



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR METALES PESADOS EN LA INDUSTRIA MINERA”: una revisión sistemática entre los años 2008-2018.

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería de Minas

Autor:

Orlando Aderli Rodríguez Jara

Asesor:

Mg. Ing. Wilson Gómez Hurtado

Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

A las tres personas fundamentales en mi vida, mis padres Braulio y Margarita por su apoyo incondicional y sus sabias enseñanzas con base en principios y valores.

A mi querida hermana Elvira por haberme apoyado siempre con un espíritu alentador y a todos mis familiares y amigos que confían en mí.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Wilson Gómez Hurtado por su ayuda y colaboración en cada momento de
consulta y a mi familia por brindarme su apoyo.

Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
RESUMEN.....	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	9
CAPÍTULO III. RESULTADOS	14
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	22
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	23
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01 Fuentes bibliográficas 2008- 2018	11
Tabla 02 Registro de artículos consultados 2008-2018.....	14
Tabla 03 Número de publicaciones por tipos de documentos	17
Tabla 04 Distribución de artículos por año	17
Tabla 05 Matriz de publicaciones por institución científica.....	18
Tabla 06 Distribución de artículos por principales técnicas de descontaminación de suelos	19
Tabla 07 Categorización de los artículos.....	19

RESUMEN

La presente revisión sistemática muestra las diferentes técnicas de remediación de suelos contaminados, por ejemplo los tratamientos físico-químicos, biológicos y mixtos, siendo los de mayor uso frecuente las técnicas biológicas dentro de ellas destaca la Fitorremediación las cuales mejoran eficientemente las propiedades y características propias de un suelo que no ha sido impactado por metales producto de la minería y que según el lugar de aplicación del tratamiento pueden ser in situ y ex situ, este último tiene un mayor costo a la hora de su aplicación.

Para una buena selección de la técnica a aplicar en un lugar impactado se debe tener en cuenta ciertos criterios como por ejemplo tipo de suelo y la duración del tratamiento.

PALABRAS CLAVES: Suelos contaminados, técnicas de remediación, metales pesados.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día el tema de contaminación en la industria minera no es algo nuevo, por ello se viene realizando un sinnúmero de investigaciones encaminadas a la recuperación de suelos contaminados. Actualmente en la minería se cuenta con alternativas tecnológicas aplicadas que trata de resarcir el problema de la contaminación, no obstante, los esfuerzos por dar solución son insuficientes. La contaminación de la superficie terrestre es un problema universal y que nos afecta a todos, por ende, se han encontrado y se viene desarrollando biotecnologías para la remediación de los sitios impactados puesto que después de una extracción minera, la tierra es lo más importante que nos queda y así poder tener un desarrollo sostenible y autosustentable.

La contaminación de un lugar impactado se produce por la liberación e infiltración de una sustancia nociva en el terreno sea cual sea su concentración. La mayor parte de la contaminación de la superficie terrestre es realizada por el hombre (origen antropogénico), para nuestro caso la principal actividad es la industria minera. Por consiguiente, un suelo contaminado es todo aquel que ha sido alterado sus condiciones naturales fisicoquímicas. (Escusol Tomey & Rodríguez Abad, 2014)

Según la forma en la que se apliquen las técnicas de recuperación de suelos se habla de dos tipos de tratamientos, in situ y los ex situ. Los primeros actúan directamente sobre la zona impactadas y los tratamientos ex situ, que requieren la excavación previa del suelo para su posterior tratamiento. Dentro de los diferentes tipos de tratamiento tenemos los biológicos, físico- químicos y también los mixtos. Por otra parte se puede hacer mención que los tratamientos in situ por lo general son más lentos y más difíciles de llevar a la práctica dada la dificultad de poner en contacto íntimo a los agentes de descontaminación con el suelo

contaminada, por el contrario, los tratamientos ex situ suelen ser de mayor costo, pero también más rápidos, consiguiéndose así una recuperación más integral de la zona impactada. (Escusol Tomey & Rodríguez Abad, 2014)

Es innegable que todas las operaciones mineras contaminan el medio ambiente en especial la superficie terrestre afectando su estabilidad fisicoquímica lo que puede generar la pérdida progresiva y parmente de muchas especies. Por tanto, nace la necesidad de aplicar las actuales técnicas para la remediación de suelos contaminados producto de las actividades mineras.

