

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica

“EFICIENCIA DE HELIANTHUS ANNUUS EN LA
FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS
CONTAMINADOS POR PLOMO EN PASIVOS
AMBIENTALES MINEROS EN LOS ÚLTIMOS 10
AÑOS”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Geóloga

Autor:

Sayra Valeria Herrera Torres

Asesor:

M. Sc. Gladys Sandi Licapa Redolfo

<https://orcid.org/0000-0002-9077-5218>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Miguel Ricardo Portilla Castañeda	172707
	Nombre y Apellidos	Nº Colegiatura o DNI

Jurado 2	Juan Carlos Flores Cerna	72544
	Nombre y Apellidos	Nº Colegiatura o DNI

Jurado 3	Daniel Alejandro Alva Huamán	128052
	Nombre y Apellidos	Nº Colegiatura o DNI

INFORME DE SIMILITUD

Document Information

Analyzed document	Tesis - Sayra Valeria Herrera Torres.docx (D130042076)
Submitted	2022-03-11 03:17:00
Submitted by	
Submitter email	N00024754@upn.pe
Similarity	14%
Analysis address	gladys.licapa.delnor@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Privada del Norte / Mendoza_P_T2.docx Document Mendoza_P_T2.docx (D106035282) Submitted by: haniel.torres@upn.pe Receiver: haniel.torres.delnor@analysis.arkund.com		1
SA	Universidad Privada del Norte / TESIS_VIOLETA QUILICHE.docx Document TESIS_VIOLETA QUILICHE.docx (D110642148) Submitted by: N00030889@upn.pe Receiver: gladys.licapa.delnor@analysis.arkund.com		12
SA	Universidad Privada del Norte / Quincho_Cintya_Saldana_Victor_TAREA FINAL DE TESIS.pdf Document Quincho_Cintya_Saldana_Victor_TAREA FINAL DE TESIS.pdf (D110506722) Submitted by: jessica.lujan@upn.pe Receiver: jessica.lujan.delnor@analysis.arkund.com		1
SA	Universidad Privada del Norte / REVISION_ZAVALETA VIGO KARINA.docx Document REVISION_ZAVALETA VIGO KARINA.docx (D110200299) Submitted by: jessica.lujan@upn.pe Receiver: jessica.lujan.delnor@analysis.arkund.com		1
SA	Universidad Privada del Norte / Tesis_Final_Zavaleta_E.docx Document Tesis_Final_Zavaleta_E.docx (D120682283) Submitted by: jessica.lujan@upn.pe Receiver: jessica.lujan.delnor@analysis.arkund.com		3
SA	TESIS HIDALGO Y MOREIRA.docx Document TESIS HIDALGO Y MOREIRA.docx (D106871274)		1
SA	Universidad Privada del Norte / TRABAJO FINAL.docx Document TRABAJO FINAL.docx (D120102676) Submitted by: mayrachihual@gmail.com Receiver: haniel.solis.delnor@analysis.arkund.com		1
SA	Universidad Privada del Norte / Aroni_Maria_EXAMEN FINAL.pdf Document Aroni_Maria_EXAMEN FINAL.pdf (D110506712) Submitted by: jessica.lujan@upn.pe Receiver: jessica.lujan.delnor@analysis.arkund.com		1

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres y a mi familia por su apoyo, paciencia y consejos ofrecidos;
pues sin ellos no lo habría logrado.

A mi hijo Thiago quien ha sido mi mayor motivación para no rendirme y concluir
con éxito mis estudios.

A Dios por estar siempre en mi vida, por iluminarme y bendecirme para poder
continuar con mi vida y lograr el primero de mis triunfos como es titularme como
Ingeniera.

Sayra Valeria Herrera Torres.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mis padres y familiares por el apoyo económico, moral y emocional para iniciar mis estudios superiores, continuarlos y culminar mi carrera profesional.

Agradezco a los Ingenieros que nos consideraron como parte de su familia y nos brindaron buenos consejos para no rendirnos y culminar nuestra carrera.

Agradezco de manera especial a mi Asesora de Tesis, la Ingeniera Gladys Licapa Redolfo por haberme guiado en base a su experiencia durante el desarrollo de mi Tesis, por las indicaciones y apoyo brindado para llegar a la culminación de la Tesis.

TABLA DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	5
TABLA DE CONTENIDOS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN.....	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema.....	22
1.3. Objetivos	23
1.3.1. Objetivo general.....	23
1.3.2. Objetivos específicos	23
1.4. Hipótesis.....	23
1.4.1. Hipótesis General.....	23
1.4.2. Hipótesis Específica.....	24
1.5. Justificación.....	24

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	25
2.1. Tipo de investigación.....	25
2.2. Población y muestra (materiales, instrumentos, métodos).....	25
2.2.1. Población	25
2.2.2. Muestra	25
2.2.3. Materiales.....	25
2.2.4. Métodos	26
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	27
2.4. Procedimiento	27
2.5. Aspectos éticos	29
CAPÍTULO III. RESULTADOS	30
3.1. <i>Helianthus Annuus</i> para tipos de fitorremediación	30
3.2. <i>Helianthus Annuus</i> para remoción de plomo	31
3.3. Remoción de plomo con valores altos mediante <i>Helianthus Annuus</i>	32
3.4. Estándares de Calidad Ambiental comparado con concentraciones finales de plomo.	36
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	41
4.1. Discusión.....	41
4.2. Conclusiones.....	45
REFERENCIAS	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Superficie y porcentaje de grandes grupos de suelos en región Cajamarca (2012)	15
Tabla 2. Información regional según unidades mineras en producción	19
Tabla 3. Número de Pasivos Ambientales a nivel Nacional 2006 - 2020	20
Tabla 4. Métodos de descontaminación de suelos.....	22
Tabla 5. Técnicas de fitorremediación mediante <i>Helianthus Annuus</i>	30
Tabla 6. Especie <i>Helianthus Annuus</i> para remoción de plomo luego de desarrollada la fitorremediación	31
Tabla 7. Valores altos de remoción de plomo mediante <i>Helianthus Annuus</i>	33
Tabla 8. Plomo final en suelos agrícolas según ECA Perú	37
Tabla 9. Plomo final en suelos de uso comercial / industrial / extractivo según ECA Perú.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de suelos.....	16
Figura 2. Mapa de proyectos mineros en cartera y principales unidades en exploración minera.....	17
Figura 3. Principales unidades mineras en producción.....	18
Figura 4. Pasivos Ambientales Mineros acumulados entre 2006 - 2020.....	21
Figura 5. Diagrama de procedimiento para elección de artículos de investigación.....	28
Figura 6. <i>Helianthus Annuus</i> para remoción de plomo luego de la fitorremediación.....	32
Figura 7. Aditivos a <i>Helianthus Annuus</i> para remoción de plomo.....	36
Figura 8. Plomo final en suelos según ECA en suelos agrícola.....	38
Figura 9. Plomo final en suelos según ECA en suelos comercial / industrial / extractivo en Perú.....	40

RESUMEN

La siguiente investigación, tuvo como objetivo determinar el nivel de eficiencia de la especie *Helianthus Annuus* en la fitorremediación de suelos contaminados por plomo en pasivos ambientales mineros en los últimos 10 años. Por lo cual, la investigación es de tipo cuantitativa descriptiva y de nivel exploratorio. Se utilizó la técnica de observación, además de hacer uso de análisis documental; con el fin de recopilar los estudios más notables. De esta manera, se obtuvo como resultados que la mayor concentración de plomo en la especie *Helianthus Annuus* fue encontrada en las raíces, tallos y hojas. Además de determinar que la remoción de plomo mediante esta especie, en algunos estudios; llega a valores de hasta 95%, mientras en otros presenta una remoción mínima de 26%. Por otra parte, se identificó que la especie presenta mayor nivel de remoción de plomo en suelos; mediante la aplicación de acondicionadores conformados por 50% humus + 30% musgo + 10% arena + 10% aserrín, brindando remoción de plomo en suelos de hasta 93%. Finalmente, luego de comparar los ECA con los valores finales de plomo en los tratamientos; se determinó que muchos de estos estudios aún sobrepasaban los ECA de Perú.

Palabras clave: pasivos ambientales, suelos, fitorremediación, contaminación, girasol.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El control de pasivos ambientales, es un tema de gran importancia en la actualidad; debido a que estos suelos son gravemente contaminados y las empresas generadoras de estos pasivos deberían revertir los daños causados; empleando técnicas como la fitorremediación; la cual es una técnica novedosa y recomendable ya que no altera los ecosistemas y se realiza seleccionando especies vegetales con niveles altos de tolerancia hacia contaminantes específicos Bernal (2014).

Por lo cual, es necesario que el Estado se encargue de buscar los responsables de los pasivos ambientales y se planifique la remediación de estos y por otro lado, también es importante prevenir los daños que estos generan; un ejemplo de esto es algunas de las sanciones impartidas a cuatro empresas entre los años 2010 y 2012 por cometer infracciones contra el ambiente (Defensoría del Pueblo, 2015).

