



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“Revisión sistemática de tecnologías aplicadas para la
remediación de suelos contaminados con metales pesados
por lixiviados en suelos agrícolas y mineros”.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Diaz Orihuela, Anggie Stephany ([ORCID: 0000-0002-8613-0505](https://orcid.org/0000-0002-8613-0505))

Guevara Delgado, Angie Coraima ([ORCID: 0000-0003-2859-5029](https://orcid.org/0000-0003-2859-5029))

ASESOR:

Dr. Quezada Álvarez, Medardo Alberto ([ORCID: 0000-0002-0215-5175](https://orcid.org/0000-0002-0215-5175))

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

TRUJILLO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mis padres, Hualmer Helar Guevara Tantalean y Gladis Delgado Ramos por el amor y dedicación que me brindaron por confiar y creer en mí, mis hermanos Helar Amir Guevara Delgado y Guibell Hermila Guevara Delgado quienes son el motivo para seguir de pie, a toda mi familia y amigos por siempre haber confiado en mí.

Angie Guevara

Dedico a Dios por guiarme en realizar mi tesis, a mis padres, José Eduardo Diaz Sánchez y Janett Mireille Orihuela Huaranga, por el amor y dedicación que me brindaron, por confiar y creer en mí, a mis hermanos quienes son el motivo para seguir de pie y en especial a mi sobrino Eithan Erliss Eduardo Zelada Diaz quién fue mi angelito que me motivaba en cada momento, y a mis abuelos Delia Lucia Huaranga Cartulin y Jesús Orihuela Rodríguez.

Anggie Diaz

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme sabiduría y por caminar conmigo, a mi compañera y amiga de tesis Diaz Orihuela, Anggie Stephany.

A mis padres por ser mi apoyo en cada paso que doy, a mis compañeros que me brindaron su apoyo en algún momento.

A nuestro asesor el Dr. Quezada Álvarez, Medardo Alberto por el tiempo, dedicación hacia nosotros, a la casa de estudios la Universidad Cesar Vallejo quien nos brindó a los mejores docentes para formarnos como excelentes profesionales.

Angie Guevara.

A Dios por darme la vida, la salud y por permitirme estudiar esta hermosa carrera de ingeniería ambiental. A mi compañera y amiga Guevara Delgado, Angie Coraima por acompañarme en cada trabajo de la carrera.

A mis padres por ser mi apoyo incondicional, a toda mi familia Orihuela por motivarme siempre con algún consejo, a mis amigos y compañeros que de alguna u otra forma me apoyaron con sus conocimientos.

A los ingenieros de la Universidad César Vallejo de Trujillo que fueron quien me ayudaron a brindarme todos sus conocimientos y formarme como profesional y en especial a nuestro docente el Dr. Quezada Álvarez, Medardo Alberto por la paciencia y todos los conocimientos brindados.

Anggie Diaz.

Índice de contenidos

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
III. METODOLOGÍA.....	8
3.1 Tipo y diseño de investigación	8
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización.....	8
3.3 Escenario de estudio	9
3.4 Participantes.....	9
3.5 Técnicas e instrumentos, de recolección de datos.....	9
3.6 Procedimiento	9
3.7 Rigor científico.....	12
3.8 Método de análisis de la información.....	12
3.9 Aspectos éticos	12
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
V. CONCLUSIONES.....	31
VI. RECOMENDACIONES	33
REFERENCIAS:.....	34
ANEXOS	41

Índice de tablas

Tabla 1. Proceso de Revisión Sistemática y Procedimientos.	17
Tabla 2. Base de datos y fecha.....	20
Tabla 3. <i>Tecnologías para la remediación de suelos mineros y agrícolas contaminados con As, Cd y Pb.</i>	23
Tabla 4. <i>Descripción comparativa de eficacia de tratamiento.</i>	30

Índice de figuras

Figura 1. Diseño de la teoría fundamentada - Modelo sistemático.....	8
Figura 2: Fase I. Búsqueda de información.	10
Figura 3. Bases de datos de las revistas indexadas consultadas.....	11
Figura 4. Filtro de selección (Idioma y fecha de publicación).	11
Figura 5. Base de datos y fecha	21
Figura 6. Identificación de la eficacia de remediación de Adición de Enmiendas.....	35
Figura 7. Identificación de la eficacia de la Fitorremediación.....	35

RESUMEN

Esta investigación sistemática se elaboró bajo un enfoque cualitativo, con un diseño de investigación de teoría fundamentada. En primer lugar describimos las tecnologías fisicoquímicas y biológicas aplicadas para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo con ayuda de nuestros autores, posteriormente se analizó cada artículo, , finalmente se determinó la tecnología más eficiente aplicada para la remediación de suelos contaminados con metales pesados, como resultados a nuestros objetivos se observó que la más eficiente fue con respecto a la fisicoquímica con el tratamiento de adición de enmienda, adicionando biocarbón prístino, para los suelos mineros contaminados con arsénico teniendo una eficiencia del 93% y un índice menor de 2.96%.

En suelos agrícolas contaminados por el metal cadmio se obtuvo una descontaminación de 91% en mayor proporción y 25% en menor proporción. los elementos remediadores fueron la *Verticillium* y *Tricharina*, *Gomphrena clausenii* y adición de piedra caliza, silicato de calcio y lodo rojo y el ácido húmico. En suelos mineros contaminados por el metal plomo la remediación aplicada con técnica de Adición de enmiendas obtuvo los siguientes promedios, de 81,21% para la mayor descontaminación y 50% para la menor remediación.

Palabras clave: Fitorremediación, adición de enmiendas, metales, suelo agrícola, suelo minero,

ABSTRACT

This systematic research was carried out under a qualitative approach, with a grounded theory research design. In the first place we describe the physicochemical and biological technologies applied for the remediation of soils contaminated with arsenic, cadmium and lead with the help of our authors, later each article was analyzed, finally the most efficient technology applied for the remediation of contaminated soils with heavy metals, as results of our objectives, it was observed that the most efficient was with respect to the physicochemical with the amendment addition treatment, adding pristine biochar, for mining soils contaminated with arsenic, having an efficiency of 93% and a lower index of 2.96%.

In agricultural soils contaminated by cadmium metal, a decontamination of 91% was obtained in a greater proportion and 25% in a lesser proportion. the remedial elements were Verticillium and Tricharina, Gomphrena clausenii and addition of limestone, calcium silicate and red mud and humic acid. In mining soils contaminated by lead metal, the remediation applied with the Addition of amendments technique obtained the following averages, of 81.21% for the highest decontamination and 50% for the least remediation

Keywords: Phytoremediation, addition of amendments, metals, agricultural soil, mining soil

I. INTRODUCCIÓN

En este último periodo de tiempo, los suelos contaminados han incrementado, esto debido a las actividades mineras y agrícolas excesivas, mismas que no cuentan con un tratamiento de remediación, lo cual incide negativamente sobre la ciudadanía y su calidad de vida. (Torres, 2021, p. 12).

El potencial nocivo inherente de los suelos contaminados, fueron desde siempre una amenaza latente a la seguridad alimentaria y agrícola; debido la alteración fisicoquímica y biológica que estos causan en el suelo, de igual forma dichos los elementos tóxicos, son asimilables por las plantas y conducidos a las partes comestibles de las mismas; estos componentes nocivos derivan de las actividades agrícolas y mineras masivas e irresponsables, (Zhao, *et al.*, 2022, p. 2).

El volumen y variedad de estos agentes tóxicos, día a día se incrementaban más, esto ligado al masivo desarrollo industrial y agroquímico; esto junto a la biotransformación a lo que estos son sometidos mediante procesos metabólicos una vez expuestos al suelo, son el motivo de los considerables costes de análisis para su identificación, (Rodriguez, McLaughlin y Pennock, 2019, p. 13).

Con tan solo el 7% de nuestro país apto para actividades agrícolas, estos son severamente impactados por la salinización, erosión y la baja fertilidad propia de la geografía, en un reciente conteo, se observó que 31 millones de hectáreas se ven moderadamente erosionadas y 8 millones se catalogan como severamente erosionadas, sin contar aquellas que se ven expuestas a metales pesados, (Midagri, 2015, p. 13).

De la misma forma sucede con los suelos mineros, siendo territorios muy contaminados por metales pesados. En contraste con otras actividades, los procesos mineros, se dan solo en intervalos, sin embargo las alteraciones que estas generan son prácticamente irremediables e irreversibles en gran parte de los casos a nivel nacional, esto generado por sus procesos extractivos los cuales a medida que se extrae algún elemento valioso, se incrementan las facultades contaminantes de los microelementos que estos propician, mismos que inciden en la calidad del sustrato y la biota que mantiene, (Vargas, 2021, p. 6).

Ya que el suelo es el principal medio impactados de los metales pesados de forma natural como antropogénica, lo mismo se aplican para aquellos suelos de uso agrícola. Es ante esto que el gremio científico, realizó la búsqueda de tecnologías viables y ambientalmente aceptables para la remediación en campo de estos, (Huaraca, *et al.*, 2020, p. 2).

Las tecnologías mantienen diversas ventajas, destacando los criterios de limpieza, ecología y economía, sin embargo, son capaces de evidenciar resultados en mediano a largo plazo, esto ligado a los ciclos de operación que requieren independientemente, (Canales, 2021, p. 9).

El planteamiento de la investigación fue: ¿Cuál es la tecnología más eficiente aplicada para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en suelos agrícolas y mineros? La presente revisión de literatura, se justificó en base del aporte a la comunidad científica, en este los documentos seleccionados mostraron una variedad de tecnologías aplicadas para la para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados, cuya finalidad por parte de los investigadores fue el identificar la tecnología más eficiente en la restauración de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados, con la proyección de ser parte en la toma de futuras decisiones en cuanto a la remediación de suelos contaminados.

El objetivo general considerado para el presente estudio fue el determinar la tecnología más eficiente aplicada para la remediación de suelos perjudicadas con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en suelos agrícolas y mineros, en cuanto a los objetivos específicos contemplados para la revisión de literatura, en primera instancia se optó por describir las tecnologías de tratamiento fisicoquímico y biológico aplicadas para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en suelos agrícolas y mineros, seguidamente el posterior análisis de las tecnologías de tratamiento fisicoquímico y biológico aplicadas para la restauración de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en suelos agrícolas y mineros, culminando así con la identificación de la tecnología más eficiente, según el tipo de tratamiento aplicado para la remediación de suelos contaminados por lixiviados en suelos agrícolas y mineros.

