de la etapa de selección de la información o emergentes que surgen desde la propia búsqueda. (Herrera, et al., 2015, p.6)

**Tabla 3.** Matriz de categorización apriorística.

<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Problemas Específicos</b>	<b>Categoría</b>	<b>Subcategorías</b>	<b>Criterio 1</b>	<b>Criterio 2</b>	<b>Criterio 3</b>
Evaluar los métodos eficientes de remediación biológica de metales pesados que influyen en la remediación de suelos contaminados	¿Cuáles son los métodos eficientes de remediación biológica de metales pesados que influyen en la remediación de suelos contaminados?	Métodos de remediación biológica	Remediación microbiana	Por uso de plantas y microgramos	Por el tiempo de remediación	Por eficiencia
			Fitorremediación			
Reconocer las condiciones de operación en los métodos de remediación biológica de metales pesados que influyen en la remediación de suelos contaminados	¿Cuáles son las condiciones de operación en los métodos de remediación biológica de metales pesados que influyen en la remediación de suelos contaminados?	Condiciones de operación	pH	Por su condición de operación pH	Por su condición de operación tiempo	Por su condición de operación Temperatura
			Tiempo			
			Temperatura			
Explicar las ventajas y desventajas en la remediación biológica de metales pesados que influyen en la remediación de suelos contaminados	¿De qué forma las ventajas y desventajas en la remediación biológica de metales pesados influyen en la remediación de suelos contaminados?	Ventajas y desventajas de remediación biológica	Remediación microbiana	Ventajas	Desventajas	Por su impacto de Metales Pesados
			Fitorremediación			

### **3.3. Escenario de Estudio**

El estudio de caso muestra la generalización de resultados y la relación con la efectividad de una información teórica. En este caso, las recolecciones de información y el uso de la base de datos en conceptos básicos son importantes para un estudio constante, a través de sus probabilidades. Sin embargo, para el uso de caso en una investigación cualitativa es denominada en un contexto natural, es decir, que debe indicar el lugar donde ocurren los hechos de un estudio realizado. (Sato, 2016). Como se citó en el artículo del autor. (Guzmán et al., 2017, p.4)

En el presente trabajo de investigación el escenario de estudio se determinó en suelos contaminados con metales pesados, debido a que se encontraron artículos de suelos contaminados por minerías, desechos industriales, plaguicidas, hidrocarburos y entre otros. Asimismo, los metales que más destacaron en los artículos de investigación fueron el cadmio (Cd), plomo (Pb), cromo (Cr), mercurio (Hg), zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni) y el cobalto (CO).

### **3.4. Participantes**

El trabajo de investigación se basó en ciertas fuentes y bases de datos para poder obtener la información necesaria, lo cual, se utilizaron artículos científicos, artículos de revisión y artículos bibliográficos de las bases de datos como sciencedirect, scielo, google academic y ebSCO host. De igual manera, para buscar la información correcta nos guiamos del cuadro realizado de palabras claves, de acuerdo, a nuestro tema de investigación.

### **3.5. Técnica e Instrumentos de Recolección**

El análisis documental es definido por la totalidad de referencias bibliográficas que se encuentran u obtienen en una investigación donde se redactan los artículos científicos y revistas analizadas para el contenido y reducción de categorías que permiten llegar a los resultados.

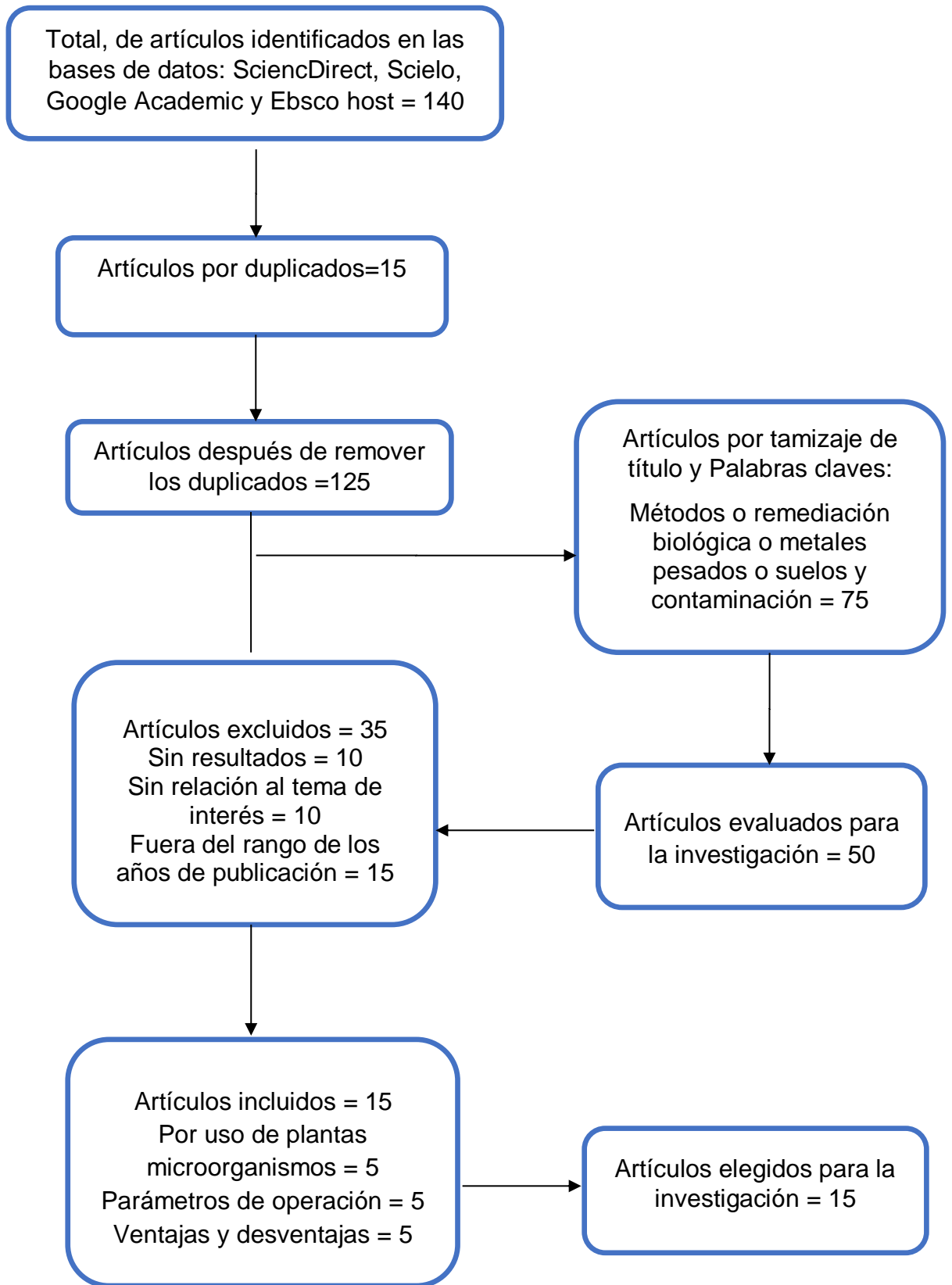
Además, son de gran importancia en el estudio, ya que, se llega a completar los términos operativos del procedimiento de información y facilita la reducción de categorías. Igualmente, es identificada como una centralidad de contenidos de información definidas en temáticas central e importante. (Díaz, 2017, p.132)

En el trabajo de investigación se empleó la siguiente ficha de análisis de contenido que sirvió para poner toda la recolección de la información buscada. Además, en dicha ficha se mostró las características de un análisis de contenido, es decir, título, página referida, año y lugar de publicación, tipo de investigación, autor, código, palabras claves, tipo de método biológico, tipo de suelo, metales pesados encontrados, tipo de uso de remediación biológica, resultados y conclusiones.

### **3.6. Procedimientos**

La presente investigación se desarrolló en etapas como se mostró en el mapa de procedimientos donde la primera etapa se basó en el número de selección de documentos de investigación, la segunda etapa consistió en el descarte de los artículos por duplicados, la tercera etapa en la selección de los artículos de interés después de realizar el descarte de los artículos por duplicados , la cuarta etapa se basó en el tamizaje de los artículos por el título y las palabras claves, la quinta etapa se basó en los artículos evaluados para la investigación, la sexta etapa se justificó en el análisis de información según los criterios de inclusión y exclusión, para finalizar la séptima etapa se justificó en el número final de los artículos elegidos para la investigación.

**Figura 3.** Selección de artículos.



### 3.7. Rigor científico

La validez es la interpretación debido a los resultados que se transforman en la base esencial de las investigaciones cualitativas, de modo que, es importante analizar e interpretar correctamente los hallazgos y la información buscada, donde el investigador tendrá seguridad y rigor en sus resultados. Del mismo modo, se brinda el grado de fidelidad que presenta el fenómeno estudiado que alcanza distintos métodos como la triangulación y el contraste con otros investigadores, ya que, se considera validez cuando existe un cuidado absoluto en la fase metodológica, y presenta un estudio confiable. *(Noreña, et al., 2012, p.266-268)*

Asimismo, es el grado de precisión y exactitud de las medidas de un estudio, es decir, que si se aplica varias veces el instrumento al mismo sujeto u objeto va a proceder en iguales resultados.

El criterio de credibilidad se basa en las observaciones del investigador con los participantes del estudio al momento de reunir la información donde genera descubrimientos considerados por los informantes como un acercamiento de lo que piensa y siente. De modo que, este criterio incrementa la probabilidad de las referencias encontradas sean aceptable. Asimismo, es un estudio comprendido cuando el investigador vuelve al informador durante la recopilación de la información que confirme los hallazgos y los datos encontrados, de esta manera, el informador rectifica los errores del investigador. *(Parra, et al., 2013, p.120)*

Es por ello, que se entendió como la persona tomó una decisión de creer o no las informaciones que se basaron hacia un estudio o informaciones que no son directas. Ya que, se aplicaron en componentes de objetivos, fuentes y plataformas de base de datos informáticos.

La transferibilidad se basa en trasladar los resultados del trabajo de investigación a otros contextos, pues en este criterio los fenómenos analizados se encuentran relacionados a las situaciones del contexto y a los participantes de la investigación. Del mismo modo, tener en cuenta la suficiente información que brinde el

investigador para desplazar y relacionar los hallazgos con otros contextos, para esto se tiene que determinar el número de participantes, los métodos aplicar, la recolección de datos y el tiempo en el que se desarrollará el trabajo. *(Noreña, et al., 2012, p.266-268)*

Del mismo modo, es la posibilidad de poder extender los resultados de un estudio, lo cual, mostró que en una investigación cualitativa llegó a ser la audiencia o lector del informe determinando si se puede transferir un contexto diferente de un estudio.