Además; Zamora, Lanza, & Arranz (2018), Sotomayor (2015), Wong & Bernardo (2018), son autores que mencionan la gran importancia que tiene el recuperar suelos contaminados y la responsabilidad que deben aceptar las empresas causantes de estos daños, además de informarnos sobre las maneras de aminorar estos daños.

Aun así, muchas de las empresas mineras, no se hacen cargo de los daños que causan y otras no realizan un buen planeamiento para la remediación de estos suelos; como se dio en el caso de la Auditoría Coordinada de Pasivos Ambientales (ACPA) en la que participaron entidades fiscalizadoras de varios países; en la cual se llegó a la conclusión de que las acciones que realizaron estas entidades para remediar y controlar los pasivos ambientales;

fueron insuficientes para mitigar los daños causados al ambiente y salud de las personas (Remón, 2019).

A continuación, se dará a conocer la información actual que se tiene acerca del tema de investigación y a su vez cada uno de los temas que este pueda abarcar.

Zamora, Lafuente, & Hinojosa (2020); según su investigación en el Pasivo de Japo – Santa Fe – Bolivia, estudió la propuesta de recuperación de sitios mineros abandonados que sean grandes generadores de drenaje de ácido de roca (DAR); haciendo uso de coberturas secas. Realizando un previo estudio de las propiedades geotécnicas de suelos y predicción del comportamiento de estos. Por lo cual, se logró tener como resultado, que estos suelos eran aptos para el uso de estas coberturas secas, y que aplicando la técnica antes mencionada; se lograría reducir el (DAR) antes de que este en un aproximado de dos años, destruya la materia básica aún presente.

Buendía (2012), según su investigación sobre biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos; realizado en la provincia del Callao, propuso la recuperación de suelos mediante el uso de compost de aserrín y estiércol; logrando como resultados, una disminución de 22.5% de hidrocarburos en el suelo al momento de usar estiércol y aserrín al mismo tiempo. Usando sólo estiércol, obtuvo la disminución de hidrocarburos al 16.5%. Finalmente, haciendo uso solamente de aserrín, los hidrocarburos en el suelo disminuyen en un 9.6%. Por lo cual se deduce tratamiento de suelos más recomendable para la disminución de hidrocarburos en el suelo, se da haciendo uso de estiércol y aserrín.

Así mismo como otra de las opciones para la rehabilitación de pasivos ambientales mineros; tenemos la propuesta por (Pari, 2018), donde según su investigación realizada en

Puno- Perú, menciona que la contaminación con relaves mineros y liberación de metales pesados, genera pérdida y alteración de los suelos, pero pueden ser recuperados. Tal como lo menciona Trujillo (2015) de acuerdo a su artículo de investigación realizada en la Planta Piloto metalúrgica de Yauris, provincia de Huancayo – Perú; en la cual concuerda con el autor antes mencionado y concluye que los suelos de relaves de clasificación textural – arenoso, pueden ser recuperados mediante el agregado de materia orgánica y sembrando plantas; lo cual se da a un costo relativamente bajo; debido a que esta clase de suelos suelen tener poca retención de humedad y baja retención de nutrientes. De igual manera Rodríguez, Carvajal, Gallo, & Mesa (2012) mencionan una técnica parecida; en la cual se aplican nutrientes para remoción de suelos contaminados dentro de los cuales está la cáscara de banano. Para los tres casos, se reporta una recuperación de suelos; para la investigación realizada por Pari (2018), el diseño de cobertura logró reducir la percolación en valores menores al 1.5%, además de mantener la retención de humedad mayor al 80%. Seguidamente para la investigación realizada en Yauris se logró neutralizar el PH de los suelos contaminados por relaves, que en un inicio eran fuertemente ácidos. Mientras que para la última investigación en la que se evaluó el tratamiento de bioestimulación con nutrientes y cáscara de banano; se logró desarrollar una población microbiana que degrada el diesel en un 93%.

Ramírez & Torres De la Rosa (2020) según su estudio realizado en Paredones – Cajamarca; analizaron la eficacia de la técnica de fitorremediación de Suelos contaminados con plomo; concluyendo que la *Phragmites australis* absorbe un 85% del plomo, siendo una planta eficaz para la absorción de plomo en el suelo.

En el estudio de recuperación de suelos contaminados por plomo utilizando girasol, realizado por Espinoza (2019) en el distrito de Sicaya; se menciona la reducción significativa

de plomo al emplear plantas de *Helianthus Annuus* adicionando abono comercial (superfosfato triple). Debido a que, en un principio de la investigación, la concentración inicial de plomo fue de 185.25 ppm y después del tratamiento disminuyó a 52.19 ppm, lo cual indica que este tratamiento optimiza la capacidad fitorremediadora de la especie antes mencionada. De la misma manera, Febres (2019) en su estudio llevado a cabo en Arequipa; demuestra la gran utilidad de *Helianthus Annuus* adicionado con estiércol de lombriz roja, y se verificó que la combinación de estos, posibilita la inmovilización del plomo en el suelo, por medio de la absorción y acumulación de este en las raíces y disminuyendo de esa manera la movilidad de los contaminantes.

Buendía y otros (2014) de acuerdo a su estudio realizado en los alrededores de la refinería Maple Gas - Pucallpa, mencionan que el girasol es un buen fitorremediador debido a que logró extraer entre 21.03 y 26.99 ppm de plomo a comparación de la cantidad de plomo inicial en el suelo; entre cada uno de los seis tratamientos realizados, en los que se hizo uso de plantas de girasol adicionado con aserrín de bolaina, humus de lombriz y/o perlita. Destacando entre todos estos tratamientos el que contenía la especie *Helianthus Annuus* (girasol) adicionado a Perlita, por ser el que permitió mayor absorción del metal.

De acuerdo a los antecedentes para realizar la presente investigación, tenemos las siguientes bases teóricas:

Grupos de suelos en Cajamarca

Cajamarca cuenta con diferentes grupos de suelos, además de esto, el 53.13% de la superficie del departamento de Cajamarca está formado por unidades puras de grupos de suelos (Poma & Alcántara, 2012), en la tabla 1 observamos el nombre de cada consociación, así como el área que cubre cada una y el porcentaje que estos representan; cubriendo un área

total de 1174538.76 Has lo que es equivalente al 35.54%; además de esto, las asociaciones cubren un 64.10% y las unidades cartográficas un 0.25%, sumando un 100%. También se puede observar que el tipo de consociación que ocupa una mayor cantidad de Has, es el Andosol con un porcentaje equivalente al 8.16% y el que ocupa menor cantidad de Has es el Fluvisol con un 0.10% equivalente a 3222.07 Has. Estos resultados pueden verse en el Mapa de Suelos (Figura 1).

Tabla 1.

Superficie y porcentaje de grandes grupos de suelos en región Cajamarca (2012)

Consociaciones	Símbolo	Área Has	Porcentaje %
Andosol	T	268889.09	8.16
Cambisol	B	28360.98	0.86
Fluvisol	J	3222.07	0.10
Leptosol	L	259407.46	7.87
Paramo andosol	PA	138063.99	4.19
Paramosol	PS	99878.81	3.03
Phaeozem	H	65645.83	1.99
Regosol	R	246978.48	7.49
Rendzina	E	22272.59	0.68
Vertisol	V	32828.28	1.00
Xersol	X	8991.19	0.27
TOTAL		1174538.76	35.64

Fuente: Gobierno Regional de Cajamarca

Mapa de proyectos mineros y principales unidades en exploración minera en Cajamarca

En la región de Cajamarca existen varias compañías mineras, con proyectos que conforman la Cartera de Exploración minera; en la figura 2 se muestra el mapa realizado por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) (2020) sobre los proyectos mineros en Cartera de Exploración minera, así como los proyectos en fase temprana o avanzada de exploración en la región de Cajamarca; de la cual se puede observar que existen 20 compañías en esta región y los productos que se extraen son Cobre, Oro, Plata y Molibdeno.



Figura 2. Mapa de proyectos mineros en Cartera de Exploración minera y principales unidades en exploración minera.

Unidades mineras en producción en la región Cajamarca

En la Región de Cajamarca hasta el año 2021 hay un total de 21 unidades mineras en producción ocupando una extensión de 54 639 ha equivalente al 1.64%. En la figura 3, se muestra las Principales Unidades mineras en producción de la Región de Cajamarca; en la cual se indican según la leyenda, las minas superficiales, minas subterráneas, Unidades mineras no metálicas y Fundición/Refinería. Los encargados de brindar esta información, es el MINEM (2021). Además, se brindará la información regional según las unidades mineras en producción (Tabla 2).



Figura 3. Principales unidades mineras en producción

Tabla 2.