II. MARCO TEÓRICO

Wilber Oc, (2018, p. 3), en su indagación evaluó siete géneros floras (*Pouteria caimito Ruiz & Pav.*) Radlk., *Matisia cordata Bonpl.*, *Malvaviscus sp.*, *Vochysia sp.*, *Carludovica palmata Ruiz & Pav.*, *Attalea sp.* y *Theobroma cacao L.*) que almacenen cadmio general de manera original, en un terreno agrícola de la Comunidad Nativa de Pakun, Distrito de Imaza (Dep. Amazonas, Perú). Se recogieron tipos de tierra como monografía antecedente, para verificar la apariencia del metal, a continuación, se ejecutó una confesión de todos los géneros, arbustivas y arbóreas silvestres, eligiendo algunas que no tengan involucramiento foliar y clorosis. Se consideró el paquete de cadmio general en hoja, tallo y raíz a través de espectrofotometría de impregnación atómica. *Carludovica palmata*, mostró la gran concentración de Cd general, especialmente en la raíz ($0.34 \text{ mg} * \text{kg}^{-1}$) lo que hace denominarla como un género latentemente fitorremediadora.

Para el estudio de Huamancaja, (2018, p. 5), se manipuló el procedimiento de estudios, los tipos de suelo del distrito El Mantaro. El proyecto se manejó un modelo de superficie arreglada de la capa cultivable, y se comerció en recipientes de 2 kg de contenido, el cual se agregó cinco dosis de SP (0%, 2%, 4%, 6% y 8%), tales procedimientos fueron al azar. Como resultados tenemos que las cantidades de sedimentaciones de *piscigranja*, reducen la utilidad de este metaloide a estimaciones menores al patrón (12 mg/kg), en la categoría de 9,07 mg/kg, a 7,120 mg/kg., debido a la adsorción, interpretando porcentajes reducidos de utilidad entre 1,726% a 23,169% relación al testigo; prevalece la cantidad de 8% de sedimentos de *piscigranja*, que disminuyó el arsénico en el suelo en 23,168%. Las cantidades de sedimentos de *piscigranja* aumentaron el desarrollo de *ryegrass*, en la parte alta de planta entre 79,556% y 91,66%; en materia seca de la parte aérea entre 81,231% y 198,462%, y en materia seca de raíz entre 186,667% y 346,667%; aplicable al progreso de las posesiones del suelo, y por ende la atribución en el desarrollo de *ryegrass*.

Los focos territoriales del estudio fueron la mina de oro Golden Pride (GPGM) y la mina de oro Geita (GGM) en Tanzania. Los modelos de suelos coligados

fueron cosechados y estudiados para concentraciones totales de plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), cobre (Cu), arsénico (As), manganeso (Mn) y níquel (Ni) utilizando espectrofotómetro de absorción atómica (AAS) y espectrofotometría UV-VIS. Los resultados expresaron que las superficies de los sitios de estudio eran de textura arcillosa y levemente ácidos (pH 6,1-6,5), el carbono orgánico del suelo y la materia orgánica eran bajos (0,6-2,0%), el nitrógeno total era muy bajo ($< 0,10\%$)⁻¹ suelo) a alto (13 – 25 mg * kg⁻¹ suelo), y la capacidad de intercambio catiónico varió de baja (6,0 - 12,0 cmol (+)kg⁻¹ suelo) a media (12,1-25,0 cmol (+) kg⁻¹ tierra). Al valorar los metales pesados manejando partes de plantas, las raíces de la hierba cola de rata gigante (*Sporobolus pyramidalis*) acumularon la gran monto de Pb (747,78 ug * g⁻¹) Blepharis rastreiro (*Blepharis maderaspatensis*), Cd (158,1ug * g⁻¹), Blepharis maderaspatensis nunca se ha avisado en ninguna zona como planta de absorción de Pb, Cd, Cu, Mn y Ni, por lo tanto esto puede denominarse un descubrimiento diferente. Kahangwa, (2021, p. 6)

Barrios y Garcilazo, (2019, p. 7) en su estudio fitorremediador usó la planta *Ricinus communis* “Higuerilla”, para almacenar grandes proporciones de contaminaciones como metales pesados. Las pepitas estuvieron plantadas y brotadas en un vivero de 50 concavidades y, se planteó un método de labranza para la separación de plomo y arsénico en los procedimientos. En los resultados, se halló que la planta mencionada soportó e impregnó las cantidades de plomo (47.32 mg Pb/kg y arsénico 49.15 mg As/kg) en suelos dañados por metales, consiguiente a ello, podría ser manejada para fitorremediación de suelos dañados por profanación minera

Baruha, (2020, p. 5), llevó a cabo un ensayo en recipientes manejando un vegetal acumulador de metal berberecho común (*Xanthium strumarium L.*). El vegetal se sembró en suelo descompuesto con cobre (Cu) y plomo (Pb) en cuatro proporciones disperejas de cada metal (150,250,300 y 350 mg * kg⁻¹ suelo). Se emplearon enmiendas de suelo biocarbón de madera dura (HWBC), estiércol de granja (FYM) y vermicompost (VC) a 2.77g * kg⁻¹. La utilidad de CV disminuyó la cantidad de Pb en el vegetal hasta un 52,94%, por otro lado, el FYM disminuyó la impregnación de Cu hasta un 30,03% por parte

del vegetal; en sus análisis demostró que el potencial de las enmiendas comprobadas para producir una disminución en la forma aprovechable de los metales. La colocación de eficacia para disminuir la partición que varía de Cu fue HWBC (29,2–69,0%) > FYM (5,9–44,5%) > VC (5,7–33,8%). No obstante, para disminuir la partición de recambio de Pb, la colocación fue VC (41,8–74,9%) > FYM (30,2–60,0%) > HWBC (18,5–26,9%).

Liu, *et al.*, (2021, p. 4), utilizó el sustrato de hongos gastados (SMS) y su compost (CSMS) para subsanar el suelo negro y rojo por contaminación de Pb simulada, con el objetivo de hallar la mejora del ambiente de la rizosfera y estructurar la comunidad bacteriana de la rizosfera bajo estrés por plomo. En su método, diseñó una parcela a ultra pequeña escala y experimentó para separar la rizosfera del suelo no rizosférico al plantar espinacas de agua (*Ipomoea aquatica* Forsk). Los resultados dieron a conocer que menos de 600 mg/kg de contaminación por plomo, CSMS y SMS no dieron un efecto significativo en la diversidad bacteriana de la rizosfera en el suelo negro, pero el CSMS incrementó bastante la diversidad en el suelo rojo. Las enmiendas incrementaron significativamente el porcentaje de proteobacterias y bacterias oídetes en el suelo de la rizosfera, y la abundancia relativa de algunos géneros beneficiosos, como *Pseudoxanthomonas*, *Rhizomicrobium*, *Lysobacter* etc., que después rediseñaron la comunidad bacteriana. Las composiciones de la comunidad bacteriana del suelo rojo remediada por ambas enmiendas evolucionaron a las del suelo negro.

Wu, *et al.*, (2021, p. 8), investigó sobre metales pesados presentes en suelos mineros y plantas dominantes en tres sitios ($A < 0.5 \text{ km}$ $B < 1.0 \text{ km}$ $A < 1.5 \text{ km}$) con diversas distancias de relaves mineros. Comparó la distribución espacial de metales pesados y la acumulación en plantas, donde se eligieron las especies candidatas para la restauración del ecosistema. Los resultados mostraron que el suelo se hallaba dañado por Cu, Cd, Ni y Cr en diversos grados, que es 2.07, 2.60, 1.79 y 4.49 veces más alto que el estándar Clase- II . en China. El concentrado de Ni, Cd y Zinc (Zn) incrementó, mientras que Cr, Plomo (Pb) y Cu bajaron con la distancia a los relaves mineros. Se hallaron 73 especies (34 familias). Se midió el concentrado de Cd, Cu, Cr y Ni en 29

plantas dominantes y 66.67%, 21.43%, 100%, 47. El 62% de las plantas excedió el rango de concentración normal. Basado en el análisis comparativo, el *Polygonum capitatum* tiene una grata capacidad de fitoextracción de la *Miscanthus floridulus*, *Arthraxon hispidus*, *Boehmeria nivea*, *Conyza canadensis*, *Senecio scandens*, *Rubus setchuenensis*, *Senecio scandens* y la *Chrysanthemum indicum*, demostraron buena fitostabilización y capacidad de poder estabilizar.

Se definen tecnologías de remediación a aquellas operaciones que, mediante procesos biológicos o fisicoquímicos, enmiendan los impactos derivados por agentes contaminantes, influyendo directamente en su volumen, movilidad y toxicidad; siendo una de las tecnologías en desarrollo la fitorremediación, misma que proporciona una particular rentabilidad al permitir la incorporación de determinadas especies de plantas con el fin de disminuir la toxicidad de los metales pesados los sustratos; al volatilizar, metabolizar, acumular y absorber, siendo una opción adicional a los enfoques tradicionales, (Samadi, 2021, p. 12); (Obeso y Vejarano, 2020, p. 3) y (Kahangwa, *et al.*, 2021, p. 3).

Por otro lado, la adición de enmiendas, al poseer altos niveles de CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) y pH junto a una estructura porosa, mantienen la facultad de incidir en los metales contaminantes y sus conductas en el suelo, autores afirman que esta posee gran potencial de inmovilización de metales in situ; de igual manera, esta suele emplearse como sumidero ante sedimentos contaminados, debido a los efectos de reducción, intercambio iónico y precipitación del contaminante, (Huaraca, 2020, p. 5).

Los avances tecnológicos y metodológicos en cuanto a la explotación minera, estos han permitido un notable cambio, al posibilitar la extracción de minerales a cielo abierto, lo que por acción es insostenible industrialmente, impactando en los medios cultural, social y ambiental de las comunidades y su entorno. Por su parte siendo un recurso esencial de dificultosa restauración y de nula renovabilidad, el suelo agrícola es sumamente vulnerable y sensible a la contaminación, los niveles de concentración de los agentes contaminantes, generan propician su degradación química, amenorando su productividad en casos total o parcial, (Mosquera, 2016, p. 23) y (Flores, 2017, p. 29).

Se catalogan metales pesados a aquellas sustancias que mantienen una densidad mayor o igual a 6 g/cm³, dichos elementos modifican negativamente los resultados productivos de dichas actividades, modificando la calidad del suelo inhibiendo el desarrollo de la biota al sobrepasar los LMP a causa de los micro y macro elementos, tal es el caso del plomo (Pb), el cual está presente naturalmente en el suelo, más sin embargo al exceder concentraciones de 8 g/Kg, pasa a ser peligroso elemento, mientras que el arsénico (As), el cual condiciona su biogeoquímica y dinamismo, en lo que se refiere al cadmio (Cd) este repercute en su la calidad de sus micro ecosistemas; acuñándose en este sentido el término “suelo contaminado”, (Rey, 2019, p. 17) y (Barrios, 2019, p. 8).