El criterio de auditabilidad o confirmabilidad se encarga de garantizar en la medida posible que los hallazgos son el resultado de las ideas y experiencias del proveedor de información mas no de los investigadores, también es importante tener un registro y documentación de los estudios e información en referencia al trabajo, ya que, esto accede que el investigador analice los datos y llegue a la misma conclusión o similar al autor original. Por ende, es recomendable que se emplee el método de triangulación cuando se realice un trabajo investigación. *(Guba, et al., 2012)*. Como se citó en el artículo del autor *(Varela y Vives, 2016, p. 194)*

En consiguiente, la auditabilidad o confirmabilidad mostró cómo el resultado de una investigación es verdadero y eficaz, lo cual, debe ser garantizado por la experiencia de buscar o experimentar información importante para realizar un análisis de estudio.

El criterio de dependencia hace alusión a la estabilidad de los datos que señala el rigor de un trabajo de investigación en otro investigador, ya que, respalda la ruta de decisiones utilizadas por el autor de la investigación y llega a conclusiones parecidas o comparables. Por ello, el investigador debe tener firmeza en la recolección y en el análisis de su información, debido que, la investigación cualitativa tiene un cierto grado de inestabilidad. Del mismo modo, para conseguir la estabilidad de los datos se tiene que aplicar los procedimientos como la triangulación de métodos y resultados, la recolección de datos, el análisis e interpretación de la información y la comparación de los resultados con las teorías



previamente enunciadas. (*Guba y Lincoln, 2012*). Como se citó en el artículo del autor. (*Varela y Vives, 2016, p.194*)

Para la dependencia o también conocida como consistencia se refirió a la estabilidad de datos de un estudio, siendo uno de los criterios más discutido en una investigación cualitativa.

La presente tesis se tomó en cuenta los criterios de valoración metodológica del rigor científico como la credibilidad, transferibilidad, auditabilidad, validez, relevancia y dependencia, ya que, como investigadores tenemos que revisar, enfocarnos en los resultados y en la información buscada para entender el estado científico de rigor del trabajo de investigación, dando coherencia interna que comprende en la forma de cómo se manifiesta la estructura de investigación en concordancia con los aspectos, criterios, entendimiento, complejo y el estudio a realizar.

### **3.8. Método de Análisis de Información**

El trabajo de investigación se realizó en base a artículos científicos siguiendo de la tabla de palabras claves para buscar la información necesaria y correspondiente al tema, lo cual, se utilizó los criterios de agrupación como las categorías y subcategorías de la matriz apriorística donde la primera categoría que se utilizó fueron los métodos de remediación biológica y se relacionó con los criterios 1, 2 y 3 que fueron por uso de plantas y microorganismos, por el tiempo de remediación y por su eficiencia. De igual manera, la segunda categoría fueron las condiciones operacionales y se relacionó con los criterios 1, 2, 3 que fueron por su condición de operación pH, por su condición de operación tiempo y por su condición de operación de temperatura. Finalmente, la tercera categoría fueron las ventajas y desventajas de remediación biológica y se relacionó con los criterios 1, 2 y 3 de ventajas, desventajas y por su impacto de metales pesados, ya que, las categorías y criterios de la investigación se obtendrán los respectivos resultados.

### **3.9. Aspectos Éticos**

La presente tesis se desarrolló de manera responsable y comprometida respetando la autoría y propiedad intelectual de los autores que brindaron la información a través de artículos, libros, tesis, documentos y revistas. Asimismo, se hizo uso de la base de datos reconocidos como las técnicas e instrumentos válidos que nos sirvieron para obtener los resultados de la investigación. Por otro lado, respecto a las teorías y conocimientos se realizó las citas y referencias bibliográficas respetando la estructura de la norma ISO 690 y 690-2, señalada en el anexo N° 0126-2017/UCV. Por otro lado, el código de ética de la Universidad César Vallejo hizo mención de ciertos principios, los cuales, son el respeto de la persona en su integridad y autonomía, búsqueda del bienestar, justicia, honestidad, rigor científico, competencia profesional y científica y la responsabilidad al momento para desarrollar un informe de investigación. Del mismo modo, se expresó las normas éticas para el desarrollo de la investigación como la política anti-plagio de los derechos del autor, las instalaciones, equipamientos y entre otros. Por último, se hizo mención de la falta a la ética y las sanciones correspondientes que se darán si no respetan todos estos principios referidos en el código de ética.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la investigación se obtuvieron 64 artículos originales que tienen el término de métodos biológicos para remediación de suelos contaminados con metales pesados como señala en el título. En éstos, se encontraron 15 artículos en total donde se tomarán en cuenta para los resultados que se muestra en la (Tabla 4, 5 y 6).

**Tabla 4.** Métodos Biológicos que se emplean en la remediación de suelos contaminados por metales pesados

LUGAR	MÉTODOS BIOLÓGICOS	POR USO DE PLANTAS Y MICROORGANISMOS	POR EL TIEMPO DE REMEDIACIÓN	POR SU EFICIENCIA	AUTOR
China	<b>Remediación Microbiana</b>	Se empleó la planta de <i>Brassica spp.</i> y <i>Zea mays</i>	20 días.	Eficiencia 61,0%	Cui, et al., 2019.
China		Se utilizó la planta de <i>Crucibulum laeve</i> y <i>Salix viminalis</i>	60 días	Eficiencia 65,5%	Xiaodong, et al., 2020
China		Plantas de humedales <i>Pennisetum alopecuroide</i> y <i>Phragmites communis</i>	10 meses.	Eficiencia 96,8%	Guan, Hu y Yu, 2019.
China		Se empleó la precipitación de calcita inducida microbianamente y biocarbón de las hojas de <i>Cinnamomum</i>	24 horas	Eficiencia 89%	Zhang, et al., 2019.
Colombia		Bioaumentación con microorganismos nativos	21 días.	Eficiencia 100%	Betancourt, et al., 2018.

China	<b>Fitorremediación</b>	Las plantas usadas fueron: la <i>Soja</i> , y <i>Kochia</i> Los microorganismos: <i>Mucor circinelloides</i> , <i>Trichoderma asperellum</i> y <i>Mortierella sp.</i> La enmienda: "cascará de arroz más la ceramsite"	105 días.	Eficiencia 59,7%	Li, et al., 2019.
Polonia		Las plantas que se empleó para la fitorremediación fue la <i>Festuca arundinacea</i>	6 meses.	Eficiencia: Pb (34,1%), Ni (23,8%), Cd (46,7%)	Steliga y Kluk, 2020.
Perú		Las cinco especies de semillas que se utilizaron fueron: <i>Solanum nitidum</i> , <i>Brassica rapa</i> , <i>Fuertesimalva echinata</i> , <i>Urticaurens</i> y <i>Lupinus ballianus</i>	12 meses	Eficiencia 68.5%	Jara-Peña, et al., 2014
México		Las plantas usadas: <i>Lolium perenne</i> y <i>Poa pratensis</i> más la combinación de composta (alfalfa y excreta de borrego)	103 días	Eficiencia 66%	Amezcuca-Ávila, Hernández-Acosta y Vargas, 2020.
Pakistán		<i>Brassica campestris</i> L. (semilla) y <i>Mucor sp.</i> (Hongo endofíticos)	7 días	Eficiencia 87%	Zahoor, et al., 2017.

En la tabla 4, se expresan los métodos biológicos, remediación microbiana y fitorremediación que se emplean para suelos contaminados por metales pesados, donde se consideran los siguientes criterios como el lugar que se realizaron los estudios, el uso de plantas y microorganismo, el tiempo de remediación y la eficiencia que tienen dichos métodos para la remediación de suelos.

En tal sentido, se demostró la efectividad del tratamiento de bioaugmentación y resultó un método útil para la biorremediación de suelos contaminados con metales usando microorganismos nativos, donde se obtuvo una eficiencia de 100%. (*Betancourt, et al, 2018, p. 20*). Quien coincide, con (*Guan, Hu y Yu, 2019*) que el tratamiento de Cr y el análisis de los tejidos vegetales mostró que el Cr se presenta más en las raíces que en los tallos y hojas, obteniendo una eficiencia de 96.8%, empleando plantas de humedales *pennisetum alopecuroide* y *phragmites communis*. (*p. 592*). Mientras tanto, (*Cui, et al., 2019*), manifestó en su investigación que el tratamiento de remediación microbiana para la absorción de Cd empleando plantas de *Brassica spp.* y *Zea mays*, demostró ser una enmienda significativamente efectiva para superar la contaminación de Cd, teniendo una eficiencia de 61,0%. (*p. 790*). Asimismo, en el estudio de (*Zhang, et al., 2019*), en la precipitación de calcita inducida microbianamente (MICP), se obtuvo una eficiencia inicial de 89% y al combinar con biocarbón de hojas de *Cinnamomum para* la remediación del níquel (Ni), pero después se obtuvo una eficiencia de 66% debido a que, el biocarbón tuvo un efecto inhibitor en la (MICP). Sin embargo, la eficiencia de (*Cui, et al., 2019*), es menor que (*Betancourt, Guan y Zhang*), ya que, en su estudio la deposición de Cd condujo a la disminución del carbono de la biomasa microbiana del suelo donde las poblaciones de bacterias, hongos, actinomicetos, las actividades enzimáticas de la ureasa, catalasa, sacarasa y fosfatasa ácida, mientras que, en el nitrógeno de la biomasa microbiana del suelo demostró un aumento. Por ello, se debe considerar la aplicación de fertilizantes nitrogenados para suelos con Cd, debido que, los aportes de nitrógeno promueven la salud del suelo en condiciones elevadas de Cd.

