



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“ESTUDIO DE LA EFECTIVIDAD DEL *Helianthus annuus* COMO REMEDIADOR DE METALES PESADOS EN SUELOS CONTAMINADOS POR ACTIVIDADES MINERAS 2012 - 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Autor:

Elizabeth Karina Zavaleta Vigo

Asesor:

M. Sc. Marieta Eliana Cervantes Peralta

<https://orcid.org/0000-0001-9405-7048>

Trujillo - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	JULIAN RICARDO DIAZ RUIZ	09294063
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	WILBERTO EFFIO QUEZADA	42298402
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	ELIFIO GUSTAVO CASTILLO GOMERO	07594283
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

Turnitin Originality Report

Processed on: 16-Mar-2023 11:34 -05
ID: 2038653269
Word Count: 12627
Submitted: 1

Tesis Final By Elizabeth Karina ZAVALETA
VIGO

Document Viewer

Similarity Index	Similarity by Source
20%	Internet Sources: 19% Publications: 3% Student Papers: 14%

mode:

4% match (student papers from 17-Oct-2017) Submitted to Universidad Cesar Vallejo on 2017-10-17	✖
3% match () Labra Huamantalla, Sarah Berenger. "Fitoextracción con Helianthus annuus L. (girasol) para la reducción de cadmio en suelos contaminados, a nivel laboratorio 2018", 'Universidad Cesar Vallejo', 2018	✖
1% match () Barreto Pila, Romario, Colque Pacsi, Walter Diego. "Evaluación de la concentración de cromo VI, cadmio y plomo presentes en suelos agrícolas a causa del lixiviado proveniente del botadero municipal de la provincia de Espinar - Cusco 2021", 'Baishideng Publishing Group Inc.', 2021	✖
1% match () Bernabé García, Yeslin Marely, Medina Cerna, Heredia. "Fitorremediador por densidad poblacional de Urtica Urens en suelos contaminados por metales pesados, caserío Shiracmaca, distrito de Huamachuco - 2018", 'Universidad Cesar Vallejo', 2018	✖
1% match () Poma Jimenez, Anderson Anibal, Quiñonez Rojas, Ciro Elias. "Efecto de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con Zea mays L. en un suelo contaminado con cadmio. Leonor Ordoñez, Jauja - 2021", 'Baishideng Publishing Group Inc.', 2022	✖
1% match (Internet from 07-Feb-2019) http://reibci.org	✖
1% match (Internet from 17-Oct-2022) https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/31487/Guadamos%20Rebaza%20Yaniely%20Lizeth%20-%20Julca%20Flores%20Karina%20Elizabeth.pdf?isAllowed=y&sequence=1	✖
1% match (Internet from 18-Nov-2022) https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/616968/Correlaci%c3%b3n%20del%20Estado%20Nutricional%20isAllowed=y&sequence=14	✖
1% match (Internet from 11-Aug-2020) http://docplayer.es	✖
1% match (Internet from 09-Jun-2018) https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_alarcon_estrella.pdf	✖
1% match (Internet from 11-Dec-2022) https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MOREIRA%20ROJAS%20RUTH%20ELIZABETH.pdf	✖
1% match (Internet from 08-Dec-2022) http://repositorio.udh.edu.pe	✖
1% match (student papers from 21-Apr-2021) Submitted to Universidad Autonoma de Chile on 2021-04-21	✖
1% match () Montes Chogüeña, Juan David. "Evaluación de la capacidad fitoextractora en Medicago Sativa L. Para disminuir la concentración de plomo en suelos contaminados con relaves mineros ubicados en el distrito de Coaylla, Cañete - Lima, Perú", 'Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, 2019	✖
1% match (Internet from 07-Dec-2020) https://core.ac.uk/download/pdf/229762915.pdf	✖
1% match (Internet from 30-Jun-2019) http://repositorio.ucv.edu.pe	✖