La disposición en los suelos de proporciones dañinas de ciertos componentes químicos y compuestos (contaminantes) es un ejemplo específico de degradación que se designa contaminación. El contaminante está perenemente en proporciones altas de las tradicionales (anomalías) y tiene un resultado hostil sobre ciertos organismos. Por su comienzo puede ser geogénico o antropogénico. Las iniciales pueden descender de la misma roca madre en la que se constituyó el suelo, de la acción volcánica o del lixiviado de mineralizaciones. Por el inverso, los antropogénicos son causados por los restos peligrosos procedentes de acciones industriales, agrícolas, mineras, etc. y de los restos sólidos urbanos. Desde una perspectiva justa, los contaminantes antropogénicos son los indudables contaminantes. La degradación de suelos por metales pesados y otros elementos es uno de los problemas ambientales que más inquieta a la Administración. La determinación, valoración y redención de un suelo, fundamentalmente cuando se va a hacer un cambio de uso, es uno de los grandes retos ambientales presentes. Expresar un suelo como degradado es un hecho administrativo, pero manifestar que un suelo está degradado no es un trabajo practicable. Una contaminación simboliza perenemente un precio extravagante de un elemento en un suelo frente a lo que puede reflexionar un precio normal, (Godoy y Angorita, 2016, p. 13).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación que se realizó fue básico, conservando un enfoque cualitativo; siguiendo un diseño de teoría de investigación fundamentada, adaptando a un modelo sistemático, mediante el cual manuscritos encontrados fueron tamizados, codificados y posteriormente seleccionados, consiguiéndose las de mayor relevancia, (Yalli, 2019, p. 18). En base a lo señalado por Alvarez (2015, p. 11), en la figura 1, se plasmó de forma gráfica los pasos a los que fueron sometidos cada uno de los documentos encontrados durante la investigación.

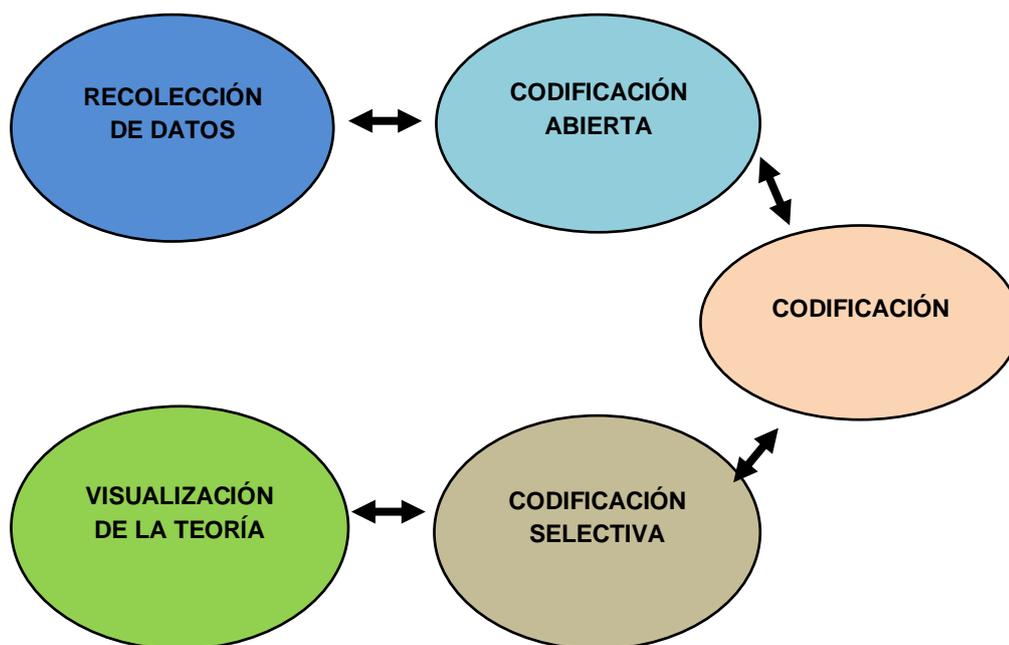


Figura 1. Diseño de la teoría fundamentada - Modelo sistemático.

Fuente: Alvarez (2015, p. 11)

3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización

La matriz de categorización apriorística, se distingue por ser diseñada antes de la recolección de datos, partiendo con la misma investigación, tomando las referencias importantes para la investigación, este estudio

contiene el problema general, las preguntas de investigación, el objetivo principal del estudio, así como sus objetivos específicos, seguidos de su categoría y subcategoría (**ver anexo 1: Matriz de categorización apriorística**).

3.3 Escenario de estudio

El escenario del presente estudio, fueron todas las bases de datos de revistas indexadas, donde obtuvimos información elemental a través de artículos científicos sobre nuestro tema de investigación, dando preferencia a los cuartiles de estos mismos; los cuales indican lo considerable que podría llegar a ser la información obtenida.

3.4 Participantes

Los participantes de la presente investigación, fueron todos los que han intervenido en la elaboración del presente estudio, en la búsqueda de artículos científicos de las plataformas de SCOPUS, SCIENCEDIRECT, REDALYC, SCIELO, de igual manera con los documentos extraídos de repositorios.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica utilizada fue el análisis documental de artículos científicos, extraídos de fuentes indexadas. Referente a los instrumentos utilizados para la obtención de la matriz de análisis de contenido, donde describimos el nombre de la investigación, autor, número de páginas, idiomas, aporte de la investigación, confiabilidad y link de acceso, posteriormente para obtener la información se elaboró una ficha de registro de datos donde encabeza la palabra clave, idioma, la plataforma de búsqueda y el link de acceso, finalmente utilizamos la ficha de recolección de datos donde encabeza la plataforma de búsqueda, el link y sus objetivos. (**Ver anexo 2, 3 y 4**).

3.6 Procedimiento

En primer lugar, definimos el título de la investigación, seguidamente se realizó la búsqueda de información referente a nuestro tema mediante las

plataformas webs. El modo de recopilación de análisis es sistemática, obtenida a partir de las siguientes etapas:

En la primera etapa, la cual comprende la fase de búsqueda de información, misma que se presentó de forma gráfica en la **figura 2**, en esta solo fueron considerados en su gran mayoría aquellos documentos provenientes de fuentes de datos indexadas, dando prioridad al cuartil de la revista en la cual fue publicada la investigación, en menos proporción, se tuvo en cuenta información perteneciente a artículos en línea, leyes y repositorios.

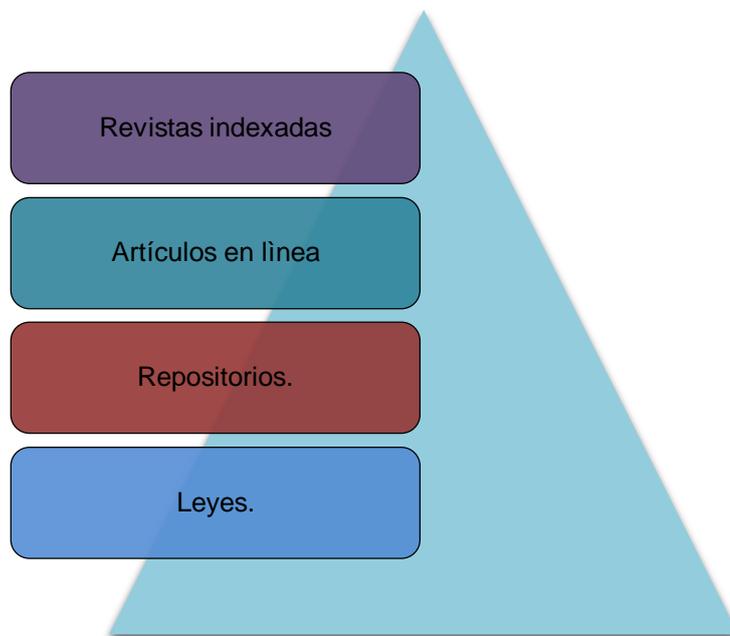


Figura 2: Fase I. Búsqueda de información.

En cuanto a la **figura 3**, en esta se plasmó el origen de la información obtenida en cuanto a artículos, mismos que fueron extraídos a partir de las bases de datos indexadas, siendo la más relevante en lo que respecta al mayor número de artículos encontrados ScienceDirect, en segundo lugar, Scopus, seguido de Scielo y por último Redalyc.

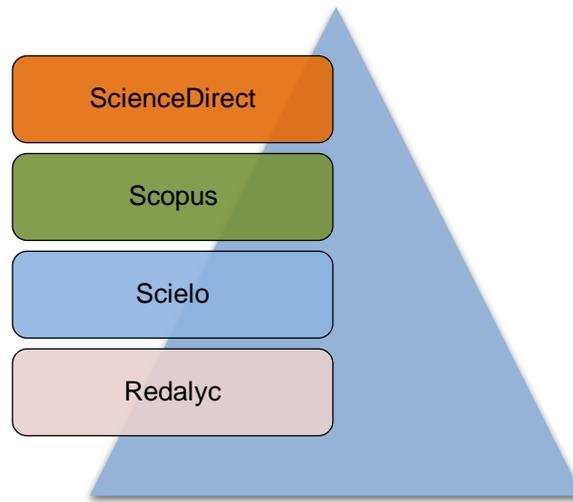


Figura 3. Bases de datos de las revistas indexadas consultadas.

En lo que respecta a la **figura 4**, la cual hace referencia al filtro al cual fueron sometidos cada uno de los documentos seleccionados, se tuvo en alta consideración el idioma de la investigación siendo solo seleccionados aquellos que mantuvieron el idioma español o inglés; así como también su fecha de publicación, el cual ayudó a descartar aquellos menores al año 2015.

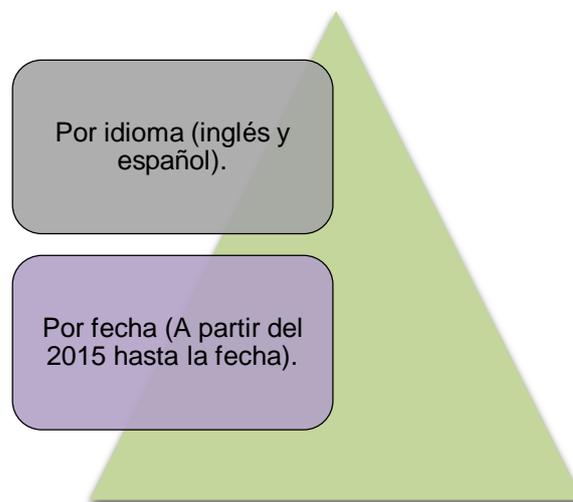


Figura 4. Filtro de selección (Idioma y fecha de publicación).

3.7 Rigor científico

En cuanto al rigor científico y sus criterios, la presente investigación utilizó información de fuentes verídicas, agregando a esto como parámetro de selección se tuvo presente los cuartiles de los artículos obtenidos, con el objetivo de darle relevancia y efecto a la investigación, de este modo la presente investigación certifica la autenticidad de los datos y su trascendencia, con el fin de ofrecer información valiosa a próximas investigaciones.