Información regional según unidades mineras en producción

CAJAMARCA		
EXTENSIÓN TERRITORIAL	3 324 777 ha	100%
1780 concesiones mineras	811 309 ha	24.4%
1 420 metálicas	707 088 ha	21.3%
360 no metálicas	104 221 ha	3.1%
21 unidades en Producción	54 639 ha	1.64%
35 unidades en Exploración	10 701 ha	0.32%
Inversión Minera	US\$ 226.5 Millones	
Empleo directo en Minería	11 428 trabajadores	
Empleo indirecto estimado	91 423 trabajadores	
Recursos transferidos (2010-2020)	S/ 4 017 millones	

Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

En la tabla 2, se observa la información regional de Cajamarca, según las unidades mineras en producción en la que se indica la extensión de las concesiones mineras metálicas y no metálicas, la inversión minera que llega a ser de US\$ 226.5 Millones. Así mismo, podemos resaltar que los productos mineros que se extraen, son principalmente el cobre, oro y plata; así como también la arena, arcillas, carbón antracita, caliza, calcita, dolomita y andalucita.

Pasivos Ambientales Mineros a nivel Nacional 2006 – 2020

Castillo y otros (2021) mencionan que los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), son residuos producidos por operaciones mineras abandonadas o inactivas; estos, son un riesgo potencial para la salud y el ecosistema. Como se muestra en la tabla 3, se puede observar la actualización del inventario de Pasivos Ambientales Mineros (Ministerio de Energía y Minas

- MINEM, 2020) y hay un notable incremento de PAM en el periodo 2006 – 2016 y una reducción de PAM del 2018 al 2020 posiblemente por remediación de estos. Así mismo, a continuación, se mostrará un gráfico en el cual se exprese los pasivos Ambientales Mineros acumulados entre 2006 – 2020 (Figura 4).

Tabla 3.

Número de Pasivos Ambientales a nivel Nacional 2006 - 2020.

AÑO	PAM A NIVEL NACIONAL
2006	850
2007	2103
2008	2129
2009	2190
2010	5557
2011	6847
2012	7576
2013	8206
2014	8571
2015	8616
2016	8854
2018	8794
2019	8448
2020	7956

Fuente: Ministerio de Energía y Minas. Elaboración propia.

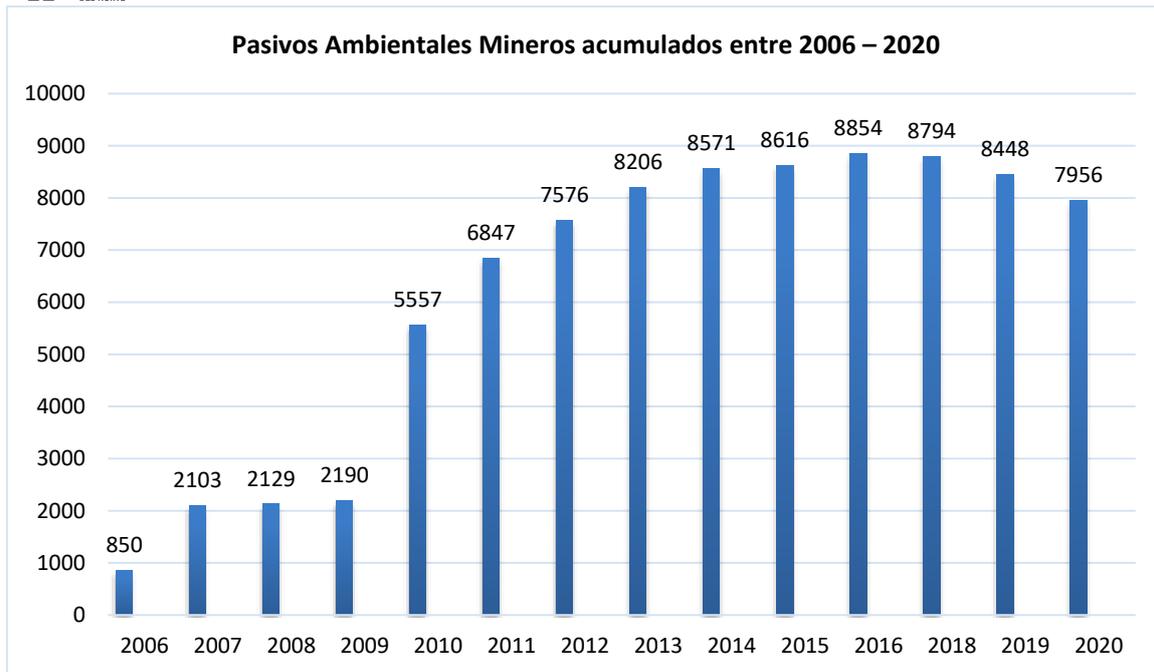


Figura 4. Pasivos Ambientales Mineros acumulados entre 2006 - 2020

El Ministerio de Energía y Minas - MINEM (2020) brindó los datos mostrados en el gráfico de barras del cual notamos un aumento de 1253 PAM del año 2006 al 2007. De igual manera se destaca el gran aumento de Pasivos que hubo del año 2009 al 2010, habiendo una diferencia de 3367 PAM lo cual es preocupante por la enorme contaminación generada en este periodo.

Métodos de descontaminación de Suelos

Existen diversas técnicas de descontaminación de suelos; las cuales presentan diferentes ventajas, desventajas y limitaciones. En la tabla 7, se puede apreciar diferentes de estas técnicas como el Lavado de Suelos y Desorción Térmica que sólo pueden usarse en procesos exsitu. A su vez, la técnica de Incineración sirve para eliminar contaminantes en grandes concentraciones, pero con un pretratamiento al suelo para separar impurezas.

Finalmente, la técnica de Arrastre por Inyección de aire, no elimina metales pesados. La información mostrada en la presente tabla fue brindada por Hurtado (s.f.).

Tabla 4.

Métodos de descontaminación de suelos

TÉCNICA	LIMITACIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
LAVADO DE SUELOS	Rango óptimo de tamaño de partículas se sitúa alrededor de 0,25 y 2 mm.	Se logra la extracción de sustancias contaminantes	Tecnología costosa, se usa en procesos exsitu, existe alto riesgo de explosión
INCINERACIÓN	Se debe someter al suelo a un pretratamiento para separar las impurezas y gruesos (orientativamente, partículas mayores de 50 mm).	Sirve para destrucción de residuos peligrosos y contaminantes en grandes concentraciones	Uso ilimitado para sustancias orgánicas
ARRASTRE POR INYECCIÓN DE AIRE	No elimina metales pesados, no utilizable en suelos de baja permeabilidad.	Efectiva para volátiles, trata grandes cantidades de contaminantes.	No destruye los contaminantes
DESORCIÓN TÉRMICA	Ciertos contaminantes necesitan temperaturas muy altas.	Recuperación de contaminantes, el suelo puede ser reutilizado	Se usa en procesos exsitu, no funciona para suelos contaminados con petróleo

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia de *Helianthus Annuus* en la fitorremediación de suelos contaminados por plomo en pasivos ambientales mineros en los últimos 10 años?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia de *Helianthus Annuus* en la fitorremediación de suelos contaminados por plomo en pasivos ambientales mineros en los últimos 10 años.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar el tipo de fitorremediación que realiza la especie *Helianthus Annuus* para determinar si se trata de una especie fitoextractiva o fitoestabilizadora.
- Determinar el nivel de remoción de plomo mediante la especie *Helianthus Annuus* luego de desarrollada la fitorremediación.
- Identificar las condiciones en las que la especie *Helianthus Annuus* muestra niveles elevados de remoción de plomo en suelos.
- Comparar las concentraciones finales de plomo en suelos según lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos de uso Agrícola, suelo Residencial/Parques y suelo Comercial/Industrial/Extractivo.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

La especie *Helianthus Annuus* es eficiente en la fitorremediación de suelos contaminados por plomo en pasivos ambientales mineros.

1.4.2. Hipótesis Específica

- *Helianthus Annuus* es una especie de tipo fitoextractiva debido a que la mayor concentración de plomo se da en sus raíces, tallos y hojas.
- El nivel de remoción de plomo mediante la especie *Helianthus Annuus* luego de desarrollada la fitorremediación, es alta.
- La especie *Helianthus Annuus* muestra niveles elevados de remoción de plomo en suelos, cuando se le adiciona humus.
- Las concentraciones finales de plomo en suelos, según lo establecido en los (ECA) para suelos de uso Agrícola, suelo Residencial/Parques y suelo Comercial/Industrial/Extractivo siguen siendo altas.

1.5. Justificación

La minería deja muchos recursos naturales afectados por la extracción de metales o materiales que estas empresas usan durante la duración de sus proyectos. Esta investigación analiza los procesos que pueden seguirse para curar los daños ocasionados a estos, con la finalidad de crear conciencia respecto al impacto que producen todos estos pasivos ambientales. Además de tener como propósito, el mejorar y aumentar el conocimiento acerca de la eficiencia de la especie *Helianthus Annuus* en la fitorremediación de suelos contaminados por plomo en pasivos ambientales.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La siguiente investigación es de tipo no experimental con enfoque descriptivo, es decir, es una investigación que tiene como propósito recolectar datos e identificar las relaciones entre estos; tal como mencionan Guevara, Verdesoto, & Castro (2020) y de esa manera mejorar y aumentar el conocimiento acerca de la fitorremediación de suelos contaminados por plomo. Además de esto, será una investigación de nivel exploratoria, debido a toda la información analizada y explorada en diferentes páginas científicas.