DEDICATORIA

Esta investigación se la dedico a mis queridos padres, por estar conmigo en las buenas y en las malas, por inspirarme a seguir adelante ya que son mi motivo de cada paso que doy; a mi familia que confiaron en mí y me brindaron su constante apoyo.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme permitido llegar hasta aquí, a mi madre quien me ha guiado siempre por el camino correcto, a mi padre por su apoyo incondicional. A mi asesora por guiarme y asesorarme constantemente a lo largo del proceso de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE ECUACIONES	10
RESUMEN	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA	12
1.2. ANTECEDENTES	15
1.3. MARCO TEORICO	22
1.4. JUSTIFICACIÓN	28
1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	29
1.6. OBJETIVOS	30
1.6.1. Objetivo General:	30
1.6.2. Objetivos Específicos:	30
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	31
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	31
2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	32
2.3. MÉTODO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	33

2.4. PROCEDIMIENTO	34
2.5. ASPECTOS ÉTICOS.....	37
CAPÍTULO III: RESULTADOS	38
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	59
REFERENCIAS	63
ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características morfológicas del <i>Helianthus annuus</i> por autores	38
Tabla 2. Variación promedio de las Concentraciones inicial y final de los elementos en el suelo por autores.....	43
Tabla 3. Correlación entre la altura de la planta y la concentración inicial del Cd.....	44
Tabla 4. Correlación entre la raíz y la concentración inicial del Cd	45
Tabla 5. Correlación entre el tallo y la concentración inicial del Cd	45
Tabla 6. Correlación entre el número de hojas y la concentración inicial del Cd.....	46
Tabla 7. Correlación entre la altura de la planta y la concentración inicial del Cr.....	46
Tabla 8. Correlación entre la raíz y la concentración inicial del Cr	47
Tabla 9. Correlación entre el tallo y la concentración inicial del Cr.....	47
Tabla 10. Correlación entre el número de hojas y la concentración inicial del Cr.....	48
Tabla 11. Correlación entre la altura de la planta y la concentración inicial del Pb	49
Tabla 12. Correlación entre la raíz y la concentración inicial del Pb.....	49
Tabla 13. Correlación entre el tallo y la concentración inicial del Pb.....	50
Tabla 14. Correlación entre el número de hojas y la concentración inicial del Pb	51
Tabla 15. Comparación de concentraciones del Cd en suelos con los ECA por autores	54
Tabla 16. Comparación de concentraciones del Cr en suelos con los ECA por autores.....	56
Tabla 17. Comparación de concentraciones del Pb en suelos con los ECA por autores.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del procedimiento.....	35
Figura 2. Altura del <i>Helianthus annuus</i> por autores	39
Figura 3. Tamaño de raíz del <i>Helianthus annuus</i> por autores	40
Figura 4. Altura del tallo del <i>Helianthus annuus</i> por autores	41
Figura 5. Número de hojas del <i>Helianthus annuus</i> por autores	42
Figura 6. Porcentaje de eficiencia para cadmio.....	51
Figura 7. Porcentaje de eficiencia para cromo	52
Figura 8. Porcentaje de eficiencia para plomo	53
Figura 9. Comparación de concentraciones del Cd con los ECA en suelos por autores	55
Figura 10. Comparación de concentraciones del Cr con los ECA en suelos por autores....	56
Figura 11. Comparación de concentraciones del Pb con los ECA en suelos por autores ...	58

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula del porcentaje de eficiencia.....	28
---	----