3.8 Método de análisis de la información

El análisis acompaña al proceso de recolección de la información desde empieza, conduce el trabajo de campo y concede profundizar en los temas emergentes durante las posteriores. Schettini y Cortazzo, (2015, p. 16). El método seleccionado para realizar el presente estudio fueron las fichas de análisis de contenido, con el objetivo de recopilar la información de mayor relevancia de las investigaciones encontradas y referenciarlas para el fácil acceso a la información, considerando el tema de investigación de cada artículo.

3.9 Aspectos éticos

Este estudio fue realizado acorde a los criterios establecidos por la guía, la cual fue brindada por la universidad Cesar Vallejo, siguiendo la norma ISO-690. Uno de los parámetros más considerados ha sido la fiabilidad de la información obtenida, la cual fue recopilada de bases de datos, a la que al finalizar la investigación va a ser examinada por un filtro anti – plagio, citando a todos los autores incluidos en todo el documento.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el desarrollo de la presente investigación se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1. *Proceso de Revisión Sistemática y Procedimientos.*

TIPO DE DOCUMENTO	TIPOS DE TRATAMIENTO	TIPOS DE SUELO	DOCUMENTOS REFERIDOS AL CONTAMINANTE	TIPO DE INVESTIGACIÓN	IDIOMA	CRITERIOS DE INCLUSIÓN
Artículos 18	Fitorremediación 9 Acción de Enmiendas 9	Mineros 12 Agrícolas 6	Arsénico 6 Cadmio 6 Plomo 6	Experimental 12 Literaria 6	Inglés 13 artículos Español 5 artículos	Artículos de revistas indexadas Artículos publicados entre los años 2016 - 2021 Artículos publicados en los idiomas de inglés y español

Fuente:

elaboración

propia.

La ejecución de esta investigación se ciñó a los siguientes pasos, en primer lugar, se llevó a cabo el proceso de filtración del total de los artículos descargados en la ficha de recabación de datos, cuyo total se seleccionaron 18 artículos que tenían similitud, coherencia y afinidad con el tema de esta investigación. Todos estos artículos pasaron por el proceso de filtración, que consideró los siguientes criterios de inclusión, primero que todos los artículos tengan respaldo de ser una investigación científica y se encuentren en revistas indexadas en bases de datos de carácter científico. Asimismo, se encuentren ubicadas entre los años del 2016 al 2021, y en los idiomas inglés y español. De estos 18 artículos, 13 fueron en inglés y 5 en español. En cuanto al tipo de metal contaminante como fuente de la investigación 6 artículos fueron en base al Arsénico, 06 sobre el Cadmio y 6 sobre el Plomo. También de los artículos seleccionados los 12 manifiestan una investigación de tipo experimental y 6 literaria.

Respecto al tipo de tratamiento para evaluar la recuperación de los suelos contaminados 09 de los 18 artículos estaban orientados a la fitorremediación, y 9 investigaciones se realizaron con la adición de enmiendas. Los tipos de suelos donde se realizaron las investigaciones fueron 12 mineros y 06 de tipo agrícola.

De la técnica de recuperación aplicada, los tipos de tratamiento con la fitorremediación fueron de aplicación biológica y los tipos de tratamiento de Adición de Enmiendas fueron de aplicación fisicoquímica.

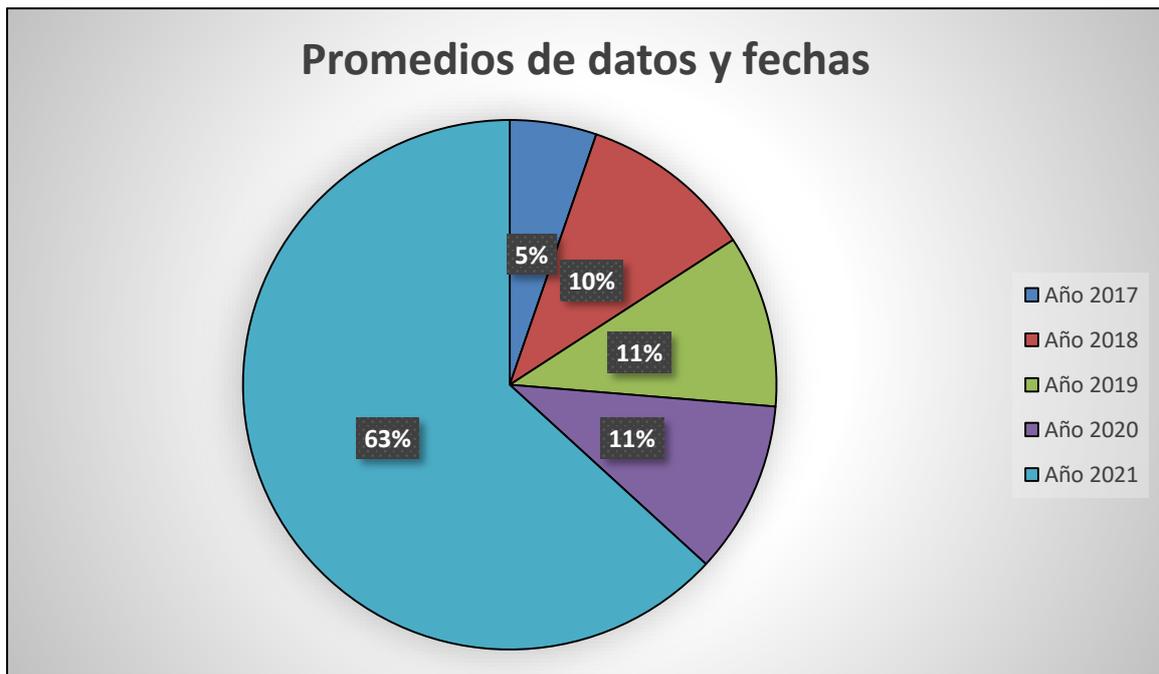
A continuación, en la **tabla 2** se plasmó los artículos clasificados por fecha y base de datos, de los cuales se describen a 18 artículos ubicados en las distintas bases de datos entre ellas Scielo, ScienceDirect, y repositorios de distintas universidades nacionales e internacionales. El registro de años es desde el 2017 hasta el 2021, y según la tabla la mayor cantidad de artículos corresponden a los años 2018, con 02 artículos y 11 corresponden al año 2021, y las bases de datos con mayores artículos es ScienceDirect

Tabla 2. Base de datos y fecha.

AÑO	BASE DE DATOS	REVISTA	N° ARTICULOS
2021	SCIENCEDIRECT	Science Of the total Environmental Environmental Pollution Journal of Hazardous Materials Journal of Environmental Chemical Engineering Chemosphere Catena Quimiósfera Environmental Technology & Innovation	11
2021	Repositorio Académico	Universidad Científica	1
2020	SCIELO	Centro de Información Tecnológica	1
2019	Repositorio de la UCV	NE	1
2019	Repositorio Unel. Edu. Co	Universidad Nacional de Colombia	1
2018	SCIENCE DIRECT	Ecotoxicology and Environmental Safety Heliyon	2
2017	Repositorio Universidad de Chile	Universidad de La Salle	1
	Total		18

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5: Base de datos y fecha



La Figura 5 presenta los artículos clasificados por fecha y base de datos, de los cuales se describen a 18 artículos ubicados en las distintas bases de datos entre ellas Scielo, ScienceDirect, y repositorios de distintas universidades nacionales e internacionales. El registro de años con fecha 2017 se promedia con un 5% de los documentos seleccionados para la investigación, los documentos correspondientes al año 2018 se promedian en un 10% y los artículos correspondientes al 2019 y 2020 en un 11%, y finalmente los artículos correspondientes al año 2021 se encuentran promediados con el mayor porcentaje de un 63%, lo cual indica que los documentos utilizados en esta investigación son muy actuales.

En base a la información recopilada, en la **Figura 6**, se optó por presentar de forma general a modo de síntesis la gráfica de los tipos de suelos elegidos (mineros y agrícolas) junto a los contaminantes que fueron contemplados para el presente estudio (As, Cd y Pb), seguido se presentó también los diferentes tipos de tecnologías que se abordaron en esta investigación (biológicas y fisicoquímicas), en lo que respecta a la **Tabla 3**, esta contiene las plantas remediadoras y la eficiencia de cada una.

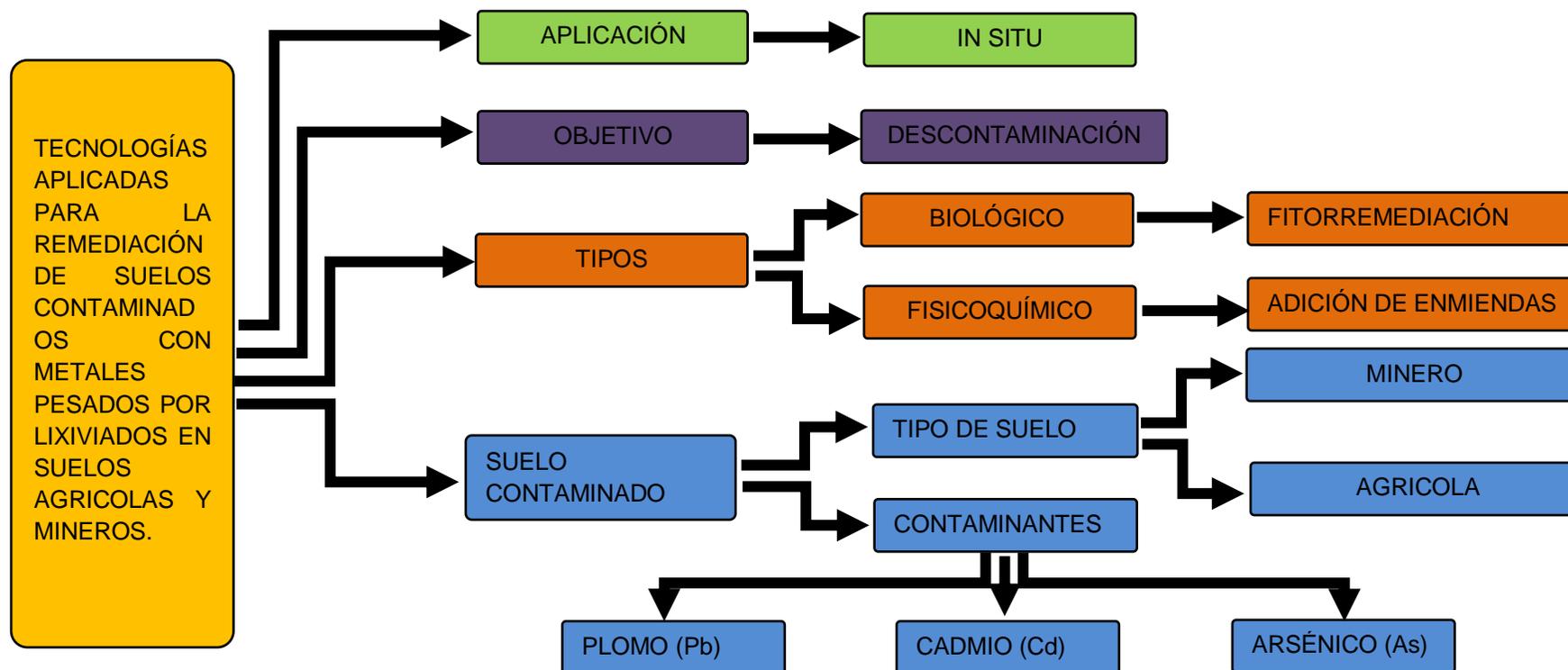


Figura 6: Tecnologías para la remediación de suelos contaminados con metales pesados por lixiviados.