Por lo tanto, el método de fitorremediación tiene una eficiencia de 87%, debido que, la cepa fue capaz de eliminar los metales pesados usando *Mucor sp.* "Hongo endofítico" de la planta *Brassica campestris L.* cultivadas en suelo contaminado, asimismo, se observó una tendencia a la disminución del potencial de biorremediación, lo cual, la cepa eliminó los metales por biotransformación y acumulación. (Zahoor, et al., 2017, p. 139). Por otra parte, coincide con (Steliga y Kluk, 2020, p. 5), donde los experimentos de fitorremediación realizados en el proceso de fertilización fueron cultivados en suelos con diversas concentraciones empleando las plantas *Festuca arundinacea*, obteniendo una eficiencia de 70,6%. Del mismo modo (Amezcu-Ávila, Hernández-Acosta y Vargas, 2020) en su estudio de fitorremediación, se evaluó la capacidad de las plantas *Lolium perenne* y *Poa pratensis* establecidos en jales mineros con la adición de composta de (alfalfa y excreta de borrego) en donde los tratamientos con composta favorecieron la extracción de metales y produjeron mayor biomasa, en donde el *L. perenne* fue la especie que presentó mayor crecimiento y mayor eficiencia de 66 % para la remoción de Cd Mg, Pb, Zn, Ni. Mientras tanto, (Li, et al., 2019, p. 4) en la aplicación combinada de plantas, microorganismos y enmiendas de la fitorremediación de metales pesados, lo cual, se optimizó una técnica de remediación para relaves mineros, donde los resultados mostraron que la materia orgánica del suelo y las actividades del tratamiento que alcanzaron una eficiencia de 59,7%. Sin embargo, la eficiencia de (Li, et al., 2019) es menor que (Zahoor, Steliga y Amezcu), debido que, los resultados del estudio manifestaron que la materia orgánica del suelo y las actividades de catalasa, ureasa y fosfatasa de los tratamientos fueron significativamente más altas que del tratamiento de las plantas. Del mismo modo, este estudio facilitó materiales combinados optimizados de plantas, microorganismos y enmiendas en el campo de la fitorremediación mejorada para compensar las deficiencias de la fitorremediación a largo plazo para metales pesados.

**Tabla 5.** Condiciones de operación que influyen en la remediación de suelos contaminados por metales pesados.

MÉTODOS BIOLÓGICOS	CONDICIONES DE OPERACIÓN	POR SU CONDICIÓN DE OPERACIÓN PH	POR SU CONDICIÓN DE OPERACIÓN TEMPERATURA	POR SU CONDICIÓN DE OPERACIÓN TIEMPO	AUTORES
<b>Remediación Microbiana</b>	- pH - Temperatura - Tiempo de operación	7,6	25° C.	20 días.	Cui, et al., 2019.
	- pH - Temperatura - Tiempo de operación	7,6	25 ° C.	60 días.	Xiaodong, et al., 2020
	- pH - Temperatura - Tiempo de operación	7,03	30 °C.	10 meses.	Guan, et al., 2019.
	- pH - Temperatura - Tiempo de operación	8,4	30 ° C.	24 horas.	Zhang, et al., 2019.
	- pH - Temperatura - Tiempo de operación	6,5	30 ° C.	35días.	Betancourt, et al, 2018.
<b>Fitorremediación</b>	- pH - Temperatura - Tiempo de operación	8,49	18 a 34 ° C.	105 días.	Li, et al., 2019.
	- pH - Temperatura. - Tiempo de operación	7,8	105 ° C.	6 meses.	Steliga y Kluk, 2020.
	- pH - Temperatura - Tiempo de operación.	6.72	60 ° C.	12 meses	Jara Peña, et al., 2014.
	- pH - Temperatura - Tiempo de operación	7.0	75 ° C.	103 días	Amezcuea, et al., 2020.
	- pH - Temperatura - Tiempo de operación	8,5	30 ° C.	7 días	Zahoor, et al., 2017.

En la tabla 5, se reconoce las condiciones de operación que influyen en la remediación microbiana de suelos contaminados con MP, lo cual, es eficiente según los artículos revisados, debido que, existen variaciones de resultados de acuerdo a condiciones de operación como pH, temperatura y tiempo.

Por otra parte, (Betancourt, et al, 2018, p .24), en su estudio de investigación los ensayos se realizaron por triplicado a un pH de 6,5 y a una temperatura de 30 ° C. En tal sentido, los resultados demostraron la efectividad de los ensayos de degradación del clorotalonil bajo condiciones de bioaumentación con los microorganismos nativos seleccionados en el estudio, en donde, después de 21 días la degradación alcanzó una eficiencia de 100%. Quien coincide, con (Zhang, et al., 2019, p.68), en el método de precipitación de calcita inducida microbianamente (MICP), un método prometedor en la remediación de suelos por metales, mientras que, el biocarbón es un adsorbente valioso para la eliminación de dichos contaminantes. Por ello, en el presente estudio, donde se agregó biocarbón de las hojas de *Cinnamomum* para investigar su efecto en la remediación del níquel (Ni), teniendo un pH de 8,4 y una temperatura de 30 °C, se obtuvo una eficiencia de 89% durante 24 horas. Asimismo, las condiciones de operación en el estudio de (Guan, Hu y Yu, 2019), la pila de combustible microbiana vegetal (PMFC) para la remediación de suelos contaminados con cromo hexavalente (Cr (VI)); tubo un pH de 7.03, a una temperatura de 30 °C en donde, se obtuvo una eficiencia de 96.8% en 10 meses, utilizando plantas de humedales como el *Pennisetum alopecuroides* y *Phragmites communis*. Sin embargo, las condiciones de operación de (Cui, et al., 2019, p. 784), en su estudio de remediación microbiana emplearon las plantas de *Brassica spp.* y *Zea mays* a un pH de 7,6 y una temperatura de 25 ° C. Por ello, los resultados manifiestan una eficiencia de 61,0%, en 20 días.

Por otro lado, en el método de fitorremediación existe una variación, donde los tratamientos de composta favorecieron la extracción de metales a un pH de 7 y a una temperatura de 75 °C empleando la planta de *Lolium perenne* y *Poa pratensis* más la combinación de composta (alfalfa y excreta de borrego), se obtuvo una eficiencia de 66% durante 103 días (Amezcuca, et al., 2020, p 79). Quien coincide,



con (Jara Peña, et al., 2014, p.145) que en su estudio de fitorremediación emplearon plantas de *Solanum nitidum* y *Lupinus ballianus* con un pH de 6.72 y una temperatura de 60 °C obteniendo una eficiencia de 68.5% durante 12 meses. Asimismo coincide con (Li, et al., 2019), en la aplicación combinada de plantas, microorganismos y enmiendas que benefició a la fitorremediación de metales pesados a un pH de 8,4 y a una temperatura de 18 a 34 ° C empleando la planta de soja y *kochia*, microorganismos *Mucor circinelloides*, *Trichoderma asperellum*, *Mortierella sp.* y enmienda de “cascará de arroz más la ceramsite”, en distintas proporciones, donde la combinación de la soja, M. Circinelloides, y la enmienda A3 (fertilizante orgánico: cáscara de arroz: biochar: ceramsita a una cantidad del 1: 1: 2: 1), obtuvo una eficiencia de 59.7% durante 105 días, en comparación a las demás combinaciones. Del mismo modo (Xiaodong, et al., 2020) en su estudio de remediación microbiana, la combinación de la inoculación de *Crucibulum laeve* y *Salix viminalis* logró sinérgicamente las mayores eficiencias de eliminación de hidrocarburos aromáticos policíclicos del suelo a un pH de 7,6 y a una temperatura de 25 ° C teniendo una eficiencia de 65,5% en 60 días. De igual manera (Steliga y Kluk, 2020) en su estudio de fitorremediación, los experimentos realizados asistidos por el proceso de fertilización con macetas de *Festuca arundinacea* cultivadas en suelos con diversas concentraciones y tipos de contaminaciones produjeron los siguientes porcentajes de disminución después de 6 meses: Pb (34,1%), Ni (23,8%), Cd (46,7%) con un pH de 7.8 y a una temperatura de 105 ° C. Sin embargo, las condiciones de operación de (Zahoor, et al., 2017, p. 139) en su estudio de biotransformación y acumulación de metales pesados emplearon *Brassica campestris L.* (semilla) y *Mucor sp.* “Hongo endofíticos” de plantas cultivadas en el suelo contaminado con un pH de 8,5 y una temperatura de 30 °C, donde el tratamiento obtuvo una eficiencia de 87% durante 7 días.

**Tabla 6:** Ventajas y Desventajas en la Remediación de los suelos contaminados por metales pesados.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE REMEDIACION BIOLOGICA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	POR SU IMPACTO DE METALES PESADOS	AUTORES
<b>Remediación Microbiana</b>	Es un método biológico, ecológico y eficiente	Es a largo plazo para su recuperación de suelo	Sus impactos en la disponibilidad de Cd en el suelo	Cui, et al., 2019.
	Es eficiente para remediar suelos	El proceso conlleva de hasta 2 meses	Suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	Xiaodong, et al., 2020
	Es un método sostenible ambiental	Para su tratamiento, el proceso de remediación es en largo tiempo	Suelos contaminados con cromo (Cr)	Guan, Hu y Yu, 2019.
	La precipitación de calcita inducida microbianamente (MICP) es un método prometedor en la remediación de metales pesados	El biocarbón interfiere la precipitación de calcita inducida microbianamente (MICP)	Suelos contaminados con Ni, As, Cu y Cr	Zhang, et al., 2019.
	Es un método biológico y ecológico	El proceso de desarrollo es más de 1 mes	Suelos contaminados con plaguicidas	Betancourt, et al., 2018.
<b>Fitorremediación</b>	Método económico y provechoso	No hubo cambios relevantes con el Cr en comparación al tratamiento de Pb que si se percibió mejora alguna	Suelos contaminados con Cr y Pb	Aimituma y Ferrua 2019.
	Remediación biológica y eficaz	Presenta un largo plazo en su recuperación de suelos	Suelos contaminados con Pb, Cd, Cu, Zn y Mg.	Li, et. al., 2019.
	Es un método amigable y favorable para el ambiente	Las industrias causan un gran impacto ambiental	Suelos contaminados con Cr, Zn, Cu, Ni, Pb y Co.	Tirry, et al., 2018
	Método ecológico y económico	El proceso de desarrollo es de 7 meses	Suelos contaminados con Ni, Cd, Cu, V, Zn, As, Pb y Hg.	Cristaldi, et al., 2020
	Método eficiente y de bajo costo	Los metales pesados son una gran preocupación ambiental	Suelos contaminados con Se, Cu, Zn, Mn, Ni, Fe, Cd, Hg y Pb.	Mahar, et al., 2016.

En la tabla 6, se menciona las ventajas y desventajas de costos de operación de los métodos biológicos, remediación microbiana y fitorremediación para suelos con metales pesados, teniendo en cuenta los criterios de ventajas, desventajas y por su impacto de metales pesados.