Por lo antes mencionado el propósito de esta revisión sistemática es conocer las técnicas de tratamiento de suelos impactados por metales pesados producto de la minería, a partir de análisis de artículos de investigación desde el año 2008 al 2018. Así mismo la presente revisión toma datos científicos y proyectos de investigación que se han publicado en este periodo.

El Perú es un país minero por excelencia que cada día busca mejorar todo su proceso productivo y mitigar los impactos ambientales de las zonas de influencia es por ello que la presente revisión será de mucha ayuda para valorar técnicas para el tratamiento y la remediación de suelos contaminados producto de la minería, y así poder mantener nuestro ambiente libre de contaminantes nocivos para la salud y para el medio ambiente.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

El actual estudio, de revisión sistemática tiene como pregunta de investigación planteada **¿Cuáles son las técnicas de remediación de suelos contaminados por metales nocivos producto de la industria minera?**

Estas revisiones se hacen mediante un proceso jerárquico de selección y agrupación de contenido netamente científico, teniendo en cuenta aspectos como calidad y de disminución de sesgos en la selección de los estudios incluidos en las revisiones sistemáticas, de modo que hagan posible agregar información existente filtrada a partir de dichos protocolos, así como sintetizar los resultados de la investigación para poder dar solución a la pregunta formulada.

Los idiomas con los cuales se realizó la búsqueda de información son en el idioma inglés y el español entre los años 2008 y 2018. Asimismo, se emplearon cuatro motores de búsqueda académicos los cuales se especifican a continuación:

- Repositorios universidades nacionales.
Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa- Arequipa
Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo- Ancash.
- Repositorio de universidades internacionales.
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Universidad Politécnica de Valencia.
Universidad de Vigo
Universidad Nacional de Loja
Escuela Politécnica Nacional.
- Google académico
- Redalyc.
- Scopus.
- Scielo

En la búsqueda de información se utilizó operadores booleanos lógicos tales como: AND, OR, XOR, y los de proximidad; NEAR, ADJ, SAME, permitiendo así recuperar mejores resultados: “Minería AND contaminación”, “Técnicas OR recuperación de suelos contaminados” “Contaminación ambiental NEAR suelo” “Recuperación de Suelos ADJ Contaminación”. De igual forma se empleó los siguientes términos: “Técnicas de contención de suelos contaminados” “Políticas ambientales en el Perú” “Técnicas de remediación biológica”. De manera análoga también se llevó a cabo la búsqueda en el idioma inglés con términos claves “Soil recovery”, “Soil contamination”, “soil and mining”.

Se encontró 560 publicaciones de divulgación científica; 80 tesis de pregrados aprobadas, 50 catálogos, 65 revistas, 90 artículos, tanto en el idioma inglés como en español que dan respuesta a la pregunta de investigación y que están dentro de los años de estudio antes mencionado, además contienen las variables de estudios relacionadas con la metodología. La suma de 100 publicaciones soslayadas porque no dan respuesta a la pregunta de la investigación, 40 investigaciones repetidas, 20 estudios sin permiso del autor, 80 estudios que no se encuentran entre los años delimitados, 15 investigaciones de difícil traducción, por tanto, se seleccionó 20 investigaciones científicas.

Después de una exhaustiva búsqueda y análisis de información, se optó solamente por los conceptos que puedan resolver el problema planteado en la investigación. Se seleccionó veinte fuentes ordenadas cronológicamente en una tabla, desde el año dos mil ocho hasta el dos mil dieciocho.

Tabla 01
Fuentes bibliográficas 2008- 2018

Nº	Título	País	Revista	Tipos de estudio	Año
1	Estabilización química de suelos contaminados con metales pesados.	México	Redisa	Experimental	2008
2	Estrategias para la remediación de suelos contaminados.	España	Digital.CSIC	Experimental	2009
3	Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (Cecropia peltata).	Colombia	Redalyc.org	Experimental	2010
4	Empleo de polímeros naturales como alternativa para la remediación de suelos contaminados por metales pesados.	Mexico	Revista internacional de contaminación ambiental	Experimental	2011
5	Análisis y comparación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales.	Chile	Tesis en red	Experimental	2012
6	Recuperación de suelos contaminados por elementos traza mediante fitotecnologías de estabilización.	España	Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente	Experimental	2013
7	Evaluación de la fitotoxicidad en suelos contaminados por metales pesados en pasivos ambientales mineros- Metalúrgicos.	México	Tesis en red	Experimental	2013
8	Efectividad de enmiendas en la recuperación de un suelo minero del distrito de 'El Arteal' término municipal de Cuevas del Almanzora (Almería).	España	Tesis en red	Experimental	2013
9	Diseño a Escalas Laboratorio y Piloto de un Sistema de Remediación Electrocinética de	Ecuador	Revista BIBDIGITAL	Experimental	2013

