



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

**Revisión sistemática de diferentes métodos de
fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados**

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

AUTOR:

Canales Farah, Jesús David (ORCID: 0000-0003-2533-1730)

ASESOR:

Dr. Túllume Chavesta, Milton Cesar (ORCID: 0000-0002-0432-2459)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

Dedico este trabajo a toda mi familia, en especial a mis padres, Diana y Jesús, a mis hermanos Mauricio, Diana Carolina, Valentina, y aún más a mi hermana Ana María, por su apoyo incondicional a lo largo de mi toda vida y de toda mi carrera universitaria.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad por permitirme estudiar una maravillosa carrera, a mis profesores ya que a lo largo de estos años me han transmitido sus conocimientos y más que nada sus experiencias profesionales. A mis compañeros, ahora colegas con los que he compartido muchas experiencias.

Resumen

La fitorremediación se encuentra entre las opciones usadas para minimizar la cantidad de metales pesados en suelos contaminados por ser una técnica económica, la cual consiste en emplear cierto tipo de plantas con la capacidad de acumular metales en tallos, hojas y raíces con el fin de removerlos del suelo. Estas tecnologías tienen muchas ventajas, sobre todo en términos de limpieza y economía, no obstante, solo proporcionan resultados a mediano y largo plazo porque precisan de múltiples ciclos. Debido a ello, esta revisión sistemática bibliográfica se plantea identificar y caracterizar las principales técnicas de fitorremediación empleadas en suelos contaminados por metales pesados; con el fin de encontrar coincidencias entre todas ellas y así pueda contribuir como proyecto para dar soluciones alternativas. El método adoptado fue realizar una revisión bibliográfica sistemática usando palabras claves en la búsqueda de bases de datos indexados con acceso libre Scielo, Redalyc Académico, Open Journal Systems, Microsoft Academic, Web of Science, y Google Analytics Academy. Se analizaron más de 60 artículos correspondientes al periodo 2011–2020. De acuerdo a ello, este estudio se plantea con la finalidad de recopilar los estudios de métodos de fitorremediación empleados en la remediación de suelos contaminados con metales pesados para establecer una relación entre la especie vegetal utilizada y la técnica empleada, con lo cual permitirá identificar necesidades futuras de investigación en cuanto a este asunto. En tal sentido, el estudio realizado muestra que de todas las técnicas analizadas la que tuvo más efectividad fue la fitoextracción y las especies vegetales más concurrentes fueron: las de la familia Fabaceae y las de la familia Brassicaceae, las cuales alcanzaron remociones de cobre (Cu), cinc (Zn), arsénico (As), plomo (Pb) y cadmio (Cd) con máximos de 50% y 60% respectivamente.

Palabras Claves: fitorremediación, metales pesados, especies vegetales, suelos contaminados.

Abstract

Phytoremediation is one of the alternatives used to reduce the amount of heavy metals in contaminated soils as it is an economical technique, which consists of using certain types of plants, which have the potential to accumulate metals in stems, leaves and roots in order to remove them from the soil. These technologies have many advantages, especially in terms of cleanliness and economy, however, they only provide results in the medium to long term because they require multiple cycles. For this reason, this systematic literature review aims to identify and characterise the main phytoremediation techniques used in soils contaminated by heavy metals, in order to find commonalities between all of them and thus contribute as a project to provide alternative solutions. The method adopted was to carry out a systematic literature review using keywords in the search of open access indexed databases Scielo, Open Journal Systems, Web of Science, Microsoft Academic, Redalyc Academic, and Google Analytics Academy. More than 60 articles corresponding to the period 2011-2020 were analysed. Accordingly, this study aims to compile studies of phytoremediation methods used in the remediation of soils contaminated with heavy metals in order to establish a relationship between the plant species used and the technique employed, thereby identifying future research needs in this area. In this sense, the study shows that of all the techniques analysed, the most effective was phytoextraction and the most common plant species were: Fabaceae and Brassicaceae, which achieved removals of copper (Cu), zinc (Zn), arsenic (As), lead (Pb) and cadmium (Cd) with a maximum of 50% and 60% respectively.

Key words: phytoremediation, heavy metals, plant species, contaminated soils.

Índice de contenido

Resumen.....	ii
Abstract.....	v
índice de contenido.....	vi
índice de tablas.....	vii
índice de figuras.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	16
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	16
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de caracterización apriorística. ...	16
3.3 Escenario de estudio.....	17
3.4 Participantes.....	17
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	18
3.6 Procedimiento.....	18
3.7 Rigor científico.....	19
3.8 Método de análisis de datos.....	20
3.9 Aspectos Éticos.....	20
IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	21
4.1 Resultados.....	21
4.2 Discusión.....	46
CONCLUSIONES.....	49
RECOMENDACIONES.....	50
REFERENCIAS.....	51
ANEXOS.....	62

Índice de tablas

Tabla 1. Representación de los diferentes mecanismos que se emplean en la fitorremediación	14
Tabla 2. Categorías, subcategorías y matriz de caracterización apriorística ...	17
Tabla 3. Resumen de criterio de búsqueda.....	21
Tabla 4. Lista de especies vegetales identificadas.....	23
Tabla 5. Especies vegetales vs técnica de fitorremediación	24
Tabla 6. Artículos seleccionados para el análisis de estudio	27

Índice de figuras

Figura 1.	Representación de los diferentes orígenes de algunos metales pesados.....	10
Figura 2.	Representación esquemática de los diferentes mecanismos de fitocorrección	13
Figura 3.	Métodos de fitorremediación empleados para remediar suelos contaminados por metales pesados	25

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo, los metales pesados contaminan cada vez más el suelo, lo que tiene un impacto significativo en la salud de las personas, este problema que se ha agravado debido a las actividades humanas. Las actividades mineras revisten las causas más significativas de contaminación ambiental; la cual es provocada por metales pesados, principalmente por el tratamiento inadecuado de los residuos. Existe alta persistencia en los metales pesados que se encuentran en el medio ambiente, los cuales contiene una baja solubilidad que se repercute en la biota terrestre y se convierten en agentes carcinógenos y mutagénicos (Peña y Beltrán, 2017, p.32). Al derretir y fundir los metales, la galvanoplastia, muestra la fuga de gas, la misma produce energía y el combustible, que van directo a la agricultura activa y los lodos esos elementos derramados contribuyen a la contaminación y deterioro de suelos porque son fuente de metales pesados (Peña y Beltrán, 2017, p.32).

Una de las alternativas empleadas en la reducción de la cantidad de esa materia usada en las industrias que va hacia los suelos es el empleo de plantas y algunos microorganismos para recuperar los suelos, por ser una técnica económica, consistente en la utilización de cierto tipo de plantas, pues consiguen acumular metales en tallos, hojas y raíces con el fin de removerlos del suelo. Estas tecnologías tienen muchas ventajas, sobre todo en términos de limpieza y economía, no obstante, solo dan resultado a mediano y largo plazo porque necesitan múltiples ciclos (Landeros-Márquez *et al.*, 2011, p.11). Cuando el suelo pierde fertilidad, se dice que este se ha degradado, principalmente debido a la erosión y la contaminación. Aunque existen factores naturales que también pueden provocar este fenómeno, suele ser consecuencia sobre todo del comportamiento humano.

Por otro lado, la fitorremediación consiste en una tecnología relativamente nueva fundamentada en plantas con flores revestidas llamadas superiores y los microorganismos asociados con la raíz y el suelo, es una alternativa para la remoción dentro y fuera de la planta para que quede libre de contaminantes. En el ecosistema natural, la vegetación es un destilador que retira, de manera natural todo agente contaminante que se incluye en habita y de esta manera puede

estabilizar el suelo y desechar lo que se ha filtrado (Cho *et al.*, 2008, p. 1669). Ciertas investigaciones demuestran que la fitorremediación es una solución prometedora que se puede utilizar para limpiar lugares contaminados por diversos metales, sin embargo, igualmente, tiene muchas limitaciones (Sing, 2003, p. 408). Los metales pesados suelen encontrarse por lo general como minerales, sales u otros compuestos como elementos naturales de la corteza terrestre. No se degradan o ni se destruyen fácilmente de manera natural o biológica porque no presentan una función metabólica definida para los organismos (González, 2005, p.31). Entre los metales no ferrosos se encuentran aquellos denominados metales pesados; los cuales son metales y metaloides que presentan un peso atómico superior a 4.5 g cm^{-3} y pueden ser tóxicos en altas concentraciones (Rodríguez *et al.*, 2018, p.20).

A partir de la problemática realidad descrita, se planteó como problema general: ¿De qué manera la información de los diferentes métodos de fitorremediación influye en los suelos contaminados con metales pesados? A partir del problema general se plantea el problema específico: ¿Cuáles son las principales plantas en la fitorremediación que influyen en los suelos contaminados con metales pesados?, ¿Cuáles son las principales técnicas en la fitorremediación que influyen en los suelos contaminados con metales pesados? y ¿Cuál es la relación de las principales plantas con los métodos de fitorremediación que influyen en los suelos contaminados con metales pesados?

La presente revisión sistemática tiene como objetivo general: Explicar los diferentes métodos de fitorremediación que mejoran los suelos contaminados con metales pesados, y como objetivo específico: Identificar las principales plantas en la fitorremediación que influyen en los suelos contaminados con metales pesados; Revisar las principales técnicas en la fitorremediación que influyen en los suelos contaminados con metales pesados y Analizar la relación de las principales plantas con los métodos de fitorremediación que influyen en los suelos contaminados con metales pesados. Esta investigación tiene sentido ya que, existe una necesidad en recopilar y resumir la información conseguida en la base de información de acceso abierto, con la finalidad de determinar cuáles son los principales métodos de fitorremediación existentes y su relación

con las especies vegetales usadas para la remediar suelos contaminados por metales pesados. Se pretende realizar un aporte teórico y actualizado referente a este tema que sirva de apoyo a futuros trabajos de investigación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Jiménez (2020) hizo un análisis descriptivo del *Helianthus annuus* y *Zeamays* como acumuladores de (Cd, Pb) para la recuperación de suelos agrícolas contaminados, el cual evaluó la eficiencia de la fitoextracción en diferentes especies vegetales, mediante el % de adsorción, con el fin propósito de establecer su eficacia para tomársele como especie fitorremediador. Para ello hizo una identificación a través del material bibliográfico y después una comparación sistemática con la finalidad de determinar la efectividad entre las 2 especies. Como resultado del estudio se demostró que la alternativa más eficiente para remover Pb es el *Helianthus annuus*, reportando una eficiencia del 33% en comparación del *Zea mays* que reportó 18%, expuestas a pH alcalinos. Mientras que el *Zea mays* es eficiente para la remoción de Cd obteniendo una remoción de 59.88%, convirtiéndola como planta fitoestabilizadora de Cd a suelos con pH <6. En conclusión, el *Helianthus annuus* puede intervenir en la fitoextracción de suelos contaminados con Pb, por su tolerancia e hiperacumulación en el tejido vegetal. Mientras que, el *Zea mays* participa como planta fitoestabilizadora en suelos contaminados con Cd (p. 12).

Guerra (2019) estudió la literatura sobre biorremediación de suelos contaminados con mercurio a través de la utilización de hongos macroscópicos. Para ello, se llevó a cabo un método de revisión sistemática de la literatura (RSL) mediante investigación exploratoria, en la que se usaron artículos publicados en la base de datos SCOPUS para la búsqueda bibliográfica. El resultado de este estudio fue que se identificaron 33 estudios que dieron cumplimiento a las exigencias de los criterios de inclusión y exclusión, dando respuesta a las preguntas de investigación derivadas del objetivo planteado. La comunidad científica no ha estudiado ampliamente los resultados académicos sobre este tema. Aunque la investigación involucra hongos macroscópicos con la capacidad de acumulación, captación o concentración de metales pesados, especialmente el mercurio. Además, se observó que, si bien se han determinado concentraciones de mercurio en los hongos macroscópicos, no se identifican y/o determinan si las concentraciones de mercurio que pueden ser acumuladas por

los hongos macroscópicos son de mercurio elemental, orgánico o inorgánico (p. 9).

Angelovaa, et al. (2016) realizaron un estudio de campo para evaluar la eficacia de *Salvia sclarea* L. para la fitorremediación de suelos contaminados. El experimento se llevó a cabo en un campo agrícola contaminado por las obras de metales no ferrosos cerca de Plovdiv, Bulgaria. El contenido de metales pesados en diferentes partes de *Salvia sclarea* L. (raíces, tallos, hojas e inflorescencias) se determinó mediante ICP. El aceite esencial de la *Salvia sclarea* L. se obtuvo por destilación al vapor en condiciones de laboratorio y se analizó en busca de metales pesados y se determinó su composición química. *Salvia sclarea* L. es una planta que tolera los metales pesados y puede cultivarse en suelos contaminados. En base a los resultados obtenidos y utilizando los criterios más comunes, *Salvia sclarea* L. puede ser clasificada como hiperacumuladora de Pb y acumuladora de Cd y Zn, por lo que esta planta tiene un potencial adecuado para la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados. También es favorable el hecho de que los metales pesados no influyen en el desarrollo de la *Salvia sclarea* L., así como en la calidad y cantidad del aceite esencial. En el caso del aceite de salvia *sclarea* obtenido a partir del procesamiento de salvia *sclarea* cultivada en suelos altamente contaminados, sus ingredientes clave determinantes del olor cumplen los requisitos de calidad de la Farmacopea Europea y de la norma BS ISO 7609 en lo que respecta al aceite de salvia *sclarea* búlgara y/o presentan valores que se aproximan a los límites de estas normas. La posibilidad de un procesamiento industrial posterior hará de *Salvia sclarea* L. un cultivo económicamente interesante para los agricultores de la tecnología de fitoextracción (p. 780).

Ghadiri, et al (2018) realizaron una investigación cuyo objetivo fue estudiar la capacidad del *pasto vetiver* y la *festuca alta* para refinar y reducir la contaminación de Cd, Cu y Zn de suelos contaminados. La investigación se implementó en invernadero durante dos pruebas separadas (*pasto vetiver* y *festuca alta*) en un diseño completamente aleatorio que incluye siete niveles de contaminación (0, 50, 100, 200, 400, 600, 800 mg kg de suelo) de tres pesados tipos de metales (Cd, Cu y Zn) en tres repeticiones. Los efectos de diferentes

niveles de metales pesados en las características de crecimiento (pesos frescos y secos) del *vetiver*. No fueron significativos. Además, el efecto de los niveles de cadmio en el peso seco de los brotes, el efecto de los niveles de Zn en los pesos frescos y secos de los brotes y el efecto de los niveles de Cu en los pesos frescos y secos de los brotes y raíces en *Festuca* no fueron significativos en comparación con el tratamiento control. Las concentraciones máximas de Cd, Cu y Zn en *Vetiver* relacionadas con el tratamiento de 800 mg kg se encontraron en 591, 298 y 356 mg kg. También se midió el contenido máximo de Cd (96 mg kg), Cu (27 mg kg) y Zn (37 mg kg) en *Festuca* en suelos contaminados con 800 mg kg⁻¹. Entre los diferentes tratamientos de contaminación, el Cd tuvo la mayor tasa de absorción y acumulación en los brotes y raíces de las plantas. Los resultados mostraron la mayor capacidad de *Vetiver* en comparación con *Festuca* para la remediación de ambientes contaminados con metales pesados, especialmente Cd en Irán (p. 123).

Santoyo (2020) en su estudio evaluó la capacidad de bioacumulación y el efecto del tiempo de exposición a MP sobre los cambios macro y micro morfológicos en *Vachellia campechiana* y *Crotalaria pumila* bajo condiciones de invernadero. Para ello fue evaluada la germinación de semillas de las dos especies de estudio provenientes de sitios expuestos a MP (jales) y a sitios de control. Los resultados arrojaron que *V. campechiana* es una especie con potencial para fitorremediar ambientes contaminados, debido a su capacidad de bioacumulación Cr, Cu y Pb en tejido de raíz (0.83 mg/kg, 0.37 mg/kg, 4.23 mg/kg, respectivamente) y tejido foliar (2.75 mg/kg, 0.38 mg/kg, 4.75 mg/kg, respectivamente). Mientras que *C. pumila* bioacumula Cu en ambos tejidos evaluados (0.46 mg/kg, 0.45 mg/kg, respectivamente). Este estudio demostró que la capacidad de bioacumulación de MP entre especies difiere, por lo que pueden ser consideradas para tratamientos que involucren múltiples especies para fitorremediar sitios contaminados por MP (p.20).

Martínez (2018) determinó el estado de conservación de suelos contaminados por El Madrigal Relavera y un programa de fitorremediación, ante estos problemas estableció y evaluó las especies vegetales que se desarrollan en las áreas contaminadas, como resultado de las actividades mineras. De esta

especie se pueden identificar, divididas en 7 familias, 6 órdenes y 1 categoría, distribuidas en cinco áreas de muestreo. El índice de dominancia del área A es 0.8519, la riqueza de especies es 0.1481 y la equidad es 0.2988, entretanto que la dominancia del área B es menor (0.2869) y la riqueza y equidad son mayores (0.7131 y 0.8286, respectivamente), que es debido a que aumenta la cantidad de individuos y taxas en esta área de muestreo. En las áreas de muestreo C y D, el índice de dominancia es menor, entretanto que los índices de riqueza y equidad son más cortos. Por último, la especie *Baccharis salicifolia* (Ruiz & Pav.) Pers se consigue usarse como especie fitoestabilizadora; mientras que la especie *Schoenoplectus pungens* (Vahl) Palla como fitoextractora, consiguiéndose emplear las dos con fines de fitorremediación (p. 15).