Con respecto a las ventajas del método de remediación microbiana se encontró que es un método biológico y práctico de plasmar en contaminación de suelos con metales pesados, debido que, tiene como ventaja adsorber el Cd por medio de plantas de *Brassica spp.* y *Zea mays*, mediante bajo condiciones de incubación de laboratorio. Sin embargo, la desventaja del estudio es que los metales pesados como el Cd son una amenaza para los ecosistemas y cadena alimentaria, a la vez, es a largo plazo para su recuperación de suelo. (Cui, et. al., 2019, p. 182). De la misma forma, la bioaumentación es un método biológico y ecológico, debido al uso de microorganismos nativos, además, es un método de bajo costo para la descontaminación de suelos. Sin embargo, la desventaja, es que hay pocos estudios científicos que se pueden utilizar como potencial biotecnológico para suelos contaminados con pesticidas. (Betancourt, et al, 2018, p. 27). La precipitación de calcita inducida microbianamente (MICP) es un método de remediación microbiana prometedor que comprende buenas perspectivas en remediación de suelos. No obstante, la desventaja que se conoce en el estudio es que el biocarbón interfiere en la precipitación de calcita inducida microbianamente (MICP), disminuyendo la eficiencia de la remediación de suelos por metales pesados. (Zhang, et al., 2019, p. 68 y 71). Igualmente, en el estudio de combinación de plantas y hongos, la inoculación de *Crucibulum laeve* y *Salix viminalis* logró sinérgicamente las mayores eficiencias de eliminación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) del suelo. Sin embargo, el *Crucibulum laeve* tuvo un efecto incompatible sobre otras bacterias que degradan los (PAH), en cambio el *Salix viminalis* aumentó la abundancia relativa de las bacterias indígenas incompatibles a través de sus efectos positivos en la rizosfera. Por lo tanto, *Crucibulum laeve* y *Salix viminalis* tuvieron el efecto sinérgico de impulsar el crecimiento de bacterias autóctonas que degradan los (PAH) del suelo. (Xiaodong, et al., 2020, p.11)

De igual manera, la fitorremediación es un método eficaz y de bajo costo, ya que, en el estudio mostró que la fitoextracción y la fitoestabilización son métodos alternativos y promotores para la recuperación del suelo con metales pesados como Cd, Pb y Zn. Además, la desventaja del estudio es una preocupación ambiental por las operaciones mineras, la producción industrial y el uso doméstico que demuestran una liberación de metales tóxicos hacia el ambiente que afecta a la salud humana. (Mahar, et al., 2016, p. 111, 113). Por otro lado, el método de fitorremediaciónes una de las soluciones más viables y eficientes para el tratamiento de suelos contaminados. Sin embargo, la desventaja se presenta en el crecimiento de las plantas, debido que, se encuentra contaminado con metales pesados tóxicos. (Zahoor, et al., 2017, p.139). En tal sentido, la fitorremediación se considera una nueva tecnología respetuosa con el ambiente, debido que, utiliza plantas para eliminar o inmovilizar metales pesados. Asimismo, la desventaja del estudio presenta en las industrias de ladrillo, cemento, acero y plástico, ya que, se encuentran alrededor de la zona de estudio donde generan grandes cantidades de metales pesados, sustancias toxicas y desechos industriales que representan una amenaza para el ambiente. (Tirry, et al., 2018, p. 1 y 2). Además, es una alternativa ecológica y económica que las tecnologías fisicoquímicas. Por otro lado, la desventaja se mostró en el proceso de desarrollo del tratamiento en 7 meses. (Cristaldi, et al., 2020, p.1). Asimismo, el tratamiento de fitorremediación es un método parcialmente nuevo, económico y provechoso, debido que, se puede trabajar con especies de plantas menores y de etapa de crecimiento corto que tenga la capacidad de absorber, remover y acumular gran cantidad de metales pesados limpiando y enmendando el suelo. En cambio, la desventaja se contempló en el tratamiento de Cr, debido que, no hubo cambios relevantes en comparación al tratamiento de Pb que si se percibió mejora alguna. Por ello, la planta de *Amaranthus Caudatus* muestra ser un potencial removedor y fitorremediador de suelos con Plomo que de Cromo. (Aimituma y Ferrua, 2019, p.13).

El método de remediación microbiana y fitorremediación ha sido considerado como una alternativa factible, puesto que, es una remediación eficaz para la contaminación por metales pesados, y es una tecnología biológica y ecológica, puesto que, son métodos eficientes para la contaminación por metales pesados.

## **V. CONCLUSIONES**

Se revisaron los métodos eficientes de remediación biológica de metales pesados que influyen en la remediación de suelos contaminados. Donde el método de remediación microbiana obtuvo una eficiencia de 100%, 96.8%, 61,0% y 66% respectivamente según los artículos revisados. Por otro lado, el método fitorremediación obtuvo una eficiencia de 87%, 70,6%, 66 % y 59%.

Se llegó a reconocer las condiciones de operación en los métodos de remediación biológica de metales pesados que influyen en la remediación de suelos contaminados. Debido que, existen variaciones en las condiciones de operación según los resultados de los artículos revisados. Lo cual, estas condiciones de operación fueron pH, temperatura y tiempo donde en el método de remediación microbiana el pH fue de (6.5, 8.4, 7.03 y 7.6), temperatura (25 ° C y 30 °C) y en el tiempo (21 días, 24 horas, 10 meses y 20 días). Igualmente, en la fitorremediación el pH fue de (7, 6.72, 8.4, 7.6, 7.8 y 8.5), temperatura (75 °C, 60 °C, 34 ° C, 25 ° C, 105 ° C y 30 ° C) y en el tiempo (103 días, 12 meses, 105 días, 60 días, 6 meses y 7 días)

De igual manera, se explica las ventajas y desventajas en la remediación biológica de metales pesados que influyen en la remediación de suelos contaminados. El método de remediación microbiana es un método biológico y ecológico que comprende buenas perspectivas en remediación de suelos con metales pesados. Sin embargo, la desventaja del estudio es que los metales pesados como el Cd es una amenaza para los ecosistemas y cadena alimentaria, a la vez, su recuperación de suelo es de largo plazo.

Por otro lado, el método de fitorremediación es un método viable y eficiente para el tratamiento de suelos contaminados por metales pesados, sin embargo, la desventaja del método es una preocupación ambiental por las operaciones industriales y sus impactos.

En conclusión, se expresa los métodos de remediación biológica de metales pesados que mejoran la remediación de suelos contaminados como la remediación microbiana y fitorremediación que se emplean para suelos contaminados por metales pesados.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Con la finalidad de complementar y mejorar la revisión sistemática de los métodos biológicos usados en la remediación de suelos contaminados por metales pesados, se exponen las recomendaciones para futuras investigaciones como:

- Promover el desarrollo de los métodos de remediación biológica, como la fitorremediación y la remediación microbiana combinando plantas, microorganismos y enmiendas entre sí para que haya mejores resultados, puesto que, son herramientas naturales para remediar suelos contaminados con metales pesados reduciendo la toxicidad, y promoviendo el crecimiento de las plantas. Además, estos métodos pueden ser una alternativa ecológica a las tecnologías físico-químicas convencionalmente costosas y perjudiciales para el medio ambiente.
- Es necesario realizar estudios futuros que determinen costos de operación, debido que, no existe información detallada del costo de los métodos biológicos para aquellas investigaciones que desean optar de dicho método.

- Se recomienda poner en práctica los estudios de bioaumentación y atenuación natural para la biodegradación del clorotalonil (CHT), utilizando microorganismos nativos capaces de tolerar, degradar el pesticida y controlar la sigatoka negra, una enfermedad que afecta a las hojas del árbol de plátano, debido que, tiene efectos adversos sobre el ambiente y sus metabolitos pueden ser tóxicos. Este método debe ser investigado a profundidad, puesto que, hay pocos estudios que se puedan utilizar como potencial biotecnológico para la descontaminación del suelo con plaguicidas.
- Finalmente se recomienda poner en práctica estudios de precipitación de calcita inducida microbianamente (MICP) en combinación con biocarbón en el metal del suelo de remediación, en donde se debe tener en cuenta el efecto de varios biochar en el proceso de (MICP), para determinar si existe algún cambio en los resultados en función de los diferentes residuos de biomasa utilizados en la producción de biocarbón.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASHRAF, Sana; ALI, Qasim, AHMAD, Zahir, ASHRAF, Sobia & NAEEM, Hafiz. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*.2019, p.174.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651319302271?via%3Dihub>

2. ALI, Hazrat, KHAN, Ezzat & ANWAR, Muhammad. Phytoremediation of heavy metals Concepts and applications.2013, p.869

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653513001914>

3. AMEZCUA, Alma; HERNANDEZ, Elizabeth & DIAZ, Prócoro. Fitorremediación de residuos de minas contaminados con metales pesados: Universidad Autónoma Chapingo. 2020, p.79

Disponible en: Google Academic

<file:///C:/Users/Windows/.tApplicationTitle/Downloads/Fitorremediacionresiduosde minas.pdf>

4. AIMITUMA, Katheryne y FERRUA, Schauny. Potencial Fitorremediador de especie *Amaranthus Caudatus* como alternativa para suelo contaminado con Plomo y Cromo: Universidad Peruana Unión. Perú. 2019, p.13

Disponible en Google Académico:

<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2437>

5. BERNAL, Andrea. Fitorremediacion en la Recuperación de Suelos: Una visión General: Universidad de Bocaya. Colombia. 2014, p. 250

Disponible en: Google Académico



<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5590911>

6. BAZAN, Giuseppe & GALIZIA, Giusepp. Geographical and ecological outline of metal (loid) accumulating plants in Italian vascular flora. Department of Biological, Chemical and Pharmaceutical Sciences and Technologies: University of Palermo. Italy. 2018. 64 pp.

Disponible en: Google Académico

<http://real.mtak.hu/87021/1/110-Article%20Text-259-2-10-20181013.pdf>

7. BELTRÁN, Mayra & GÓMEZ, Alida. Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), Cromo (Cr) y mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. Universidad militar nueva granada. Volumen 12, Número 12. Colombia. 2016. 197 pp.

Disponible en: Google académico

<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/2027/1835>

8. BETANCOURT, Julian; BAUTISTA, Paola; NARVAEZ, Silvia & PARRA, Juan. Biodegradation of Chlorothalonil Fungicide in Coastal Areas of the Colombian Caribbean Suitable for Banana Crops. Tecciencia. Colombia. 2018. 28 pp.

Disponible en:

<http://www.scielo.org.co/pdf/tecci/v13n25/1909-3667-tecci-13-25-19.pdf>

9. CASTELLANOS, L.; NEVÁREZ, G.; CASARRUBIAS, M. & PERALTA, M. Fitorremediación como una alternativa para el Tratamiento de Suelos Contaminados: Universidad Autónoma de Chihuahua. México. 2010. 9 pp.