RESUMEN

La investigación se desarrolló considerando la alta concentración de metales pesados que contaminan los suelos, causados por la actividad humana, el objetivo fue estudiar la efectividad del *Helianthus annuus* como remediador de metales pesados en suelos contaminados por actividades mineras; la metodología utilizada fue descriptiva, con enfoque cuantitativo, en la cual se utilizaron como base los resultados de los documentos donde se extrajo las características morfológicas del *Helianthus annuus* y las concentraciones inicial y final de cada metal en el suelo, se plasmaron cuadros y gráficos en Excel. En estos se indica que la mayor concentración inicial y final la obtuvo el Pb dando el valor de 1010 mg/kg – 850 mg/kg y la menor concentración lo obtuvo el Cd dando el valor de 3 mg/kg – 2,8 mg/kg, el mayor valor de altura, raíz, tallo y número de hojas fue de 21cm, 4,3cm, 17cm y 5 hojas. Asimismo, se procedió a realizar las pruebas estadísticas en el programa SPSS, correlacionando la concentración inicial con las características de la planta. Finalmente se concluye que el mayor porcentaje de eficiencia fue de 33% para Cd, 60% para Cr y 35% para Pb; determinando que *Helianthus annuus* es una especie que logra remediar los suelos contaminados.

PALABRAS CLAVES: *Helianthus annuus*, girasol, metales, suelos contaminados, minería, bioabsorción, fitorremediación, plomo, cadmio, cromo.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

La contaminación ambiental es reconocida actualmente como una de las causas del deterioro de la calidad del aire, el agua, el suelo y la salud de los seres vivos. De hecho, causa problemas en los hábitats y reduce su calidad, a esto se suman diversas actividades relacionadas con el mejoramiento de la economía; como la minería, que genera el mayor porcentaje de ingresos, pero causa diversos grados de daño en el ambiente. Este daño a menudo conduce a la degradación o desertificación del suelo, lo que dificulta la capacidad productiva del recurso al provocar ciertos cambios en la vegetación y una disminución de las poblaciones microbianas (Granados et al., 2012, p. 6).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), aproximadamente 7 millones de personas mueren prematuramente a causa de la contaminación, alrededor del 88% de estas muertes ocurrieron en países de bajos y medianos ingresos. Más de 150 millones de personas en América Latina viven en ciudades con indicadores que exceden las Guías de Calidad del Aire de la OMS (OMS, 2016, p.1).

Chile donde el 12% de las muertes son por ambientes contaminados, lo que equivale a 11,300 al año, similar a países como Austria, Bélgica, Reino Unido y Suiza, pero uno de los más bajos de Latinoamérica si se quiere comparar con Argentina (13%), Brasil y Cuba (15%) o México (18%) (IPSUSS, 2013, p.3).

Según el INRENA, el 99% de las superficies presentan problemas de erosión que van desde leves a muy severos. Asimismo, encontramos que el 26,8% de la superficie presentan problemas de desertificación y el 0,24% de las hectáreas presentan problemas de salinización (MINAGRI, 2016, p.10).

En Cerro de Pasco, 35 de las 74 ubicaciones presentadas tenían los niveles de plomo en el suelo por encima del estándar, mientras que en Huaral 4 de las 47 ubicaciones excedieron el estándar nacional de calidad ambiental para suelos (MINSA, 2015), las autoridades peruanas demostraron que el nivel de plomo en la sangre extraída es del 52% en 163 niños que habitan en Cerro de Pasco superando el límite de intervención de 10 µg/dL (Bravo et al., 2012, p.4).

El problema ambiental más severo reportado hasta el momento se encuentra en el valle del río Jinzū - Japón, donde el arroz para el consumo local fue rociado con agua de río y contaminado con cadmio disuelto de las empresas mineras de zinc aguas arriba. Cientos de personas en la región, especialmente mujeres mayores y varios hombres, padecen una enfermedad ósea degenerativa llamada "Itailtai" (Bellido, 2018, p.15).

En los resultados de la investigación, se confirmó que el suelo de Oroya Antigua ubicado frente al complejo metalúrgico afectado por plomo, alcanzó valores máximos de más de 9000 mg/kg de suelo contaminado. El estándar de calidad para suelo, supera incluso un 87% de los estándares de calidad para suelo comercial, industrial y minero. Además, se concluyó que existe un efecto en el suelo del río Mantaro (Arce y Calderón, 2015, p.1).