Reátegui de la Cruz (2018) en su investigación evaluó el efecto de la adición de *Pleurotus ostreatus* en la absorción de metales pesados en suelos. Se utilizó un diseño experimental unifactorial, en el que se evaluaron 4 tratamientos con 3 repeticiones. Durante 25 días fueron cultivadas en macetas experimentales con capacidad de 1kg. La dosificación de cada maceta fue distinta con *Pleurotus ostreatus* y el suelo contaminado en cantidades de 50, 100, 150, y 200 gr. de *Pleurotus ostreatus*. Se concluye que el porcentaje promedio de absorción es superior al 50% en los metales pesados. Los metales (Ag), (Fe), (Hg), (Mo) y (Se) no presentaron cambios significativos en la absorción (p. 9).

Ogosi (2018) utilizó *Brassica campestris* L. en la estación experimental El Mantaro-Junín para evaluar la recuperación de suelos contaminados por metales pesados. Trabajamos en tres lotes: A (estacionario), B (productor de maíz) y C (productor de papa). En cada lote, tomar una muestra de suelo de 1,0 kg. Realizar caracterización físico-química y análisis químico, y luego enviar a un laboratorio acreditado. Los resultados físicos y químicos son: pH (7.48, 7.94, 7.90), CE (0.55, 0.59, 0.50), CaCO₃ (3.0, 2.0, 1.30), MO (2.12, 2.18, 3.48), textura franca, CIC (11.20, 14,08, 16,32)). Análisis químico: arsénico (11.6, 11.10, 22.7), cadmio (5.90, 4.75, 1.8), cobre (13.6, 16.0, 28.8), cromo (5.1, 3.0, 13.7) y plomo (13.8, 20.7, 34.0). Análisis químico de raíces de plantas (ppm): arsénico (20.01, 9.85, 2.78), cadmio (2.62, 2.02, 1.43), cobre (10.5, 7.02, 2.25),

cromo (1.62, 1.05, 0.81) y plomo (10.4, 11.04, 4.16) y partes de aire: arsénico (2.75, 2.24, 0.53), cadmio (0.43, 1.92, 1.24), cobre (9.58, 12.17, 2.68), cromo (3.33, 2.86, 1.73) y plomo (5.77, 3.42), 2,49). Teniendo en cuenta la acumulación de plantas y la tolerancia al cromo, $TF < 1$, por lo que se determinan los factores de transporte de los lotes A, B y C. Para cobre y cromo, $TF > 1$, entonces $TF < 1$, por lo que se considera La única especie vegetal. Los resultados se evaluaron mediante pruebas DBCR y Duncan (p.1).

Arpasi (2019) analizó la concentración de metales pesados en la planta de *Baccharis sp*, la cual fue recolectada en el Proyecto Minero “Estela” - Ananea, Provincia de San Antonio de Putina–Puno. El método incluyó la recolección de plantas de *Baccharis sp*, las cuales fueron marcadas, empacadas y enviadas a los Laboratorios Analíticos del Sur E. I. R. Ltda de Arequipa, para examinar la concentración de metales pesados en raíces y hojas; y de esa manera establecer la cantidad de materia orgánica, pH y humedad presente en los suelos donde habita la especie. Se realizó un análisis factorial y prueba de Tukey. Los resultados establecieron que en *Baccharis sp* se bioacumuló el Arsénico en hojas y raíces en individuos procedentes de la zona directa, con valores de 48,60 y 52,00 mg/kg respectivamente. El Zinc fue de mayor bioacumulación en las hojas de las plantas colectadas en la zona indirecta alcanzando 59,60 mg/kg, en relación con plantas de la zona directa, que registraron solo 36,47 mg/kg. Las plantas de la zona directa acumularon mayor cantidad de metales siendo similar entre órganos vegetales; el pH de los suelos de la zona directa registró valores que oscilaron entre 6,44 y 7,13; siendo superiores a los de la zona indirecta 5,04 y 5,13. El contenido de materia orgánica de los suelos de la zona directa fue de 0,63% a 0,86%; inferior a los suelos de la zona de influencia indirecta, que alcanzaron de 4,9% a 4,69%. Y el contenido de humedad en la zona de influencia directa varió entre 9,58% a 21,97% diferente a los de la zona de influencia indirecta que alcanzó entre 14,04% a 15,92% (p. 9).

Díaz y Escobar (2019) presentaron un trabajo que buscó establecer la eficiencia del *Lupinus mutabilis* asistido con *Bradyrhizobium sp.* para la absorción del Cd en el suelo y planta; este valoró 4 tratamientos y un control (sin contaminante). Fueron establecidas las particularidades físicas del tarwi en el

T1, resultando 7.90 cm de raíz, 35.23 cm tallo y 3.90 cm hoja. Igualmente, en el T4 existieron deficiencias en el desarrollo de la planta, resultando: 3.50 cm raíz, 13.30 tallo y 3.03 cm en las hojas. Se consiguió concluir que a mayor concentración de cadmio inferior será el porcentaje de remoción, evidenciándose que el *Lupinus mutabilis* asistido con *Bradyrhizobium sp.* es eficiente en la remoción del Cd en el suelo (p. 10).

Peña (2019) hizo un trabajo el cual se basó en comprobar la capacidad de absorción del *Helianthus annuus*, frente al plomo; para así verificar su eficacia como agente fitorremediador de suelos contaminados con dicho metal pesado. El mismo está comprendido por un desarrollo progresivo que inicia desde la revisión bibliográfica hasta el procedimiento post-experimento que ha sido tercerizado al laboratorio especializado R-LAB S.A.C., este se encargó de analizar el contenido de plomo absorbido por las plantas y el residual que queda en el suelo después de la remediación, mediante absorción de espectrofotometría atómica. El procedimiento consistió en separar la tierra de siembra en 2 recipientes, los cuales contenían los suelos contaminados con 700 mg/kg y 1200 mg/kg de plomo respectivamente. Fueron escogidas plántulas de girasol con características similares para ser trasplantadas a los 2 recipientes. Después de seis semanas fueron llevadas las plantas y muestras de tierra al laboratorio para su análisis. El resultado de la investigación comprobó que el *Helianthus annuus* es eficaz fitorremediador de suelos contaminados con plomo (p.4).

2.2 Bases teóricas

Suelo contaminado

Para Galán y Romero (2008, p. 48), la presencia de ciertos elementos y compuestos químicos (contaminantes) en concentraciones nocivas en el suelo es una forma especial de degradación llamada contaminación. La concentración de contaminantes es siempre más alta de lo habitual (anormalmente) y suele tener un efecto adverso en determinados organismos. Debido a su origen, puede ser de origen terrestre o artificial. El primero puede provenir del propio lecho de roca que forma el suelo, o puede provenir de actividad volcánica o lixiviados mineralizados. Por el contrario, los materiales artificiales son producidos por

desechos peligrosos de la industria, agricultura, actividades mineras, etc. Respecto a la perspectiva legal, los contaminantes creados por el hombre son contaminantes reales. Aunque la mayoría de los contaminantes son de origen antropogénicos, otros pueden ocurrir naturalmente en el suelo ya sea por componentes de minerales, estos pueden llegar a ser tóxicos si se presentan en concentraciones altas en el suelo (Rodríguez et al, 2018, p.15).

Metales Pesados

Los metales pesados son elementos con propiedades metálicas tales como ductilidad, conductividad, densidad, estabilidad catiónica y especificidad de ligando. Muestran distintas particularidades biológicas y fisicoquímicas, y se encuentra que forman complejos en forma de iones libres o participan en reacciones redox que pueden ser tóxicas para los organismos. Según las funciones biológicas y los efectos de los metales pesados, los metales pesados se pueden dividir en tres categorías: 1) Metales esenciales con funciones biológicas conocidas, son elementos micronutrientes (Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo y W); 2) Los metales tóxicos, incluso a bajas concentraciones (Ag, Cd, Cr, Sn, Au, Hg, Ti, Pb, Al y metaloides Ge, As, Sb y Se) también pueden producir efectos nocivos; 3) Metales no esenciales, no tóxicos y se desconocen sus efectos biológicos (Rb, Cs y Sr) (Beltrán y Gómez, 2015, p. 85).

METAL PESADO	FUENTE/ORIGEN
Cromo	Industria de electroplatinado, lodos, residuos sólidos, curtiembres.
Cadmio	Orígenes geogénicos actividades antropogénicas, fundición y refinación de metales, quema de combustibles fósiles, aplicación de fertilizantes fosforados, aguas residuales y lodos.
Mercurio	Erupciones volcánicas, incendios forestales, emisiones de industrias productoras de soda cáustica, quema de madera, carbón y turba.
Arsénico	Semiconductores, preservantes de madera, aditivos de alimentos para animales, herbicidas, volcanes, minería y fundición.
Cobre	Industria de electroplata, minería y fundición, biosólidos.
Plomo	Minería y fundición, quema de gasolina, residuos municipales, industriales, pinturas.
Selenio	Minería de carbón, refinación de aceites, combustión de combustibles fósiles, industria manufacturera de vidrio y síntesis química.
Zinc	Industria de electroplata, minería y fundición y biosólidos.

Figura 1. Representación de los diferentes orígenes de algunos metales pesados.

Fuente: (Beltrán y Gómez, 2015, p. 86)

Características generales de los metales pesados

Cadmio. Es raro en la naturaleza y está relacionado con el zinc. Su color es blanco azulado. Peso atómico 112 y densidad relativa 8. Tiene 8 isótopos estables y 11 radioisótopos artificiales inestables. De forma natural, no está en estado libre y el plomo verde (sulfuro de cadmio) es el único mineral de cadmio. Aproximadamente todos los productos producidos son subproductos de la fundición y refinación del mineral de zinc. Los productores más importantes son México, Bélgica, Australia, Estados Unidos, Canadá, Luxemburgo y la República de Corea (Londoño et al, 2016, p. 148).

Arsénico. Número atómico es 33, es distribuido generosamente en la naturaleza, peso atómico 74. Posee 17 nucleídos radiactivos. La forma metálica es conductor térmico y eléctrico que se rompe fácilmente y de baja ductibilidad. Naturalmente es hallado como mineral de cobalto, sin embargo, normalmente se encuentra en la superficie de las rocas unido al azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn. El primordial mineral del arsénico es el FeAsS (arsenopirita) y es utilizado para tratar maderas, productos agrícolas (pesticidas, herbicidas) pigmentos, bronceadores de piel, pinturas, anticorrosivos, vidrio, cerámica, medicamentos. De igual manera, en alimentos para animales que sirve para su crecimiento, gases venenosos empleados por los militares, etc (Londoño et al, 2016, p. 148).

Plomo. Proviene del uranio o del metal porque deriva de la división radiactiva. Los minerales comerciales acostumbran tener algo de plomo (3%), siendo el más común el plomo (10%). Los minerales previos a su fundición consiguen acumular cerca de un 40% o más de plomo. Se utiliza como gasolina, baterías, latas, monitores de computadora y pantallas de TV, joyas, tintes para el cabello, grifos, pinturas, aceites, belleza, aleaciones, cerámica, municiones, soldadura, plomería, artillería, armas, radiación atómica, pesticidas, etc. (Londoño et al, 2016, p. 149).

Cobre. Se utiliza en construcción equipos eléctricos, maquinaria industrial, y aleaciones de bronce: decoraciones, tuberías, latón, pernos, clavos, techos, níquel, utensilios de cocina, monedas, joyería, muebles, cosméticos, pintura, instrumentos musicales y soportes. Igualmente, el sulfato de cobre se encuentra

entre los primeros compuestos usados como pesticidas en la alimentación animal y las sales de cobre tienen efectos fungicidas y eliminadores de algas. La exposición aguda causada por la ingestión de sulfato de cobre en ocasiones genera necrosis hepática y la muerte. La exposición prolongada a alimentos almacenados en recipientes de cobre puede causar daño hepático en los niños (Londoño et al, 2016, p. 149).

Mercurio. Líquido blanco plateado a temperatura ambiente. Crea una solución-amalgama con distintos metales (uranio, plomo, plata, platino, oro, cobre, sodio y potasio), generalmente en forma de sulfuro, pero también en forma de rojo cinabrio, en el cinabrio negro menor. Existe en forma de cloruro de mercurio. Se utiliza en empastes dentales, fabricación de baterías, cosméticos, lámparas fluorescentes, papel, electrodomésticos, pinturas, agricultura (fungicidas, insecticidas) cremas y jabones para la piel, pulpa y termómetros. En la extracción de cobre, oro, plata y carbón, cientos de toneladas son fáciles de extraer debido a su fácil formación de amalgama. La intoxicación crónica por mercurio incluye cambios de personalidad, temblores, gingivitis, hipertrofia tiroidea, taquicardia, enfermedades venéreas, pérdida de memoria, alucinaciones, depresión severa y delirios (Londoño et al, 2016, p. 150).

Fitorremediación

Para Garbisu et al (2008) La fitorremediación es una tecnología ecológica fundamentada en la capacidad de ciertas plantas para soportar, absorber, acumular y degradar compuestos contaminantes, actualmente esta tecnología se ha utilizado en varios países / regiones en la recuperación de suelos contaminados por compuestos orgánicos e inorgánicos. Comparándose con las tecnologías físicas y químicas tradicionales, la fitorremediación tiene muchas ventajas. Entre ellas, cabe destacar su menor costo económico, una actitud más respetuosa con el proceso ecológico de los ecosistemas acuáticos y su trascendencia más social, estética y ambiental. Tecnología de facto. Vale la pena tener en cuenta que la expresión fitorremediación cubre una gama de variadas tecnologías vegetales, la más importante de las cuales son los mecanismos fisiológicos involucrados en la restauración del suelo contaminado (p.1).

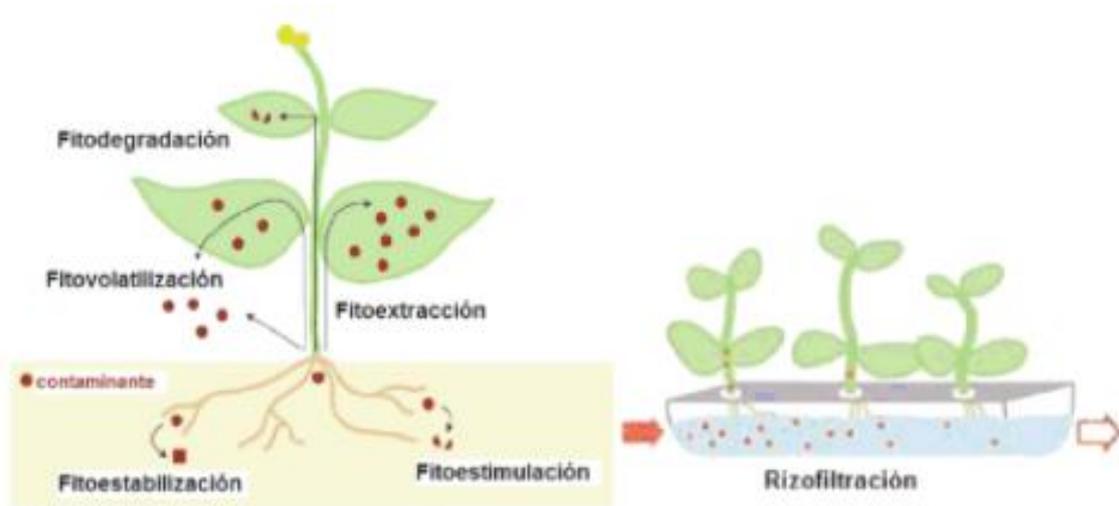


Figura 2. Representación esquemática de los diferentes mecanismos de fitocorrección

Fuente: (Diez, 2008, p. 24)

En el ámbito de la fitorremediación, la fitoextracción de plantas es la tecnología vegetal más prometedora para restaurar suelos contaminados por metales pesados, donde los metales pesados tienen una alta persistencia en el suelo. La fitoextracción de plantas se basa en el hecho de que las plantas consiguen servir como bombas de succión a través de varios procesos fisiológicos, alimentados por energía solar mediante la fotosíntesis, consiguiendo sacar metales y luego acumularlos en el suelo. Cuando las plantas consiguen recolectar metales en sus tejidos aéreos, estos son cosechados y llevados a un vertedero controlado para su incineración o compostaje. Indudablemente, si las plantas son quemadas, las cenizas que contienen los metales acumulados por las plantas deben tratarse como residuos tóxicos y peligrosos y transportarse a un vertedero controlado (Garbisu et al ,2008, p. 1).

Tabla 1. Representación de los diferentes mecanismos que se emplean en la fitorremediación

Proceso	Mecanismo	Contaminantes
Fitoestabilización	Complejación	Orgánicos e inorgánicos
Fitoextracción	Hiperacumulación	Inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización a través de las hojas	Orgánicos e inorgánicos
Fitoimmobilización	Acumulación en la rizosfera	Orgánicos e inorgánicos
Fitodegradación	Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes	Orgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces para absorber y contaminantes del agua	Orgánicos e inorgánicos

Fuente: (Ghosh y Singh, 2005, p. 9)

Para Delgadillo et al (2011) la fitoextracción o acumulación de plantas incluye la absorción de metales contaminados a través de las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas. Para aplicar esta tecnología, en un primer momento, se seleccionan las plantas más adecuadas para los metales presentes y las particularidades del sitio. Completado el crecimiento vegetativo de la planta, se cortará, incinerará y transferirán las cenizas a un vertedero seguro. Algunas plantas utilizadas en esta técnica de corrección de plantas son: Crassula, Baoshan Viola y Vertiveria zizanioides (zinc, cadmio, plomo); Alyssum murale, trébol negro (Trifolium nigrescens), rododendro (Psychotria douarrei), flores grandes Hydrangea (Hybanthus floribundus), Verticillium marchitez, napus (Cu, Pb, Zn); y agua, capa de lenteja de agua Cd, Cr, Cu, Pb, Zn) (p. 601).