Suelos Contaminados con Metales Pesados					
10	Evaluación de la fertilidad y remediación de suelos mediante la técnica de biopilas en una zona intervenida por pequeña minería en el barrio San Antonio parroquia Guadalupe.	Ecuador	Biblioteca Virtual	Experimental	2014
11	Alternativas de disposición para la fitorremediación de suelos contaminados por actividades mineras.	Colombia	Repositorio lasallista	Experimental	2014
12	Revisión comparativa de técnicas empleadas para la descontaminación “in situ” de suelos contaminados.	España	Revista digital del CEDEX	Experimental	2014
13	Microorganisms role in the bioremediation of contaminated soils with heavy metals.	México	Multidisciplinar y Scientific Journal	Experimental	2015
14	Estudio Bibliográfico de los Criterios Base para la Selección del Método de Recuperación de un suelo contaminado.	España	Repositorio RiuNet	Experimental	2016
15	Rehabilitación de las áreas dañadas por la minería en el yacimiento Camarioca Este.	Cuba	Repositorio Nínive.	Experimental	2017
16	Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación.	México	Revista internacional de contaminación ambiental	Experimental	2017
17	Capacidad fitorremediadora de especies alto andinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera Lincuna sac, en condiciones de invernadero, 2015-2016.	Perú	Repositorio UNASAM	Experimental	2017

18	Fitorremediación y electrorremediación de suelos contaminados.	España	Tesis en red	Experimental	2018
19	Metodología para la identificación y evaluación de riesgos de pasivos ambientales mineros con fines de priorización para su remediación.	Bolivia	Medio Ambiente y Minería	Experimental	2018
20	Remediación de suelo contaminado por derrame de concentrado de cobre empleando ácidos húmicos, en el distrito de Coporaque provincia Espinar departamento cusco.	Perú	Repositorio UNSA	Experimental	2018

Fuente: elaboración propia.

Los artículos de la tabla 01 son revisiones de temas específicos de técnicas de remediación de suelos contaminados de la minería aurífera.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En la presente revisión sistemática se logró seleccionar un total de 20 artículos de las 560 publicaciones encontrados en los diferentes bases de datos utilizados. Asimismo, se extrajo el lugar donde fue publicado, año de publicación, título y diseño de la investigación utilizada.

Tabla 02
Registro de artículos consultados 2008-2018.

Nº	Base de Datos	Autor/Autores	Título del artículo de investigación	Año
1	Google Académico	Valles, C.; Alarcón, T.	Estabilización química de suelos contaminados con metales pesados.	2008
2	Repositorio Digital. CSIC	J. Pastor, R. Millán, A. J. Hernández M. J. Sierra, M.C. Lobo	Estrategias para la remediación de suelos contaminados.	2009
3	Redalyc	Jhon Víctor Vidal Durango, José Luis Marrugo Negrete, Beatriz Jaramillo Colorado, Libia María Perez Castro.	Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (<i>Cecropia peltata</i>).	2010
4	Scielo	Omar E. Cartaya, Inés Reynaldo, Carlos Peniche y María. L. Garrido.	Empleo de polímeros naturales como alternativa para la remediación de suelos contaminados por metales pesados.	2011
5	Tesis en Red	Guillermo Ignacio Alcaino Concha.	Análisis y comparación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales.	2012
6	Scopus	T. Pardo	Recuperación de suelos contaminados por elementos traza mediante fitotecnologías de estabilización.	2013
7	Repositorio Nínive.	Ricardo Ernesto Somohano Gamboa.	Evaluación de la fitotoxicidad en suelos contaminados por metales	2013