Los metales pesados son elementos químicos con altos porcentajes de elementos tóxicos, como el Hg, Cd, As, Cr, Tl, Pb, Zn, etc; estos suelen ser sustancias que se encuentran en la corteza terrestre y son extremadamente difíciles de disolver (MITECO, 2015).

Por lo tanto, se deben determinar las concentraciones máximas permisibles de contaminantes como los metales pesados en el suelo para garantizar la protección de la salud de las personas y el respeto por el ambiente, esto llevó a los investigadores a buscar alternativas que reduzcan la concentración de los elementos más tóxicos; por lo tanto,

solicitamos que la Environmental Protection Agency (EPA, 1996) especifique que se debe realizar la remediación del suelo si excede los límites máximos permitidos (Campos et al., 2016, p.7).

A nivel mundial, se ha descubierto que la contaminación del suelo con metales pesados tiene un impacto significativo en la salud humana, y últimamente se ha recibido un aumento de las actividades humanas como la minería, industria, tratamiento de desechos sólidos y aguas residuales, uso de productos agroquímicos y la deposición atmosférica que generan graves consecuencias en el ambiente, a causa de los niveles tóxicos de contaminantes (Grandez, 2017). La contaminación en el Perú, por pasivos ambientales va en aumento y el Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2018) dice que actualmente tenemos más de 8,000 pasivos ambientales, la mayoría de las operaciones mineras son informales e ilegales y están ubicadas en Áncash, Cajamarca, La Libertad y Puno no cumplen con los planes de cierre. Solo en Lima, hubo 693 pasivos ambientales.

La planta *Helianthus annuus* perteneciente a la familia de Asteraceace, más conocida como girasol, es capaz de acumular metales pesados debido a su tolerancia a estos elementos y su respuesta a una elevada biomasa radicular. Puede acumular altas concentraciones de plomo y cadmio en sus tejidos (tallos y raíces) y es bastante resistente; por lo tanto, el *Helianthus annuus* se utiliza en procesos de fitorremediación para acumular y reciclar el exceso de metales pesados en suelos contaminados y así facilitar su limpieza (Cabrera, 2015, p.12).

El impacto del suelo contaminado con altas concentraciones de metales pesados estudiados, seguirá causando una serie de problemas en el área de estudio, especialmente la muerte de animales, enfermedades degenerativas crónicas de la población que viven cerca,

condiciones agrícolas, productividad y conflictos entre mineros y personas (Gómez, 2012, p.60).

1.2. ANTECEDENTES

Alaboudi et al. (2018) en su investigación titulada "Fitorremediación de suelos contaminados con Pb y Cd mediante el uso de plantas de girasol (*Helianthus annuus*)" teniendo como objetivo comparar la biomasa de la planta *Helianthus annuus* cultivada en suelos contaminados con Pb y Cd y evaluar su eficacia, se trabajó en un suelo arenoso-arcilloso contaminado con soluciones de metales pesados, la concentración inicial de Cd y Pb fue de 200 mg/Kg. Los resultados obtenidos durante 8 semanas para Pb fueron de 15cm longitud del tallo y 2cm de raíz, para Cd es 8,93cm de longitud del tallo y 1,67cm de raíz. La acumulación de Cd es de 65,7 mg/Kg en el brote y 71,3 mg/Kg en la raíz y para Pb 40,1 mg/Kg en el brote y 107 mg/Kg en la raíz de la planta, respectivamente. Finalmente se concluye que la acumulación de Cd en el brote del *Helianthus annuus* fue más favorable que la del Pb.