Disponible en: Google académico

<http://www3.uacj.mx/ICB/redcib/Toctli/Documents/Volumenes%20Anteriores/Fitorremediacion%20como%20una%20alternativa%20para%20el%20tratamiento%20de%20suelos%20contaminados.pdf>

10. CECOTTI, M.; MORELLI, I. & COPPOTELLI, B. Estudio metabólico y molecular de cultivos bacterianos degradadores de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y resistentes a metales. Centro de Investigación y Desarrollo en Fermentaciones Industriales. Argentina. 2015, p. 68

Disponible en: Google Académico

<https://www.redalyc.org/pdf/863/86340672007.pdf>

11. DELGADILLO, Angélica; GONZALEZ, Cesar; GARCIA, Francisco; VILLAGOMEZ, José & AVECEDO, Otilio. Fitorremediación: una Alternativa para Eliminar la Contaminación: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. 2011, 612 pp.

Disponible en:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S18700462201100020002&lang=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S18700462201100020002&lang=es)

12. COVARRUBIA, Sergio; GARCIA, José & PEÑA, Juan. El papel de los microorganismos en la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. 2015. 45 pp.

Disponible en: Google Académico

<http://repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/1810/1/EI%20papel%20de%20los%20microorganismos%20en%20la%20biorremediaci%C3%B3n%20de%20suelos%20contaminados%20con%20metales%20pesados.pdf>

13. CUI, Jian, WANG, Wenqiang; PENG, Ying; ZHOU, Fengwu; HE, Dongyi; WANG, Jingjing; CHANG, Yajun; YANG, John; ZHOU, Jing; WANG, Wei; YAO, Dongrui; DU, Fengfeng; LIU, Xiaojing & ZHAO, Hongting. Effects of simulated Cd deposition on soil Cd availability, microbial response, and crop Cd uptake in the passivation-remediation process of Cd-contaminated purple soil. Science of the Total Environment. Volumen 683, 15 September. China. 2019. 792 pp.

Disponible en:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719323332?via%3](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719323332?via%3Dihub)

[Dihub](#)

14. CRITALDI, Antonio; OLIVERI, Gea; COSENTINO, Luciano; MAUROMICALE, Giovanni; COPAT, Chiara; GRASSO, Alfina; ZUCCARELLO, Pietro; FIORE, Maria; RESTRUCCIA, Cristina & FERRANTE, Magherita. Phytoremediation potential of Arundodonax (Giant Reed) in contaminated soil by heavy metals. Environmental Research. Volumen 185, June. 2020. 16 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935120303200?via%3Dihub>

[b](#)

15. DÍAZ, Claudio. Investigación cualitativa y análisis de contenido temático. Orientación intelectual de revista Universo: Instituto de Estudios Humanísticos - Universidad de Talca. Chile.2017.

Disponible en: Google Académico

<https://revistas.ucm.es/index.php/RGID/article/view/60813>

16. DELGADO, Dulce et al. Presencia de metales pesados en Pato Mexicano (Anas diazi Ridgway). 2019, p. 90

Disponible en:

<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=cf42e4ca-9262-4876-a43b-0f4cd8e41070%40pdc-v-sessmgr05>

17. ESPINEL, Sebastián. Evaluación de la capacidad de biotransformación de la sal sódica del ácido hyodesoxicólico por parte de actinomycetos aislados de muestras de suelos de las provincias de Pichincha y Morona Santiago. Quito. 2016. 69 pp.

Disponible en: Google académico

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12143/1/UPS-QT09663.pdf>

18. FLORIS, Barbara; GALLONI, Pierluca, SABUZI, Federica & CONTE, Valeria. Metal systems as tools for soil remediation: InorgànicaChimicaActa. Volumen 445, Part 2, 30 January. Italy. 2017. 445 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020169316301554?via%3Dihub>

19. GONG, Yanyan, ZHAO, Dongye & WANG, Quilin. An overview of field-scale studies on remediation of soil contaminated with heavy metals and metalloids: Technical progress over the last decade. Volumen 147, 15 December. 2018. 460 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135418308212>

20. GOVIN, Alexander, et al. Caracterización de bacterias resistentes a metales pesados aisladas de un residual minero cubano: Universidad de La Habana. Cuba. 2020, p.188

Disponible en:

<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=15&sid=04dce752-7560-4622-b444-d47b961dd019%40pdc-v-sessmgr02>

21. GUZMAN, Eduardo & ALEJO, Oscar. The case study: an effective methodology for business research. 2017.

Disponible en: Google académico

<http://www.revistaespacios.com/a17v38n51/a17v38n51p10.pdf>

22. GONZALEZ, et al. Definitions and Difficulties in Scientific Research Regarding Aspects of Soil Phytoremediation. 2017, p.4

Disponible en:

<http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=20&sid=04dce752-7560-4622-b444-d47b961dd019%40pdc-vsessmgr02&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZI#AN=123370438&db=fua>

23. GUERRA, Beatriz; SANDOVAL, Adriana; MANRIQUE, Luigi & BARRERA, Sandra. Preliminary tests in vitro of biosorption cadmium by native fungal strains of contaminated soil. Innovaciencia. Facultadciencia. Exacta física naturales. Colombia. 2014. 58 pp.

Disponible en: Google académico

<https://core.ac.uk/download/pdf/228861695.pdf>

24. GUAN, Chung; HU, Anyi & PING, Chang. Stratified chemical and microbial characteristics between anode and cathode after long-term operation of plant microbial fuel cells for remediation of metal contaminated soils. Science of the total environment. Volume 670, 20 June. China. 2019. 594 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719310782?via%3Dihub>

25. HERNADEZ, Roberto et al. Metodología de la Investigación. México. Sexta Edición, 2014, 634 pp.

Disponible en: Google Académico

[https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_-\\_roberto\\_hernandez\\_sampieri.pdf](https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf)

26. HERNÁNDEZ, Magda. Bioacumulación de cadmio en rye grass (*Lolium perenne* L. Var. Nui) sembrado en tres sustratos en condiciones de invernadero. Perú. 2016. 67 pp.

Disponible en: Google académico

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2790/T01-H47-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

27. HERRERA RODRÍGUEZ, José Ignacio, GUEVARA FERNÁNDEZ, Geycell Emma, MUNSTERDE LA ROSA, Harold. Los diseños y estrategias para los estudios cualitativos. Un acercamiento teórico-metodológico. 2015, p 14

Disponible en:

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1608-89212015000200013](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1608-89212015000200013)

28. JIA, Hui; WANG, He; LU, Haoliang; JIANG, Shan; DAI, Minyue; LIU, Jingchun & YAN, Chongling. Rhizodegradation potential and tolerance of *Avicennia marina* (Forsk) Vierh in phenanthrene and pyrene contaminated sediments. Volumen 110, Issue 1, 15 September. China. 2016. 118 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X16304799>

29. JARA, Enoc; GOMEZ, José; MONTAYA, Hydee; CHANCO, Magda; MARIANO, Mauro & CANO, Noema. Phytoremediation capacity of five high andean species from soils contaminated with heavy metals. *Revista de Ciencias Biológicas UNMSM*. Perú. 2014. 154 pp.

Disponible en:

<http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v21n2/a04v21n2.pdf>

30. KHALID Sana; SHAHID, Muhammad; KHAN, Nabeel; MURTAZA, Behzad; BIBI, Irshad & DUMAT, Camille. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. *Revista de exploración geoquímica*. 2017, 22 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375674216303818>

31. LONDOÑO, Luis; LONDOÑO, Paula & MUÑOZ, Fabián. Risk of Heavy Metals in Human and Animal Health: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2016. 153 pp.

Disponible en:

<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>

32. LI, Xinxin; WANG, Xinlei; CHEN, Yuedong; YANG, Xiaoyong & CUI, Zhaojie. Optimization of combined phytoremediation for heavy metal contaminated mine tailings by a field-scale orthogonal experiment. *Exotoxicology and Environmental Safety*. Volumen 168, 30 January. China. 2019. 8pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014765131831011X>

33. LOZADA, José. Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. Universidad Tecnológica Indoamérica, Ecuador. 2014, p.39

Disponible en: Google Académico

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>

34. MA, Yongsong; LI, Xi; MAO, Hongmin; WANG, Bing & WANG, Peijie. Remediation of hydrocarbon–heavy metal co-contaminated soil by electrokinetics combined with biostimulation. *Chemical Engineering Journal*. Volume 353, 1 December. China. 2018. 418 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S138589471831372X>

35. MCWILLIAMS, Andrew; SCHOEN, Maximilian; KRULL, Constance; BILANCIA, Justin; BACO, Marguerite; PENA, Edwin; MCCALL, Andrea; HOWARD, Daniel & ROBERGE, Jason. Combining Lean and Applied Research methods to improve rigor

and efficiency in acute care outcomes research: A case study. Contemporary clinical trials Communications. Volume 14, June. USA. 2019. 4 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451865418301327>

36. MARRERO, Jeannette; AMORES, Isis & COTO, Orquídea. Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña. Cuba. 2012.61 pp.

Disponible en: Google Académico

<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223124988007.pdf>

37. MAHAR, Amanullah, WANG, Ping; ALI, Amjad; KUMAR, Mukesh; HUSSAIN, Altaf; WANG, Quan; LI, Ronghua & ZHANG, Zengqiang. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. Ecotoxicology and Environmental Safety. Volumen 126, April. China. 2016. 121 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651315302116?via%3Dihub>

38. MEJÍA SANDOVAL, Gregory. Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. Universidad CES Medellín, Colombia. 2006, p.99

Disponible en Google Académico:

<https://www.redalyc.org/pdf/3214/321428096010.pdf>

39. NOREÑA, Ana, ALCARAZ, Noemí; GUILLERMO, Juan & REBOLLEDO, Dinora. Aplicabilidad de los Criterios de Rigor y Éticos en la Investigación Cualitativa: Universidad de La Sabana Cundinamarca, Colombia. 2012. 268 pp.

Disponible en: Google Académico



<https://www.redalyc.org/pdf/741/74124948006.pdf>

40. ORDUÑO, et al. Biomineralización y sus Aplicaciones: Congreso Estatal de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Sonora. 2019. 61 pp.

Disponible en: Google Académico

[http://www.congresociencias.uson.mx/MEMORIAS\\_CECEN\\_2019c.pdf#page=68](http://www.congresociencias.uson.mx/MEMORIAS_CECEN_2019c.pdf#page=68)

41. PARRA, Martha & BRICEÑO, Isías. Aspectos éticos en la investigación cualitativa: Universidad Juárez del Estado de Durango. 2013. 120pp.