Especies Vegetales

Algunas especies de plantas pueden desarrollarse en suelos y aguas contaminadas por metales pesados, también tienen la capacidad de acumular grandes cantidades de tales sustancias a través de adaptaciones fisiológicas, dichas plantas se denominan portadoras de metales o superacumuladores de metales. La acumulación de metales de las plantas de metales es de 100 a 500 veces mayor que la de otras plantas, y tiene distintos mecanismos biológicos que les permite soportar altas concentraciones de metales, y su nivel de remoción es tan alto como el 100%. Los estudios han demostrado que estas plantas pueden almacenar un promedio de 100 µg / g (Cd y 0.01% del peso seco de As); 1000 µg / g (0.1% del peso seco) para Co, Cu, Cr, Ni y Pb; y 10,000 µg / g Mn (1.0% del peso seco). Según fenología, metabolismo y microorganismos relacionados, se determinan las especies más adecuadas para estas condiciones (Beltrán y Gómez, 2015, p. 99).

Según Beltrán y Gómez (2015) se han identificado más de 400 plantas como superacumuladores, incluidas 300 plantas que acumulan Ni, y se sabe que ciertas plantas pueden acumular Cd, Cu, Pb y Zn. En taxonomía vegetal, la mayoría de las especies de fitorremediación se clasifican en el orden de Cruciferae, Aster, Solanum lycopersicum, Puccini, Malpighiales, Fabales, Dianthus y Rosales. Las crucíferas son especialmente preocupantes porque incluyen plantas muy acumuladas que no saben bien a los animales y que durante la extracción de las plantas pueden reducir la bioacumulación de metales en la cadena alimentaria. Generalmente, los metales rápidamente biodisponibles utilizados en las plantas son Cd, Ni, Zn, As, Se y Cu, y los metales moderadamente utilizados son Co, Mn y Fe. Y el plomo, el cromo y el mercurio no se pueden utilizar biológicamente (p. 99).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación.

El trabajo investigativo es básico, pues este trabajo no resolverá de manera inmediata el problema, pero ayudará a resolverlo mediante la compilación de información de los diferentes métodos usados para la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados, esto contribuye teóricamente a aportar información actual que podría ser utilizada en trabajos posteriores. La investigación básica se encuentra encaminada a descubrir las leyes o principios básicos, y de igual manera a profundizar las nociones de una ciencia, valorándola como la base inicial para el estudio de los fenómenos o hechos (Escudero y Cortez, 2018, p.19).

De acuerdo al diseño, es de tipo cualitativo. Escudero y Cortez (2018) señalan que el estudio cualitativo es visto como una categoría de diseños de investigación que permite recoger descripciones mediante la aplicación de técnicas e instrumentos como observación y la entrevista. Esto con la intención de conseguir información a manera de narraciones, registros escritos, notas de campo, grabaciones, transcripciones de audio y video, fotografías, entre otros (p.44).

3.2 Categorías, subcategorías y matriz de caracterización apriorística.

La matriz de categorización apriorística es llevada a cabo con base en los objetivos y problemas específicos del estudio, que a su vez se encuentran divididos en categorías y subcategorías, así como es mostrado en **la tabla 1**

Tabla 2. Categorías, subcategorías y matriz de caracterización apriorística

Objetivos Específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de análisis
Identificar las principales plantas en la fitorremediación que influyen en los suelos contaminados con metales pesados.	¿Cuáles son las principales plantas en la fitorremediación que influyen en los suelos contaminados con metales pesados?	Especie Vegetal	Selección de especie vegetativa Especies vegetales acumuladoras	Coyago y Bonilla (2016, p. 38) Covarrubias y Peña (2017, p. 13) Jara-Peña et al, (2014, p. 147) Pizarro et al (2015, p. 33) Noriega et al (2016, p. 74)
Revisar las principales técnicas en la fitorremediación que influyen en los suelos contaminados con metales pesados.	¿Cuáles son las principales técnicas en la fitorremediación que influyen en los suelos contaminados con metales pesados?	Métodos de Fitorremediación	Fitoextracción Fitoestabilización	Covarrubias y Peña (2017, p. 11) Beltrán et al (2019, p. 96) Ramírez et al (2018, p. 421)
Analizar la relación de las principales plantas con los métodos de fitorremediación que influyen en los suelos contaminados con metales pesados.	¿Cuál es la relación de las principales plantas con los métodos de fitorremediación que influyen en los suelos contaminados con metales pesados?	Relación entre métodos de fitorremediación y especies vegetales	Mecanismos de acción Acumulación de metales pesados	Covarrubias y Peña (2017, p. 16) Landeros-Marquéz et al (2011, p. 16) Oc Llatance et al (2018, p. 68) Moameri et al (2017, p. 161)

Fuente: Elaboración propia

3.3 Escenario de estudio.

Este trabajo no muestra un escenario de estudio específico, debido a que tiene que ver con una revisión sistemática de una cantidad selecta de artículos científicos y argumentos de trabajos instruidos para analizar los diferentes métodos de fitorremediación usados para remediar suelos contaminados por metales pesados.

3.4 Participantes.

Para esta investigación se recabó información por medio de documentos, constituidos principalmente por artículos científicos tanto de nivel nacional como internacional, los mismos fueron seleccionados de bases de datos académicas de las cuales se pueden mencionar: Google Académico, ScienceDirect, SciELO, Ebsco, Scopus y Redalyc. Para ello se escogieron entre más de 60 artículos

aquellos trabajos que se relacionaban con las técnicas de remediación usadas en suelos contaminados con metales pesados. De los cuales quedaron selectos 30 artículos de libre acceso que mencionaban la temática de los métodos de fitoremediación para suelos contaminados con metales pesados.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Tomando en cuenta los medios utilizados para revisar la literatura en la recaudación de la información requerida, se aplicó como técnica la revisión en esta investigación la cual se sustentó en fuentes de naturaleza documental, en otras palabras, recopilar y analizar la documentación es su fundamento. Como una subclasificación de esta clase de análisis se halla la investigación bibliográfica, esta reside en examinar, estudiar y examinar revistas científicas, libros, publicaciones y restantes textos escritos por la comunidad científica en formato impreso o material en línea (Escudero y Cortez, 2018, p.20). Según lo antes mencionado, en esta investigación se elaboró una ficha para la recolección de datos usando los documentos revisados desde el año 2011 hasta el 2020 que es mostrada en el Anexo I, la cual incluye información de: título, autor (es), plantas usadas, metodología y resultados.

3.6 Procedimiento.

3.6.1 Proceso para la selección de artículos científicos. Para desarrollar esta fase se comenzó con una recolección de la información a través de la selección de artículos científicos, dándole prioridad a aquellos artículos de revistas indizadas, libros o capítulos de libros y manuales, de fuentes académicos de acceso libre como: Scielo, Ebsco, Redalyc Académico, Web of Science, Microsoft Academic, y Google Analytics Academy, considerando palabras claves en inglés y español.

3.6.2 Proceso para la selección de especies vegetales. En esta fase se hizo una recolección bibliográfica de experimentos realizados en diferentes partes del mundo. Y de cada investigación se escogieron las plantas que más tuvieron concurrencia en cada trabajo analizados del total de las especies que se observaron en los artículos.

3.6.3 Proceso para analizar la relación entre las plantas encontradas en la bibliografía y los métodos de fitorremediación que influyen en los suelos contaminados con metales pesados.

A fin de dar cumplimiento con esta fase se hizo una selección más específica, considerando a las plantas más citadas según los autores y comparando con la técnica de fitorremediación empleada.

3.7 Rigor científico.

El siguiente trabajo cuenta con el suficiente rigor científico, ya que permite garantizar su autenticidad y confianza a través del cumplimiento de los siguientes criterios de consistencia o dependencia lógica, credibilidad; transferibilidad y confirmabilidad como se muestra a continuación

En dicho trabajo, la información fue recolectada y analizada en un orden lógico para que los resultados se puedan comparar con otros investigadores. Según Elizalde, (2017) la consistencia o dependencia lógica se refiere al grado en que diferentes investigadores recopilen datos semejantes en el campo y realicen los mismos análisis y generen resultados equivalentes (p. 2). En otras palabras, se relaciona con la estabilidad de datos y resultados, no a la réplica del estudio de investigación. Por otro lado, el trabajo es veraz, ya que cada artículo revisado proviene de revistas indexadas. Para Treharne y Riggs (2015) la credibilidad tiene que ver con resultados veraces conseguidos de autores que ejecutaron estudios iguales o parecidos, así como de aquellas personas que consigan explicar la problemática estudiada (p.58).

Ahora bien, para la confirmabilidad de este trabajo, se identificó e interpretó cada uno de los resultados logrados, permitiendo tenerlo como referencia para estudios futuros. Es así como, Treharne y Riggs (2015) plantean que, la confirmabilidad pretende analizar e interpretar los datos que consiguen ciertos investigadores y que diferentes personas puedan continuar y hallar semejanza en las mismas (p.58). Por último, este estudio puede transferirse, pues hay trabajos elaborados por investigadores acerca de los métodos de fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados. Al respecto Noreña *et al.* (2012) dice que la transferibilidad; también llamada aplicabilidad de resultados trata de transferir los resultados de la investigación a otros trabajos de investigación (p.267). La

transferibilidad se refiere a que los fenómenos estudiados estén vinculados a las situaciones de contexto y a las personas participantes de la investigación, es decir, los resultados de la investigación cualitativa no son generalizables, sino transferibles de acuerdo con el contexto en que se apliquen.

3.8 Método de análisis de datos.

La información recolectada se organizó para poder ser examinada mediante los objetivos específicos trazados en este trabajo, los cuales se dividieron en categorías y subcategorías, con el propósito de alcanzar una información bibliográfica referida a aspectos afines y actuales en la utilización y manejo del tema principal de estudio, que es, la revisión sistemática de método de fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados como se muestra en la tabla N° 1. Con base en ello, se mostrará si existen semejanzas o diferencias entre los métodos para remediar suelos contaminados por metales pesados, así como también las especies vegetales utilizadas en dicho proceso, lo cual, se detallará en la parte de resultados. Cabe destacar que el método esgrimido en el presente análisis es similar al que describe Cilleros y Gómez (2016, p.2368).

3.9 Aspectos Éticos.

Este trabajo posee aporte de fuentes confiables, debido a que surgió como el resultado de la compilación y recaudación de datos obtenidos de diferentes autores sobre los métodos de fitorremediación usado para la remediación de suelos contaminados por metales pesados. Así mismo, se extrajo información complementaria que es apoyada por citas bibliográficas siguiendo las indicaciones del manual de referencias Estilo ISO 690 - 690-2 fondo editorial UCV, dando conformidad, de esta manera, a la resolución de consejo universitario No 0103-2018 de la UCV, la resolución rectoral 0089-2019 de la UCV que contiene la guía de productos observables y a los autores de la documentación que contribuyeron en este estudio; estos se citaron adecuadamente conforme a la norma ISO 690. Por todo ello, fueron respetados los valores éticos y morales, de igual manera, se respetó la propiedad intelectual de los autores utilizando toda la información aportada, la cual se llevó a cabo por fuentes confiables; realizando citaciones apropiadas para avalar la calidad del presente estudio.

IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Seguidamente, son presentados los resultados conseguidos durante esta investigación:

Para la recolección de información se hizo una recolección de artículos donde se obtuvo un aproximado de 60 documentos. La siguiente etapa consistió en filtrar la información recolectada de donde se escogió el material que más compatibilidad mostró y con más aporte a la literatura investigada obteniéndose unos 30 documentos para posteriormente ser analizados. Por último, se estructuró, analizó y planteó toda la información recolectada, con el fin de generar una ficha técnica para luego presentarla en el momento más conveniente. A continuación, se plantea una tabla con el criterio de búsqueda utilizado para la investigación, conforme a los criterios de inclusión y exclusión:

Tabla 3. *Resumen de criterio de búsqueda*

Tipo documento	Base de datos:	Cantidad	Palabra clave	Criterios de Inclusión	Criterios de exclusión
Artículo Científico	<i>Artículos en español</i>				
	Redalyc Académico	8	Fitorremediación	Para el desarrollo del estudio, fue necesario que cada fuente tenga relación con el tema, así como la antigüedad de 5 años.	Se descartaron las fuentes que superaron la antigüedad de 5 años además de información de fuente no confiable.
	Google Analytics Academy	7	Contaminación de suelos		
	SciELO	15	Técnicas de fitorremediación		
	Web of Science	7	Remediación de suelos contaminados		
	Open Journal Systems	3	Revisión sistemática		

	Sub-Total	40			
<i>Artículos en ingles</i>					
	Redalyc Académico	3	<i>Phytoremediation</i>	Para el desarrollo del estudio, fue necesario que cada fuente tenga relación con el tema, así como la antigüedad de 5 años.	Se descartaron las fuentes que superaron la antigüedad de 5 años además de información de fuente no confiable.
	Google Analytics Academy	7	<i>Contaminated Soils</i>		
	SciELO	3	<i>phytoremediation techniques</i>		
	Web of Science	4	<i>Rehabilitation of soil contaminated</i>		
	Open Journal Systems	3	<i>phytoextraction of contaminated soils</i>		
	Sub-Total	20			
Total		60 artículos			

Fuente: *Elaboración propia*

De los documentos revisados en este estudio mostrados en la tabla 2 se obtuvo que, en media, el 20% son artículos en inglés y 80% son artículos en español. Estos resultaron facilitar la búsqueda de información en cada documento revisado.

Identificación de las principales plantas en la fitorremediación que influyen en los suelos contaminados con metales pesados.

En relación, a la selección de las especies vegetales, Según la tabla 3, se tabularon 15 especies por considerarse las más influyentes en la remediación de suelos contaminados por metales pesados a juicio de los autores citados,

considerando además sus potenciales propiedades como hiperacumuladoras. También por su capacidad de acumular Cd, Cu, Pb y Zn.

Tabla 4. *Lista de especies vegetales identificadas*

PLANTAS	Elemento Potencialmente Toxico	REFERENCIA
Brassica juncea,	Pb	<i>Moameri et al,2016, p.37</i>
Acacia Farnesiana,	Pb	<i>Carrillo et al, 2017, p. 19</i>
Phaseolus vulgaris,	Pb	<i>Noguez et al, 2017, p.60</i>
Amarantus Hybridus,	Pb	<i>Coyago y Bonilla, 2016, p. 43</i>
Beta Vulgaris,	Pb	<i>Coyago y Bonilla, 2016, p. 43</i>
Ambrosia Ambrosioides,	Cd, Cu y Pb	<i>Ramírez et al, 2019, p. 1534</i>
Helianthus Annuss,	Cd	<i>Perea et al,2017, p.37</i>
Brassica Rapa,	Pb; Cd y Zn	<i>Jara-Peña et al, 2014, p. 151</i>
Zea Mays,	Cr, Pb	<i>Perea et al,2017, p.37</i>
Acacia Saligna,	Cu	<i>Pizarro et al, 2016. p. 41</i>
Acacia Parviflora,	As y Zn	<i>Noriega et al, 2016, p. 76</i>
Medicago Sativa,	Pb	<i>Coyago y Bonilla, 2016, p. 43</i>
Brachiaria Spp,	Cd y Pb	<i>Pelález et al, 2016, p. 96</i>
Lycopersicon esculentum L.,	Cr y Cd	<i>Saleh et al, 2017, p.2</i>
Brassica Napus L.,	Pb, Zn y Cd	<i>Angelovaa et al, 2017, p. 474</i>

Fuente: *Elaboración propia*

Revisión las principales técnicas en la fitorremediación que influyen en los suelos contaminados con metales pesados.

En base a la información recolectada se evaluaron e identificaron los diferentes métodos de fitorremediación de acuerdo a su uso (Tabla 4) los cuales fueron: Fitoestabilización, Fitoextracción, Fitovolatilización, Fitoimmobilización, Fitodegradación y Rizofiltración, mientras que la aplicación de estos métodos reportados en los artículos revisados es presentada en la tabla 4.