Tabla 3. Tecnologías para la remediación de suelos mineros y agrícolas contaminados con As, Cd y Pb.

Contaminante	Tratamiento		Aplicación	Tipo de Suelo	Especie Remedadora	Contaminante	%	Referencia
	Tipo	Nombre		Área de Estudio				
Arsénico	Biológico	Fitorremediación	In situ	Minería	<i>Ricinus communis</i> "Higuerilla"	As	4.92%	(Barrios, Garcilazo, 2019).
					<i>Polylepis racemosa</i>	As	54.62%	(Paredes, Javier, 2015)
					<i>(Lantana camara)</i>	As	6, 861%	(Kahangwa, et al., 2021)
	Físico-químico	Adición de enmiendas		Minero	<i>Biocarbón Prístino</i>	As	93% - 85%	(Fan, Jin, 2020)
					<i>Cal</i>	As	2,96%	(Martínez, Marrugo, 2020)
					<i>Raigrás</i>	As	78%	(Li, Jining, 2021)

CADMIO	Biológico	Fitorremediación	In situ	Agrícola	<i>Carludovica palmata</i>	<i>Cd</i>	3,4 %	(Oc Wilber, et al., 2018)
					S. Plumbizincicola	<i>Cd</i>	(15,29% - 9,084%)	(Huang, et al., 2020)
					<i>Zea mays L.</i>	<i>Cd</i>	2%	(Munive, et al., L. 2018)
	Físico-químico	Adición de enmiendas		Agrícola	<i>Verticillium y Tricharina</i>	<i>Cd</i>	41,43%	(Mengie An, et al., 2021)
					<i>Gomphrena clausenii</i> y adición de piedra caliza, silicato de calcio y lodo rojo.	Cd y Zn	91 y 25%	(Avelar. 2021)
					ácido húmico	<i>Cd</i>	88% y 46%	(Yu, 2018)
PLOMO	Biológico	Fitorremediación	In situ	Minería	<i>Amaranthus blitum</i>	<i>Pb</i>	5.95%	(Chamorro, Leonel, 2019)
					<i>Brassica juncea</i>	<i>Pb</i>	6.02%	(Rathika, 2021)

				<i>Achyrocline alata</i> <i>(Kunth) DC.</i> <i>Werneria</i> <i>nubigena Kunth</i> <i>Juncus arcticus</i> <i>Willd.</i>	Pb	17.28%	(Valdimir, Leon, 2017)
Físico-químico	Adición de enmiendas	Minería	Humus	Pb	50%	(Alarcón y Mashuán, 2018)	
			Biochar, Vermicompost y Cal			Pb	50 - 84%
			Estiércol de lombriz	Pb	81,21 %.	(Febres Shadai, 2019)	

Fuente: Datos recabados de la base de datos. **Anexo 2**

Respecto a **la tabla 3**, en base al análisis al que se sometió los artículos publicados por los autores referenciados en la misma tabla, se encontró los siguientes datos:

El metal del Arsénico, como elemento contaminante se describe en los trabajos de Barrios y Garcilazo (2019), Paredes y Javier (2015), Kahangwa *et al.*, (2021) quienes en sus artículos de investigación desarrollaron trabajos experimentales y sistemáticos de carácter biológico con el tratamiento de la técnica de fitorremediación en terrenos de minería in situ contaminados con metal de Arsénico donde se indagó que mediante dicho tratamiento se obtuvo resultados favorables de descontaminación de 4.92% con la especie remediadora de *Ricinus communis* “Higuerilla” por Barrios y Garcilazo (2019), de 54.62% con la especie remediadora *Polylepis racemosa* por Paredes y Javier (2015), y 6.861% con la especie remediadora *Lantana cámara* por Kahangwa *et al.*, (2021). De estos tres autores, el mayor resultado de remediación se dio en el trabajo de Paredes y Javier (2015) con 54.62 %y la especie *Polylepis racemosa*.

Con el mismo metal en terrenos mineros, pero con una técnica fisicoquímica de adición de enmiendas las investigaciones de Fan y Lin (2020), describen elevados resultados de un 85% y 93% con los elementos remediadores de biocarbón prístino, indicando con ello que dicho elemento remediador a través de este tipo de técnica es muy favorable para actividades de descontaminación. Coincidentemente con el mismo metal y la misma técnica Li y Jining (2021), obtuvo resultados de un 78% de remediación de suelos contaminados con el elemento químico de la cal, y finalmente en este grupo también Martínez y Marugo obtuvieron un menor porcentaje de descontaminación de 2.96%, mediante el raigrás, los tres trabajos se realizaron en el mismo tipo de suelo contaminado, destacándose como mejor trabajo de remediación la investigación de Fan y Lin (2020), con elevados resultados de un 85% y 93% con los elementos remediadores de biocarbón prístino.

Respecto al metal de Cadmio, investigaciones experimentales realizadas en terrenos agrícolas con la técnica biológica de fitorremediación, los artículos evaluados de Oc Wilber *et al.*, (2018), obtuvo resultados de 3.4% con la especie remediadora *Carludovica palmada*, en este mismo grupo se observa en el trabajo

de Huang *et al.*, (2020) una descontaminación de 15.29% y 9.084% con la especie remediadora *S. Plumbizincicola*. Finalmente, en este grupo se considera el trabajo de Munive con un porcentaje del 2%, con la especie remediadora del *Zea mays* L. Dentro de este grupo la investigación de Huang *et al.*, (2020) con una descontaminación de 15.29% es la mayor remediación de suelos.

Con el mismo metal contaminante de Cadmio, en terrenos agrícolas con la técnica fisicoquímica de la adición de enmiendas de los artículos evaluados se seleccionó a Avelar (2021), con un resultado de 91% y 25% de descontaminación, aplicando elementos remediadores de *Gomphrena claussenii* y adición de *pedra caliza, silicato de calcio y lodo rojo*, igualmente en este grupo de investigadores, Yu (2018), logró un resultado de descontaminación de 88% y 46% con *ácido húmico como elemento remediador*. El estudio de Menigie An *et al.*, (2021) obtuvo resultados de 41.43% con *Verticillium y Tricharina* como elemento remediador. De los tres trabajos de investigación Avelar (2021) reporta el mayor resultado de descontaminación con un 91%.

Respecto al metal plomo los investigadores Chamorro (2019), Rathica (2021) y Vladimir (2017), desarrollaron trabajos experimentales biológicos de fitorremediación en suelos mineros in situ, logrando resultados de 6.020% con la especie remediadora *Brassica juncea* para Rathica (2021), resultados de descontaminación de 5.95% con la especie remediadora *Amaranthus blitum* para Chamorro (2019), y resultados de 17.28% con la especie remediadora de *Achyrocline alata (Kunth) DC. Werneria nubigena Kunth Juncus arcticus Willd* obtenidos por Vladimir (2017), siendo este trabajo, el que reporta la mayor descontaminación de suelo son un porcentaje bajo del 17.28%.

Igualmente, con el mismo metal de plomo trabajos experimentales físico-químicos de adición de enmiendas en terrenos mineros in situ, las investigaciones primeramente de Alarcón y Mashuán (2018), presenta resultados de descontaminación de 50% mediante el humus como elemento remediador, por su parte coincidente a la anterior investigación Martínez y Marrugo (2020), obtuvieron resultados de tanto 50% como del 84% de suelos descontaminados en terrenos mineros aplicando para este efecto el *Biochar, Vermicompost y Cal* como elemento descontaminante. Finalmente cierra este grupo la investigación de

Frebes (2019), cuyo trabajo remediador logró un 81.21% aplicando para ello *el estiércol de la lombriz*. De este grupo de trabajos la investigación que presenta mayor labor de descontaminación es la de Martínez y Marrugo (2020), con un porcentaje de 84% de remediación usando *Biochar, Vermicompost y Cal*.

En resumen, según los datos recabados de esta tabla se observa que las tecnologías de tratamiento fisicoquímico y biológico aplicadas para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en suelos agrícolas y mineros, fueron la fitorremediación en lo que corresponde al tratamiento biológico y en lo que corresponde al tratamiento fisicoquímico es la Adición de enmiendas.

Tabla 4. Descripción comparativa de eficacia de tratamiento.

Contaminante	Tratamiento		Tipo de Suelo	Especie Remediadora	%	Referencia
	Tipo	Nombre	Area de Estudio			
Arsénico	Biológico	Fitorremediación	Minería	<i>Ricinus communis</i> "Higuerilla"	4.92%	(Barrios, Garcilazo, 2019).
				<i>Polylepis racemosa</i>	54.62%	(Paredes, Javier, 2015)
				(<i>Lantana camara</i>)	6, 861%	(Kahangwa, et al. 2021)
	Físico-químico	Adición de enmiendas	Minero	<i>Biocarbón Prístino</i>	93% - 85%	(Fan, Jin, 2020)
				<i>Cal</i>	2,96%	(Martinez, Marrugo, 2020)
				<i>Raigrás</i>	78%	(Li, Jining, 2021)
CADMIO	Biológico	Fitorremediación	Agrícola	<i>Carludovica palmata</i>	3,4 %	(Oc Wilber, et al. 2018)
				S. <i>Plumbizincicola</i>	15,29% - 9,084%	(Huang, et al. 2020)
				<i>Zea mays L.</i>	2%	(Munive, et al., L. 2018)
	Físico-químico	Adición de enmiendas	Agrícola	<i>Verticillium y Tricharina</i>	41,43%	(Mengie An, et al, 2021)
				<i>Gomphrena clausenii</i> y adición de piedra caliza, silicato de calcio y lodo rojo.	91 y 25%	(Avelar. 2021)
				ácido húmico	88% y 46%	(Yu, 2018)
PLOMO	Biológico	Fitorremediación	Minería	<i>Amaranthus blitum</i>	5.95%	(Chamorro, Leonel, 2019)
				<i>Brassica</i>	6.02%	(Rathika,

				<i>juncea</i>		2021)
				<i>Achyrocline alata (Kunth) DC.</i> <i>Werneria nubigena Kunth</i> <i>Juncus arcticus Willd.</i>	17.28%	(Valdimir, Leon, 2017)
	Físico-químico	Adición de enmiendas	Minería	<i>Humus</i>	50%	(Alarcón y Mashuán, 2018)
				<i>Biochar, Vermicompost y Cal</i>	50 - 84%	(Martinez, Deisy y Marrugo, Jose, 2020)
				<i>Estiércol de lombriz</i>	81,21 %.	(Febres Shadai, 2019)

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 4 se observó que las tecnologías de tratamiento fisicoquímico y biológico aplicadas para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en suelos agrícolas y mineros, cuya remediación de suelos contaminados con estos metales en suelos agrícolas y mineros, se responde la siguiente manera:

Los resultados de mayor actividad de descontaminación que se observan en la técnica biológica de fitorremediación son en el metal del arsénico, con la especie remediadora de *Polylepis racemosa* en terrenos mineros con un 54.62%, resultado que corresponde a la investigación de Paredes y Javier (2015). Respecto a la técnica de fisicoquímica de adición de enmiendas, el proceso de descontaminación con mayores resultados se encontró en el mismo metal de arsénico con un 93% de remediación con el biocarbón prístino como elemento descontaminante datos presentados en el trabajo de (Fan, Jin, 2020). Asimismo, se puede observar en la presente tabla que el mayor resultado de descontaminación de los suelos se da con la técnica fisicoquímica de la adición de enmienda en ambos terrenos tanto minero como agrícola, lo cual indica la eficacia de dicha técnica para esta labor.