2.2. Población y muestra (materiales, instrumentos, métodos)

2.2.1. Población

Todos los estudios hallados en idioma español, inglés y portugués dentro del periodo 2012-2022 sobre la eficiencia de la especie *Helianthus Annuus* en la fitorremediación de suelos contaminados por plomo en pasivos ambientales.

2.2.2. Muestra

Considerando como muestra, el análisis de 09 estudios encontrados sobre fitorremediación de suelos contaminados por plomo del periodo antes mencionado.

2.2.3. Materiales

Laptop portable

Internet

Artículos científicos

Artículos de revistas

Artículos de periódico

Tesis

Fichas de datos de muestreo

2.2.4. Métodos

Criterios de selección y exclusión

Se consideraron distintos criterios para la selección y exclusión de documentos que se relacionen con la eficiencia de la especie *Helianthus Annuus* en la fitorremediación de suelos contaminados por plomo en pasivos ambientales; el primer criterio se dio tomando en cuenta los estudios e investigaciones estén publicados en páginas científicas de prestigio, revistas e información de minería del gobierno; el segundo criterio está referido a los artículos científicos; los cuales deben considerar en el título por lo menos una de las variables de estudio para encontrar así la mayor relación posible con el tema ya que los que no cuenten con esto, serán excluidos. El tercer criterio se da según la antigüedad de los estudios realizados, considerando así los realizados desde el año 2012 hasta el año 2022, para obtener la información más actualizada posible. Finalmente, el último criterio usado es el idioma de los estudios; considerando el español, inglés y portugués para facilitarnos la interpretación de los diferentes artículos y a su vez la importancia de los textos que se encuentran redactados en estos idiomas.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Con respecto a las técnicas utilizadas para realizar la presente investigación, esta se dio mediante observación; además de hacer uso de análisis documental; con el fin de recopilar los estudios más notables; así mismo, se utilizó como instrumentos los artículos de revistas, artículos de periódico, tesis e incluso fichas de datos de muestreo; las cuales serán adaptadas para la realización de la investigación.

A su vez, con respecto a la base de datos consideradas para la búsqueda de artículos que se encuentren relacionados a nuestro tema principal de investigación; se usaron las siguientes bibliotecas virtuales: Google Académico, SciELO, Redalyc, ResearchGate y Dialnet.

2.4. Procedimiento

Para la selección de estudios, como se mencionó anteriormente; se tomó en cuenta de que estos sean accesibles, así como su fecha de publicación; y se fueron descartando los que excedían el rango de fecha establecido, el cual es de los 10 últimos años como máximo, también se eliminaron los artículos repetidos y los que no tenían relación con las variables de estudio.

Posteriormente, se extrajo los datos más importantes de cada estudio como la cantidad de tratamientos realizados, datos de cada tratamiento realizado, tipo de fitorremediación realizada, concentraciones iniciales y finales de plomo en suelos y sacando el porcentaje de remoción de plomo mediante *Helianthus Annuus*.

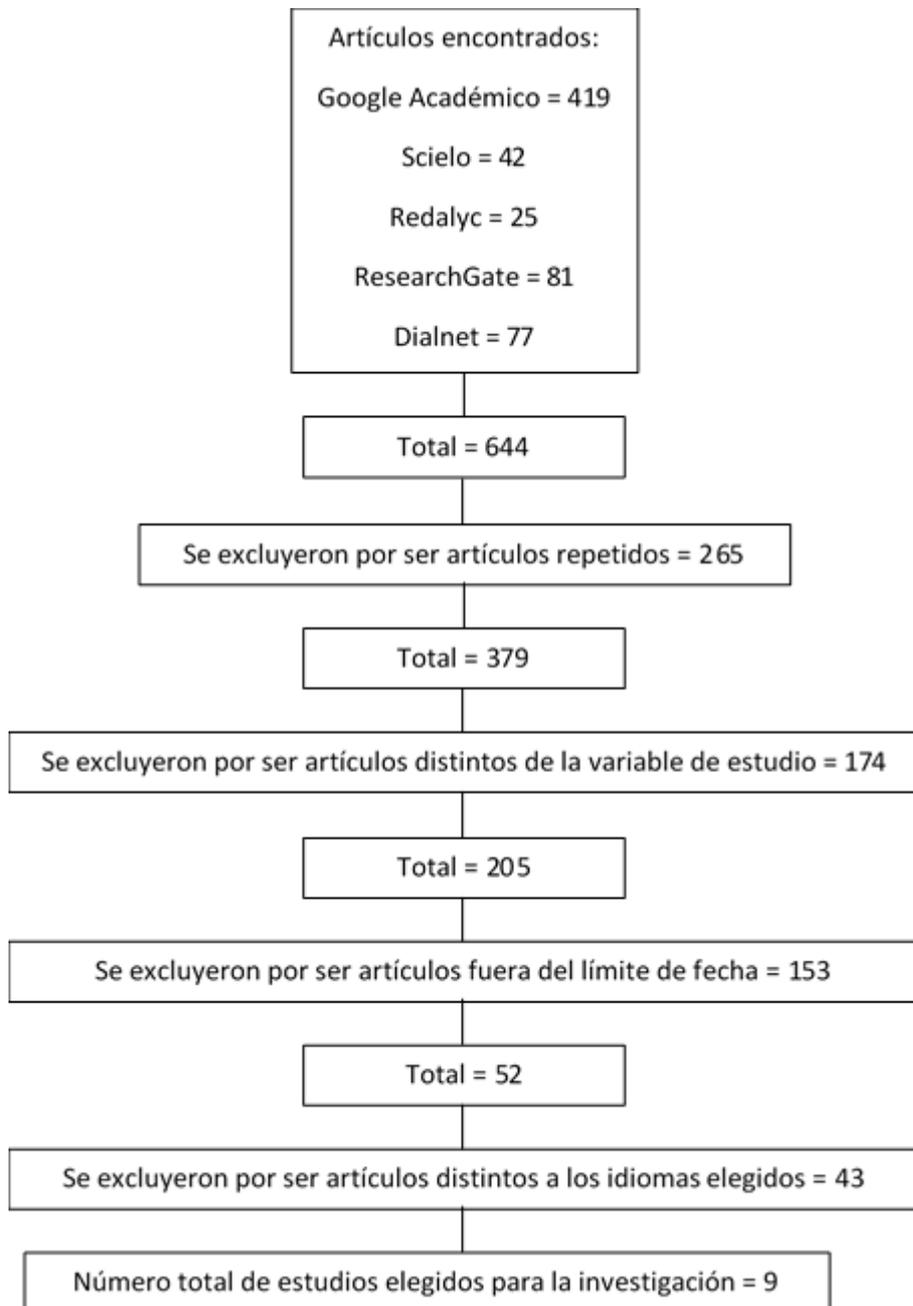


Figura 5. Diagrama de procedimiento para elección de artículos de investigación.

2.5. Aspectos éticos

Respecto al aspecto ético de la investigación presentada, se realizó el citado correcto, respetando la autoría de los estudios revisados con anterioridad acerca de las teorías o conocimientos de cada uno de estos; precisándolo en las fuentes bibliográficas y plasmando la información en tablas y gráficos sobre tipo de fitorremediación de *Helianthus Annuus* y nivel de remoción de plomo por esta especie.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Se realizó el análisis y comparación de resultados de las nueve investigaciones revisadas anteriormente, acerca de la eficiencia de la especie *Helianthus Annuus* en la fitorremediación de suelos contaminados por plomo en pasivos ambientales mineros; por lo cual, más adelante se indica el tipo de fitorremediación que realiza la especie *Helianthus Annuus*, la remoción de plomo expresada en porcentajes realizada por *Helianthus Annuus*, las condiciones en las que *Helianthus Annuus* presenta los niveles más altos de remoción de plomo en suelos y la comparación de las concentraciones finales de plomo en suelos de acuerdo a lo establecido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos de uso Agrícola, suelo Residencial / Parques y suelo Comercial / Industrial / Extractivo de Perú.

3.1. *Helianthus Annuus* para tipos de fitorremediación

Tabla 5.

Técnicas de fitorremediación mediante Helianthus Annuus

Autor y año	Tipo de fitorremediación
Febres (2019)	fitoextracción
Chico y otros (2012)	fitoextracción
Buendía y otros (2014)	fitoextracción
Asmat (2016)	fitoextracción
Hernández y otros (2016)	fitoextracción
Grandez (2017)	fitoextracción

Como se muestra anteriormente en la tabla, se identificó que en los estudios de Febres (2019), Chico y otros (2012), Buendía y otros (2014), Asmat (2016), Hernández y otros (2016) y Grandez (2017), *Helianthus Annuus*

elaboró la remediación por medio de la técnica de fitoextracción; a causa de que la cantidad más alta de plomo fue encontrada en las raíces, tallos y hojas.