Tabla 5. Especies vegetales vs técnica de fitorremediación

Plantas	Elemento Potencial Toxico	Técnica	Eficiencia	Referencia
<i>Brassica juncea</i> ,	Pb	<i>Fitoestabilización</i>		
Acacia Farnesiana,	Pb	<i>Fitoextracción</i>	46%	Moameri et al,2016, p.482
Amarantus Hybridus,	Pb	<i>Fitoestabilización y Fitoextracción</i>	50%	<i>Carrillo et al, 2017, p. 19</i>
Brassica Rapa,	Pb; Cd y Zn	<i>Fitoimmobilización y Fitoextracción</i>	75%	<i>Coyago y Bonilla, 2016, p. 37</i>
Acacia Saligna,	Cu	<i>Fitoestabilización</i>	100%	<i>Jara-Peña et al, 2014, p. 148</i>
Acacia Parviflora,	As y Zn	<i>Fitoestabilización</i>	87%	<i>Pizarro et al, 2016. p. 41</i>
Brachiaria Spp,	Cd y Pb	<i>Fitovolatilización y Fitoextracción</i>	40%	<i>Noriega et al, 2016, p. 76</i>
Brassica Napus L.,	Pb, Zn y Cd	<i>Fitoestabilización y Fitoextracción</i>	41%	<i>Peláez et al, 2016, p. 92</i>
		<i>Fitoextracción</i>	46%	<i>Angelovaa et al, 2017, p. 482</i>

Fuente: *Elaboración propia*

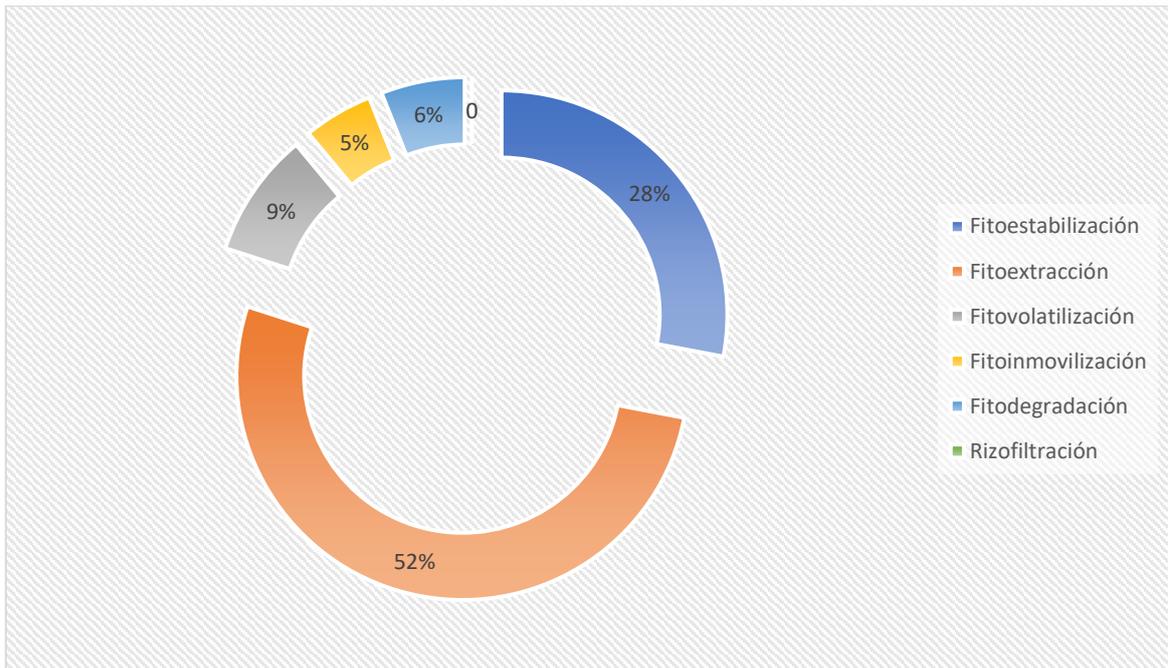


Figura 3. Métodos de fitorremediación empleados para remediar suelos contaminados por metales pesados

Fuente: *Elaboración propia*

Según lo mostrado en la figura 4, las técnicas más frecuentes usadas para la remediación de suelos contaminados con metales pesados fueron la fitoextracción y la fitoestabilización respectivamente, llegando a representar el 52% y 28% de todos los artículos científicos recopilados. Generalmente, se utilizan estos dos métodos por la eficacia y capacidad de remoción de metales pesados como Pb, Cu, Cd, As, Zn, entre otros; siendo el método de fitoextracción el más usado, además porque este cuenta con una gran versatilidad de aplicación, lo cual hace que el producto sea mucho más manejable.

Por tal motivo, se quiere dar un valor útil a esta investigación a fin de ver la forma en que influyen las especies vegetales seleccionadas en los experimentos investigados con la técnica de fitorremediación empleados para la remediación de suelos contaminados con metales pesados. Teniendo en cuenta el tipo de metal pesado removido en dichos procesos. Sin embargo, en algunos artículos no se encontró información con respecto al porcentaje de remoción.

Análisis de la relación de las principales plantas con los métodos de fitorremediación que influyen en los suelos contaminados con metales pesados.

Los resultados encontrados en la literatura muestran una variedad de técnicas como alternativa para remediar la contaminación de los suelos producto de los metales pesados, debido a eso se insertaron especies vegetales como potenciales medios de fitorremediación. Martínez, (2018) demostró que tiene sentido estar interesado en comprender el impacto en la composición de las especies actuales y su abundancia relativa, siendo preciso no solamente medir la diversidad de abundancia de especies entendida como un hábitat dado, sino también la importancia de la especie. participando en el estándar de abundancia del valor de esa especie. Para el autor, medir la abundancia relativa de cada especie ayuda a determinar las especies que son más sensibles a las perturbaciones ambientales por su menor representación en la comunidad, y lo más conveniente es presentar la abundancia de las dos especies. Valores y ciertos indicadores de la estructura comunitaria para que sean complementarios al describir la diversidad (p. 68).

La capacidad de fitoextracción vegetal de las plantas dependerá de su capacidad para absorber, transportar y quelar los metales de interés en la zona cosechable, y de igual manera la biomasa generada. Las plantas sobre-enriquecidas vienen a ser raras y cantidad de estas causan muy poca biomasa y tienen baja biodisponibilidad, lo que limita su uso efectivo en el proceso de fitoextracción de plantas (Martínez, 2018, p. 104).

Tabla 6. Artículos seleccionados para el análisis de estudio

N°	TÍTULO	AUTOR	AÑO	PAÍS	ESPECIE DE PLANTA UTILIZADA	METODOLOGÍA	TÉCNICA	RESULTADOS
1	Fitorremediación asistida por microorganismos: énfasis en bacterias promotoras del crecimiento de plantas	Perea, Y.; Carrillo R. y González M	2017	México	<i>Brassica juncea</i> , <i>Pisum sativum</i> , <i>Ricinus communis</i>	El trabajo se centra en la estabilización de plantas asistida por bacterias promotoras del crecimiento de plantas (BPCP), y su propósito es proporcionar una revisión actualizada del papel de BPCP en la mejora de las estrategias de estabilización de plantas. Para la fitorremediación, la participación de microorganismos favorece el ciclo de nutrientes, aumentando la producción de biomasa vegetal y reduciendo la toxicidad del EPT para las plantas, por lo que se puede contar con la participación de microorganismos.	Fitoestabilización	Como resultado, es posible detectar que las cepas bacterianas promueven la tolerancia, el crecimiento y la productividad de las plantas a la EPT, lo cual es de gran importancia para el desarrollo de procesos de fitorremediación más efectivos. La aplicación de la inoculación y corrección de BPCP es una herramienta prometedoras para establecer un sistema de fitorremediación más eficaz. Por lo tanto, la identificación, el aislamiento y la inoculación de BPCP pueden ayudar a mejorar la restauración de la vegetación en sitios contaminados con EPP.
2	Fitorremediación asistida con enmiendas y Fitoestabilización de elementos potencialmente tóxicos.	Carrillo, R.; Perea, Y. y González, M.	2017	México	<i>Acacia farnesiana</i> y <i>Casuarina equisetifolia</i>	Este trabajo de investigación incluye la fitorremediación asistida o inducida, agregando enmiendas al EPT inmovilizado y reintroduciendo microorganismos simbióticos beneficiosos para las plantas. La estabilización del EPT se logra utilizando contaminantes del suelo o residuos de estos contaminantes en altas concentraciones.	Fitoestabilización	Según los resultados, un fenómeno que se ha observado es que se ha asistido al uso de fitorremediadores y modificadores y microorganismos, y se ha demostrado su eficacia en suelos contaminados por EPT. La Acacia y la Casuarina son las especies que responden mejor, y la mezcla de madera verde y aserrín funciona mejor que la madera verde sola. Es necesario estudiar la existencia de EPT en detalle para establecer qué modificación se puede utilizar para obtener el mejor efecto de estabilización de la planta.

3	Uso de leguminosas (fabaceae) en fitorremediación.	Noguez, A.; López, A.; Carrillo, R. y González, M.	2017	México	<i>Sesbania drummondii</i> , <i>Melilotus alba</i> , <i>Melisa officinalis</i> , <i>Vicia faba</i> , <i>Phaseolus vulgaris</i> y <i>Pisum sativum</i>	Para realizar la siguiente investigación, se analizó un método alternativo de uso de especies de plantas para tratar la contaminación por EPT en suelos contaminados por residuos de minas. Las leguminosas (Leguminosae) se utilizan para la restauración por su inmensa utilidad, porque es económicamente viable y está al alcance de productores y empresarios.	Fitoestabilización y Fitoextracción	Los resultados arrojaron los siguientes resultados: Plantas como <i>Sesbania drummondii</i> acumulan altas concentraciones de Pb, por lo que se puede considerar como un hiperacumulador de este EPT. Por otro lado, Alfalfa y <i>M. officinalis</i> tienen mayores concentraciones de plomo en sus hojas y ramas. Asimismo, se contempla que las plantas de haba, frijol y guisante relacionadas con consorcios bacterianos son habas, y los frijoles y guisantes han eliminado aproximadamente 60%, 55% y 50% del mercurio. Sin embargo, en la fitorremediación, no se recomienda la utilización de especies agrícolas comestibles debido al riesgo de exposición al mercurio y otros EPP por comer estas especies.
4	Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano	Coyago, E.; Bonilla, S.	2016	Ecuador	<i>Amarantus hybridus</i> , <i>Beta vulgaris</i> , <i>Medicago sativa</i>	Selección de especies vegetativas y plantar plantas en semilleros artificiales Se utilizó espectrofotometría de absorción atómica para trasplantar y analizar cuantitativamente el plomo en especies de nutrientes seleccionadas a los 0, 20, 30, 45, 60 y 90 días.	Fitoestabilización y Fitoextracción	La alfalfa y acelga tienen un mayor nivel de absorción al producir brotes con mayor frecuencia y tener una estructura fibrosa, mientras que la yegua tiene un nivel de absorción medio debido a su estructura de nutrientes.

5	Potencial fitorremediador de la chicura (<i>Ambrosia ambrosioides</i>) en suelos contaminados por metales pesados	Ramírez, R., Carrillo, M., Álvarez, V., González, G. y. Hernández, V.	2019	México	<i>Ambrosia ambrosioides</i>	La investigación se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Utilice un diseño factorial de 3 por 4, repita 4 veces, el factor A es un metal pesado, el factor B es la concentración de metal. La absorción de metales pesados (cadmio, cobre y plomo) en las plantas se determinó a diferentes concentraciones de 0, 20, 40 y 60 mg L aplicados en agua de riego.	Fitoextracción	Los resultados mostraron que las concentraciones más altas en raíces, tallos y hojas en el tratamiento de cobre fueron de 20 mg L, respectivamente, 15827.2, 13030.9 y 4979.4 mg kg. El cobre es el metal más absorbido por las plantas, seguido del cadmio y el plomo. Los factores de translocación biológica indican que el cadmio es un elemento que las plantas trasladan más fácilmente a sus hojas, seguido del cobre.
6	Efecto de la aplicación foliar de oligogalacturónidos a plántulas de tomate (<i>Solanum Lycopersicum</i> L.) en la fitorremediación de cobre de suelo contaminado	Cartaya, O.; Guridi, F.; Cabrera, A.; Moreno, A.; Hernández, Y.	2017	Cuba	<i>Solanum Lycopersicum</i>	Ogal se aplicó al suelo a diferentes concentraciones (5, 10, 20, 30 mg. L), donde las semillas de tomate germinaron durante 35 días para potenciar el efecto de sus extractos vegetales. Posteriormente, se evaluaron las características fisiológicas de las plantas de tomate relativas al control y las características de absorción por medio de espectrofotometría de absorción atómica.	Fitoextracción	En comparación con el control, la longitud de las plantas cultivadas en el suelo contaminado fue significativamente más corta sin el tratamiento con Ogal. Sin embargo, entre la plata tratada, la más cercana al control fue de 20 mg. grande Esto conduce a una mayor concentración de iones de cobre en las raíces y hojas de plata, lo que amplifica su capacidad de bioacumulación.

7	Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao.	Castebianco, J.	2018	Ecuador	<i>Artemisia Campestris, M. sativa o Eucalyptus camaldulensis</i>	Con base en la revisión del trabajo, la investigación muestra que las técnicas de remediación (fitorremediación y biorremediación) han logrado excelentes resultados en la limpieza de suelos contaminados, o han evitado la transferencia del contenido de plomo y cadmio en el suelo a cultivos de diversos propósitos. Zona de producción de cacao de Colombia.	Fitoextracción	Los resultados obtenidos resaltan la importancia de implementar un sistema integral de remediación de suelos, que incluye la agregación paulatina de árboles nativos, hierbas, plantas acuáticas, biocarbón, bacterias y micorrizas arbusculares.
8	Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación	Covarrubias, S. y Peña, J.	2017	México	<i>Scirpus americanus, Typha latifolia, Jatropha dioica, Eichhornia crassipes y Amaranthus hybridus</i>	En este trabajo, las especies vegetales utilizadas para remover metales pesados del suelo son Onchocerca americana, espadaña, jatrofa, jacinto de agua y col A, que tienen la capacidad de acumular metales. Una de las estrategias para mejorar el proceso de extracción de plantas metálicas es inocular el suelo con microorganismos.	Fitoextracción	Las bacterias Rhizobia, Agrobacterium, Arthrobacter, Microbacteria, Campylobacter, Rhodococcus, Xanthomonas y Pseudomonas utilizadas en estos tratamientos arrojaron resultados alentadores. La estrategia consiste en mejorar el proceso de extracción de plantas mediante la inoculación de microorganismos del suelo. Metal.

9	Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando <i>Helianthus annuus</i> L. en la Estación Experimental El Mantaro	Peña, F., y Beltrán, E.	2017	Perú	<i>Helianthus annuus</i> L.	Al examinar y analizar de suelos se utilizó el método de análisis instrumental ICP-Masas y se midió la concentración de metales pesados extraídos de girasoles en 03 lotes (A, B y C) instalados en la estación experimental EL MANTARO. Con el fin de purificar el suelo contaminado por metales pesados, se recolectaron muestras de suelo en tres etapas diferentes antes de la siembra, durante la siembra y después de la cosecha.	Fitoextracción	La concentración de metales pesados extraídos del girasol es: raíz: Sb (2,00 ppm), As (10,27), Cd (2,61 ppm), Cu (18,97 ppm), Cr (2735 ppm), Fe (3519,0 ppm), Mn (204,88 ppm), Pb (17,45 ppm) y Zn (298,3) hojas: Cd (1,72 ppm), Cu (29,22 ppm), Fe (256, 85 ppm), Mn (129,435 ppm), Pb (0,899 ppm) y Zn (94,93); Tallo: Cu (5,582 ppm), Fe (276,05 ppm), Mn (32,135 ppm), Pb (0,3685 ppm) y Zn (100,135 ppm) Flor: Cu (43,90 ppm), Cr (10,23 ppm), Fe (9006,67 ppm), Mn (705,53 ppm), Pb (47,87 ppm) y Zn. Semilla: Excepto por Cd (0.228 ppm), no se han reportado concentraciones de metales pesados.
10	Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados	Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M. y Cano, N.	2014	Perú	<i>Solanum nitidum</i> , <i>Brassica rapa</i> , <i>Fuertesimalva</i> <i>Carex echinata</i> <i>Urtica urens</i> y <i>Lupinus ballianus</i>	Se utilizó un método de producción de biomasa, el cual se redujo significativamente debido al tratamiento de relaves de mina al 100% y la acumulación de plomo, zinc y cadmio en cinco especies vegetales, estas fueron procesadas mediante un diseño factorial completo. 5 x 4, donde 5 representa cinco especies altas andinas y 4 representa cuatro sustratos.	Fitovolatilización y Fitoextracción	Entre las especies evaluadas, el mayor valor de biomasa se obtuvo a través del tratamiento control. Se observó que las plantas de <i>Solanum</i> acumularon el mayor rendimiento de biomasa. El análisis de varianza muestra importantes diferencias, lo que indica que al menos una de ellas es diferente a las demás. <i>Fuertesimalva Echinacea</i> tiene la mayor eficiencia en la extracción y acumulación de plomo y zinc, lo que indica que es una especie fitorremediadora en suelos contaminados por estos elementos. El índice de tratamiento (IT) muestra que la equinácea (<i>Fuertesimalva echinata</i>) tiene la mayor tolerancia al tratamiento del 100% de relaves mineros, pero el rendimiento de biomasa es bajo.

11	Fitorremediación de residuos de minas contaminados con metales pesados	Amezcuca, A., Hernández, E. y Díaz, P.	2020	México	<i>Lolium perenne</i> y <i>Poa pratensis</i>	El método utilizado es la adición de abono, lo que facilita la extracción de metales y aumenta la producción de biomasa. <i>Perenne L.</i> es la especie de más rápido crecimiento con el mayor contenido de manganeso y cobre. En relaves mineros, el trabajo experimental se realiza en sitio y está diseñado completamente al azar. <i>Zinnia (L. perenne)</i> se estableció durante 103 días y <i>Vannamei (P. pratensis)</i> se estableció durante 80 días.	Fitodegradación y Fitoextracción	La densidad de los relaves antes del experimento era de 1,20 a 1,45 g / cm ³ y el valor de nitrógeno inorgánico era de 5,6 a 24,1 mg kg. La materia seca producida es un 66% menor que la del suelo agrícola. La producción de <i>P. pratensis</i> en relaves es 65,7% menor que la de <i>Padmavathiamma</i> y <i>Li</i> . El sistema de raíces de <i>L. perenne</i> extrae la mayor cantidad de <i>Cu</i> después del tratamiento con <i>Lp</i> . <i>Mn</i> y <i>Cd</i> son <i>Lp</i> + suelo + tratamiento de compost, y el plomo es <i>Lp</i> + compost. En el caso de <i>P. pratensis</i> , indica el tratamiento con mayor valor de <i>Cu</i> .
12	Empleo de polímeros naturales como alternativa para la remediación de suelos contaminados por metales pesados	Cartaya, O., Reynaldo, I., Peniche, C. y Garrido, M.	2011	México	<i>Solanum</i> <i>Lycopersicum</i>	Para este trabajo se estudió la absorción y la distribución de metales pesados tratados con polímeros naturales a través de una mezcla de oligogalacturónidos. También se analizó la concentración de metales medida en cada uno de los extractos por espectrofotometría de absorción atómica, con el fin de determinar el efecto residual y la movilidad de estos elementos. Los resultados se analizaron por análisis de varianza simple.	Fitodegradación y Fitoextracción	El efecto del cobre sobre la longitud de la raíz de las plantas de tomate mostró diferencias significativas en el medio libre de contaminación y el cobre en contacto con el metal. Estos resultados indican que, aunque la baja movilidad y biodisponibilidad de los metales pesados se debe especialmente a las propiedades del suelo, el uso de mezclas de galactooligosidos compensa los efectos tóxicos de los metales pesados y cambia el patrón de acumulación.