Tabla 5: Identificación de promedios del metal contaminantes en los suelos aplicados

Contaminante	Tratamiento		Especie Remediadora	%	Referencia
	Tipo	Nombre			
Arsénico	Biológico	Fitorremediación	<i>Ricinus communis</i> "Higuerilla"	4.92%	(Barrios, Garcilazo, 2019).
			<i>Polylepis racemosa</i>	54.62%	(Paredes, Javier, 2015)
			(<i>Lantana camara</i>)	6, 861%	(Kahangwa, et al. 2021)
	Físico-químico	Adición de enmiendas	<i>Biocarbón Prístino</i>	93% - 85%	(Fan, Jin, 2020)
			<i>Cal</i>	2,96%	(Martinez, Marrugo, 2020)
			<i>Raigrás</i>	78%	(Li, Jining, 2021)
CADMIO	Biológico	Fitorremediación	<i>Carludovica palmata</i>	3,4 %	(Oc Wilber, et al. 2018)
			S. Plumbizincicola	(15,29% - 9,084%)	(Huang, et al. 2020)
			<i>Zea mays L.</i>	2%	(Munive, et al., L. 2018)
	Físico-químico	Adición de enmiendas	<i>Verticillium y Tricharina</i>	41,43%	(Mengie An, et al, 2021)
			<i>Gomphrena clausenii</i> y adición de piedra caliza, silicato de calcio y lodo rojo.	91 y 25%	(Avelar. 2021)
			ácido húmico	88% y	(Yu, 2018)

				46%	
PLOMO	Biológico	Fitorremediación	<i>Amaranthus blitum</i>	5.95%	(Chamorro, Leonel, 2019)
			<i>Brassica juncea</i>	6.02%	(Rathika, 2021)
			<i>Achyrocline alata (Kunth) DC.</i> <i>Werneria nubigena Kunth</i> <i>Juncus arcticus Willd.</i>	17.28%	(Valdimir, Leon, 2017)
	Físico-químico	Adición de enmiendas	<i>Humus</i>	50%	(Alarcón y Mashuán, 2018)
			<i>Biochar, Vermicompost y Cal</i>	50 - 84%	(Martinez, Deisy y Marrugo, Jose, 2020)
			<i>Estiércol de lombriz</i>	81,21 %.	(Febres Shadai, 2019)

En la **tabla 5** se identifica que la tecnología más eficiente, según el tipo de tratamiento aplicado para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en suelos agrícolas y mineros es la Adición de enmiendas. Precisamente en lo que respecta a esta parte de este estudio, en base a los autores consultados descritos en esta tabla se pudo identificar que la tecnología más eficiente para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en los suelos agrícolas y mineros resultó ser la fisicoquímica con el tratamiento de adición de enmienda, adicionando biocarbón prístino, para los suelos agrícolas contaminados con arsénico teniendo una eficiencia del 93.85% como lo indicó Fan y Jin (2020) en su estudio entre otros.

La adición de enmiendas, al poseer altos niveles de CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) y pH junto a una estructura porosa, mantienen la facultad de incidir en los metales contaminantes y sus conductas en el suelo, autores afirman que esta posee gran potencial de inmovilización de metales in situ; de igual manera, esta suele emplearse como sumidero ante sedimentos

contaminados, debido a los efectos de reducción, intercambio iónico y precipitación del contaminante, (Huaraca, 2020, p. 5).

El biocarbón, que es un subproducto del pirólisis de la biomasa residual. Es carbón puro y estable que al ser añadido al suelo tiene la facultad de potenciar las propiedades de otros nutrientes o aditivos, y facilita la vida de diversos microorganismos, este elemento es muy alcalino que modifica el pH del suelo, elevando su productividad. Existen experiencias positivas derivadas de la aplicación de biocarbón al suelo, que generan una mejoría en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, lo que se traduce en un aumento de la productividad de los cultivos. El biocarbón por ser una forma recalcitrante de carbono, actúa como reservorio de larga duración de este elemento retardando su retorno a la atmósfera como CO₂, situación que contribuye a mitigar el cambio climático. Un beneficio adicional es que la materia prima para su producción proviene de residuos orgánicos, que a menudo causan problemas de contaminación ambiental. La generación de biocarbón y su aplicación es una alternativa tecnológica que ha sido poco o no empleada en el mundo (Escalante *et al.*, 2016).

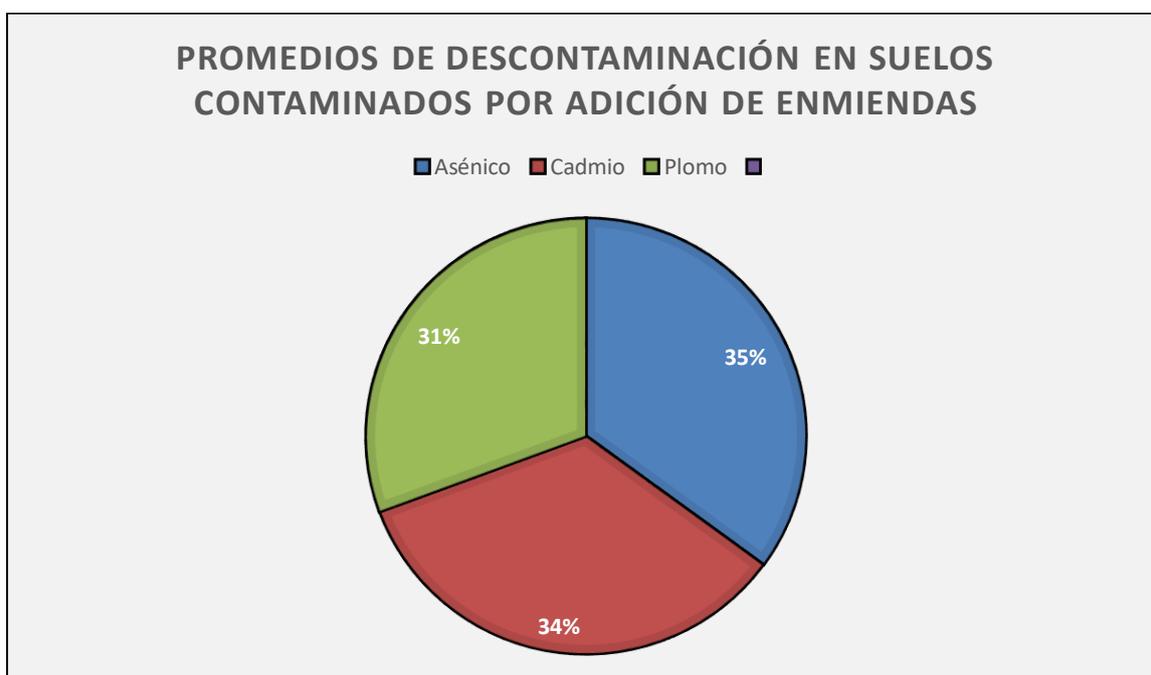


Figura 6: Identificación de la eficacia de remediación de Adición de enmiendas

En la **figura 6** del total de trabajos investigados se observa que el mayor porcentaje de remediación se da en los suelos contaminados con el metal arsénico del total del 100% un 35% corresponde a la remediación de este metal, trabajos como de Fan y Jin (2020) presentan resultados de hasta un 93% de descontaminación de los suelos, y según la tabla 4 se observa que la remediación en suelos contaminados por los tres metales es favorable con altos indicios de descontaminación. Esto indica que la adición de enmiendas es muy eficaz para la actividad de la remediación.

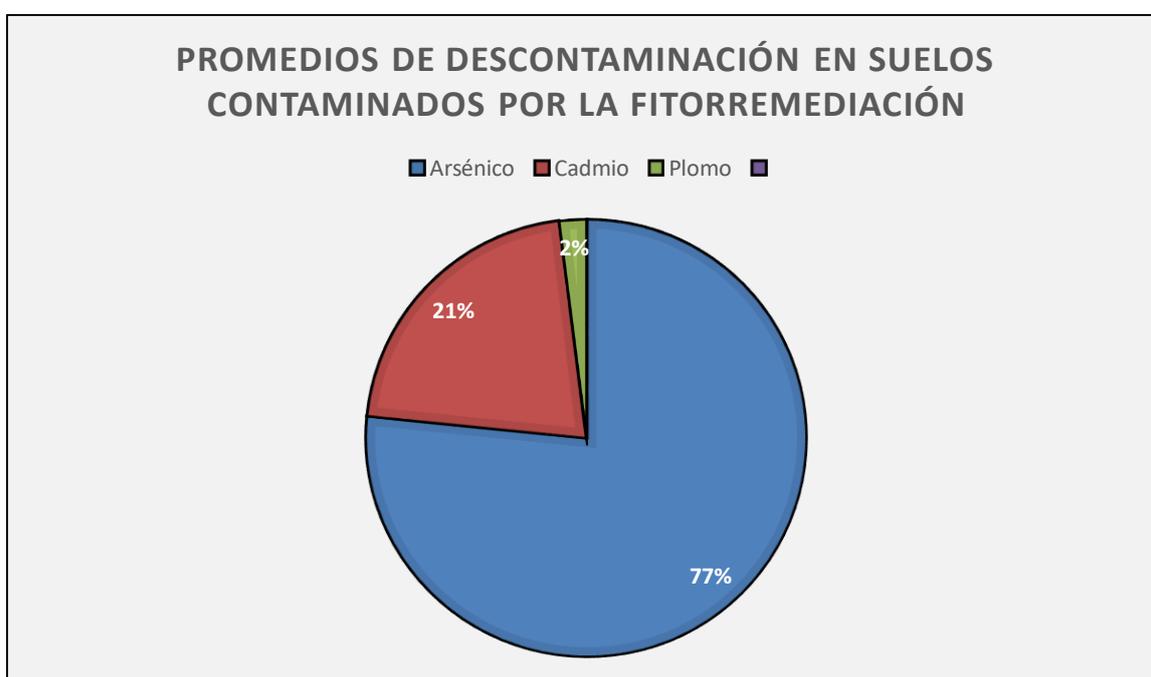


Figura 7: *Identificación de la eficacia de la fitorremediación*

En la **figura 7** se aprecia que del total de trabajos investigados el mayor porcentaje de remediación se da en los suelos contaminados con el metal arsénico del total del 100% un 77% corresponde a la remediación de este metal, trabajos como de Paredes y Javier (2015) presentan resultados de hasta un 54.62% de descontaminación de los suelos, y según la **tabla 4** se observa que la remediación en suelos contaminados por los tres metales es favorable con regular indicio de descontaminación. Esto indica que la fitorremediación es eficaz para la actividad de la remediación.