3.2. *Helianthus Annuus* para remoción de plomo

Tabla 6.

Especie Helianthus Annuus para remoción de plomo luego de desarrollada la fitorremediación

Autor y año	Número de tratamiento	Concentración	Concentración	% Remoción
		inicial de plomo en suelo (mg/kg)	final de plomo en suelo (mg/kg)	
Febres (2019)	T1	121.05	28.98	76
	T2	121.05	31.88	74
Buendía y otros (2014)	T1	156.6	65.20	58
	T2	156.6	67.00	57
	T3	156.6	71.33	54
	T4	156.6	76.03	51
	T5	156.6	66.40	58
Asmat (2016)	T6	156.6	75.83	52
	T2	3178.29	215.72	93
	T3	3178.29	366.51	88
Peña (2019)	T4	3178.29	2359.57	26
	T1	700	370.2	47
	T2	1200	459.1	62
Rodrigo (2018)	T1	90.07	4.67	95
	T2	137.39	8.67	94
	T3	75.54	4.00	95
	T4	46.09	8.67	81

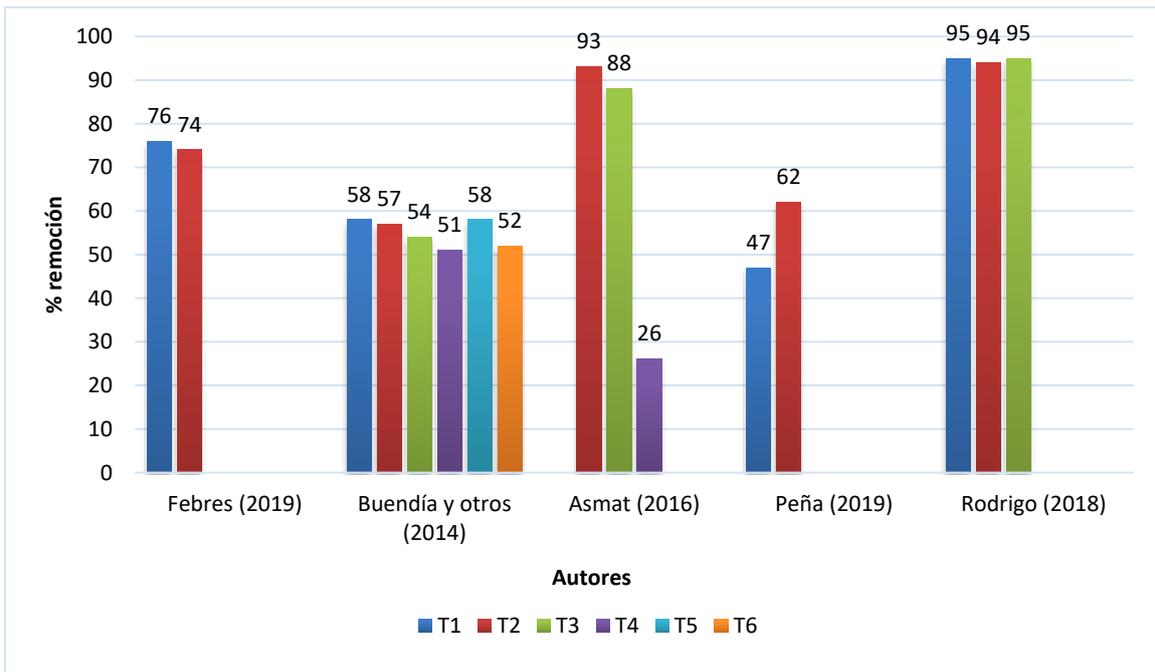


Figura 6. *Helianthus Annuus* para remoción de plomo luego de la fitorremediación

El porcentaje con mayor cantidad de remoción de plomo mediante *Helianthus Annuus* fue de 95% y 94% en los tratamientos 1, 2 y 3 de Rodrigo (2018), seguido de esto tenemos una remoción de plomo de 93% en el tratamiento 2 de Asmat (2016). Por otro lado, tenemos los tratamientos que presentaron menor nivel de remoción de plomo; los cuales fueron de 26% y 47 % para el tratamiento 4 de Asmat (2016) y tratamiento 1 de Peña (2019) respectivamente.

3.3. Remoción de plomo con valores altos mediante *Helianthus Annuus*

Para determinar el mayor nivel de remoción de plomo por medio de *Helianthus Annuus*, se presentaron los datos de los elementos que se añadieron a la especie en cada tratamiento, para conseguir resultados óptimos.

Valores altos de remoción de plomo mediante Helianthus Annuus

Autor y año	Datos del tratamiento	Tratamiento	Concentración inicial de plomo en suelo (mg/kg)	Concentración final de plomo en suelo (mg/kg)	% Remoción
Mejía & Sebastián (2019)	1kg humus + 2 plantas de girasol	T1	1814	1396.8	23
	1kg humus + 4 plantas de girasol	T2	1814	1056.06	42
	1kg humus + 6 plantas de girasol	T3	1814	724.07	60
Febres (2019)	5kg suelo contaminado + 0.25kg estiércol de lombriz + 3 plantas de girasol	T1	121.05	28.98	76
Buendía y otros (2014)	900 g suelo contaminado + 100 g aserrín de bolaina + 1 planta de girasol	T2	156.6	67.00	57

Autor y año	Datos del tratamiento	Tratamiento	Concentración inicial de plomo en suelo (mg/kg)	Concentración final de plomo en suelo (mg/kg)	% Remoción
	900 g suelo contaminado + 100 g humus de lombriz + 1 planta de girasol	T3	156.6	71.33	54
	900 g suelo contaminado + 50 g humus de lombriz + 50 g aserrín de bolaina + 1 planta de girasol	T4	156.6	76.03	51
	900 g suelo contaminado + 100 g Perlita + 1 planta de girasol	T5	156.6	66.40	58
	900 g suelo contaminado + 1 planta de girasol + 50 g humus de lombriz + 50 g Perlita	T6	156.6	75.83	52
Asmat (2016)	1,5kg suelo contaminado + 500 g acondicionador (250 g humus + 150 g musgo + 50 g arena + 50 g aserrín) + 2 plantas de girasol	T2	3178.29	215.72	93

Autor y año	Datos del tratamiento	Tratamiento	Concentración inicial de plomo en suelo (mg/kg)	Concentración final de plomo en suelo (mg/kg)	% Remoción
	1kg suelo contaminado + 1kg acondicionador (500 g humus + 300 g musgo + 100 g arena + 100 g aserrín) + 1 planta de girasol	T3	3178.29	366.51	88
	500 g suelo contaminado + 1.5 kg acondicionador (750 g humus + 450 g musgo + 150 g arena + 150 g aserrín) + 1 planta de girasol	T4	3178.29	2359.57	26
Peña (2019)	2 kg suelo contaminado + 1 planta de girasol	T1	700	370.2	47
	2 kg suelo contaminado + 1 planta de girasol	T2	1200	459.1	62