13	Fitorremediación con Maíz (<i>Zea mays</i> L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados	Munive, R., Loli, O., Azabache, A. y Gamarra, G.	2018	Perú	<i>Zea Mays</i>	El método utilizado es aplicar 3 tratamientos (T1: Compost de Stevia, T2: Vermicompost de Stevia y T3: Químico) y 3 repeticiones (Mantaro y Muqui del Valle del Mantaro) para cada ubicación para evaluar el efecto de modificadores orgánicos (Compost y vermicompost de Stevia), utilizando el maíz como planta de fitorremediación. Para interpretar los resultados, se compararon los tratamientos en dos lugares: Mantaro y Muqui.	Fitoestabilización y Fitoextracción	Los resultados mostraron que el suelo de la localidad de Muqui presentó el mayor contenido de Pb y Cd, mostrando efectos negativos, como reducción del rendimiento de materia seca de hojas, tallos y raíces de maíz y crecimiento lento. Las plantas de maíz absorben metales pesados del suelo, y la acumulación de plomo y cadmio en sus raíces es mayor, lo que demuestra que la aplicación de enmiendas orgánicas puede ayudar a disolver el Pb y Cd en el suelo. No obstante, los micro gusanos de la Stevia son más efectivos para absorber metales pesados en el suelo.
14	Uso potencial del huizache (<i>Acacia farnesiana</i> L. Will) en la fitorremediación de suelos contaminados con plomo	Landeros-Marquéz, O.; Trejo, R.; Reveles, M.; Valdez, R.; Arreola, J.; Sandoval, A. y Ruíz, J.	2011	México	<i>Acacia farnesiana</i> L. Will	El próximo trabajo incluye evaluar la tasa de extracción de plantas de plomo de acacia. Por este motivo, se estableció un diseño bidireccional en una agrupación aleatoria completa con cuatro repeticiones. Un análisis de preparación de muestras de plantas para la determinación de la tasa de absorción de sodio (RAS) a través de la cuantificación de cationes solubles mediante espectrofotometría de absorción atómica.	Fitoextracción	Fue evaluada la tasa fotosintética y la concentración de plomo de raíces, tallos y hojas. La dosis de nitrógeno y la concentración de plomo por sí solas no causaron diferencias importantes en la tasa fotosintética de las plantas de huizache, sin embargo, la interacción entre estos dos factores fue estadísticamente significativa ($P = 0.0074$), y se encontró que la mayor acumulación de plomo sucedió en las plantas. -parte de tierra. El promedio es 352,34 mg · kg ⁻¹ .

15	Especies forestales para la recuperación de suelos contaminados con cobre debido a actividades mineras	Pizarro, R.; Flores, R., Tapia, J., Valdés-Pineda, R., González, D., Morales, C.; Sangüesa, C.; Balocchi, F. y León, L.	2016	Chile	<i>Acacia saligna</i>	El propósito del estudio de este trabajo es determinar y comparar la capacidad de estabilización vegetal de especies vegetales nativas y exóticas en áreas degradadas por actividades mineras en el área de Coquimbo. La tasa de supervivencia, crecimiento y desarrollo del dosel de 20 plantas se evaluó en dos experimentos.	Fitoestabilización	Los resultados muestran que la langosta Robinia (<i>Acacia saligna</i>) posee la mejor capacidad de acumulación de metales pesados (en suelo no fertilizado, el contenido de metales pesados en hojas es de 34.8 ppm y el contenido de peso en tallos es de 12.3 ppm), y la tasa de supervivencia es mayor al 80%. La conclusión es: en el área de Coquimbo, S. Saligna es la mejor especie para la estabilización de plantas en relaves de plantas. La tasa de supervivencia promedio de las especies en suelo no fertilizado es del 74,8%, mientras que la tasa de supervivencia promedio de las especies cultivadas en suelo fertilizado es del 87%.
16	Evaluación de la tolerancia al cobre de dos poblaciones de <i>Oenothera picensis</i> Phil. subsp. <i>picensis</i> (Onagraceae).	González, I. y Neaman, A.	2015	Chile	<i>Oenothera picensis</i> Phil. Subsp <i>Picensis</i>	El trabajo posterior incluyó la evaluación de la tolerancia al cobre de dos poblaciones de onagra. Subespecie <i>picensis</i> (Onagraceae). Para ello, se utilizaron dos poblaciones de <i>O. picensis</i> de Los Maitenes y Maitecillo para experimentos hidropónicos. La concentración de cobre se determina mediante espectrofotometría de absorción atómica.	Fitoestabilización y Fitoextracción	Los resultados de la observación mostraron que las plantas mostraron síntomas tóxicos cuando la concentración de Cu en la solución fue de 0.04 mM y no hubo diferencia significativa en la tolerancia de las dos poblaciones. Durante el tratamiento de Cu 0.16 mM en la solución, la concentración foliar máxima de cobre observada en <i>O. picensis</i> alcanzó 1660 ± 857 mg kg ⁻¹ . No obstante, las plantas mostraron severos síntomas de toxicidad. En consecuencia, es imposible clasificarlo como una especie super acumulativa.

17	Potencial de <i>Zantedeschia aethiopica</i> L. para la rehabilitación de suelos contaminados con cromo hexavalente en zonas alto andinas de Ecuador	Beltrán, A.; Rosero, C.; Cargua, F. y Echeverría, M	2019	Ecuador	<i>Zantedeschia aethiopica</i>	El siguiente trabajo incluye evaluar los efectos tóxicos del cromo hexavalente en nenúfares, reconocer las limitaciones del cromo hexavalente como indicador biológico y determinar los efectos fisiológicos específicos y no específicos, que incluyen: germinación relativa de semillas, alargamiento relativo de raíces e índice de germinación. Para determinar el factor de bioconcentración (BCF), se utiliza el índice de traslocación poscosecha (IT) como la concentración de metales en las partes aéreas de las plantas (tallos, hojas y flores) y el suelo.	Fitovolatilización y Fitoextracción	Los resultados evidenciaron que, durante la etapa de germinación, Cr + 6 a concentraciones de 100, 200 y 300 mg / kg tuvo una toxicidad similar, y las concentraciones de 200 y 300 mg / kg tuvieron efectos fisiológicos inespecíficos sobre el crecimiento de las plantas, sin mostrar floración, enanismo y marchitamiento. Los resultados muestran que el límite de CL50 es de 118,96 mg / kg Cr + 6, donde la planta es el indicador biológico y de bioacumulación del metal.
18	Identificación de especies vegetales asociadas a jales del distrito minero de Guanajuato	Noriega, B.; Morales, A.; Luna, R.; Ulloa, T.; Cruz, G.; Serafín, A. y Gutiérrez, N.	2016	México	<i>Acacia farnesiana</i> , <i>Acacia parviflora</i> , <i>Dodonaea viscosa</i> , <i>Senecio salignus</i> , <i>Asclepias curassavica</i> y <i>Phoradendron sp.</i>	El propósito de este trabajo es recolectar e identificar especies de plantas que existen en áreas afectadas por relaves. Hay grandes depósitos dispersos de relaves mineros en el área. Para recolectar estas especies, se estimó la tasa de cobertura vegetal y se seleccionó al azar la especie con mayor tasa de cobertura en el sitio de estudio. A través de la observación de campo, se caracterizó la flora del campo.	Fitodegradación y Fitoextracción	La observación encontró que se hallaron 22 especies de plantas diferentes pertenecientes a 13 familias. Algunas de ellas pueden ser utilizadas en tecnología de fitorremediación debido al ambiente contaminado por una gran cantidad de metales pesados. Estos ambientes producirán una gran cantidad de biomasa, como acacia y Acacia pequeña Viscosa duodeno, Senecio, alineo, maderita, purpurina y rododendro. Aunque los especímenes anteriores son plantas de fitorremediación, es necesario verificar si realmente absorben y / o toleran metales pesados mediante métodos analíticos.

19	Caracterización de bacterias rizosféricas de suelo circundante a una planta recicladora de plomo (Pb)	Barcos, M.; Maldonado, M.; Vera, J. y Peña, J.	2019	México	<i>Acacia farneciana</i> , <i>Prosopis glandulosa</i>	El propósito de este trabajo de investigación es aislar e identificar bacterias de la rizosfera de huizache y mezquite (principal vegetación que rodea a las empresas de reciclaje de plomo). La tolerancia de las bacterias al Pb y la capacidad de producción de ácido indol-3-acético (IAA) y sideróforo se evaluaron mediante tecnología de Salkowski y medio de agar Chromazuro S (CAS).	Fitovolatilización y Fitoextracción	El resultado confirmó que el aislado bacteriano fue identificado por el gen ARNr 16S. Diez cepas bacterianas pueden tolerar concentraciones de Pb (NO3) 2 de 0,6 a 1,8 mM, de las cuales siete cepas producen hasta 60,0 µg / ml de IAA y cinco cepas producen sideróforos. Cualitativamente, en comparación con las cepas L138 y L23, las cepas L2, L48 y L67 mostraron un halo naranja más fuerte, lo que indica que la producción de sideróforos fue positiva. Las cepas L2, L48, L67, L138 y L23 produjeron sideróforos de tipo hidroxamato que variaban de 0,02 a 0,054 µg / ml.
20	Cuantificación de mercurio en pasto tratado con biosólidos por espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros.	Ortiz, A.; Araque, P. y Peláez, C.	2016	Colombia	<i>Pennisetum clandestinum</i>	El método empleado para cuantificar el contenido de mercurio en los pastos es la espectrofotometría de absorción atómica, que utiliza tecnología generadora de hidruro de vapor frío. Algunos parámetros de verificación se han verificado mediante criterios de aceptación ideales, como exactitud, linealidad, precisión, límite de detección y cuantificación.	Fitovolatilización y Fitoextracción	Los hechos han demostrado que la concentración de mercurio es menor que la máxima permitida por las regulaciones internacionales, y la concentración de mercurio base es de 0.32 ± 0.02 mg / kg, lo que equivale al 38% de lo reportado en ambos casos. Fuente de nutrientes agrícolas.

21	Extracción secuencial de metales pesados en dos suelos contaminados (Andisol y Vertisol) enmendados con ácidos húmicos	Cortes, L.; Bravo, I.; Martin, F. y Menjivar, J.	2016	Colombia	<i>Andisol y Vertisol</i>	Para realizar la siguiente investigación, a través de la extracción secuencial de Tessier, se utilizó ácido húmico como modificador orgánico para fraccionar los metales (Ni, Cu, Zn, Cd y Pb) presentes en suelos contaminados con metales pesados. Con un diseño completamente al azar, se realizaron 60 tratamientos, correspondientes a dos suelos, cinco metales, tres concentraciones de HA y dos tiempos de incubación (60 días y 90 días) para dos cultivos repetidos.	Fitoestabilización y Bioacumulación	Los resultados son los siguientes: la movilidad del metal se reduce al agregar el ácido y la retención de Ni, Cu, Zn y Cd en la matriz del suelo (parte residual) es mayor. Tanto el plomo en el suelo como el zinc en Vertisol han experimentado un aumento significativo en la movilidad, mayor biodisponibilidad y el potencial de afectar diferentes componentes del medio ambiente. Generalmente, el ácido húmico se puede utilizar como modificador orgánico para recuperar suelos contaminados por metales pesados.
22	Estudio exploratorio de la acumulación de plomo y cobre en <i>Prosopis laevigata</i> en depósitos mineros	Duarte, M., Pérez, V., Hernández, E. y Villanueva, A.	2020	México	<i>Prosopis laevigata</i>	Fue ejecutado un estudio exploratorio para conocer el potencial del bronce de plomo en la acumulación de plomo y cobre en los islotes de vegetación establecidos en el depósito Zimapán en Hidalgo, México. Se tomaron muestras de superficie de residuos mineros en tres depósitos, así como muestras de hojas de <i>P. laevigata</i> . Se evaluaron las concentraciones extraíbles de Pb y Cu. Se midió la concentración total de Pb y Cu en las hojas de <i>P. laevigata</i> y se calculó el factor de bioacumulación.	Fitoestabilización y Fitoimmobilización	En el depósito de San Juan, los desechos y las hojas contienen el mayor contenido de plomo y cobre. <i>P. laevigata</i> ; bioacumula plomo y cobre y crece en condiciones de extrema contaminación, por lo que se recomienda su uso en planes de restauración de vegetación en sitios contaminados. Palabras clave: contaminación, metales, minería, plantas, toxicidad. Los resultados muestran que los sitios mineros abandonados en la provincia de Zimapán son una fuente importante de contaminación por plomo y cobre.

23	Potencial de fitoextracción de plantas de humedales para cobre en cuerpos de agua	Crear, Zhiwen; Xingzhong, Yuan; Chen, Xiangying y Xiaoxia Cui.	2017	China	Acorus calamus y Phragmites australis	A partir del experimento hidropónico de soluciones de Cu ²⁺ con diferentes concentraciones, se estudió la acumulación de Cu ²⁺ en distintas partes de Acorus calamus y Phragmites australis. La concentración de Cu ²⁺ en la masa de agua es de 0, 10, 25, 60, 100, 200 y 500 mg / l, respectivamente.	Fitoinmovilización y Fitoextracción	Los resultados expusieron la existencia de una importante diferencia en la concentración de Cu ²⁺ entre las partes superior e inferior del suelo de caldera y caña. El contenido de Cu ²⁺ en el agua y la solución hidropónica acrecienta con el incremento de la concentración de Cu ²⁺ hidropónico, lo que conduce a una correlación positiva significativa entre el contenido de Cu ²⁺ y la concentración de la solución hidropónica.
24	El papel de los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados	Covarrubias, S.; García, J. y Peña, J.	2015	México	<i>Thiobacillus thiooxidans</i> , <i>T. ferrooxidans</i> y <i>Leptospirillum ferrooxidans</i>	La tecnología de remediación de suelos se basa en métodos físicos, químicos y biológicos. Este último se llama biorremediación porque utiliza el potencial metabólico de los organismos vivos (bacterias y hongos) para la purificación. Los procesos más utilizados en biorremediación son la adsorción, precipitación, lixiviación y volatilización de metales pesados. No obstante, se necesita más investigación acerca de la diversidad microbiana de los lugares contaminados por metales pesados para hallar cepas que sean más adecuadas para estas cepas y tengan mayores capacidades de biorremediación para estos contaminantes.	Fitoextracción y Fitovolatilización	La contaminación por metales pesados representa una problemática grave, especialmente en las principales naciones productoras de minerales como México. Aunque los métodos físicos y químicos son efectivos, representan costos económicos y ambientales. De allí que, un método biológico basado en el uso de las propiedades metabólicas de bacterias y hongos para purificar metales pesados representa una alternativa complementaria a los métodos tradicionales. No obstante, se necesita más investigación sobre la diversidad. Microorganismos en partes contaminadas por metales pesados, porque allí pueden aparecer cepas más adaptables, tienen mejores capacidades y pueden usarse para la biorremediación de estos contaminantes.

25	Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en tres regiones del Perú	Arévalo, E.; Obando, M.; Zúñiga, L.; Arévalo, L.; Baligar V. y He; Z	2016	Perú	<i>Theobroma cacao</i> L.	En este trabajo fueron tomadas en cuenta plantaciones de 10 a 15 años. Fueron ejecutados análisis físicos (textura) y químicos (pH, materia orgánica, CIC, P, K, Ca, Mg, Al, Cd, Ni, Pb, Fe, Cu, Zn, Mn) en el suelo muestreado. El suelo en estudio proporciona las condiciones físicas y químicas suficientes para el cultivo del cacao.	Fitoestabilización y Fitoimmobilización	Existe una correlación positiva entre el pH y la presencia de cobre, zinc y cadmio en el suelo, a excepción del plomo, que tiene una correlación negativa. El cadmio se correlaciona positivamente con pH, MOS, P, K disponible e intercambiable, CIC, Ca ²⁺ , Mg ²⁺ y K ⁺ , pero correlaciona negativamente con la acidez. A excepción del plomo, otros metales se correlacionan positivamente con la CIC y negativamente con la acidez intercambiable. El valor de los metales pesados es inferior al valor considerado fitotóxico. Las regiones del sur tienen valores promedio más altos de hierro, zinc, manganeso, níquel y plomo, mientras que las regiones del norte tienen valores más altos de cobre y cadmio. Generalmente, el pH, el contenido de arcilla y el Mg son las variables con mayor correlación con las concentraciones de metales pesados.
26	Presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de <i>Brachiaria</i> en el Magdalena medio colombiano	Peláez, M.; Bustamante, J. y Gómez, E.	2016	Colombia	<i>Brachiaria spp</i>	Con base en la distancia a la fuente de contaminación (100, 500, 2500 y 5000 m), se revisaron los pastos en esta área. Por ello, tomaron muestras del pozo de extracción (Jondo, Antioquia) en la zona cercana a la refinería de crudo (Barrancabermeja, Santander), y utilizaron como testigo el campus académico de la Universidad de La Paz (Barrancabermeja, Santander).	Fitoestabilización y Fitoimmobilización	Los resultados conseguidos muestran que los representantes de la familia Poaceae y sus <i>Brachiaria</i> spp. Tienen alta frecuencia, especialmente moho de humedal y decumbens, con importantes diferencias. La información se explica en las tres primeras partes, entre ellas, las variables más ponderadas son la profundidad del suelo a 5 cm y 30 cm, los tipos de pastos dominados por especies introducidas y la contaminación de transectos relacionada con la distancia focal de la fuente. Por lo tanto, solo se detectaron dos especies de <i>Brachiaria</i> en el área de refinación, mientras que la frecuencia de otras especies de <i>Brachiaria</i> en el área del pozo de extracción y el área de control fue mayor.