Respectivamente en las **Tablas 3 y 4** se denota que la denominación de la tecnología biológica para el tratamiento de fitorremediación más eficiente a partir de las especies recae en la especie remediadora de la "*Polylepis racemosa*", con una eficiencia de 54,62 % aplicado en el metal arsénico, y esta especie remediadora es planta perteneciente a la familia de las rosáceas. Es un endemismo de Perú y Bolivia e introducida en Ecuador donde, se ubican en bosques y follajes húmedos de las montañas o selvas. Está considerada en peligro de extinción por la pérdida de hábitat. Esta especie vegetal alcanza los 12 m de altura. León (2017) expone que esta planta posee ramas gruesas con corteza exfoliante en láminas papiraceas rojizas, esta es probablemente la especie de *Polylepis* de acelerado desarrollo. Sus flores son perfectas, con racimos de 100 cm a más de largo con pocas flores, su fruto es cónico, de 5 mm de largo y 4 mm de ancho, cada uno de los 4 ángulos termina en una esquina corta, son de color verduzco. *Polylepis racemosa* se encuentra entre los 3500 – 4300 m.s.n.m; estos vegetales se desarrollan en lugares con temperatura promedio anual de 30°C a 12°C.

Y la tecnología de la fitorremediación, es aquella actividad que proporciona una particular rentabilidad al permitir la incorporación de determinadas especies de plantas con la finalidad de disminuir la toxicidad de los metales pesados los sustratos; al volatilizar, metabolizar, acumular y absorber, siendo una opción adicional a los enfoques tradicionales, (Samadi, 2021, p. 12); (Obeso y Vejarano, 2020, p. 3) y (Kahangwa, *et al.*, 2021, p. 3).

En resumen, mediante esta investigación se determinó que la tecnología más eficiente para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en los suelos agrícolas y mineros, resultó ser la fisicoquímica con el tratamiento de adición de enmienda, adicionando Sulfato de hierro y materiales orgánicos, para los suelos agrícolas contaminados con arsénico teniendo una eficiencia del 93.85% según los estudios de Fan y Jin (2020).

V. CONCLUSIONES

En conclusión, se considera según el objetivo general determinar la tecnología más eficiente aplicada para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en suelos agrícolas y mineros, se determina que la tecnología más eficiente para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en los suelos agrícolas y mineros, ha resultado ser la fisicoquímica con el tratamiento de adición de enmienda, adicionando biocarbón prístino, para los suelos mineros contaminados con arsénico teniendo una eficiencia del 93% como lo indica Fan y Jin (2020).

Según el primer objetivo específico describimos las tecnologías de tratamiento fisicoquímico y biológico, en lo que corresponde al tratamiento biológico es la fitorremediación, teniendo la capacidad de absorber, acumular, metabolizar, estabilizar y restaurar la fertilidad del suelo usando la flora y los microorganismos para remediar los suelos contaminados y la vegetación. Siguiendo con el tratamiento fisicoquímico es la adición de enmiendas en el cual usan los abonos de animales, el compost, desechos orgánicos, etc, para la remediación del suelo contaminado por metales pesados.

El segundo objetivo específico de las tecnologías de tratamiento fisicoquímico y biológico aplicadas para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en suelos agrícolas y mineros, se demuestra en la tabla 4 que las tecnologías de tratamiento fisicoquímico y biológico aplicadas para la remediación de suelos contaminados con metales mencionados se analizó que el tratamiento de adición de enmienda, adicionando biocarbón prístino, cal, raigrás en el metal de arsénico en terrenos mineros obtuvo una descontaminación de 93% como mayor proporción de remediación y un índice menor de 2.96%. En los terrenos agrícolas en los suelos contaminados por el metal cadmio se obtuvo una descontaminación de 91% en mayor proporción y 25% en menor proporción. los elementos remediadores fueron la *Verticillium* y *Tricharina*, *Gomphrena clausenii* y adición de piedra caliza, silicato de calcio, lodo rojo y el ácido húmico. En

suelos contaminados por el metal plomo la remediación aplicada con técnica de Adición de enmiendas obtuvo los siguientes promedios, de 81,21% para la mayor descontaminación y 50% para la menor remediación. Como se puede observar los índices de descontaminación de los trabajos estudiados son sumamente altos.

Respecto a la fitorremediación se obtuvo resultados en suelos contaminados por la minería de un 54.62% en su mayor remediación en el metal arsénico y un 4.92% en su menor resultado, en el metal cadmio en terrenos agrícolas los resultados fueron de mayor porcentaje el 15.29% y el de menor promedio el 3.4%, finalmente en suelos contaminados por el plomo en terrenos mineros el resultado fue un 17.28% para la mayor remediación y 5.95 para el menor remediación las especies aplicadas en el metal arsénico para esta actividad fueron la *Ricinus communis Higuierilla*, la *Polylepis racemosa*, y la *Lantana cámara* de las cuales la más eficaz fue la *Polylepis recemosa*. Para el metal cadmio fueron la *Carludovica palmata*, la *S. Plumbizincicola* la *Zea mays*, siendo la más eficiente la *S plubizincicol*. Y para el plomo fueron la *Amaranthus blitum*, *Brassica juncea* y la *Achyrocline alata*, *Juncus arcticus Willd* siendo estas últimas las más eficaces.

Con respecto al tercer objetivo específico de identificar la tecnología más eficiente, según el tipo de tratamiento aplicado para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en suelos agrícolas y mineros se observó que las tecnologías de tratamiento fisicoquímico y biológico aplicadas para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en suelos agrícolas y mineros, cuya remediación de suelos contaminados con estos metales en suelos agrícolas y mineros, resultó ser la fisicoquímica con el tratamiento de adición de enmienda, adicionando biocarbón prístino, para los suelos mineros contaminados con arsénico teniendo una eficiencia del 93% como lo indica Fan y Jin (2016) en su estudio. Respecto a la fitorremediación igualmente en suelos contaminados por el metal arsénico, se observó que el 54% de remediación fue reportada por Paredes y Javier (2015), aplicando la especie remediadora *Polylepis racemosa*.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a las autoridades correspondientes responsables del cuidado ambiental, encargar a las instituciones y responsables implicados en estas actividades desarrollar y aplicar las técnicas tanto de adición de enmiendas y la fitorremediación en la descontaminación de los suelos contaminados por Arsénico, Cadmio y Plomo.
2. Se recomienda a los agricultores tomar conciencia sobre la importancia de la remediación de los suelos contaminados y promover en ellos la importancia de realizar trabajos de remediación, ya sea biológicos o fisicoquímicos.
3. Se recomienda a los trabajadores de minas tomar conciencia sobre la importancia de la remediación de los suelos contaminados y promover en ellos la importancia de realizar trabajos de remediación, ya sea biológicos o fisicoquímicos.
4. Se recomienda a las instituciones del estado que realicen actividades de capacitaciones en las diferentes instancias e instituciones públicas y privadas sobre temas de remediación, promoviendo sobre todo las remediaciones de la adición de enmiendas y la fitorremediación, en suelos mineros y suelos agrícolas, por su fácil aplicación y bajo costo.
5. Concientizar a la ciudadanía al cuidado de los suelos, evitando la contaminación y sobre todo educando a los ciudadanos a realizar trabajos y actividades de remediación en suelos agrícolas y suelos mineros.
6. Promover en las carreras universitarias de ingeniería ambiental y otras afines a esta, actividades que impulsen la remediación en suelos agrícolas y mineros contaminados por metales pesados, ya sea como actividades del programa educativo o como actividades de índole social o comunitarias.

REFERENCIAS:

ALARCÓN, Wendy y MASHUÁN, Analí. Evaluación de *Juncus Arcticus* e incorporación de enmienda orgánica para la remediación de suelos contaminados con metales pesados de Huamachuco. Tesis (Ingeniería Ambiental). Trujillo: Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2018. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/36913/alarcon_sw.pdf?sequence=1&isAllowed=y

AN, Mengjie [et al]. Metabolic regulation in soil microbial succession and niche differentiation by the polymer amendment under cadmium stress. *Journal of Hazardous Materials* [EN LINEA]. Vol. 416, agosto 2021. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2021]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438942101058X>

ISSN 0304-3894

AVELAR, Paulo [et al]. Soil amendments affect the potential of *Gomphrena clausenii* for phytoremediation of a Zn- and Cd-contaminated soil. *Chemosphere* [en línea]. Vol. 288, n.º 2, febrero 2022. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2021]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521029805>

ISSN 0045-6535

BARRIOS, Manuel y GARCILAZO, Alexander. Capacidad fitorremediadora de *Ricinus communis* "Higuerilla" sobre Arsénico y Plomo de suelos contaminados del sector La Porfía Pataz, 2019, Tesis (Ingeniero Ambiental). Trujillo: Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2019. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47891/Barrios_PMF-Garcilazo_SAJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

BARUAH, Nijara, GOGOI, Nirmali y FAROOQ, Muhammad. Influence of biochar and organic soil amendments on bioavailability and immobilization of copper and lead to common cocklebur in acidic sandy loam soil. *Journal of Environmental*

Chemical Engineering [en línea]. Vol. 8, n.º 6, diciembre 2020. [Fecha de consulta: 9 de septiembre del 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343720308290>

ISSN: 2213-3437.