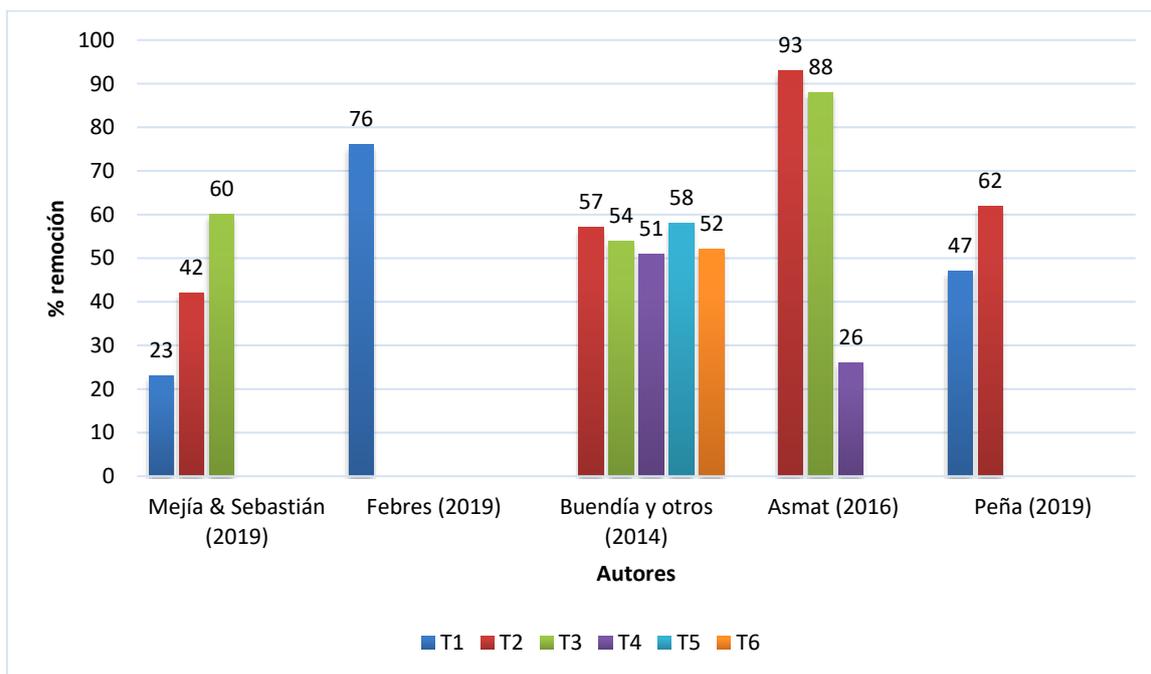


Figura 7. Aditivos a *Helianthus Annuus* para remoción de plomo

Los tratamientos 2 y 3 de Asmat (2016), tratamiento 1 de Febres (2019), tratamiento 2 de Peña (2019) y tratamiento 3 de Mejía & Sebastián (2019) fueron los que presentaron un porcentaje de remoción de plomo mayor e igual a 60%; con porcentajes de 93%, 88%, 76%, 62% y 60% respectivamente. Sin embargo, cabe resaltar que todos los tratamientos de Buendía y otros (2014) presentaron una remoción de plomo con aditivos a *Helianthus Annuus*, entre 51 y 58%.

3.4. Estándares de Calidad Ambiental comparado con concentraciones finales de plomo.

Se desarrolló la comparación de las concentraciones finales de plomo en suelo, según los (ECA) de Perú; información que se organizó en dos tablas y gráficos de acuerdo al uso de los suelos conforme con la información recaudada; (Tabla 11) para estudios de suelos de uso agrícola y (Tabla 12) para suelos de uso Comercial / Industrial / Extractivo.

Tabla 8.

Plomo final en suelos agrícolas según ECA Perú

Autor y año	Número de tratamiento	Concentración final de plomo en suelo (mg/kg)	Suelo Agrícola ECA Perú
Febres (2019)	T1	28.98	70
	T2	31.88	
Buendía y otros (2014)	T1	65.20	70
	T2	67.00	
	T3	71.33	
	T4	76.03	
	T5	66.40	
	T6	75.83	
Rodrigo (2018)	T1	4.67	70
	T2	8.67	
	T3	4.00	
	T4	8.67	

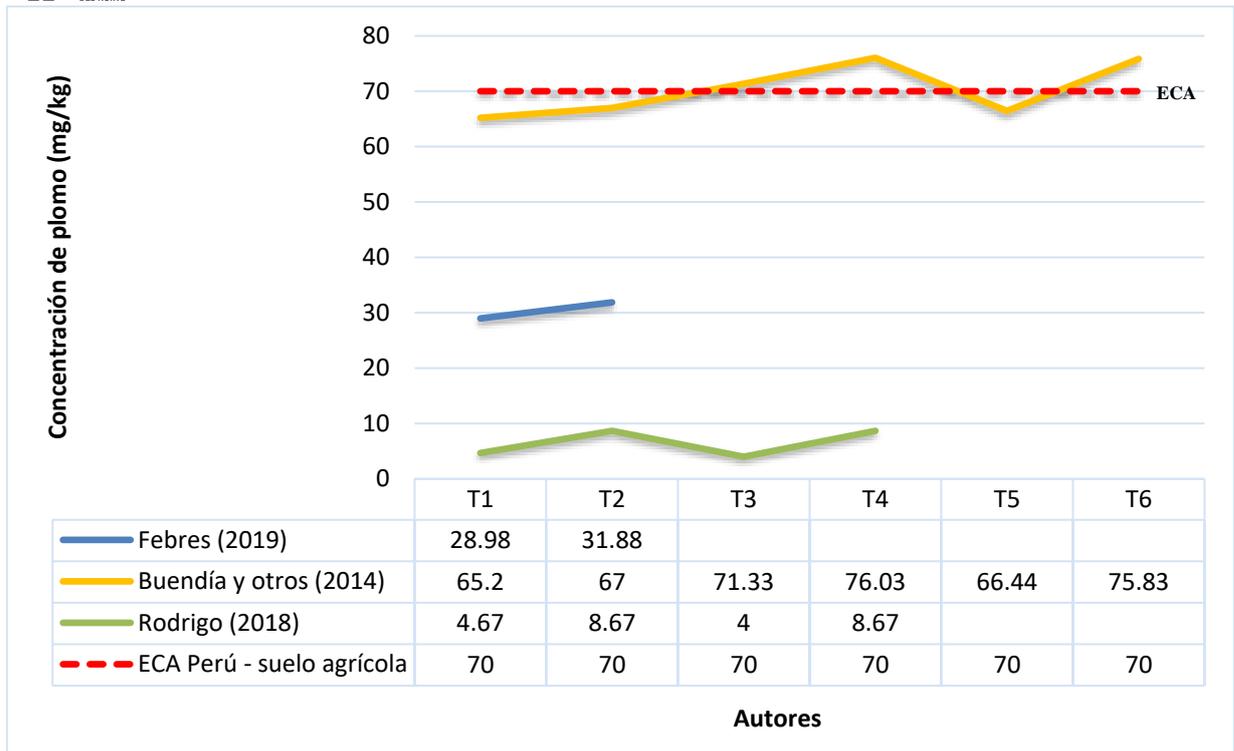


Figura 8. Plomo final en suelos según ECA en suelos agrícola

De acuerdo a la comparación realizada, los tratamientos de Febres (2019) y Rodrigo (2018) se encuentran por debajo de los valores establecidos según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo de uso agrícola en Perú; también se puede rescatar que los tratamientos 1, 2 y 5 de Buendía y otros (2014) también se encontraron por debajo de los valores de ECA de Perú, mientras que los tratamientos 3 y 4 del autor antes mencionado; sobrepasaron los valores de ECA para suelo agrícola en Perú.

Tabla 9.

Plomo final en suelos de uso comercial / industrial / extractivo según ECA Perú

Autor y año	Número de tratamiento	Concentración final de plomo en suelo (mg/kg)	Suelo Comercial / Industrial / Extractivo ECA Perú
Asmat (2016)	T2	215.72	800
	T3	366.51	
	T4	2359.57	
Peña (2019)	T1	370.2	800
	T2	459.1	
Mejía & Sebastián (2019)	T1	1396.8	800
	T2	1056.06	
	T3	724.07	

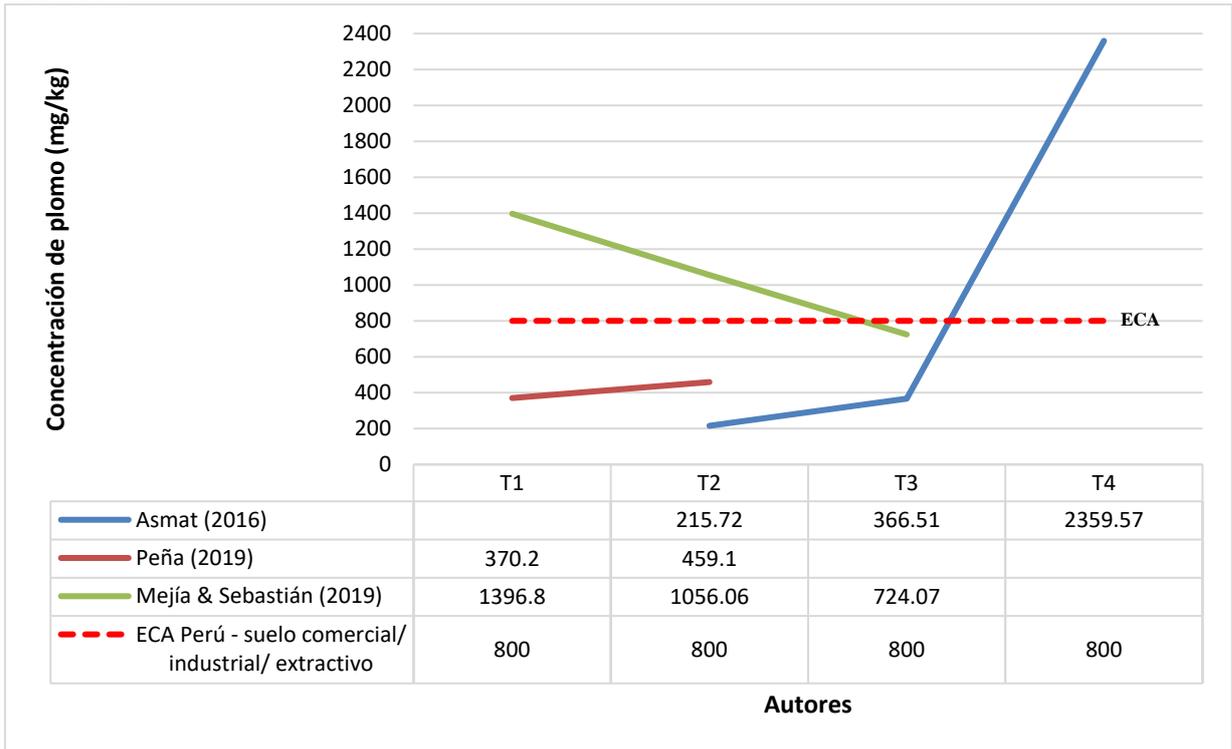


Figura 9. Plomo final en suelos según ECA en suelos comercial / industrial / extractivo en Perú