27	Dairo Fitoextracción de cadmio con hierba mora (<i>Solanum nigrum</i> L.) en suelos cultivados con cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).	Ramírez Pisco, Ramiro, Giraldo Jiménez, Daniela, Barrera Cruz, Dairo	2018	Colombia	<i>Solanum nigrum</i> L.	Para el experimento de extracción vegetal de cadmio, se evaluaron tres métodos de tratamiento correspondientes cuando la concentración de Cd (mg / kg) era 0 (T1), 5 (T2) y 10 (T3). La unidad experimental consta de macetas dispuestas en un diseño aleatorio, y cada tratamiento se repite cinco veces. Para medir la biomasa, las partes aéreas (hojas y tallos) se separan de las raíces y se secan en estufa durante 3 días hasta alcanzar un peso constante.	Fitoextracción	Existe una alta correlación entre el contenido de elementos en el suelo y su acumulación en las plantas, aumentando así ($P < 0,05$) el área foliar ($r^2 = 0,63$), la biomasa vegetal ($r^2 = 0,63$) y la biomasa. Las raíces ($r^2 = 0,74$) y los tallos ($r^2 = 0,47$) son iguales a las hojas ($r^2 = 0,68$). Por tanto, <i>S. Nigrum</i> L. es un método alternativo en el proceso de extracción vegetal de este metal, debido a que es una planta de rápido crecimiento con bajos requerimientos ambientales y fuerte adaptabilidad.
28	Capacidad del girasol (<i>helianthus annus</i> l.) para absorber cadmio de suelos contaminados en ambiente controlado, puno.	Suaña Quispe, María	2018	Perú	<i>Helianthus annus</i> L.	El propósito de este trabajo fue determinar la capacidad de absorción de girasoles en el suelo con contenido de cadmio en el centro de la ciudad de La Rinconada. El diseño experimental utilizado es un área completa aleatoria (DBCA), con una parte de la planta (raíces, tallos y hojas) y el área de los dos ambientes de cultivo como factores principales. El análisis del contenido de cadmio en suelos y tejidos vegetales se realiza en el Laboratorio Lasos (LAS) por método de absorción atómica.	Fitoextracción	Los resultados son: el valor promedio de las muestras de suelo en invernadero al aire libre es de 24.36 mg / kg, y el valor promedio de cadmio es de 21.76 mg / kg, no hay diferencia estadística entre los dos ambientes ($p = 0.112$). En el ambiente exterior, el contenido promedio de cadmio en las hojas es de 0.21 mg / kg, la raíz es 0.88, el tallo es 0.29, el promedio dentro de las hojas es 0.29 mg / kg, la raíz es 1.80, el tallo es 0.27, y el contenido de raíz es estadísticamente más alto.
29	Bioacumulación de cadmio en el cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú	Oc Llatance, Wilber; Gonza Saavedra, César y Guzmán Castillo, Wagner.y Pariente Mondragón, Elí	2018	Perú	<i>Pouteria caimito</i> , <i>Radlk.</i> , <i>Matisia cordata Bonpl.</i> , <i>Malvaviscus sp.</i> , <i>Vochysia sp.</i> , <i>Carludovica palmata</i> , <i>Attalea sp.</i> y <i>Theobroma cacao</i> L.	En comparación con otras especies, el cacao (<i>Theobroma</i>) tiene la mayor acumulación de cadmio. La concentración en hojas y raíces es de 0.509 mg.kg-1 (0.34 mg.kg-1), lo que la hace considerada como una especie potencial fitorremediadora. El cambio del cadmio total en las hojas puede depender de su edad, porque las hojas más tempranas acumulan un mayor contenido de cadmio total debido a la presencia de péptidos que las hojas más jóvenes. El contenido total de cadmio en frutas no excede el límite de 0,8 mg.kg-1.	Fitoestabilización y Fitoimmobilización	En comparación con otras especies, la especie de cacao (<i>Theobroma</i>) tiene la mayor acumulación de cadmio. La concentración en hojas y raíces es de 0.509 mg.kg-1 (0.34 mg.kg-1), lo que la hace considerada como una especie potencial fitorremediadora. El cambio del cadmio total en las hojas puede depender de su edad, porque las hojas más tempranas acumulan un mayor contenido de cadmio total debido a la presencia de péptidos que las hojas más jóvenes. El contenido total de cadmio en frutas no excede el límite de 0,8 mg.kg-1.

30	Potencial de fitorremediación del tomate para la eliminación de Cd y Cr de suelos contaminados	Saleh J, Ghasemi H, Shahriari A, Alizadeh F, Hosseini Y	2017	Irán	<i>Lycopersicon esculentum L.</i>	En esta investigación, se estudiaron tres grandes áreas de cultivo de tomate (Tazian, Kahurestan y Parsian) ubicadas en partes occidentales de la provincia de Hormozgan, Irán. Se registraron con precisión las prácticas de gestión agrícola, como la tasa, el tipo y el método de fertilización. Fue recogida una muestra de suelo compuesto de cada sitio (0-30 cm) antes de la plantación, secado al horno, molido y tamizado a través de tamiz de 2 mm y el CD y Cr extraíbles DTPA fueron determinados por el método de espectrofotómetro de absorción atómica dado por Lindsay y Norvell.	Fitoextracción	Según los resultados, la acumulación de cromo fue en el patrón creciente de cáscara de fruta<pulpa comestible< brotes y raíces. El cadmio no se detectó ni en la cáscara ni en la pulpa de las frutas. La concentración de cadmio de los disparos fue más que la de las raíces. La determinación del factor de bioconcentración (BCF) y el factor de translocación (TF) reveló que el tomate era adecuado para la fitoextracción del cadmio, pero no el cromo, en todo el suelo examinado. Además, el tomate no mostró idoneidad para la fitostabilización en los suelos contaminados con cadmio y cromo.
31	Respuesta de crecimiento y ionómica de sedum praealtum a. dc. por la acción sinérgica del ácido indolbutírico y una rizobacteria en la fitoextracción asistida de arsénico y cadmio	Chávez-Ramírez, B.; A. Rodríguez-Dorantes, L.A. Guerrero-Zúñiga, M.S. Vásquez-Murrieta, y M.O. Franco-Hernández	2018	México	<i>de sedum praealtum a. dc.</i>	Este trabajo evaluó los rizobios Pseudomonas sp. De sinergia. C2 y ácido indolbutírico ayudaron a la extracción de arsénico y cadmio, mediante el análisis del crecimiento y la respuesta fisiológica de sedum crassula. El experimento consideró seis repeticiones y se mantuvo en condiciones de invernadero controladas durante 10 días	Fitoextracción	En este estudio, la presencia de arsénico y cadmio afectó adversamente los radicales libres y el crecimiento de las hojas de las plantas de S. praealtum A. DC. En cuanto al problema de la adición de hormonas vegetales con rizobios, en presencia de este elemento químico, en relación al experimento, el crecimiento de radicales libres representó el 69%. Los resultados del porcentaje de crecimiento de plantas de S. praealtum expuestas a Cd mostraron que el crecimiento foliar se promovió en presencia de inoculantes y hormonas vegetales.

32	Potencial de Rapeseed (<i>Brassica napus</i> L.) para fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados	Angelovaa, V.; Ivanovab, R.; Todorovb, J. y Ivanova, K.	2017	Bulgaria	<i>Brassica napus</i> L.	El experimento se realizó en un campo agrícola contaminado por las obras de metales no ferrosos cerca de Plovdiv, Bulgaria. El field experimental fue un diseño de bloque completo aleatorizado que contenía cinco tratamientos y cuatro repeticiones (20 parcelas). Los tratamientos residieron en un control (sin modificaciones orgánicas), modificaciones del compost (añadidos en 20 y 40 t/da), y enmiendas vermicompost (added a 20 y 40 t/da). Al alcanzar la madurez comercial, se recogieron las plantas de colza. El aceite de semilla molida se derivó en condiciones de laboratorio a través de un método de extracción con el aparato Socksle.	Fitoextracción	Los resultados determinaron el contenido de metales pesados en raíces, tallos, leaves, vainas, semillas, aceites y harinas de colza. El contenido de Pb en las raíces de la colza sin enmiendas alcanzó 56,2 mg/kg, Zn-330,70 mg/kg, Cd-14,9 mg/kg. Nuestros resultados indican que una parte considerable de los metales pesados se acumulan en las raíces, lo que es consistente con los resultados de otros autores. La adición de compost y vermicompost conduce a la disminución del contenido de Pb, Zn y Cd, en las raíces y tallos, mientras que el contenido de Pb y Cd aumenta en las vainas de la violación. La colza es una planta que es tolerante a los metales pesados, se puede cultivar en suelos contaminados con metales pesados, y se puede utilizar con éxito en la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados.
33	Plantas de pastizal Potencial para la fitorremediación de suelos contaminados con plomo, zinc, cadmio y níquel (Caso práctico: pastizales alrededor de la fábrica nacional de plomo y zinc, Zanjan, Irán)	Moameri, Mehdi; Jafri, Mohammad; Tavili, Ali; Motasharezadeh, Babak; Mohammad Ali y Zare Chahouki	2016	Irán	<i>Stipa hohenackeriana</i> , <i>Brassica juncea</i> , <i>Scariola orientalis</i> , <i>Scariola orientalis</i> y <i>Echium amoenum</i>	El muestreo se realizó en 11 lugares y se recolectaron muestras de plantas de 14 especies de plantas nativas. Se recolectaron tres muestras de suelo en cada lugar. Tome muestras de suelo del área de enraizamiento. Extrae plomo, zinc, cadmio y níquel de las plantas mediante digestión ácida. Las muestras de plantas se digirieron en una mezcla diácida (3: 1) de ácido nítrico (HNO ₃) y ácido perclórico (HClO ₄), y las muestras de suelo se digirieron con ácido HNO ₃ 4M. Los metales Pb, Zn, Cd y Ni se extraen de muestras de plantas y suelos y se miden utilizando espectrometría de emisión de plasma acoplada inductivamente "ICP-OES".	Fitoestabilización y Fitoimovilización	Los resultados mostraron que no se encontraron superacumulaciones de plomo y zinc en esta área. Todas las plantas se clasifican en acumuladores bajos en plomo, eliminadores y acumuladores medianos, acumuladores o eliminadores bajos en zinc. Aunque la concentración de plomo y zinc en las plantas es superior al rango estándar. Los rangos estándar de plomo y zinc en las plantas de pastizales son 0.2-20 y 1-400 mgkg ⁻¹ , respectivamente, mientras que las especies Brassica y Oriental Scareola se clasifican como superacumuladores de Cd, mientras que Scariola Orientalis y Echium amoenum se clasifican como Ni acumulados excesivos. Los valores normales de Cd y Ni en estas plantas son 0.1-2.4 y 0.02-5.0 mgkg ⁻¹ , respectivamente.

34	Implementación de un sistema de fitorremediación en zona aledaña a reserva forestal protectora El Malmo, Boyacá, Colombia	Albaluz Ramos, Franco; Prieto Naranjo, Jeffrey; Cárdenas Nieto, Diana y Bernal Sierra, Magda	2016	Colombia	Cyperus papyrus y Schoenoplectus californicus	Utilizando papiro y Schoenoplectus californicus, se utilizó un humedal de flujo subterráneo artificial para tratar las aguas residuales domésticas. Mediante esta alternativa, los coliformes totales y fecales se redujeron en 98,5% y 88%, respectivamente. Del mismo modo, las tasas de eliminación de DBO5 y DQO fueron del 27,4% y el 25,2%, respectivamente.	Fitodegradación y Fitoextracción	Los resultados mostraron: coliformes en heces (CF) y totales (CT). Las aguas residuales ingresan al humedal a 7×10^7 NMP / 100 ml y se descargan a 1×10^6 NMP / ml, por lo que la CF se reduce en un 98,5%. Respecto a CT, ninguno La capacidad de procesamiento es de 1.6×10^9 MPN / 100 ml, y la producción del humedal muestra un valor de 1.8×10^8 MPN / 100 ml, y el TC se reduce en 88.14%.
35	Phytoextraction de oro y recuperación de suelos degradadas por la minería	Ramírez Pisco, Ramiro; Gómez Yarce, Juan Pablo; Guáqueta Restrepo, Juan José; Gaviria Palacio, Daniel	2017	Colombia	Brachiaria decumbens Stapf. y Helianthus annuus L.	El propósito de este trabajo es determinar si Brachionella brachii tiene el potencial de mejorar las propiedades físicas del suelo y al mismo tiempo extraer oro del suelo. Otro propósito es verificar si el girasol tiene la capacidad de mejorar las propiedades físicas del suelo además de que el girasol es un extracto de planta dorada. Para ello, las plantas se utilizaron en un diseño completamente aleatorio, repetido cuatro veces. La aplicación de tiocianato de amonio indujo la absorción de oro en las plantas y el análisis estadístico fue ejecutado a través del software R-Studio.	Fitoextracción	Existe evidencia de que Bacillus subtilis es una planta que extrae luz, además, mejora las propiedades físicas de suelos como H. annuus, que tiene un contenido de oro mayor que este último ($P < 0.05$). La forma de dosificación y aplicación del tiocianato de amonio regula el proceso de absorción del oro produciendo toxicidad en las plantas. El valor de concentración de oro obtenido en este estudio fue muy bajo porque la concentración más alta en este experimento fue de 0.09 mg.kg-1 en Bacillus encubierto.
36	Efecto de la concentración de metales pesados en la respuesta fisiológica y capacidad de acumulación de metales de tres especies vegetales tropicales empleadas en la fitorremediación de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios	Madera-Parra, Carlos A, Peña-Salamanca, Enrique J, Solarte-Soto, Juliana A	2014	Colombia	Gynerium sagittatum (Gs), Colocasia esculenta (Ce), y Heliconia psittacorum (He).	El diseño experimental encerró un diseño factorial con dos factores: i) especie vegetal (tres especies) y ii) concentración de MP en LX (dos concentraciones). HCSFH se organiza en dos módulos experimentales (T1 y T2), dispuestos aleatoriamente y ejecutados en paralelo. Cada bloque consta de seis reactores con plantas (tres reactores, una especie en cada reactor, cada uno con Repetir) y dos unidades sin fábricas, cada una con un total de 8 reactores y dos módulos experimentales con un total de 16.	Fitodegradación y Fitoextracción	Los resultados obtenidos muestran Según las distintas especies de plantas y el tiempo, la producción de clorofila en las plantas expuestas a diferentes concentraciones de metales pesados es diferente y se encuentran diferencias significativas entre las diferentes especies y el tiempo ($p < 0.05$). psittacorum H. psittacorum mostró mayor producción de clorofila en el tratamiento, pero no superó las plantas control. Durante el tratamiento, la cantidad de síntesis de clorofila en es grass fue mayor que la de Gs y fue la misma que se encontró en la especie control, que fue el caso del tratamiento T2.

37	Monitoreo de la Eficiencia de <i>Rhazya stricta</i> L. Plantas en Fitorremediación de Suelos Contaminados con Metales Pesados	Azab E. y Hegazy, A.	2020	Egipto	<i>Rhazya stricta</i>	Este trabajo ejecutó un experimento de invernadero para probar el potencial de <i>Rhazya stricta</i> como un fitorremediador de metales pesados en suelo contaminado. Las plantas se cultivaron durante tres meses en macetas llenas de suelos tratados con los metales pesados Cd, Pb, Cu y Zn a velocidades de 10, 50 y 100 mg/kg. El factor de bioacumulación (BCF) y el factor de translocación (TF) se calcularon para detectar la capacidad de <i>R. stricta</i> para acumular y transferir metales pesados del suelo a los órganos vegetales.	Fitoestabilización	Los resultados mostraron que, bajo los crecientes niveles de contaminación del suelo, la bioconcentración de los metales pesados Cd y Zn mostró los valores más altos en las raíces de las plantas seguidos de las hojas, entretanto que, en el caso de Pb y Cu, las raíces mostraron los valores más altos seguidos de tallos. La acumulación de metales pesados fue mayor en raíces que en tallos y hojas. El BCF de Zn alcanzó los valores más altos en raíces y tallos para el tratamiento del suelo de 10mg/kg, seguido por los BCS de Cd, Cu y Pb. El TF para el diferente pesado cumplió con las concentraciones de contaminantes al fue menor que la unidad, lo que sugiere que las plantas remedian los contaminantes por fitoestabilización.
38	Una reducción de la absorción de metales para <i>Leucaena leucocephala</i> crecido en colas de minas y suelos contaminados con metal.	Kang, X.;Xiumei, Y. ;Zhang, Y.;Yongliang, C.; Weiguo, T.; Qiongyao, W.; Yanmei, L.; Lanfang, H.; Yunfu, G.; Zhao, K.;Quanju, X.; y Qiang, C.;Menggen,M.; Likou, Z.; Zhang, X. y Kang, J	2018	China	<i>Leucaena leucocephala</i>	Para el experimento de extracción, las plantas sanas fueron cuidadosamente desarraigadas, almacenadas en una bolsa de muestreo estéril y enviadas de vuelta al laboratorio. Los tejidos secos de las plantas de <i>Leucaena</i> fueron finamente molidos y digeridos con una mezcla concentrada de HNO ₃ y HClO ₄ (5:1, v/v) antes de la medición de las concentraciones de metales pesados utilizando ICP-AES. Las capacidades de corrección de <i>L.</i> El sistema de <i>leucocephala</i> -Rhizobia se determinó mediante el cálculo del factor de coeficiente de bioconcentración (BCF) y el factor de translocación (TF).	Fitoestabilización y Fitoextracción	Los experimentos de cultivo de maceta mostraron que la cepa YH1 aumentó la biomasa, la altura de la planta y la longitud de la raíz de <i>L. leucocephala</i> en 67,2, 39,5 y 27,2% respectivamente. También hubo un aumento medio en los contenidos de la planta N (10,0%), P (112,2%) y K (25,0%) en comparación con el control libre de inoculación. La inoculación de YH1 no sólo redujo la absorción de todos los metales por <i>L. leucocephala</i> en los relaves de la mina, pero también resultó en una disminución de la absorción de Cd en hasta un 79,9% y Mn en hasta un 67,6% para las plantas cultivadas en suelos contaminados con Cd/Mn.