CANALES, Jesús. Revisión sistemática de diferentes métodos de fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados. Tesis (Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería Y Arquitectura, 2021. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/61315/Canales_FJD-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CHAMORRO, Leonel. Capacidad fitorremediadora de *Amaranthus blitum* para remover plomo de relaves mineros de la provincia de Oyon, 2019, Tesis (Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2019. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/39895/CHAMORRO_GLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ESCALANTE, Ariadna [et al]. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana* (en línea). Vol. 34, n.º 3, junio 2016. [Fecha de consulta: 15 de octubre del 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>

FAN, Jin [et al]. One-pot synthesis of nZVI-embedded biochar for remediation of two mining arsenic-contaminated soils: Arsenic immobilization associated with iron transformation. *Journal of Hazardous Materials* [en línea]. Vol. 398, noviembre 2020. [Fecha de consulta: 1 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389420308906>

ISSN 0304-3894

FEBRES, Shadai. Remediación de Suelos Contaminados con Plomo (pB) Mediante el Empleo de Girasol (*Helianthus annuus*) y Estiércol de Lombriz Roja (*Eisenia foetida*) en Condiciones Controladas. Tesis (Ingeniero Ambiental).

Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/12074/IAfelfse.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

HUAMANCAJA, Liz. Aplicación de sedimentos de piscigranja en un suelo contaminado y su efecto en la disponibilidad de arsénico y crecimiento de Ryegrass (*Lolium perenne*), distrito El Mantaro, Jauja, 2016. Tesis (Ingeniero Ambiental). Huancayo: Universidad Continental, Facultad de Ingeniería, 2018.

Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4966>

HUANG, Rong [et al]. Evaluation of phytoremediation potential of five Cd (hyper)accumulators in two Cd contaminated soils. *Science of The Total Environment* [en línea]. Vol. 721, junio 2020. [Fecha de consulta: 11 de octubre del 2021]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720310925>

ISSN 0048-9697

HUARACA, Jhon [et al]. Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. *Información tecnológica* [en línea]. Vol. 31 n,° 4, agosto 2020. [Fecha de consulta: 8 de septiembre del 2021].

Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=s0718-07642020000400139&script=sci_arttext

ISSN: 0718-0764.

KAHANGWA, Caren [et al]. Assessing phytoremediation potentials of selected plant species in restoration of environments contaminated by heavy metals in gold mining areas of Tanzania. *Heliyon* [en línea]. Vol. 7, n,° 9, septiembre 2021. [Fecha de consulta: 1 de octubre del 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240584402102082X>

ISSN: 2405-8440.

LI, Jining [et al]. Arsenic immobilization and removal in contaminated soil using zero-valent iron or magnetic biochar amendment followed by dry magnetic separation. *Science of The Total Environment* [en línea]. Vol. 768, mayo 2021. [Fecha de consulta: 11 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720380529>

ISSN 0048-9697

LIU, Xuesheng [et al]. Organic amendment improves rhizosphere environment and shapes soil bacterial community in black and red soil under lead stress. *Journal of Hazardous Materials* [en línea]. Vol. 416, agosto 2021. [Fecha de consulta: 5 de septiembre del 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438942100769X>

ISSN: 0304-3894.

LEON, Vladimir. Capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera Lincuna SAC, en condiciones de invernadero, 2015-2016. Tesis (Ingeniero Ambiental). Ancash: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Facultad de Ciencias del Ambiente, 2017. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1900>

MARTÍNEZ, Daisy y MARRUGO, José. Efecto de la adición de enmiendas en la inmovilización de metales pesados en suelos mineros del sur de Bolívar, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* [en línea]. Vol. 22, n.º2, junio 2021. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2021]. Disponible en:

<http://revista.corpoica.org.co/index.php/revista/article/view/2272>

ISSN: 0122-8706

MOSQUERA, Tatiana. Eficiencia del lombricompostaje en la biorremediación de suelos degradados por la minería a cielo abierto en el municipio de unión panamericana, departamento del chocó. Magister (Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente). Colombia: Universidad de Manizales, facultad de ciencias contables económicas y administrativas, 2016. Disponible en:

[https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2929/Mosquera%20%20C%C3%B3rdoba Tatiana%20%202016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2929/Mosquera%20%20C%C3%B3rdoba%20Tatiana%20%202016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

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]. Vol. 9, n.º 4, diciembre 2018. [Fecha de consulta: 11 de octubre del 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000400011&lng=pt&nrm=iso

ISSN 2077-9917

OC, Wilber [et al]. Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal del Perú* [en línea]. Vol. 33, n.º 1, junio 2018. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2021]. Disponible en: https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/view/1156/pdf_29

ISSN 2523-1855

PAREDES, Javier. Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros. *Revista ECIPerú* [en línea]. Vol. 11, n.º 2, marzo 2015. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://revistas.eciperu.net/index.php/ECIPERU/article/view/46/47>

RATHIKA, R. [et al]. Influence of biochar and EDTA on enhanced phytoremediation of lead contaminated soil by *Brassica juncea*. *Chemosphere* [en línea]. Vol. 271, mayo 2021. [Fecha de consulta: 1 de octubre del 2021]. Disponible en: [Influence of biochar and EDTA on enhanced phytoremediation of lead contaminated soil by Brassica juncea - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129788)

ISSN 0045-6535

REY, Diana. Revisión bibliográfica de uso y/o formación de compuestos de coordinación en la remediación y mitigación de plomo, cadmio y mercurio en el suelo. Magister (Ciencias Químicas-Modalidad Profundización). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias 2019.

Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76462/tesis%20entrega%20biblioteca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

RODRIGUEZ, Natalia, MCLAUGHLIN Michael y PENNOCK, Daniel. La contaminación del suelo: una realidad oculta. *Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura*, 13-15, 2019.

Disponible en: <https://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>

ISBN 978-92-5-131639-9

TORRES, Yovana [et al]. Fitorremediación de Suelos Contaminados por Metales Pesados. *Scientific Research Journal* [en línea]. Vol. 1 n.º 1, Julio 2021. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2021].

Disponible en: <https://doi.org/10.53942/srjci.v1i1.43>

ISSN: 2789-2727

VARGAS, Lady. Fitorremediación de suelos contaminados con plomo en zonas mineras de Perú. Bachiller (Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad Científica del sur, Facultad de Ciencias Ambientales, 2021.

Disponible en: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1890/TB-Vargas%20L-Ext.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VLADIMIR, Leon. Capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera lincuna sac, en condiciones de invernadero, 2015-2016. Tesis (Ingeniero Ambiental). Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Facultad de Ciencias del Ambiente, 2017. Disponible en: http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1900/T033_7251305_1_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

WU, Bohan [et al]. Evaluation of phytoremediation potential of native dominant plants and spatial distribution of heavy metals in abandoned mining area in

Southwest China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea]. Vol. 220, septiembre 2021. [Fecha de consulta: 1 octubre del 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651321004802>

ISSN: 0147-6513.

YALLI, Renzo. Propuesta Metodológica para el Desarrollo del Aprendizaje Significativo de las Técnicas de Animación en los Estudiantes de Arte y Diseño Empresarial de la Usil. Tesis (Docencia en Educación Superior). Lima: Universidad de San Ignacio de Loyola, 2019.

Disponible en: http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/9433/1/2019_Yalli-Galvez.pdf

YU, Yao [et al]. Effects of the addition and aging of humic acid-based amendments on the solubility of Cd in soil solution and its accumulation in rice. *Chemosphere* [en línea]. Vol. 196, abril 2018. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2021]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565351830002X?via%3Dihub>

ISSN 0045-6535

ZHAO, Hanghang [et al]. A 3-year field study on lead immobilisation in paddy soil by a novel active silicate amendment. *Environmental Pollution* [en línea]. Vol. 292, enero 2022. [Fecha de consulta: 9 de octubre del 2021].

Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749121019072?dgcid=rss_sd_all

ISSN: 0269-7491

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Categorización Apriorística

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PROBLEMA GENERAL	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA
Determinar la tecnología más eficiente aplicada para la para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por	Describir las tecnologías de tratamiento fisicoquímico y biológico aplicadas para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en suelos agrícolas y mineros.	¿Cuál es la tecnología más eficiente aplicada para la para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en suelos agrícolas y mineros?	¿Qué tipo de tecnologías existen para remediar suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en suelos agrícolas y mineros?	❖ Tecnologías	❖ Tecnología Fisicoquímica ❖ Tecnología Biológicas

<p>lixiviados en suelos agrícolas y mineros.</p>	<p>Analizar las tecnologías de tratamiento fisicoquímico y biológico aplicadas para la remediación de suelos contaminados con arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en suelos agrícolas y mineros.</p>
	<p>Identificar la tecnología más eficiente, según el tipo de tratamiento aplicado para la remediación de suelos contaminados con</p>

<p>¿Qué técnicas de tratamiento remediación se utilizan para suelos contaminados por metales pesados (As, Cd y Pb)?</p>	<p>❖ Tecnología Biológica</p> <p>❖ Tecnología Fisicoquímica</p>	<p>❖ Fitorremediación</p> <p>Adición de Enmiendas</p>
<p>¿Cuál es tipo de tecnología más eficiente para la remediación de suelos contaminados con metales pesados</p>	<p>❖ Tipos de Suelo</p>	<p>❖ Suelo Minero</p>

	<p>arsénico, cadmio y plomo por lixiviados en suelos agrícolas y mineros.</p>		(As, Cd y Pb)?		<ul style="list-style-type: none"> ❖ Suelo Agrícola
				<p>Tipo de Contaminante</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Arsénico ❖ Cadmio ❖ Plomo

Fuente:

elaboración

propia

Anexo 2. Instrumento de registro de datos.

FICHA DE REGISTRO DE DATOS			
PALABRA CLAVE		IDIOMA	
PLATAFORMA DE BUSQUEDA			
LINK DE ACCESO			

Fuente: elaboración propia.

Anexo 3. Instrumento de recolección de datos.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	
PLATAFORMA DE BUSQUEDA	
LINK DE ACCESO	
OBJETIVOS	
CONCLUSIONES	

Fuente: elaboración propia.

Anexo 4. Instrumento de análisis de contenido.

FICHA ANÁLISIS DE CONTENIDO	
NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN	
AUTOR (ES)	
REFERENCIA SEGÚN ISO - 690	
NÚMERO DE PÁGINAS	
IDIOMA	
TEMÁTICA QUE DESARROLLA	
APORTES A LA INVESTIGACIÓN	
DATOS QUE EVIDENCIAN	
CONFIABILIDAD	
LINK DE ACCESO O DOI	

Fuente:

elaboración

propia

DIFERENCIAS DE TRATAMIENTOS

TRATAMIENTO BIOLÓGICO (Fitorremediación)	TRATAMIENTO FÍSICOQUÍMICO (Adición de Enmiendas)
Usan las plantas y los microorganismos para remediar el suelo contaminado por metales pesados	Usan el abono de animales, el compost, los desechos orgánicos, etc. Para remediar suelos contaminados por metales pesados.
Bajo Costo	Bajo Costo o intermedio
No altera el Ph del suelo	Altera el Ph del suelo, lo vuelve ácido