Disponible en: Google Académico

[https://scholar.google.com.pe/scholar?hl=en&as\\_sdt=0%2C5&as\\_vis=1&q=Aspectos+%C3%A9ticos+en+la+investigaci%C3%B3n+cualitativa&btnG=ht](https://scholar.google.com.pe/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&as_vis=1&q=Aspectos+%C3%A9ticos+en+la+investigaci%C3%B3n+cualitativa&btnG=ht)

42. PRATIMA, Gupta & DIWAN, Batul. Bacterial Exopolysaccharide mediated heavy metal removal: A Review on biosynthesis, mechanism and remediation strategies. 2016. 71 pp.

Disponible en: Google Académico

<https://doi.org/10.1016/j.btre.2016.12.006>

43. PEREZ, Teresa; VALVERDE, Carmen & JIMENEZ, Concepción. Biomineralización bacteriana de magnetita y aplicaciones. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. 2010.133 pp.

Disponible en: Google Académico

[http://www.ehu.eus/sem/seminario\\_pdf/SEMINARIO\\_SEM\\_7\\_058.pdf](http://www.ehu.eus/sem/seminario_pdf/SEMINARIO_SEM_7_058.pdf)

44. RODRIGUEZ, Daniela. Occupational poisoning due to heavy metals: Universidad de Oriente. Volumen 21 n° 12. Cuba. 2017. 14 pp.

Disponible en:

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1029-30192017001200012](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012)

45. RAMÍREZ, Ramiro; GIRALDO, Daniela & BARRERA, Dairo. Fitoextracción de cadmio con hierba mora (*Solanum nigrum nigrum* L.) en suelos cultivados con cacao (*Theobroma cacao* L.). Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 2018. 424 pp.

Disponible en:

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S012028122018000300420&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S012028122018000300420&lng=en&nrm=iso&tlng=es)

46. RAMÍREZ, Ramiro; GOMEZ, Juan; GUAQUETA, Juan & GAVIRIA, Daniel. Fitoextracción de oro y recuperación de suelos degradados por la minería: Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 2017, 579 pp.

Disponible en:

<http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v66n4/0120-2812-acag-66-04-00574.pdf>

47. RODRIGUEZ, et al. Comparación entre bioestimulación y bioaumentación para la recuperación de suelos contaminados con diesel. Universidad de Antioquia. Colombia. 2012, p. 108.

Disponible en:

<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=467b2edd-915c-42e3-9059-d2d74c9fbc04%40sessionmgr4008>

48. SALGADO, Ana. Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos: Universidad de San Martín de Porres. Perú. 2007. 78 pp.

Disponible en:

<http://www.scielo.org.pe/pdf/liber/v13n13/a09v13n13.pdf>

49. SOBRINO, María y RUMBO, José. La revisión sistemática: pluralidad de enfoques y metodologías. Volume 28, Issue 6, November–December. España. 2018. 393 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1130862118302201?via%3Dihub>

50. SONG, Biao; ZENG, Guangming; Gong, Jilai; LIANG, Jie; XU, Piao; LIU, Zhifeng; ZHANG, Yi; ZHANG, Chen; CHENG, Min; LIU, Shujing; YI, Huan & REN, Xiaoya. Evaluation methods for assessing effectiveness of in situ remediation of soil and sediment contaminated with organic pollutants and heavy metals: Hunan University, Changsha. Volumen 105, August. China. 2017. 55pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412017301435?via%3Dihub>

51. SOTO, Catherine, GUTIERREZ, Sonia; REY, Alexandra & GONZALEZ, Edwin. Biotransformación de metales pesados presentes en lodos ribereños de los ríos Bogotá y Tunjuelo. Universidad Antonio Nariño. Colombia. 2010, p. 205.

Disponible en: Google Académico

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/nova/article/view/450/1101>

52. SANTANA, Amairani; SANCHEZ, Alejandro; ROMERO, Yanet; TOLEDO, Erubiel; ORTEGA, Santo & TORIBIO, Jeiry. Aislamiento e identificación de bacterias tolerantes y bioacumuladoras de metales pesados, obtenidas de los jales mineros El Fraile, México: Universidad Autónoma de Guerrero. México. 2019. 75 pp.

Disponible en:

<http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v38n1/2395-8030-tl-38-01-67.pdf>

53. STELIGA, Teresa y KLUK, Dorota. Application of Festucaarundinacea in phytoremediation of soils contaminated with Pb, Ni, Cd and petroleum hydrocarbons. Ecotoxicology and Environmental Safety. Volume 194, May. Polonia-Europa. 2020. 12 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651320302487?via%3>

[Dihub](#)

54. SHAH, Vijendra & DAVEREY, Achlesh. Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. Environmental Technology & Innovation. Volumen 18, May. India. 2020. 16 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186419308107?via%3>

[Dihub](#)

55. TIRRY, N.; Tahri, N.; SAYEL, H.; KOUCHOU, A.; BAHAFID, W.; ASRI, M. & GHACHTOULI, N. Screening of plant growth promoting traits in heavy metals resistant bacteria: Prospects in phytoremediation. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology. Volumen 16, Issue 2, December. Morocco-Africa. 2018. 619 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687157X18300635?via%3Dihub>

[b](#)

56. VALERA, Varela & Vives Varela, T. Autenticidad y calidad en la investigación educativa cualitativa: multivocalidad. Investigación En Educación Médica: Facultad de Medicina. México. 2016, 198 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2007505716300072>

57. VERA, Samuel. Remediación de suelo contaminado por derrame de concentrado de cobre empleando ácidos húmicos, en el Distrito de Coporaque, provincia espinar, departamento Cusco. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú. 2018. 86 pp.

Disponible en:

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7563/AMvegasl.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

58. WANG, Ying; LOU, Yao; ZENG, Guoquan; WU, Xudong; WU, Bin; LI, Xue & XU, Heng. Characteristics and in situ remediation effects of heavy metal immobilizing bacteria on cadmium and nickel co-contaminated soil: Sichuan University, Chengdu. *Exotoxicology and Environmental Safety*. Volume 192, 1 April. China. 2020, 9pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651320301330?via%3Dihub>

59. XIAODONG, Ma; LI, Xia; LIU, Junxiang; CHENG, Yunhe; ZOU, Junzhu; ZHAI, Feifei; SUN Zenyuan & HA, Lei. Soil microbial community succession and interactions during combined plant/white-rot fungus remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Science of the total environment*. Volumen 752, 15 January. China. 2021. 12 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720357533?via%3Dihub>

60. ZHAO, et al. Efectos del ácido etilendiaminedisuccínico y del ácido nitrilotriacético sobre la eficacia de la fitoestabilización del Pb por *Athyriumwardii*(Hook.): Cultivado en suelos contaminados con Pb. *Revista de gestión ambiental*. 2016, p.94.

Disponible en:

<https://scihub.tw/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716304790>

61. ZHAO, Xingmin; DO, Hoai; ZHOU, Ye; ZHANG, Xiufang; ZHAO, Shujie; LI, Mingtang & WU, Di, *Rahnellasp*. LRP3 induces phosphate precipitation of Cu (II)

and its role in copper-contaminated soil remediation. Jilin Agricultural University, Changchun.China. 2019. 140 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389419300287>

62. ZHANG, Hanyan; YUAN, Xingzhong; XIONG, Ting; WANG, Hou& JIANG, Longbo. Bioremediación de suelos contaminados con metales pesados y pesticidas: factores de influencia, mecanismos y métodos de evaluación. Revista de Ingeniería Química. Universidad de Hunan. China. 2020, 19 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S138589472031785X>

63. ZHANG, Jing; JUMARI, Deepika; FANG, Chaolin& ACHAL, Varenyam. Combining the microbial calcite precipitation process with biochar in order to improve nickel remediation. Applied Geochemistry.Volumen 103, April. China. 2019. 71 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0883292719300514?via%3>

[Dihub](#)

64.ZAHOOR, Mahwish; IRSHAD, Muhammad; RAHMAN, Hazir; QASIN, Muhammad; GUL, Sahib; QADIR, Muhammad& HUSSANIN, Answar. Allviation of heavy toxicity and phytostimulation of Brassica campestris by endophyticMucorsp. MHR-7. Ecotoxicology and Environmental Safety. Volume 142.Pakistan-Asia. 2017. 149 pp.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651317302038?via%3>

[Dihub](#)

## ANEXOS

### ANEXO 1

Cuadro de eficiencia de remediación microbiana y fitorremediación según los artículos revisados.

Método Biológico	Autor	Eficiencia
Remediación Microbiana	(Cui, et al., 2019).	Eficiencia 61,0%
	(Xiaodong, et al., 2020).	Eficiencia 65,5%
	(Guan, Hu y Yu, 2019).	Eficiencia 96,8%
	(Zhang, et al., 2019).	Eficiencia 66%
	(Betancourt, et al, 2018).	Eficiencia 100%
Fitorremediación	(Li, et al., 2019).	Eficiencia 59,7%
	(Steliga y Kluk, 2020).	Eficiencia 70,6%
	(Jara Peña, et al., 2014).	Eficiencia 68.5%
	(Amezcuca-Ávila, Hernández-Acosta y Vargas, 2020).	Eficiencia 66%
	(Zahoor, et al., 2017).	Eficiencia 87%

## ANEXO 2

### Ficha de Técnicas e instrumentos de recolección de datos

	<h1>FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO</h1>
--	---

**TITULO:** Efectos de la deposición de Cd simulada sobre la disponibilidad de Cd en el suelo, microbiana respuesta, y la absorción de Cd del cultivo en el proceso de pasivación-remediación de Suelo morado contaminado con Cd

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACION</b> 2019	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b> China
----------------------	-----------------------------------	--------------------------------------

<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Experimental		<b>AUTORES:</b> Jian Cui et al
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Deposición de Cd atmosférico, Fracción de Cd del suelo, Propiedad microbiana del suelo, Captación de Cd de cultivos, Análisis de coeficiente de ruta	
<b>OBJETIVO:</b>	En este estudio, se utilizaron ocho enmiendas de suelo en un suelo púrpura contaminado con Cd para investigar su impactos en la disponibilidad de Cd del suelo,	
<b>METALES PESADOS ENCONTRADOS :</b>	Suelo contaminado con Cadmio (Cd)	
<b>TIPO DE METODO BIOLÓGICO:</b>	Remediación Microbiana	
<b>RESULTADOS:</b>	Los resultados demostraron que la deposición de Cd atmosférico simulada aumentó el Cd de alto riesgo del suelo (HR, Cd intercambiable y carbonato) y disminuyó la fracción de Cd de riesgo medio del suelo y los mayores efectos directos sobre la absorción de Cd de los cultivos fueron 0,94 y 0,66 para la mostaza y el maíz según el análisis del coeficiente de trayectoria, respectivamente.	
<b>CONCLUSIONES:</b>	La preparación (OCP) pareció ser eficaz para la remediación del suelo púrpura contaminado con Cd debido a su potencial para aumentar el HR-Cd y reducir la absorción de MR-Cd y Cd del cultivo. Asimismo, se debe considerar la aplicación de fertilizantes nitrogenados para la remediación de los suelos contaminados con Cd, ya que se demostró el aporte de nitrógeno. para promover la salud del suelo en condiciones elevadas de Cd.	





## FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO

**TITULO:** Sucesión e interacciones de la comunidad microbiana del suelo durante planta / hongo de podredumbre blanca remediación de hidrocarburos aromáticos policíclicos

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACION</b> 2020	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b> China
----------------------	-----------------------------------	--------------------------------------

<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Experimental	<b>AUTORES:</b> Xiaodong Ma et al
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Comunidad microbiana, Suelo contaminado con hidrocarburos aromáticos policíclicos, <i>Salix viminalis</i> , <i>Crucibulum laeve</i> , Remediación combinada Interacción.
<b>OBJETIVO:</b>	Evaluar la combinación de la inoculación de <i>C. laeve</i> y <i>S. viminalis</i> para la eliminación de PAH del suelo
<b>METALES PESADOS ENCONTRADOS :</b>	Suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)
<b>TIPO DE METODO BIOLÓGICO:</b>	Remediación Combinada
<b>RESULTADOS:</b>	La combinación de la inoculación de <i>Crucibulum laeve</i> y <i>Salix viminalis</i> logró sinérgicamente las mayores eficiencias de eliminación de hidrocarburos aromáticos policíclicos del suelo a un pH de 7,6 y a una temperatura de 25 ° C teniendo una eficiencia de 65,5% en 60 días
<b>CONCLUSIONES:</b>	En general, el presente estudio arroja nueva luz sobre las complejas interacciones implicadas en plantas combinadas / Remediación de WRF y sus efectos sobre la degradación de los HAP del suelo. Además, estos hallazgos son de gran importancia para dilucidar los mecanismos subyacentes de esta estrategia de biorremediación. Asimismo, la combinación de la inoculación de <i>C. laeve</i> y <i>S. viminalis</i> logró sinérgicamente las mayores eficiencias de eliminación de PAH del suelo



## FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO

**TITULO:** Características químicas y microbianas estratificadas entre ánodo y cátodo después de la operación a largo plazo de células de combustible microbianas de la planta para remediación de suelos contaminados con metales

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACION</b> 2019	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b> China
----------------------	-----------------------------------	--------------------------------------

<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Experimental	<b>AUTORES:</b> Chung Yu Guan et al
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Planta de pila de combustible microbiana, Cromo remediación del suelo, proceso bioelectroquímico, comunidad microbiana electrodo
<b>OBJETIVO:</b>	Investigar el uso del sistema PMFC para la remediación de suelos contaminados con cromo hexavalente
<b>METALES PESADOS ENCONTRADOS :</b>	Suelo contaminado con Cromo (Cr)
<b>TIPO DE METODO BIOLÓGICO:</b>	Remediación Microbiana
<b>RESULTADOS:</b>	El tratamiento de Cr y el análisis de los tejidos vegetales mostró que el Cr se presenta más en las raíces que en los tallos y hojas, obteniendo una eficiencia de 96.8%, empleando plantas de humedales pennisetum alopecuroide y phragmites communis.
<b>CONCLUSIONES:</b>	Este estudio exploró los efectos electrocinéticos, el destino del Cr y el cambio en la comunidad microbiana después de la operación a largo plazo de PMFC para tratar el Cr. (VI) suelo contaminado



## FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO

**TITULO:** Combinando el proceso de precipitación de calcita microbiana con biocarbón para mejorar remediación de níquel

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACION</b> 2019	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b> China
----------------------	-----------------------------------	--------------------------------------

<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Experimental	<b>AUTORES:</b> Zhang et al
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Biochar; calcita biogénica; ureasa; níquel; biorremediación
<b>OBJETIVO:</b>	En el presente estudio, se agregó biocarbón al proceso MICP para investigar su efecto en la remediación del níquel (Ni)
<b>METALES PESADOS ENCONTRADOS :</b>	Suelo contaminado con Níquel (Ni)
<b>TIPO DE METODO BIOLÓGICO:</b>	Remediación Microbiana
<b>RESULTADOS:</b>	Asimismo, en el estudio la precipitación de calcita inducida microbianamente (MICP), obtuvo una eficiencia inicial de 89% y al combinar con biocarbón de hojas de <i>Cinnamomum para</i> la remediación del níquel (Ni), pero después se obtuvo una eficiencia de 66% debido a que, el biocarbón tuvo un efecto inhibidor en la (MICP)
<b>CONCLUSIONES:</b>	La precipitación de calcita inducida microbianamente (MICP) es un método de remediación microbiana prometedor que comprende buenas perspectivas en remediación de suelos. No obstante, se conoce en el estudio es que el biocarbón interfiere en la precipitación de calcita inducida microbianamente (MICP), disminuyendo la eficiencia de la remediación de suelos por metales pesados



## FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO

**TITULO:** Biodegradación del Fungicida Clorotalonil en Áreas Costeras del Caribe Colombiano Adecuadas para Cultivo de Banano

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACION</b> 2018	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b> Colombia
----------------------	-----------------------------------	---

<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Experimental	<b>AUTORES:</b> Betancourt et al
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Bioaumentación, Cinética de Degradación, Clorotalonil, Selección de Microorganismos y Fungicidas
<b>OBJETIVO:</b>	Evaluar la degradación del CHT en suelos de una zona tropical costera, bajo condiciones de atenuación natural y bioaumentación con microorganismos nativos
<b>METALES PESADOS ENCONTRADOS :</b>	Suelos contaminados con plaguicidas
<b>TIPO DE METODO BIOLÓGICO:</b>	Remediación Microbiana
<b>RESULTADOS:</b>	En su estudio de investigación los ensayos se realizaron por triplicado a un pH de 6,5 y a una temperatura de 30 ° C. En tal sentido, los resultados demostraron la efectividad de los ensayos de degradación del clorotalonil bajo condiciones de bioaumentación con los microorganismos nativos seleccionados en el estudio, en donde, después de 21 días la degradación alcanzó una eficiencia de 100%.
<b>CONCLUSIONES:</b>	Se demostró la efectividad del tratamiento de bioaumentación y resultó un método útil para la biorremediación de suelos contaminados con metales usando microorganismos nativos, donde se obtuvo una eficiencia de 100%.



## FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO

**TITULO:** Optimización de la fitorremediación combinada para metales pesados contaminados mina de relaves mediante un experimento ortogonal a escala de campo

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACION</b> 2019	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b> China
----------------------	-----------------------------------	--------------------------------------

<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Experimental	<b>AUTORES:</b> Li Xinxin et al
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Planta, Microorganismo, Enmienda, Fitorremediación, Experimento ortogonal
<b>OBJETIVO:</b>	Este estudio proporcionó una combinación optimizada de plantas, microorganismos y materiales de enmienda en el campo de la fitorremediación mejorada para compensar las deficiencias de la fitorremediación a largo plazo para metales pesados
<b>METALES PESADOS ENCONTRADOS :</b>	Suelos contaminados con Pb, Cd, Cu, Zn y Mg
<b>TIPO DE METODO BIOLÓGICO:</b>	Fitorremediación
<b>RESULTADOS:</b>	En la aplicación combinada de plantas, microorganismos y enmiendas que benefició a la fitorremediación de metales pesados, se emplearon la planta de <i>soja</i> y <i>kochia</i> , microorganismos <i>Mucor circinelloides</i> , <i>Trichoderma asperellum</i> , <i>Mortierella sp.</i> y enmienda de “casará de arroz más la ceramsite”, en distintas proporciones. Obteniendo una eficiencia de 59.7% durante 105 días, en comparación a las demás combinaciones
<b>CONCLUSIONES:</b>	Se concluye que la aplicación combinada de plantas, microorganismos y enmiendas en la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, puede ser una alternativa ecológica a las tecnologías físico-químicas convencionalmente costosas y perjudiciales para el medio ambiente



## FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO

**TITULO:** Aplicación de Festuca arundinacea en la fitorremediación de suelos contaminado con Pb, Ni, Cd e hidrocarburos de petróleo

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACION</b> 2020	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b> Polonia
----------------------	-----------------------------------	--

<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Experimental	<b>AUTORES:</b> Steliga y Kluk
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Fitorremediación, Festuca arundinacea, Tierra Hidrocarburos totales de petróleo, Metales pesados, Prueba toxicológica
<b>OBJETIVO:</b>	Evaluar si la Festuca arundinacea que se empleó para la fitorremediación puede ser un elemento novedoso, que permita reducir los contaminantes (Pb, Ni, Cd y TPH) en los suelos estudiados.
<b>METALES PESADOS ENCONTRADOS :</b>	Suelos contaminados con Pb, Ni y Cd
<b>TIPO DE METODO BIOLÓGICO:</b>	Fitorremediación
<b>RESULTADOS:</b>	Los experimentos de fitorremediación realizados en el proceso de fertilización fueron cultivados en suelos con diversas concentraciones empleando las plantas <i>Festuca arundinacea</i> , obteniendo una eficiencia de 70,6%.
<b>CONCLUSIONES:</b>	Los estudios realizados de material vegetal indican que los metales pesados recolectadas por Festuca arundinacea se acumularon principalmente en tejidos radiculares en el siguiente orden descendente: Cd <Ni <Pb, evidenciando translocación débil del metal de las raíces a los brotes, lo que sugiere que F. Arundinacea actúa como fitoestabilizador.



## FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO

**TITULO:** Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACION</b> 2014	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b> Perú
----------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Experimental	<b>AUTORES:</b> Jara Peña et al
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Fitorrestauración; plantas peruanas; ecosistemas andinos; fitoestabilización; relave de mina
<b>OBJETIVO:</b>	Evaluar la mayor eficiencia de acumulación de plomo y cadmio empelando las cinco especies altoandinas en el estudio
<b>METALES PESADOS ENCONTRADOS :</b>	Suelos contaminados con Pb y Cd
<b>TIPO DE METODO BIOLÓGICO:</b>	Fitorremediación
<b>RESULTADOS:</b>	La más alta acumulación de plomo y de zinc fue obtenido en las raíces, con 2015.1 mg kg <sup>-1</sup> de materia seca (MS) y 1024.2 mg kg <sup>-1</sup> MS, respectivamente con el tratamiento de 100% RM. En <i>Lupinus ballianus</i> la más alta acumulación de cadmio fue obtenido en raíces con 287.3 mg kg <sup>-1</sup> MS con el tratamiento de 100% RM. Pero la mayor acumulación de zinc fue obtenida con el tratamiento de 60% RM. <i>Fuertesimalva echinata</i> obtuvo el mayor índice de tolerancia (IT) al tratamiento de 100% RM, con un IT de 41.5%, <i>Solanum nitidum</i> y <i>Lupinus ballianus</i> presentaron un IT mediano con índices de 68.5 y 67.9%, respectivamente
<b>CONCLUSIONES:</b>	En conclusión, la producción de biomasa en las cinco especies disminuyó significativamente con el tratamiento de 100% de relave de mina (RM). En <i>Solanum nitidum</i> , <i>Brassica rapa</i> , <i>Fuertesimalva echinata</i> , <i>Urtica urens</i> y <i>Lupinus ballianus</i> , los mayores valores de acumulación de plomo y cadmio fueron obtenidas en las raíces, con el tratamiento de 100% RM debido al proceso de fitoestabilización



## FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO

**TITULO:** Fitorremediación de residuos de minas contaminados con metales pesados

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACION</b> 2020	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b> México
----------------------	-----------------------------------	---------------------------------------

<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Experimental	<b>AUTORES:</b> Amezcua et al
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Lolium perenne, Poa pratensis, composta, extracción, jal
<b>OBJETIVO:</b>	En este estudio se evaluó la capacidad fitorremediadora de Lolium perenne y Poa pratensis establecidos en jales mineros con la adición de composta
<b>METALES PESADOS ENCONTRADOS :</b>	Suelos contaminados por Cd Mg, Pb, Zn y Ni.
<b>TIPO DE METODO BIOLÓGICO:</b>	Fitorremediación
<b>RESULTADOS:</b>	Por otro lado, en el método de fitorremediación existe una variación, donde los tratamientos de composta favorecieron la extracción de metales a un pH de 7 y a una temperatura de 75 °C empleando la planta de Lolium perenne y Poa pratensis más la combinación de composta (alfalfa y excreta de borrego), se obtuvo una eficiencia de 66% durante 103 días
<b>CONCLUSIONES:</b>	La adición de composta en el jal de mina permitió la germinación, el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como una mayor producción de biomasa. Asimismo, L. perenne fue la especie que presentó mayor crecimiento y mayor cantidad de manganeso y cobre. Por ella, se recomienda la adición de composta y L. perenne para el saneamiento de jales.





## FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO

**TITULO:** Alivio de la toxicidad por metales pesados y fitoestimulación de Brassica campestris L. por Mucor sp. MHR-7

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACION</b> 2017	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b> Pakistán
----------------------	-----------------------------------	---

<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Experimental	<b>AUTORES:</b> Zahoor Mahwish et al
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Metales pesados, Biorremediación, Biotransformación, Fitoestimulación, Endófitos, Mucor sp. MHR-7
<b>OBJETIVO:</b>	El propósito del estudio fue aislar hongos endofíticos de plantas cultivadas en suelo contaminado con metales pesados y cribarlas por su capacidad para tolerar múltiples metales pesados
<b>METALES PESADOS ENCONTRADOS :</b>	Suelo contaminado por cromo, manganeso, cobalto, cobre y zinc
<b>TIPO DE METODO BIOLÓGICO:</b>	Fitorremediación
<b>RESULTADOS:</b>	El método de fitorremediación tiene una eficiencia de 87%, debido que, la cepa fue capaz de eliminar los metales pesados usando Mucor sp. "Hongo endofíticos" de la planta Brassica campestris L. cultivadas en suelo contaminado, asimismo, se observó una tendencia a la disminución del potencial de biorremediación, lo cual, la cepa eliminó los metales por biotransformación y acumulación.
<b>CONCLUSIONES:</b>	Los hongos endofíticos son valiosas herramientas naturales. para remediar varios metales pesados al mismo tiempo que conducen a la planta promoción del crecimiento y reducción de la toxicidad de los metales. Mejoran la planta crecimiento indirecto al reducir la acumulación de metales en los tejidos vegetales. ya que bloquean los metales pesados haciéndolos menos disponibles para las plantas y directamente liberando sustancia de crecimiento vegetal



## FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO

**TITULO:** Potencial Fitorremediador de especie *Amaranthus Caudatus* como alternativa para suelo contaminado con Plomo y Cromo

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACION</b> 2019	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b> Perú
----------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Experimental	<b>AUTORES:</b> Aimituma y Ferrua
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	<i>Amaranthus Caudatus</i> , Fitorremediacion, Plomo, Cromo, Suelo, Remoción
<b>OBJETIVO:</b>	El objetivo de este trabajo fue determinar el potencial fitorremediador de especie <i>Amaranthus Caudatus</i> en suelos contaminados por Pb y Cr.
<b>METALES PESADOS ENCONTRADOS :</b>	Plomo (Pb) y Cromo (Cr)
<b>TIPO DE METODO BIOLÓGICO:</b>	Fitorremediacion
<b>RESULTADOS:</b>	En el tratamiento de Cr no hubo cambios relevantes en comparación al tratamiento de Pb que si se percibió mejora alguna. Por ello, la planta de <i>Amaranthus Caudatus</i> muestra ser un potencial removedor y fitorremediador de suelos con Plomo que de Cromo Uno de los factores importantes a considerar en el proceso de fitorremediación es la edad de la planta, en 60 días de tratamiento se llegó a remover hasta un 75% de plomo en el suelo y en cromo hasta un 20%.
<b>CONCLUSIONES:</b>	La especie <i>Amaranthus Caudatus</i> posee potencial fitorremediador para remover metales pesados del suelo, puede concentrar en sus tejidos Plomo y cromo, remueve mejor el Pb según este estudio y de esta manera remediar el suelo contaminado



## FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO

**TITULO:** Cribado de rasgos promotores del crecimiento vegetal en metales pesados resistentes bacterias: perspectivas en fitorremediación

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACION</b> 2018	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b>
----------------------	-----------------------------------	-----------------------------

<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Experimental	<b>AUTORES:</b> Tirry et al
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Fitorremediación, Metales pesados, Bioaumentación, Bacterias promotoras del crecimiento de las plantas
<b>OBJETIVO:</b>	En este estudio, aislamos veintisiete (NF1-NF27) bacterias resistentes al cromo. Las bacterias fueron analizadas para resistencia de ciertos metales pesados
<b>METALES PESADOS ENCONTRADOS :</b>	Suelo contaminado por Cr, Zn, Cu, Ni, Pb y Co
<b>TIPO DE METODO BIOLÓGICO:</b>	Remediación Microbiana
<b>RESULTADOS:</b>	Los resultados mostraron que los aislados bacterianos resisten los metales pesados y reducen el Cr (VI), con diferentes capacidades. El 37,14% de los aislados tiene la capacidad de solubilizar el fosfato, el 28,57% son capaces de producir sideróforos y todos los aislados tener la capacidad de producir IAA. Aislar NF2 que mostró alta resistencia a metales pesados y crecimiento de plantas
<b>CONCLUSIONES:</b>	Las bacterias aisladas resistentes a múltiples metales parecían ser bacterias promotoras del crecimiento de plantas eficientes que podrían producir IAA, sideróforos, solubilizan el fosfato. Además, la capacidad de estas bacterias para reducir el Cr (VI) podrían reducir la toxicidad del Cr (VI) y apoyar el crecimiento de las plantas en suelos contaminados con Cr



## FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO

**TITULO:** Potencial de fitorremediación de Arundo donax (Giant Reed) en contaminación de suelos por metales pesados

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACION</b> 2020	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b> Italia
----------------------	-----------------------------------	---------------------------------------

<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Experimental	<b>AUTORES:</b> Cristaldi Antonio et al
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Remediación ambiental, Plantas verdes, Metales pesados, Microorganismos, Fitorremediación, Contaminación de suelo
<b>OBJETIVO:</b>	Realizar pruebas invitro donde tres microorganismos fueron expuestos a ocho metales pesados diferentes con el fin de evaluar la capacidad de resistencia, crecimiento y bioacumulación de cada metal
<b>METALES PESADOS ENCONTRADOS:</b>	Suelo contaminado por Ni, Cd, Cu, Zn As, Pb y Hg
<b>TIPO DE METODO BIOLÓGICO:</b>	Fitorremediación
<b>RESULTADOS:</b>	Entonces, estos resultados demuestran la idoneidad tanto de A. donax como de A. donax micorrizada con T. harzianum para los procesos de fitorremediación
<b>CONCLUSIONES:</b>	Se concluye que, en el periodo de exposición a metales pesados, la A. donax mostró buenas capacidades de fitoestabilización, en comparación con otros estudios internacionales, es posible afirmar que A. donax y A. donax micorrizado con T. harzianum pueden ser adecuado para el proceso de fitoextracción con mayor tiempo de exposición.



## FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO

**TITULO:** Retos y oportunidades en la fitorremediación de metales pesados suelos contaminados: una revisión

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACION</b> 2016	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b>	
----------------------	-----------------------------------	-----------------------------	--

<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Revisión	<b>AUTORES:</b> Mahar Amanullah et al
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Contaminación por metales, Fitoextracción, Recuperación de suelo
<b>OBJETIVO:</b>	El enfoque principal se da a la fitoextracción y la fitoestabilización como los métodos alternativos y prometedores para la recuperación del suelo.
<b>TIPO DE CONTAMINANTE:</b>	Metales Pesados
<b>TIPO DE METODO BIOLÓGICO:</b>	Fitorremediacion
<b>CONCLUSIONES:</b>	Se concluye que, la contaminación del suelo es una grave preocupación mundial, por lo tanto, se necesitan enfoques de remediación efectivos. Por ello, la Fitorremediación es una tecnología ecológica, que es impulsada por energía solar con una buena comunidad y aceptación. Asimismo, se espera que la fitoextracción de metales pesados sea una tecnología comercialmente viable para la extracción de metales pesados en el futuro cercano.