				pesados en pasivos ambientales mineros- Metalúrgicos.	
8	Google Académico	María, Magaña.	Estévez	Efectividad de enmiendas en la recuperación de un suelo minero del distrito de 'El Arteal' término municipal de Cuevas del Almanzora (Almería).	2013
9	Repositorio EPN	Aragón C., De la Torre E., Guevara A		Diseño a Escalas Laboratorio y Piloto de un Sistema de Remediación Electrocinética de Suelos Contaminados con Metales Pesados	2013
10	Repositorio UNL	Jorge Armijos	Vladimir Valarezo	Evaluación de la fertilidad y remediación de suelos mediante la técnica de biopilas en una zona intervenida por pequeña minería en el barrio San Antonio parroquia Guadalupe.	2014
11	Google Académico	Eliana, Isabel Corrales	López	Alternativas de disposición para la fitorremediación de suelos contaminados por actividades mineras.	2014
12	Revista digital del CEDEX	Mercedes Tomey y Rodríguez	Escusol Rafael Abad.	Revisión comparativa de técnicas empleadas para la descontaminación "in situ" de suelos contaminados	2014
13	Redalyc	Sergio Covarrubias, Abraham Berumen, Juan Peña	Abraham José García José Cabriaes.	Microorganisms role in the bioremediation of contaminated soils with heavy metals.	2015
14	Repositorio RiuNet	Diego José Ibert	Roqueta	Estudio Bibliográfico de los Criterios Base para la Selección del Método de Recuperación de un suelo contaminado.	2016
15	Repositorio Nínive.	Lukénia Lucas	Luemba de	Rehabilitación de las áreas dañadas por la minería en el yacimiento Camarioca Este.	2017

16	Google Académico	Sergio Abraham Covarrubias y Juan José Peña Cabriaes.	Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. Capacidad fitorremediadora de especies alto andinas para suelos contaminados por metales pesados	2017
17	Repositorio UNASAM	Vladimir Alfonso Leon Menacho	procedentes de la compañía minera Lincuna sac, en condiciones de invernadero, 2015-2016.	2017
18	Calderón, repositorio institucional del CUD, ENM	Juan Romero Roquette	Fitorremediación y electrorremediación de suelos contaminados.	2018
19	Scielo	Gerardo Zamora Echenique, Julio Lanza Ferrufino, Julio Arranz González	Metodología para la identificación y evaluación de riesgos de pasivos ambientales mineros con fines de priorización para su remediación.	2018
20	Repositorio UNSA	Vera Gamero, Samuel Lucio	Remediación de suelo contaminado por derrame de concentrado de cobre empleando ácidos húmicos, en el distrito de Coporaque provincia Espinar departamento Cusco	2018

Fuente: elaboración propia

La presente tabla N° 02 es un registro de resultados de artículos científicos que responden a la pregunta de investigación para ello se hizo uso de la búsqueda en las diferentes bases de datos anteriormente mencionados.

Tabla 03
Número de publicaciones por tipos de documentos

Tipo de documento	F	%
Tesis de maestría	3	15
Tesis profesional	8	40
Artículo de revista	8	40
Simposio	1	5
Total	20	100

Fuente: elaboración propia

La tabla número 03 muestra que la mayor cantidad de publicaciones sobre la base de estudio son realizadas por las tesis profesionales conjuntamente con los artículos de revista en comparación con el simposio.

Tabla 04
Distribución de artículos por año

Años	F	%
2008	1	5
2009	1	5
2010	1	5
2011	1	5
2012	1	5
2013	4	20
2014	3	15
2015	1	5
2016	1	5
2017	3	15
2018	3	15
Total	20	100

Fuente: elaboración propia

La tabla número 04 muestra que en el año 2013 se realizó la mayor cantidad de publicaciones con un porcentaje de 20% seguido por los años 2014, 2017 y 2018 con un 15% cada uno respectivamente.

Tabla 05
Matriz de publicaciones por institución científica

Institución científica	F	%
Repositorio Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa	1	5
Repositorio Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.	1	5
Repositorio Universidad Autónoma de San Luis Potosí	1	5
Repositorio Universidad Politécnica de Valencia.	1	5
Repositorio Universidad de Vigo	1	5
Repositorio Universidad Nacional de Loja	1	5
Repositorio Escuela Politécnica Nacional.	1	5
Repositorio Corporación Universitaria Lasallista	1	5
Universidad de Almería.	1	5
Universidad de Chile	1	5
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.	1	5
Repositorio institucional del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.	1	5
Revista Internacional de contaminación Ambiental.	2	10
Revista Medio Ambiente y Minería.	1	5
Revista digital del CEDEX	1	5
Revista Ecosistemas.	1	5
Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal	2	10
I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos	1	5
Total	20	100

Fuente: elaboración propia.