Cándido (2013) en su investigación titulada "Evaluación del potencial fitorremediador de *Phaseolus vulgaris*, *Triticum vulgare* y *Helianthus annuus* para metales pesados en un cultivo hidropónico a nivel de invernadero" teniendo como objetivo evaluar la capacidad fitorremediadora del trigo, girasol y frijol para recuperar suelos contaminados con Cu, Cd, Ni, Pb y Zn. Se realizó teniendo un cultivo hidropónico en un invernadero, se colocaron las semillas en cajas Petri con algodón y papel filtro, emplearon agrolita como sustrato y se irrigaron con una mezcla de metales pesados. Los resultados obtenidos durante 14 semanas de altura para el trigo fueron de 40cm, frijol 75cm y el girasol 30cm; la raíz del *Phaseolus vulgaris* es de 14,96cm, *Triticum vulgare* de 20,75cm y *Helianthus annuus* de 4,86cm. El girasol presento 3 flores de 3cm de diámetro, el trigo presento 18 espigas y el

frijol no llegó a la etapa de floración. La concentración de *Triticum vulgare* en la hoja para Cu es 16,47 mg/Kg, Pb 86 mg/kg y Cd 33,97 mg/Kg; en el tallo para Cu 9,54 mg/Kg, para Pb 107,50 mg/Kg y Cd 25,96 mg/Kg; en la raíz para Cu es 311,67 mg/Kg, Pb 503,33 mg/Kg y Cd es 305,50 mg/Kg. La concentración de *Helianthus annuus* en la hoja para Cu es 46,25 mg/Kg, Pb 200 mg/Kg y Cd 49,08 mg/Kg; en el tallo para Cu es 17,33 mg/Kg, Pb 140,56 mg/Kg y Cd 57,72 mg/Kg; en la raíz para Cu es 787,14 mg/Kg, Pb 764,29 mg/Kg y Cd 319,29 mg/Kg. La concentración de *Phaseolus vulgaris* en la hoja para Cu es 30,43 mg/Kg, Pb 124 mg/Kg y Cd 49,87 mg/Kg; en el tallo para Cu es 1 mg/Kg, Pb 84 mg/Kg y Cd 29,43 mg/Kg; en la raíz para Cu es 342,17 mg/Kg, Pb 244,17 mg/Kg y Cd 445 mg/Kg. Finalmente se concluye que *Phaseolus vulgaris* acumuló en su cuerpo la mayor cantidad de Cu y Cd, la mayor cantidad de Pb la concentró *Triticum vulgare* que fue la segunda especie que absorbió la mezcla. El girasol y trigo acumulan metales pesados en sus estructuras reproductivas por lo que no es recomendable consumir sus semillas ya que representan un riesgo para la salud.

Alarcón et al. (2011) en su investigación titulada "Germinación del girasol silvestre (*Helianthus annuus*) en presencia de diferentes concentraciones de metales" teniendo como objetivo evaluar si las semillas de girasol silvestre son capaces de germinar a altos niveles de concentración de metales. Las semillas silvestres de girasol fueron expuestas a diferentes niveles de tratamientos que fueron soluciones acuosas, se trabajó bajo condiciones de vivero. Antes de colocar las semillas, éstas fueron humedecidas por inmersión en la solución seleccionada del tratamiento por 30 minutos. Los resultados obtenidos para 200 mg/L en Cd es 10% y Pb 13% durante el verano-otoño y durante la primavera se obtuvo 32% para Cd y 41% para Pb de germinación de semillas silvestres. Finalmente se concluye que se obtuvo germinación a todos los niveles de concentración de metales pesados y se puede utilizar las semillas para su siembra en lugares contaminados en prácticas de fitorremediación.