Como se muestra en la figura 9, los tratamientos 1 y 2 de Mejía & Sebastián (2019), así como el tratamiento 4 de Asmat (2016) sobrepasaron los ECA establecidos para suelos de uso comercial / industrial / extractivo de Perú; pero los tratamientos de Peña (2019), el tratamiento 3 de Mejía & Sebastián (2019) y los tratamientos 2 y 3 de Asmat (2016) se encontraron debajo de los ECA para suelos de uso comercial / industrial / extractivo de Perú.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

La presente investigación ha sido redactada usando fuentes de información confiables con relación a la eficiencia de la especie *Helianthus Annuus* en la fitorremediación de suelos contaminados por plomo en pasivos ambientales. Para la búsqueda de información se usaron diferentes bases de datos, tomando en cuenta el periodo de años y haciendo uso de palabras clave para facilitar la investigación. A continuación, se hará mención de los resultados más relevantes de algunos de los artículos seleccionados.

Se identificó que en los estudios de Febres (2019), Chico y otros (2012), Buendía y otros (2014), Asmat (2016), Hernández y otros (2016) y Grandez (2017); la especie *Helianthus Annuus* presentó mayor concentración de plomo en las raíces, tallos y hojas, por lo que se puede decir que la especie mencionada realiza remediación de plomo en suelos mediante la técnica de fitoextracción. Los niveles de remoción de plomo por *Helianthus Annuus* posteriormente a la fitorremediación, presentan valores que se encuentran entre 26% y 95%; destacando los tratamientos 1 y 3 de Rodrigo (2018) debido a que presentaron 95% de remoción de plomo después de la fitorremediación de suelos. Por otra parte, el tratamiento 4 de Asmat (2016) fue el que presentó menor nivel de remoción de plomo en suelos.

Helianthus Annuus presentó alto nivel de remoción de plomo en suelos con 93%; cuando se le añadió acondicionadores conformados por 50% humus + 30% musgo + 10% arena + 10% aserrín como se dio en los tratamientos de Asmat (2016). Por otra parte, el tratamiento de Febres (2019) tuvo también un nivel alto de remoción de plomo de 76% adicionando estiércol de lombriz. Asimismo, los tratamientos de Buendía y otros (2014) presentaron una remoción de plomo entre 51 y 58% mediante la adición de aserrín de

bolaina, humus de lombriz y perlita en distintas cantidades. Cabe recalcar que el tratamiento 1 de Mejía & Sebastián el cual se realizó como todos los anteriores con la especie *Helianthus Annuus* pero al que se le adicionó humus, presentó baja remoción de plomo en suelos con 23%.

Los estudios analizados se realizaron en suelos para diferente tipo de usos; por esta razón tenemos estudios que se realizaron para suelos de uso agrícola; entre los cuales se encuentran los tratamientos 3 y 4 realizados por Buendía y otros (2014) que sobrepasaron los valores de ECA para suelo agrícola en Perú. En cambio, los tratamientos de Febres (2019) y Rodrigo (2018) se encuentran por debajo de los ECA para suelo de uso agrícola en Perú; así como los tratamientos 1, 2 y 5 de Buendía y otros (2014). Por otro lado, se tienen los estudios para suelos de uso comercial / industrial / extractivo; entre los cuales se encuentran los tratamientos 1 y 2 de Mejía & Sebastián (2019), así como el tratamiento 4 de Asmat (2016), que son los que sobrepasaron los ECA establecidos para los suelos mencionados. Por el contrario, los tratamientos de Peña (2019), el tratamiento 3 de Mejía & Sebastián (2019) y los tratamientos 2 y 3 de Asmat (2016) se encontraron debajo de los ECA para suelos de uso comercial / industrial / extractivo de Perú.

Según Trujillo (2015), es posible la recuperación de suelos contaminados por pasivos ambientales mineros, realizando evaluaciones previas con el fin de plantear diferentes alternativas que nos lleven a la recuperar la capacidad vegetativa del suelo y aprovecharlas para realizar la siembra de diferentes plantas. Pari (2018) nos muestra resultados acerca de su investigación, en la cual nos sugiere usar el modelo de cobertura para realizar la sustitución de suelos contaminados por relave ya que esta técnica se realizó con éxito reduciendo la percolación a valores menores al 1.5% de la precipitación y manteniendo valores de la capa de retención de humedad por encima del 80%.

Zamora, Lafuente, & Hinojosa (2020) mencionan que al darse contaminación de suelo por drenaje ácido de roca; es posible la recuperación de estos suelos haciendo uso de cobertura seca compuesta por grava y suelo fino, suelo superficial y cobertura vegetal autóctona, tal como se dio en el proyecto de su estudio, pero a su vez se predice que, en cierto tiempo, el drenaje ácido de roca disolverá la materia básica presente en el residuo minero. Zamora, Lanza, & Arranz (2018) nos presentan una propuesta para identificar, y evaluar riesgos de pasivos y a su vez demuestran la efectividad de estas ya que permiten que se conozca el riesgo que generan estos para la salud y medio ambiente, la severidad de las consecuencias y la priorización que se debe tomar para aminorar estos problemas y consecuencias futuras.

Sotomayor (2015) menciona la importancia del Estado para promover el reaprovechamiento de pasivos, generar un plan para mitigar estos y nos explica los costos que generarían la remediación de suelos, debido a que muchas empresas no se hacen responsables de la contaminación que generan. Los resultados obtenidos, coinciden con los de García & Vásquez (2020) quienes consideran como las mejores especies fitorremediadoras, al *Paspalum bomplandianum*, *Lachemilla orbiculata* y *Bidens triplinervia*.

Villada y otros (2018) demostraron la adaptación de la especie *Helianthus Annuus* a medios contaminados con plomo en concentraciones de 300, 500 y 700 mg/kg, además mencionan que la capacidad de absorción de plomo de esta especie, sería mayor, en asocio con hongos micorrízicos. Según la comparación de estudios de Febres (2019), Chico y otros (2012), Buendía y otros (2014), Asmat (2016), Hernández y otros (2016) y Grandez (2017); la especie *Helianthus Annuus* al ser usada en fitorremediación de suelos contaminados por plomo, presentó mayores concentraciones de plomo en las raíces que en los tallos y hojas.

Llegando a tolerar concentraciones de hasta 500 mg/l de plomo en las raíces (Chico Ruiz, Cerna Rebaza de Chico, Rodríguez Espejo, & Guerrero Padilla, 2012).

Se consideró la fitorremediación para la presente investigación ya que lo que se desea es controlar los pasivos ambientales mineros y esta es una buena alternativa para eliminar la contaminación tal como lo menciona Delgadillo, González, Prieto, Villagómez, & Acevedo (2011) en su investigación donde concluyen que es un método más ventajoso a comparación de los métodos convencionales ya que las plantas absorben, metabolizan, acumulan, estabilizan y volatilizan los contaminantes y además es un método de bajo costo. Lo cual concuerda con los resultados obtenidos por García & Vásquez (2020) quienes nos mencionan que es posible la remediación de pasivos ambientales mineros (PAM) haciendo uso de ciertas especies vegetales ya que estas absorben estos contaminantes por medio de sus raíces, debido a que muchas de estas contienen propiedades fitorremediadoras. Además de esto, la biorremediación es otra técnica de gran importancia para remediación de suelos; ya que ayuda a eliminar gran porcentaje de hidrocarburos; la mejor opción, es mediante el uso de bacterias marinas como menciona Ortiz y otros (2021), ya que demostró ser superior a la técnica de bioestimulación tradicional.

Limitaciones

En la presente investigación, se presentaron diferentes limitaciones ya que no se encontraron muchos estudios acerca de la eficiencia de la especie *Helianthus Annuus* en la fitorremediación de suelos contaminados por plomo en pasivos ambientales, por lo que solamente se trabajó con nueve estudios; otra de las limitaciones fue el no poder realizar la investigación experimental debido a la pandemia.

4.2. Conclusiones

Se determinó la eficiencia de *Helianthus Annuus* en la fitorremediación de suelos contaminados por plomo en pasivos ambientales mineros en los últimos 10 años, concluyendo así que la especie mencionada logra remover grandes cantidades de plomo de hasta 95% con ayuda de aditivos.

Se logró identificar el tipo de fitorremediación que realiza la especie *Helianthus Annuus*, y de acuerdo a las concentraciones de plomo en sus raíces, tallos y hojas; se concluye que la especie antes mencionada es capaz de realizar la fitorremediación mediante fitoextracción.