De la tabla número 05 se observa que la mayor cantidad de investigaciones se publicaron en revistas internacionales con 10 % seguido de investigaciones por universidades con 5 % cada uno.

Tabla 06
Distribución de artículos por principales técnicas de remediación de suelos

Tipo de documento	Tipo de tratamiento			Totales
	Físico - Químico	Biológico	Mixto	
Tesis de maestría	0	2	1	3
Tesis profesional	3	4	1	8
Artículo de revista	3	4	1	8
Simposio	1	0	0	1
Total	7	10	3	20

Fuente: elaboración propia.

La tabla número 06 muestra la distribución de artículos y los tipos de tratamiento realizado el cual la mayor cantidad de estudios que aplicaron son los métodos biológicos con una cantidad de 10 en comparación con los métodos mixtos que solo fueron 3.

Tabla 07
Categorización de los artículos

Tipo de Técnica	Aplicación	Aportes
Físico- Químico	In situ	Uno de los tratamientos utilizados es la electrorremediación, generalmente es aplicada In situ y de tratamiento Físico-químico. Los metales más comúnmente tratados con esta tecnología son Cd, Cu, Pb, Zn, Co y As. (Alcaino Concha, 2012).
		La capacidad amortiguadora específica del suelo con el cual trabajó facilita la selección del método químico estabilizando las condiciones óptimas de pH. (Alarcón & Valles, 2008) La electrorremediación ha tomado mayor atención por parte de los profesionales medioambientales debido a sus ventajas únicas sobre otras tecnologías convencionales. Algunas de las ventajas son las siguientes:

		<p>Factibilidad para usar métodos ex situ o in situ.</p> <p>Fácil integración con las tecnologías convencionales, incluyendo barreras y sistemas de tratamientos. (Roquette, 2018)</p> <p>Las técnicas de tipo biológica mayormente presentan altos rendimientos de descontaminación independientemente de la naturaleza del suelo, pero tiene como desventaja que actúan a poca profundidad. (Escusol Tomey & Rodríguez Abad, 2014)</p> <p>Las técnicas de biopilas mejoran la fertilidad de suelos y que funciona de manera eficiente para lugares impactados producto de la minería ilegal. (Armijos Valarezo , 2014)</p> <p>El empleo de ácidos húmicos es una solución eficaz y económica que logra reducir las concentraciones de cobre en la zona afectada por debajo de los 4300 mg/Kg establecida por la US EPA. (Vera Gamero , 2018)</p> <p>Entre los métodos que destaca son los biológicos basados en el uso de las propiedades metabólicas de bacterias y hongos para la descontaminación de metales pesados son una opción complementaria a los métodos tradicionales. (Abraham Covarrubias, García Berumen, & Peña Cabriales, 2015)</p> <p>Hablando de la técnica de Fitorremediación, el guarumo es una planta arbórea, el cual mediante la de germinación in situ de la planta el análisis de laboratorio reporta una buena remoción de Hg. (Corrales, 2014)</p> <p>La fitorremediación genera un impacto positivo de suelos mediante el uso de enmiendas orgánicas y plantas propias del lugar de estudio. (Pardo, 2013)</p> <p>Debido a su alta tasa de propagación las especies alto andinas presentan alto potencial fitorremediador por ejemplo la especie Achirocline alata que tiene capacidad de acumular metales. (Leon Menacho , 2017)</p>
Biológica	In situ	

Mixto	In situ	<p>Para poder seleccionar la técnica se tiene que tomar en cuenta algunos criterios por ejemplo el tipo de suelo, la duración de tratamiento, entre otros. Al aplicar técnicas mixtas la duración del tratamiento con respecto al tiempo se reduce. (Roqueta Ibert, 2016)</p> <p>Tanto el empleo de técnicas biológicas como físico químico para el suelo en específico de su estudio la electroremediación conlleva un mayor tiempo de tratamiento. (Alcaino Concha, 2012)</p> <p>El experimento fue realizado en un suelo natural artificialmente contaminado con gasoil para probar la técnica electrocinética el cual dio un resultado de 63% aproximadamente y en presencia de un biosurfactante mejora la eficiencia consiguiéndose resultados superiores al 86%. (Pastor, Millan, Hernández, Sierra, & Lobo, 2009)</p>
-------	---------	---

Fuente: elaboración propia.