Cristóbal et al. (2016), en su investigación titulada "Acumulación de metales pesados en *Helianthus annuus* desarrollado en residuos de mina" teniendo como objetivo evaluar el desarrollo del *Helianthus annuus* y su capacidad de extracción de metales pesados en residuos de mina, bajo la influencia de nutrientes y composta, emplearon el método de muestreo en zigzag distribuidos en una superficie de 23has, se llevó acabo en un invernadero y se aplicaron dos tipos de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y estiércol de bovino compostado. La concentración obtenida de Cu después de 15 días en el jal de mina (que es) para el tratamiento (composta con 100 kg/ha de estiércol de bovino + nitrógeno con 100 kg/ha de urea + fosforo con 30 kg/ha de superfosfato) es de 4,89 mg/kg; para Cd 0,56 mg/kg; para Zn 54,29 mg/kg. El aumento de las concentraciones de los metales se atribuye a los materiales aplicados los fertilizantes fosfatados pueden aportar de 7 a 225 mg/kg-1 de plomo, Cd de 0,1 a 170 mg/kg-1, en Cu de 1 a 1300 mg/kg-1, Zn de 50 a 1450 mg/kg-1, y Ni de 7 a 34 mg/kg-1; mientras que los fertilizantes nitrogenados aportan plomo de 2 a 27 mg/kg-1, Cd de 0,05 a 8,5 mg/kg-1, en Cu de 1 a 15 mg/kg-1, y Zn de 1 a 42 mg/kg-1, y Ni 7 a 34 mg/kg-1. Finalmente se concluye que las propiedades físicas y químicas de los residuos de mina originaron un desarrollo deficiente de las plantas del girasol. Sin embargo, en dichas condiciones la planta fue capaz de acumular metales pesados principalmente en las raíces y tallo.

García et al. (2018), en su investigación titulada "Evaluación de la adaptación de *Helianthus annuus* en asocio con hongos micorrízicos en suelos contaminados con plomo" teniendo como objetivo evaluar la capacidad de adaptación del *Helianthus annuus* en asocio con hongos micorrízicos en suelos contaminados con plomo. Se realizó en un invernadero con suelo de tipo andisol, el cual se sometió a esterilización para eliminar los microorganismos y esporas, diseño al azar de 4x2, el manejo de cultivo se hizo bajo

condiciones de estrés. Los resultados obtenidos del número de hoja durante 1 mes para el T2 (inoculado con micorriza + concentración de Pb 300 mg/kg) fue de 3 hojas, el mayor número de hojas fue de 5 para el T4 (inoculado con micorriza + concentración de Pb 700 mg/kg), la longitud mayor del tallo fue de 15cm para el T1 (inoculado con micorriza + concentración de Pb 0 mg/kg) y la longitud menor del tallo fue de 10,69cm para el T2. En conclusión, el *Helianthus annuus* puede adaptarse a medios contaminados con diferentes concentraciones de plomo y tolera niveles extremos de déficit de nutrientes.

Álvarez y Sánchez (2019), en su investigación titulada "Prueba piloto para la fitoextracción de cadmio usando *Helianthus annuus* en un suelo proveniente de la vereda El Zaden – Mesitas del Colegio" teniendo como objetivo determinar a través de una prueba piloto la cantidad de Cadmio extraído por *Helianthus annuus* en suelos cultivados con café provenientes de la vereda el Zaden, las muestras se realizaron con el método probabilístico a 15cm de profundidad con suelo arcillo limoso, se abonó semanalmente 2 meses antes de la siembra, la concentración inicial en el suelo es de 0,2 mg/l de Cd y fue abonado con Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Los resultados obtenidos en el suelo sin Cd después de 2 meses fueron de 1,20m de longitud del tallo, las hojas son cortas y anchas, las raíces pivotantes y cortas; para el suelo con Cd se halló 1, 05m de longitud del tallo, las hojas son cortas y anchas, las raíces son no pivotantes y cortas. En conclusión, la especie tiene una capacidad de fitoextracción de cadmio en porcentajes desde el 50% hasta 75% en la etapa de culminación de su crecimiento, pero se genera malformaciones en la especie a nivel de flor clorosis férrica en el borde de las hojas.