Se determinó el nivel de remoción de plomo en suelos mediante la especie *Helianthus Annuus* luego de desarrollada la fitorremediación, la cual llega a valores de hasta 95% de remoción de plomo Rodrigo (2018).

Se identificaron las condiciones en las que la especie *Helianthus Annuus* muestra niveles elevados de remoción de plomo en suelos; por lo que se concluye que la aplicación de acondicionadores conformados por 50% humus + 30% musgo + 10% arena y 10% aserrín, nos brindan una remoción de plomo en suelos de hasta 93% Asmat (2016).

Se realizó la comparación de las concentraciones finales de plomo en suelos según lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para suelos de uso agrícola y suelos de uso comercial / industrial / extractivo; por lo que se pudo concluir que algunos de estos estudios continuaban excediendo los ECA para Perú.

REFERENCIAS

- Asmat, K., Rivera López, Y., Mendoza Bobadilla, J., Vera Herrera, M., & Rodríguez Espinoza, R. (2016). Phytoextraction of Lead, Zinc and Cadmium of Mining Tailings Using *Helianthus annuus* L. (Sunflower). *Infinitum*, 6(2), 6.
- Bernal Figueroa, A. A. (2014). Fitorremediação na remediação do solo: uma visão geral. *RIAA*, 5(2), 245-258.
- Buendía Ríos, H., Cruz Reyes, F., Meza Arquíñigo, C., & Arévalo Zumaeta, J. (2014). Phytoremediation of soils contaminated land by petroleum hydrocarbons. *Alma máter Segunda época*, 1, 113-121.
- Buendía, H. (2012). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol. (U. N. Marcos, Ed.) *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 15(30), 123-130.
- Castillo, L., Satalaya, C., Paredes, Ú., Encalada, M., Zamora, J., & Cuadros, M. (2021). Pasivos ambientales mineros en el Perú: Resultados de la auditoría de. *Contraloría General de la República*.
- Chico Ruiz, J., Cerna Rebaza de Chico, L., Rodríguez Espejo, M., & Guerrero Padilla, M. (2012). Capacidad remediadora de la raíz de girasol, *Helianthus annuus*, cuando es sometida a diferentes concentraciones de plomo. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas*, 32(2), 13-9.
- Congreso de la República. (2004). Art. 2º de la Ley N° 28271.
- Corilloclla, P. (2006). *El derecho fundamental a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado como un derecho individual y social : Una propuesta para garantizar su*

- eficacia*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Facultad de Derecho y
Ciencia Política. Lima - Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Defensoría del Pueblo. (2015). *¡Un llamado a la remediación! Avances y pendientes en la
gestión estatal frente a los pasivos ambientales mineros e hidrocarburíferos*. Perú:
Repositorio institucional UPN.
- Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., & Acevedo, O. (2011).
Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Tropical and
subtropical agroecosystems.
- Espinoza, K. (2019). Recuperación de suelos contaminados con plomo (II) a escala piloto,
utilizando girasol (*Helianthus annuus* L.) con diversos tipos de abono en el distrito de
Sicaya. *Repositorio Universidad Alas Peruanas*.
- Febres, S. E. (2019). Remediación de suelos contaminados con plomo (Pb) mediante el
empleo de girasol (*Helianthus annuus*) y estiércol de lombriz roja (*Eisenia foetida*)
en condiciones controladas. *Repositorio UNSA*.
- García, M., & Vásquez, M. (2020). Identificación de especies vegetales con potencial para
la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros. *Repositorio
Institucional UPN*.
- Grandez Argomeda, M. (2017). Remoción de cadmio y plomo en suelos a orillas del Río
Mantaro, Junín, mediante fitorremediación con Girasol (*Helianthus Annuus*) y maíz
(*Zea Mays*) usando enmiendas. *Repositorio UCV*.
- Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa
(descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*,
4(3), 163-173.

Hernández Acosta, E., Juárez Santos, Y., Robledo Santoyo, E., Díaz Vargas, P., & Cristobal

Acevedo, D. (Noviembre de 2016). Acumulación de metales pesados en *Helianthus annuus* desarrollado en residuos de mina. *Revista Iberoamericana de Ciencias*.

Hurtado, S. (s.f.). Principales métodos de descontaminación de suelos. En S. H. Melo, *Diseño básico de una planta de desorción térmica para tratamiento de suelos contaminados* (pág. 19). e-REdING.

INEA. (s.f.). Inventario de pasivos ambientales mineros por departamento, 2020 (Número). *INEA*.

Mejía Taboada, M., & Sebastián Falcón, S. (2019). Girasol (*Helianthus annuus* L.) como fitoextractor con adición de humus para suelo contaminado con plomo, peaje de Santa Anita, Lima, 2019. *Repositorio UCV*.

MINAM. (2017). Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo. *Ministerio del Ambiente*.

MINEM. (- de Agosto de 2020). Mapa de proyectos mineros. *Ministerio de Energía y Minas*.
Obtenido de MAPA DE PROYECTOS MINEROS:
http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/MAPA/2020/2020_MAPA_PROYECTOS.pdf

MINEM. (Julio de 2021). Mapa de principales unidades mineras en producción - ED. 2021. *Ministerio de Energía y Minas*. Obtenido de
http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/MAPA/2021/2021_MAPA_PRODUCION.pdf

Ministerio de Energía y Minas - MINEM. (27 de Agosto de 2020). *Ministerio de Energía y Minas*. Obtenido de ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS:

http://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=1&idTitular=5769&idMenu=sub5768&idCateg=961

- Ministerio de Energía y Minas. (2005). *Artículo 13 - Decreto Supremo N° 059-2005-EM*.
Lima - Perú.
- Ortiz, E., Núñez, R., Fonseca, E., Oramas, J., Almazán, V., Cabranes, Y., . . . Borges, G.
(2021). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Revista
Contribución a la Educación y la Protección del Medio*, 51-60.
- Pari, W. D. (2018). *Recuperación de suelos de las riberas de la laguna Choquene generados
por la contaminación de pasivos ambientales mineros en el proyecto minero
Sillustani -Minsur S.A.* Repositorio Institucional Universidad Nacional del Altiplano.
- Peña, I. (2019). Evaluación de la Capacidad de Absorción del *Helianthus Annuus*, Como
Agente Fitorremediador de Suelos Contaminados con Plomo. *Repositorio
Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur*.
- Poma, W., & Alcántara, G. (2012). Estudio de suelos y capacidad de uso mayor de las tierras
departamento de Cajamarca. *Gobierno Regional de Cajamarca*.
- Quiliche Raico, V. D. (2021). Estudio de la eficiencia de *Urtica urens* L. en los procesos de
fitorremediación de suelos contaminados por plomo en los últimos 15 años.
Repositorio UPN.
- Ramírez, K., & Torres De la Rosa, I. (2020). Eficacia de la fitorremediación de suelos
contaminados con plomo utilizando *Phragmites australis* y enmienda en los pasivos
ambientales de Paredones - Cajamarca, 2019. *Repositorio UPN*.
- Remón, C. (17 de Mayo de 2019). Insuficientes acciones de prevención, control y
remediación de pasivos ambientales. *AMÉRICA LATINA en movimiento*.

- Rodrigo Tintaya, D. (2018). Estimation of the phytoremediation capacity of the *Helianthus Annuus* species through the incorporation of amendments for soils contaminated by heavy metals (Lead, Chromium) of industrias metalmecanicas. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 4(1), 23-28.
doi:<https://doi.org/10.17162/rictd.v4i1.1069>
- Rodríguez, N. J., Carvajal, S., Gallo, A., & Mesa, G. P. (2012). Comparación entre bioestimulación y bioaumentación para la recuperación de suelos contaminados con diesel. *Producción + Limpia*, 7(1), 101-108.
- Sotomayor, A. (2015). Remediación de Pasivos Ambientales Mineros. *Repositorio de la Universidad de Lima*.
- Trujillo, M. C. (2015). Recuperación de suelos de relaves mineros para convertirlos en áreas verdes en la planta piloto metalúrgica de Yauris-UNCP. *Convicciones*.
- Villada Sierra, L., Ávila, C., & Robayo, J. (2018). Evaluation of adaptation of *Helianthus annuus* in association with mycorrhizal fungi in soils contaminated with lead. *Cuaderno Activa*, 10(1), 93-111.
- Wong, B., & Bernardo, A. (2018). Estimaciones de pasivos ambientales para acrecentar la contabilidad tridimensional y la sostenibilidad integral en las empresas mineras. *Redalyc*.
- Zamora, G., Lafuente, J., & Hinojosa, O. (2020). Propuesta de rehabilitación ambiental del pasivo minero de Japo - Santa Fe. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 3-18.
- Zamora, G., Lanza, J., & Arranz, J. (2018). Metodología para la identificación y evaluación de riesgos de pasivos ambientales mineros con fines de priorización para su remediación. *Revista de Medio Ambiente y Minería*(5), 31 - 43.