39	Fitorremediación: Un enfoque prometedor para la revegetación de tierras contaminadas con metales pesados.	Yan, A.; Wang, Y.; Ngin Tan, S.; Lokman Mohd, M.; Ghosh, S. y Chen, Z.	2020	Singapur	<i>Thlaspi caerulescens</i> <i>Arabidopsis halleri</i>	En esta revisión, describimos los mecanismos de cómo se toman, translocan y desintoxican los metales pesados en las plantas. Nos centramos en las estrategias aplicadas para mejorar la eficiencia de la fitostabilización y la fitoextracción, incluida la aplicación de la ingeniería genética, los enfoques asistidos por microbios y los quelatos. Una buena comprensión de los mecanismos de aumento de metales pesados, translocación y desintoxicación plantas, y la identificación y caracterización de diferentes moléculas y la vía de señalización, será de gran importancia para el diseño de especies vegetales ideales para la fitorremediación a través de la ingeniería genética.	Fitostabilización y Fitoextracción	Los resultados mostraron que para prevenir o mitigar la contaminación de metales pesados y revegetar el suelo contaminado, se ha desarrollado una variedad de técnicas. Se ha demostrado que la fitorremediación es una técnica prometedora para la revegetación de suelos contaminados con metales pesados con una buena aceptación del público y muestra una variedad de ventajas en comparación con otras técnicas fisicoquímicas. La aplicación de hiperacumuladores de metales pesados es el enfoque más sencillo para la fitorremediación, y hasta ahora se han identificado cientos de plantas hiperacumuladoras.
40	Aplicación de Marigold Azteca (<i>Tagetes erecta</i> L.) para la fitorremediación de metales pesados contaminado suelo laterítico contaminado.	Madanan, M.; Shah, I.; Varghese, G. y Kaushal, R.	2021	India	<i>Tagetes erecta</i> L.	En el presente estudio, potencial de <i>Tagetes erecta</i> L. se evaluó para la fitorremediación de cadmio (Cd), plomo (Pb) y zinc (Zn) suelo laterítico contaminado. Se llevaron a cabo experimentos en maceta para diversas concentraciones de metales pesados (que oscilaron entre 20 mg/kg y 160 mg/kg). La absorción vegetal de los metales pesados se analizó después de un período de crecimiento de 12 semanas y se determinó mediante el análisis de las concentraciones residuales de metales pesados en las partes aéreas y subterráneas de la planta mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAS).	Fitoextracción	Considerando la planta en su conjunto, la capacidad de captar Zn y Cd era comparable y era significativamente más alto, aproximadamente 13 veces en promedio que su capacidad para captar Pb. A concentraciones más bajas, la capacidad fue ligeramente mayor para Cd, pero a concentraciones más altas, la absorción de Zn fue ligeramente mayor. El factor de bioconcentración (BCF) fue mayor que 1 para Cd (concentración del suelo < 160 mg/kg) y Zn (todas las concentraciones de espiga) y menor que 1 para Pb. El factor de translocación (TF) fue mayor que 1 para Cd (concentración del suelo < 160 mg/kg). <i>Tagetes erecta</i> L. fue encontrado para ser un fitoextractor eficaz para Zn y Cd y un excluidor para Pb.

4.2 Discusión

Respecto al objetivo general que fue explicar los diferentes métodos de fitorremediación que mejoran los suelos contaminados con metales pesados, para ello la selección de las especies vegetales se hizo según su relación con los metales pesados que más coincidencia tenían. De acuerdo a los datos obtenidos las especies con más presencia fueron las de la familia Fabaceae seguidas las de la familia Brassicaceae. Al respecto, a la influencia que tienen las especies seleccionadas y las técnicas empleadas en la remediación de suelos contaminados con metales pesados. Según la tabla 5, las plantas y técnicas de fitorremediación señaladas en los artículos escogidos y que se emplearon en distintos experimentos con suelos contaminados, mostrando un importante porcentaje de metales pesados removidos en los suelos estudiados, según los análisis se puede mostrar que en los suelos contaminados por metales pesados, se deben sembrar plantas que puedan ser compatibles con el clima, debido a que en diferentes regiones están expuestas a la contaminación de los suelos por metales pesados, específicamente las zonas de explotación minera: teniendo en cuenta los factores favorables que permitan que las especies puedan desarrollarse con mayor facilidad.

El coeficiente de similitud se ha utilizado ampliamente, principalmente al cotejar comunidades con particularidades parecidas (diversidad Beta). No obstante, igualmente sirven para diferentes clases de comparaciones, como comparando comunidades de plantas de distintos lugares o micrositios con diferentes niveles de interferencia. Hay cantidad de indicadores de similitud, sin embargo, los primeros indicadores continúan siendo los más usados. Entre ellos se encuentran el índice de Sorensen y el índice de Jaccard. Tales índices de similitud es posible calcularlos de acuerdo a datos cualitativos (presencia / ausencia) o cuantitativos (abundancia), e indican el grado de similitud entre dos muestras para ellos y las especies que existen entre ellos. En el manejo, no se asume que existan discontinuidades entre hábitats, sino que son agrupados según series ecológicas o sistemas de coordenadas para minimizar patrones complejos a formas simples e interpretables (Martínez, 2018, p. 62).

Con relación a los objetivos específicos, se determinó el tipo de proceso de fitorremediación considerado en la compilación de diferentes estudios. El éxito de

la extracción de plantas como tecnología potencial para mitigar el impacto ambiental va a depender de muchos factores, como la disponibilidad de metales absorbibles y la capacidad de las plantas para absorber y acumular parcialmente metales en el aire. La absorción de metales por las plantas es selectiva. Cantidad de metales pesados, como el níquel (Ni), el cobre (Cu), el manganeso (Mn) y el zinc (Zn), son elementos micronutrientes fundamentales requeridos para el crecimiento de las plantas y la finalización del ciclo de vida (Bhargava et al 2012, p.115). Se debe mencionar que dentro de los artículos consultados se han reportado la sinergia de estos dos métodos de fitorremediación (fitoestabilización y fitoextracción) para una mayor eficiencia del producto final mostrando resultados eficaces.

Según Jiménez, (2020) existen dos tipos de procesos de fitoextracción y fitoestabilización de plantas. La conclusión es que, en el primer caso, al calcular la cantidad de adsorción, la diferencia efectiva en el proceso de extracción de Cd y Se recolecta Pb Especies de plantas. Los resultados de la colza vegetal obtenidos mediante el cálculo de la cantidad eliminada y el TF son efectivos cuando la concentración de Cd y Pb es de 300 mg / kg. Las especies crucíferas extraen y almacenan muchos metales pesados en la parte aérea en lugar de en la raíz. Además, en otros estudios, una de las especies de *Brassica juncea* como la mostaza se considera como un extracto vegetal potencial. Lo cual se contracta con los resultados obtenidos (p.89).

Al hacer el análisis comparativo entre las especies de plantas y las técnicas fitorremediadoras se puede decir que las especies de la de familia Fabaceae y las de la familia Brassicaceae tiene un poder mayor de remoción de metales pesados cuyos porcentajes están por encima del 50%, en comparación con las otras dos plantas, en este sentido es así como las plantas *Brassica juncea*, *Acacia Farnesiana*, *Amarantus Hybridus*, *Brassica Rapa*, *Acacia Saligna*, *Acacia Parviflora*, *Brachiaria Spp* y *Brassica Napus L.* mostraron mayos efectividad a la hora de remover metales como Pb; Cd, As, Zn y Cu, no fue mostrado un estudio de tipo experimental para constatar dicha remoción, sin embargo; es relevante aclarar que los artículos científicos utilizados fueron analizados para medir estos resultados según la técnica de remediación.

De acuerdo a la revisión sistemática se encontraron diferentes técnicas como opción para controlar y aminorar la problemática de la contaminación de suelos contaminados por metales pesados entre las que más destacan, la fitoextracción y la fitoestabilización. Con relación a los efectos en las especies vegetales por exposición a metales pesados en se han realizado varios estudios (*Moameri et al,2016*), (*Carrillo et al, 2017*), (*Noguez et al, 2017*), (*Coyago y Bonilla, 2016*), (*Ramírez et al, 2019*), (*Perea et al,2017*), (*Jara-Peña et al, 2014*), (*Pizarro et al, 2016*), (*Noriega et al, 2016*), (*Peláez et al, 2016*), (*Saleh et al, 2017*) y (*Angelovaa et al, 2017*). Reportaron una disminución del 50-60% en caracteres macro y micro morfológicos de *Brassica juncea*, *Acacia Farnesiana*, *Phaseolus vulgaris*, *Amarantus Hybridus*, *Beta Vulgaris*, *Ambrosia Ambrosioides*, *Helianthus Annuss*, *Brassica Rapa*, *Zea Mays*, *Acacia Saligna*, *Acacia Parviflora*, *Medicago Sativa*, *Brachiaria Spp*, *Lycopersicon esculentum L.* y *Brassica Napus L.*, expuestas a metales pesados como el Cd, Cu, As, Pb y Zn.

CONCLUSIONES

- ✓ En esta revisión sistemática, se reconocieron mediante investigaciones previas los diferentes métodos de fitorremediación usados para eliminar los metales pesados en suelos contaminados.
- ✓ Teniendo identificado cada uno de los métodos, se indagó en cuál es el más usado en la remediación de los suelos; estos fueron la fitoextracción y la fitoestabilización, por su efectividad en la absorción de metales como As, Zn, Ni, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Cd y Ca; empleando un Espectrómetro de Inducción de Plasma y también el espectrofotometría de absorción atómica debido a sus beneficios en la determinación de concentración de metales pesados como el cobre, ya que no generan ningún tipo de efecto negativo.
- ✓ Los métodos de fitorremediación más usados para la extracción de metales pesados son la fitoextracción y la fitoestabilización, los cuales removieron metales pesados como cobre y plomo. Esto es debido a la versatilidad de los métodos, lo cual permite generar mecanismos de acción más eficiente, y en consecuencia la extracción de mayor cantidad de metales pesados.
- ✓ En este estudio se identificaron más de 75 especies vegetales para extraer metales pesados. Las especies de plantas usadas presentaron hasta un 87% de eficacia alta, 60% de eficacia media y 47 % de eficacia baja en la remediación de suelos arrojando resultados favorables para la remoción de metales pesados.
- ✓ Las principales especies utilizadas fueron las plantas *Brassica juncea*, Acacia Farnesiana, Amaranthus Hybridus, Brassica Rapa, Acacia Saligna, Acacia Parviflora, Brachiaria Spp y Brassica Napus L., las cuales remueven entre un 50% y un 60 %.
- ✓ A través de la información analizada se pudo corroborar que por medio de las especies vegetales pertenecientes a las familias Fabaceae y Brassicaceae influyeron en la fitorremediación por metales pesados en suelos contaminados por medio de las técnicas de fitoextracción y fitoestabilización.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se sugiere establecer los precios ajustados utilizando técnicas de remediación en suelos contaminados por metales pesados.
- ✓ Se aconseja establecer diferentes maneras de aumentar la disponibilidad y mecanismos (mecanismo, proceso, tipo de remediación) de fitoremediación de suelos contaminados con metales pesados.
- ✓ Se recomienda relacionar las especies vegetales con capacidad de efector remediador de suelos contaminados y los métodos de fitorremediación.
- ✓ Es primordial identificar cuáles son los métodos de fitorremediación con mayor efectividad y cuáles son las especies vegetales más usadas en eliminación de metales pesados en suelos contaminados.
- ✓ En el Perú existe poca información sobre cuáles son los métodos de fitorremediación más eficientes para la remediación por metales pesados en suelos contaminados, es por ello, que se recomienda seguir investigando nuevas tecnologías tanto para la fitoextracción como para la fitoestabilización.
- ✓ Para futuras investigaciones se deben realizar estudios y crear una base de datos que contenga los métodos de fitorremediación relacionados con la remediación por metales pesados en suelos contaminados

REFERENCIAS

- AMEZCUA, Alma., HERNÁNDEZ-ACOSTA, Elizabeth. y DÍAZ, Procoro. Fitorremediación de residuos de minas contaminados con metales pesados. *Revista Iberoamericana de Ciencias* [en línea]. 2020, 7(1):80-91, [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021]. Disponible en ISSN 2334-2501.
- ANGELOVAA, Violina. [et al.] Potencial de Rapeseed (*Brassica napus* L.) para fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Revista de Protección Ambiental y Ecología* [en línea]. 2017, 18(2): 468–478, [fecha de Consulta 7 de enero de 2021]. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/319507512>
- ARÉVALO, Enrique, [et al.]. Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología Aplicada*, [en línea]. 2016,15(2), p. 81-89, [fecha de Consulta 5 de febrero de 2021]
- ARPASI Curasi, Danitza. Determinación de metales pesados en la especie *Baccharis sp* que crece en el ámbito del proyecto minero “estela” – Ananea – provincia de San Antonio de Putina – Puno. Tesis (Título Profesional de Ingeniería Ambiental). Perú: Universidad Privada San Carlos, 2019. Disponible en http://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/4552/Danitza_Marili_ARPASI_CURASI.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- AZAB, E. y HEGAZY, Ahmad. Monitoreo de la Eficiencia de *Rhazya stricta* L. Plantas en Fitorremediación de Suelos Contaminados con Metales Pesados. *Plantas*, [en línea]. 9(1057). 2020, 2-15. [Fecha de consulta: 06 de febrero de 2021]. doi:10.3390/plants9091057.
- BARCOS, Milton, [et al.] Caracterización de bacterias rizosféricas de suelo circundante a una planta recicladora de plomo (Pb) *Rev. Int. Contam. Ambie*, [en línea]. 2019, 35 (2):349-359. [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021]. DOI: 10.20937/RICA.2019.35.02.07.
- BELTRÁN, Andrés, [et al.]. Potencial de *Zantedeschia aethiopica* L. para la rehabilitación de suelos contaminados con cromo hexavalente en zonas alto andinas de Ecuador. *Acta Agronómica*, [en línea]. Abril-junio 2019, (68) 2:

92-98. [fecha de Consulta 15 de febrero de 2021]. DOI: 10.15446/acag.v68n2.77859.

BHARGAVA, Atul, [et al.] Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals. *Journal of Environmental Management*, [en línea]. Agosto 2012, 105, 103–120, 2012. Disponible en <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.002>

BELTRÁN, Mayra Eleonora. y GÓMEZ, Alida. Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación. *Revista III3+*, [en línea]. 2015, 2(2):82-112. [fecha de Consulta 5 de febrero de 2021]. Disponible en <http://revistasdigitales.uniboyaca.edu.co/index.php/reiv3/article/view/113>

CALDERÓN MANZANILLAS, Junior. Evaluación del factor de bioconcentración por metales pesados en la *Eichhornia crassipes* presentes en la laguna valle hermoso. Tesis (Grado de ingeniero en biotecnología ambiental). Ecuador: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, 2017. Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7908/1/236T0307.pdf>

CARRILLO, Rogelio.; PEREA-VÉLEZ, Yazmín. y GONZÁLEZ, María del Carmen. Fitorremediación asistida con enmiendas y fitoestabilización de elementos potencialmente tóxicos. *Revista Agroproductividad*, [en línea]. Abril. 2017, 10 (4): 15-20. [fecha de Consulta 5 de febrero de 2021].

Cartagena David, Mónica. Biorremediación en aguas residuales contaminadas con cianuro y mercurio generadas en el proceso de la minería aurífera en Colombia, a partir de una revisión bibliográfica entre los años 2008-2018. Tesis (Grado de Administradora en Salud con Énfasis en Gestión Sanitaria y Ambiental). Colombia: Universidad de Antioquia, 2019.

CARTAYA, Omar. [et al.] Empleo de polímeros naturales como alternativa para la remediación de suelos contaminados por metales pesados. *Rev. Contam. Int Ambie*, [en línea]. Febrero 2011, 27 (1) 41-46. [fecha de Consulta 15 de febrero de 2021]. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000100004

- CARTAYA, Omar. [et al.] Efecto de la aplicación foliar de oligogalacturónidos a plántulas de tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) en la fitorremediación de cobre de suelo contaminado. *Cultivos Tropicales*, [en línea]. 2017, 38(3), 142-147. [fecha de Consulta 4 de febrero de 2021]. ISSN: Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193253129020>.
- CASTEBLANCO, Javier. Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, [en línea]. 2018, (27)1. [fecha de Consulta 15 de febrero de 2021]. DOI: <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.02>.
- CHÁVEZ, Belen. [et al.]. Respuesta de crecimiento y ionómica de *sedum praealtum* a. dc. por la acción sinérgica del ácido indol butírico y una rizobacteria en la fitoextracción asistida de arsénico y cadmio. *Polibotánica*, [en línea]. Julio 2018, 46: 203-219, ISSN electrónico: 2395-9525. DOI: 10.18387/polibotanica.46.13
- CHO, Wan. [et al.]. Subchronic toxicity study of 3-monochloropropane-1,2-diol administered by drinking water to B6C3F1 mice. *Food and Chemical Toxicology*, [en línea]. May 2008, 46 (5):1666-1673. [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021]. doi: 10.1016/j.fct.2007.12.030
- CILLEROS, María y GÓMEZ, María. Análisis cualitativo de tópicos vinculados a la calidad de vida en personas con discapacidad. *Ciênc. saúde coletiva* [en línea]. 2016, 21(8): 2365-2374. [fecha de consulta: 06 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1413-81232015218.04182016>. ISSN:1678-4561.
- CORTES, Luis Enrique. [et al.]. Extracción secuencial de metales pesados en dos suelos contaminados (*Andisol* y *Vertisol*) enmendados con ácidos húmicos. *Acta Agronómica*, [en línea]. 2016, 65 (3): pp. 232-238. [fecha de consulta: 06 de febrero de 2021]. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n3.44485>.
- COVARRUBIAS, Sergio.; GARCÍA, José. y PEÑA, Juan. El papel de los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Acta Universitaria*, [en línea]. octubre, 2015, (25) 3:40-45. [fecha de consulta: 06 de febrero de 2021]. doi:10.15174/au.2015.907.