Entre los resultados de los artículos mostrados destaca los métodos biológicos y Físico – Químicos empleados en las técnicas de remediación de suelos contaminados por metales pesados en la industria minera llevados a cabo In situ.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Entre las diferentes técnicas de remediación de suelos contaminados que se investigó se debe tener en cuenta su fácil aplicación y que sea económicamente viable tal es el caso del método biológico mediante la Fitorremediación.

Según Corrales. 2014 sostiene que las técnicas biológicas son tratamientos que conlleva un largo tiempo para su aplicación y resultados esperados de descontaminación.

Por el contrario, Roquette, 2018 afirma que las técnicas físico y químicos su remediación es más rápida pero económicamente hablando es mucho más costosa ya que su aplicación requiere varios días de tratamiento.

Alcaino 2012, con la técnica mixta mejora la eficiencia y reduce el tiempo de recuperación del suelo impactado. Asimismo, enfatiza que se debe tener en cuenta algunos criterios para la selección de tipo de tratamiento como, por ejemplo: tipo de suelo, la duración de tratamiento.

El tema de la contaminación no es algo nuevo por ello en los últimos años se ha incrementado el número de investigaciones científicas en donde se expresa la relevancia de la aplicación de la biotecnología en los estudios de biorremediación, específicamente, la Fitorremediación asistida por microorganismos ha surgido como una alternativa para mejorar la eficacia en los tratamientos de desintoxicación de sistemas contaminados por metales pesados

Entre las limitaciones que se tuvo en la presente revisión sistemática es la cantidad excesiva de publicaciones repetidas y otras que son muy complejas de traducir ya que se encuentran en idioma ruso.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

- ✓ Las técnicas biológicas son las más estudiadas según publicaciones realizadas en los países de México, Chile y España.
- ✓ Según estudios los tipos de técnicas empleadas en la remediación de suelos contaminados son: Físico- Químicos, Biológicos y Mixtos, asimismo, teniendo en cuenta su lugar de aplicación pueden ser in situ y ex situ.
- ✓ Hoy en día según el tipo de tratamiento de suelos, los más utilizados son los biológicos destacando la técnica de Fitorremediación y con menor frecuencia los tratamientos mixtos y físico – químicos.
- ✓ La investigación toma mucha relevancia puesto que nuestro querido Perú es un país minero por ello la necesidad de emplear técnicas más eficientes para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados en tal sentido es necesario seguir las investigaciones referentes al tema planteado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham Covarrubias, S., García Berumen, J. A., & Peña Cabriales, J. J. (2015). Microorganisms role in the bioremediation of contaminated soils with heavy metals. *Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal*, 43.
- Alarcón, T., & Valles, C. (2008). Estabilización química de suelos contaminados con metales pesados.
- Alcaino Concha, G. I. (2012). Análisis y comparación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales. 23-24.
- Armijos Valarezo , J. V. (2014). Evaluación de la fertilidad y remediación de suelos mediante la técnica de biopilas en una zona intervenida por pequeña minería en el barrio San Antonio Parroquia Guadalupe.
- Corrales, E. I. (2014). Alternativas de disposición para la fitorremediación de suelos contaminados por actividad minera. 42.
- Escusol Tomey, M., & Rodríguez Abad, R. (2014). Revisión comparativa de técnicas empleadas para la descontaminación "in situ" de suelos contaminados. *Revista digital del CEDEX*, 105.
- Leon Menacho , V. (2017). Capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera Lincuna SAC. en condiciones de invernadero, 2015-2016.
- Pardo, T. (2013). *Recuperación de suelos contaminados por elementos traza mediante fitotecnologías de estabilización*. Madrid-España.
- Pastor, J., Millan, R., Hernández, J., Sierra, J., & Lobo, C. (2009). Estrategias para la remediación de suelos contaminados.
- Roqueta Ibert, D. J. (2016). Estudio bibliográfico de los criterios base para la selección del método de Recuperación de un Suelo Contaminado.
- Roquette, J. R. (2018). *Fitorremediación y electrorremediación de suelos contaminados*. España.
- Vera Gamero , S. L. (2018). Remediación de suelo contaminado por derrame de concentrado de cobre empleando ácidos húmicos en el distrito de Coporaque provincia de Espinar departamento de Cusco.