- COVARRUBIAS, Sergio. y PEÑA, Juan. Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Rev. Int. Contam. Ambie*, [en línea]. 2017, 33: 7-21. [fecha de consulta: 06 de febrero de 2021]. DOI: 10.20937/RICA.2017.33. esp01.01.
- COYAGO, Elena. y BONILLA, Sara. Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano. *LA GRANJA: Revista de Ciencias de la Vida*, [en línea]. 2016, 23(1):35–46. [fecha de consulta: 15 de febrero de 2021]. DOI:10.17163/lgr.n23.2016.04.
- ZHIWEN, Luo. [et al.] Potencial de fitoextracción de plantas de humedales para cobre en cuerpos de agua. *Tecnología y Ciencias del Agua*, [en línea]. abril, 2017(2): 43-50. [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021]. ISSN 0187-8336. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v8n2/2007-2422-tca-8-02-00043.pdf>.
- DÍAZ SÁNCHEZ, José y ESCOBAR ANCCASI, Simón. Eficiencia del TARWI (*Lupinus mutabilis*) asistido con *Bradyrhizobium* sp. para la absorción de cadmio en suelos contaminados-Lima 2019. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Perú: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, escuela profesional de Ingeniería Ambiental. 2019. 81 pp.
- DIEZ, Javier. Fiotocorrección de suelos contaminados con metales pesados. Evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas. Tesis (Doctorado). España: Universidad de Santiago de Compostela, 2008. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=108117>
- DUARTE, Víctor., [et al.]. Estudio exploratorio de la acumulación de plomo y cobre en *Prosopis la evigata* en depósitos mineros. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, [en línea]. Junio 2020, 7(2): e2311. [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021]. DOI: 10.19136/era. a7n2.2311.
- El rigor en la investigación cualitativa. [Mensaje en blog]. México: Elizalde, G. (3 de noviembre 2017). [fecha de Consulta 12 de febrero de 2021]. Recuperado

de <https://www.lamalditatis.org/post/rigor-en-la-investigacion-cualitativa-dependencia>

ESCUADERO, Carlos. y CORTEZ, Liliana. Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica [en línea]. Edición digital. Ecuador: Ediciones UTMACH, 2018 [fecha de consulta: 04 de febrero de 2021]. Disponible en <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12501/1/Tecnicas-y-MetodoscualitativosParaInvestigacionCientifica.pdf>

EUGENIO, Natalia., MCLAUGHLIN, Michael., y PENNOCK, Daniel. La contaminación del suelo: una realidad oculta [en línea]. Organización de La Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura 2019 [fecha de consulta: 04 de febrero de 2021]. Disponible en <chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfdmadadm/http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>

GALÁN, Emilio. y ROMERO, Antonio. Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Revista de la sociedad española de mineralogía. Macla* [en línea]. 2008, 10:48-60. [fecha de Consulta 16 de febrero de 2021]. http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf.

GARBISU, Carlos.; EPELDE, Lur. y BECERRIL, José. Fitorremediación. *Revista El Ecologista*, [en línea]. 2008, 57. [fecha de Consulta 16 de febrero de 2021]. <https://www.ecologistasenaccion.org/17857/fitorremediacion>.

GHADIRI, S., Farpoor, MH y Hejazi Mehrizi, M. Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados utilizando pasto vetiver y festuca alta. *Desierto*, 23 (1), 123-132. 2018. [fecha de Consulta 9 de marzo de 2021].

GHOSH, M., y SINGH, Satendra. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by-products. *Applied Ecology and Environmental Research*. 3, [en línea]. July 2005, 1- 18. [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021].

GONZÁLEZ-CHÁVEZ, Ma. del Carmen. Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos Rizosféricos. *Terra Latinoamericana* [en línea]. 2005, 23 (1), 29-37 [fecha de Consulta 3 de

febrero de 2021]. ISSN: Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57323104>.

GONZÁLEZ, Isabel. y NEAMAN, Alexander. Evaluación de la tolerancia al cobre de dos poblaciones de *Oenothera picensis* Phil. subsp. *picensis* (Onagraceae). *Gayana Bot*, [en línea]. 2015, 72(2). [fecha de Consulta 3 de febrero de 2021]. 240-249. ISSN 0016-5301.

GUERRA YEPES, Lina. Avances en la remediación biológica del mercurio: Hongos macroscópicos como potenciales agentes de biorremediación. Tesis (Magister en Ingeniería de Recursos Minerales). Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. 2019 53 pp.

JARA-PENÑA Enoc., [et al.] Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista peruana de biología*, [en línea]. Octubre, 2014, 21(2):145–154. [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021]. doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>.

JIMÉNEZ VÉLEZ, Cynthia. Análisis descriptivo del *helianthus annuus* y *zea mays* como acumuladores de (cd, pb) para la recuperación de suelos agrícolas contaminados. Tesis (Grado académico de Ingeniería Ambiental). Ecuador: Universidad Agraria Del Ecuador, Facultad De Ciencias Agrarias. 2020. 110 pp.

Kang, Xia., [et al.]. A reduction in metal absorption for *Leucaena leucocephala* grown in mine tails and metal contaminated soils. *Revista Frontiers in Microbiology*, [en línea]. August 2018. DOI: [10.3389/fmicb.2018.01853](https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01853).

KUMAR, Nanda., [et al.]. Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental Science & Technology*, [en línea]. May 1995, pp 1245. [fecha de Consulta 18 de febrero de 2021]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/51908390_Phytoextraction_The_Use_of_Plants_To_Remove_Heavy_Metals_from_Soils

LANDEROS-MÁRQUEZ, Oscar. [et al.]. Uso potencial del huizache (*Acacia farnesiana* L. Will) en la fitorremediación de suelos contaminados con plomo. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, [en línea]. 2011, 17: 11-20. [fecha de Consulta 18 de febrero de 2021]. Disponible en

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182011000500003

- LIZANA CARRASCO, Jean. Aplicación de carbón activado de cáscara de “coco” y cascarilla de “arroz” para la biorremediación de suelos contaminados por gasolina, distrito y provincia de Moyobamba – 2018. Tesis (Grado académico de Ingeniería Ambiental). Perú: Universidad Nacional De San Martín - Tarapoto Facultad De Ecología Escuela Profesional De Ingeniería Ambiental. 2019. 119 pp.
- LONDOÑO-FRANCO, Luis.; LONDOÑO-MUÑOZ, Paula. y MUÑOZ, Fabian. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, [en línea]. 2016, 14(2): 145-153. [fecha de Consulta 15 de febrero de 2021]. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>.
- MADANAN, Minisha., [et al.]. Application of Marigold Azteca (*Tagetes erecta* L.) for the phytoremediation of contaminated heavy metals contaminated lateritic soil. *Revista Química Ambiental y Ecotoxicología*, [en línea]. 2021, 3 17–22. [fecha de Consulta 15 de febrero de 2021]. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enecoco.2020.10.007>.
- MADERA-PARRA, Carlos A, PEÑA-SALAMANCA, Enrique J, SOLARTE-SOTO, Juliana A. Efecto de la concentración de metales pesados en la respuesta fisiológica y capacidad de acumulación de metales de tres especies vegetales tropicales empleadas en la fitorremediación de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios. *Ingeniería y Competitividad* [en línea]. 2014, 16 (2), 179-188. [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021]. ISSN: 0123-3033. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291333276016>.
- MARTÍNEZ MANCHEGO, Luis. Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera el madrigal-Arequipa y propuesta de fitorremediación Tesis (Doctor en Ciencias y Tecnologías Medioambientales). Perú: Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa. Escuela De Posgrado De La Facultad De Ciencias Naturales Y Formales. 2018. 136 pp.

- MOAMERI, Mehdi; [et al.]. Grassland plants Potential for phytoremediation of soils contaminated with lead, zinc, cadmium, and nickel (Case study: grasslands around the national lead-zinc factory, Zanjan, Iran). *Journal of Rangeland Science*, [en línea]. 2017, 17(2): 160-171. [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021].
- MUNIVE, Rubén., [et al.]. Fitorremediación con Maíz (*Zea mays L.*) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*, [en línea]. 2018, 9(4): 551-560. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2018.04.11.
- NOGUEZ, Alfredo. [et al.]. Uso de leguminosas (*Fabaceae*) en fitorremediación. *Revista Agroproductividad*, [en línea]. 2017, 10 (4): 57-62, abril. [fecha de Consulta 15 de febrero de 2021].
- NOREÑA PEÑA, Ana [et al.]. Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa. *Revista Aquichan*, [en línea]. 2012,12(3). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4322420> ISSN 1657-5997. [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021].
- NORIEGA, Berenice. [et al.]. Identificación de especies vegetales asociadas a jales del distrito minero de Guanajuato. *Acta Universitaria*, [en línea]. 2016, (26) 2:71-77. [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021]. DOI: <http://dx.doi.org/10.15174/au.2016.1465>.
- OC LLATANCE, Wilber. [et al.]. Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal del Perú*, [en línea]. 2018, 33 (1): 63 – 75. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v33i1.1156>.
- OGOSI, Cuadros Simón Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando *Brassica campestris L.*, en la Estación Experimental El Mantaro – Junín. Tesis (Maestría En Ingeniería Ambiental). Universidad Nacional Del Centro Del Perú. Unidad De Posgrado De La Facultad De Ingeniería Química. 2018. 84, p.p.

- ORTIZ, Amilvia.; ARAQUE, Pedronel. y PELÁEZ, Carlos. Cuantificación de mercurio en pasto tratado con biosólidos por espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros. *Revista EIA*, [en línea]. Junio, 2016 (13) 25: 147-155. [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021]. DOI: <http://dx.doi.org/10.14508/reia.2016.13.25.147-155>.
- PELÁEZ, Manuel.; BUSTAMANTE, John. y GÓMEZ, Eyder. Presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de *Brachiaria* en el Magdalena medio colombiano. *Revista luna azul*, [en línea]. 2016, 43: 82-101. [fecha de Consulta 15 de febrero de 2021]. DOI: 10.17151/luaz.2016.43.5.
- PEÑA ÁLVAREZ, Ivonne. Evaluación de la capacidad de absorción del *helianthus annuus*, como agente fitorremediador de suelos contaminados con plomo. Tesis (Grado académico de Ingeniería Ambiental). Perú: Universidad Nacional Tecnológica De Lima Sur, Facultad De Ingeniería Y Gestión, Escuela Profesional De Ingeniería Ambiental. 2019. 58 pp.
- PEÑA, Flor., y BELTRÁN, Enrique. Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando *helianthus annuus* L. en la estación experimental el Mantaro. *Prospectiva Universitaria*, [en línea]. 2017.9: 31-45. [fecha de Consulta 15 de febrero de 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2012.9.34>
- PEREA, Fernando, CARRILLO, Daniel y GONZÁLEZ, Mario. Fitorremediación asistida por microorganismos: énfasis en bacterias promotoras del crecimiento de plantas. *Revista Agroproductividad*, [en línea]. 2017, 10 (4): 34-40, abril. [fecha de Consulta 15 de febrero de 2021].
- PIZARRO, Roberto., [et al.]. Especies forestales para la recuperación de suelos contaminados con cobre debido a actividades mineras. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, [en línea]. Septiembre 2016, 22(1), 29-43. [fecha de consulta: 12 de febrero de 2021]. doi: 10.5154/r.rchscfa.2014.06.026.
- Ramírez Pisco, Ramiro, [et al.]. Gold fitoextracción y recuperación de suelos degradados por minería. *Acta Agronómica* [en línea]. 2017, 66 (4), 574-579.

[fecha de Consulta 8 de febrero de 2021]. ISSN: 0120-2812. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169952658018>

RAMÍREZ, Ricardo., [et al.]. Potencial fitorremediador de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) en suelos contaminados por metales pesados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, [en línea]. Noviembre, 2019, 10 (7): 1529-1540. [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021]. Disponible en <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/v10n7-006>

REÁTEGUI DE LA CRUZ, Kasandra. Efecto de la dosificación de *Pleurotus ostreatus* en la absorción de metales pesados en suelos contaminados, Shahuindo Cajamarca. Tesis (Grado académico de Ingeniería Ambiental). Perú: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, escuela profesional de Ingeniería Ambiental. 2018. 59 pp.

RODRÍGUEZ-EUGENIO, Natalia., MCLAUGHLIN, Michael. and PENNOCK, Daniel. *Soil Pollution: a hidden reality*. Rome, FAO, 2018. 142 pp.

SALEH, Jahanshah, [et al.]. Tomato phytoremediation potential for the removal of Cd and Cr from contaminated soils. *World Acad Sci Eng Tech Int J Biol Biomol Agric Food Biotechnol Eng*, [en línea]. 2017, 11: 268–271. Disponible en <https://publications.waset.org/10006619/phytoremediation-potential-of-tomato-for-cd-and-cr-removal-from-polluted-soils>

SANTOYO MARTÍNEZ, Miguel. Estudio ecotoxicológico sobre la bioacumulación de metales pesados en dos especies vegetales asociada a los jales de Huautla, Morelos. Tesis (Doctoral). México: Universidad Autónoma Del Estado De Morelos, 2020, 105 pp.

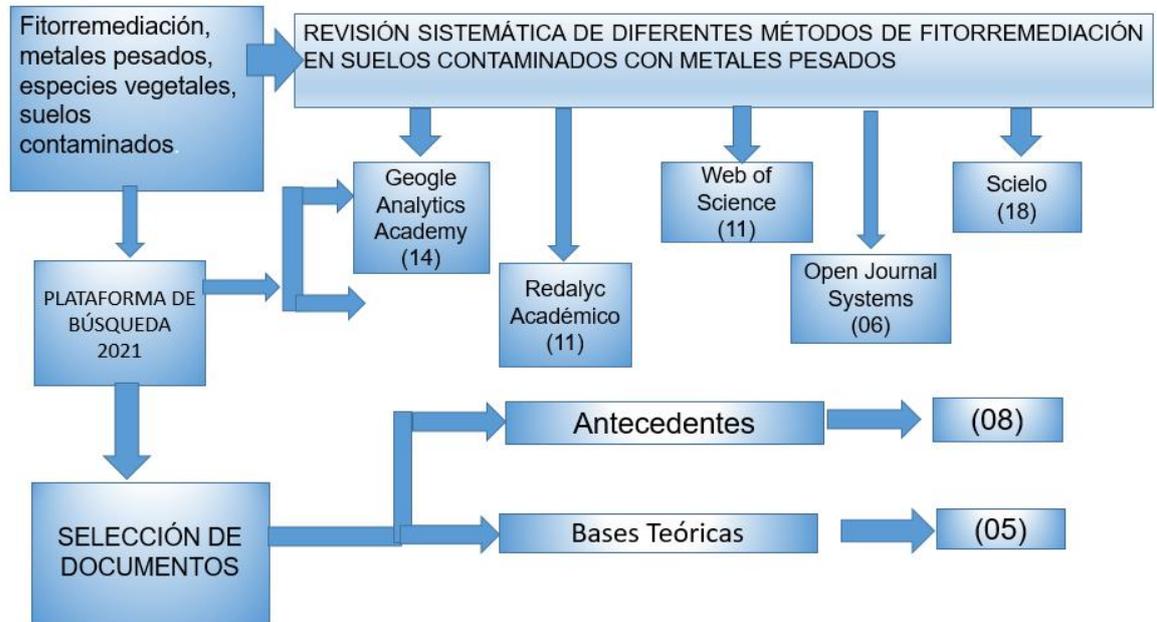
SING, O., Labana, [et al.]. Phytoremediation: An Overview of Metallic Ion Decontamination from Soil. *Applied Microbiology and Biotechnology*, [en línea]. Jun 2003, 61(5-6), 412 pp. doi: 10.1007/s00253-003-1244-4.

SUAÑA QUISPE, María. Capacidad del girasol (*helianthus annus l.*) para absorber cadmio de suelos contaminados en ambiente controlado, puno. Tesis (Doctorado en ciencia, tecnología y medio ambiente). Perú, Universidad Nacional del Altiplano. 2017. Disponible en: <http://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/investigaciones/article/view/313>.

- TREHARNE, Gareth y RIGGS, Damien. Ensuring Quality in Qualitative Research. *Qualitative Research in Clinical and Health Psychology* [en línea]. 2015, 19: 57-73. [Fecha de consulta: 06 de febrero de 2021]. Disponible. https://www.researchgate.net/publication/313264898_Ensuring_Quality_in_Qualitative_Research.
- Angelovaa, Violina. [et al.]. Potencial de *Salvia sclarea* L. para la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Revista Internacional de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas*, [en línea]. 10(12) 2016. [Fecha de Consulta 9 de marzo de 2021].
- Yan, An. [et al.]. Fitorremediación: Un enfoque prometedor para la revegetación de tierras contaminadas con metales pesados. *Revista Frontiers in Plant Science*, [en línea]. 2020, 11:359. [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021]. DOI: 10.3389/fpls.2020.00359

ANEXOS

Cuadro sinóptico





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, CANALES FARAH JESUS DAVID estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Revisión Sistemática de diferentes métodos de Fitorremediación en Suelos Contaminados con Metales Pesados", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

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

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

Nombres y Apellidos	Firma
CANALES FARAH JESUS DAVID DNI: 48454678 ORCID 0000-0003-2533-1730	Firmado digitalmente por: JECANALESF el 18-05- 2021 14:10:17

Código documento Trilce: INV - 0171508