Lizarbe y Rivera (2013), en su investigación titulada "Optimización del crecimiento de *Helianthus annuus* para la fitoextracción de plomo, zinc y cadmio de relaves minero artesanal del Caserío de Zarumilla, Pataz" teniendo como objetivo optimizar el crecimiento

de *Helianthus annuus* para su uso en fitoextracción de Pb, Zn y Cd presentes en relaves minero artesanal. El muestreo fue en zigzag con una profundidad de 20cm, se utilizó un acondicionador mezclando el material orgánico (humus y musgo) e inorgánico (arena y aserrín), se realizó mediante 2 métodos de siembra (directa y trasplante), la concentración inicial en el relave fue de 3178,29 mg/kg para Pb, 1618,75 mg/kg para Zn y 17,38 mg/kg para Cd. Los resultados obtenidos después de 30 días en la siembra directa para el T1 (100% relave) fue de 1cm de longitud del tallo, 0 hojas, 1,5cm de longitud de raíz y para el trasplante la planta no creció. En la siembra directa para el T4 (25% relave + 75% de acondicionador) fue de 27cm de longitud del tallo, 9 hojas, 12,5cm de longitud de raíz y para el trasplante 26cm de longitud del tallo, 8 hojas, 10,8cm de longitud de raíz. En conclusión, la adición de acondicionador al relave, tuvo una implicancia significativa en el crecimiento de *Helianthus annuus* y la concentración de Pb, Zn y Cd en sus órganos vegetales, el método de siembra directa es el mejor método para la fitoextracción de Pb, Zn y Cd, la raíz es el órgano vegetal con mayor capacidad bioacumuladora.

Labra (2018), en su investigación titulada "Fitoextracción con *Helianthus annuus* para la reducción de cadmio en suelos contaminados, a nivel laboratorio 2018" teniendo como objetivo evaluar la capacidad de fitoextracción del *Helianthus annuus* para reducir el cadmio en suelos contaminados. Para la recolección del suelo se utilizó la guía para suelos con una profundidad de 30cm, se contaminó un suelo a distintas concentraciones (10 mg/l, 20 mg/l, 30 mg/l y 40 mg/l) y fueron sumergidas en 1 litro de agua para luego ser mezclada con el suelo. Los resultados obtenidos después de 2 meses para el T1 (10 mg/l) fue de 40,05cm de altura de la planta, para el T4 (40 mg/l) es de 37,64cm de altura de la planta; en el T1 para la raíz fue de 5,14cm y para el T4 es de 8,34cm; 14 hojas para el T1 y 15 hojas para el T4. La concentración final de Cd para el T1 fue de 12,70 mg/kg y para el T4 fue de

43,73 mg/kg. En conclusión, la reducción de Cd fue en la raíz ya que a mayor crecimiento de raíz hubo una mayor absorción.

Peña y Beltrán (2017), en su investigación titulada "Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando *Helianthus annuus* en la Estación experimental el Mantaro" teniendo como objetivo aplicar la tecnología de la fitorremediación en la Estación Experimental "El Mantaro" utilizando *Helianthus annuus* para erradicar la presencia de metales pesados, al mes del crecimiento se procedió al desahijamiento de plantas y se regó después del primer brote, se tomaron 3 muestras de suelo franco contaminado en diferentes etapas, antes del cultivo, cultivo y después del cultivo. Los resultados obtenidos para la concentración inicial de Cd en la muestra fueron de 4,28 mg/kg, 111,5 mg/kg de Pb, 60 mg/kg de Cu y 10 mg/kg de Cr; 50,89% es el mayor porcentaje de fitoextracción para Cr, mientras que el menor porcentaje es de 45,38% para Pb. En conclusión, la fitoextracción de metales pesados y metaloides fue absorbida por las raíces, seguido de las hojas, tallos, flores, semillas y además indica que es una planta acumuladora de metales pesados.

Gallardo (2019), en su investigación "Propuesta de fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados mediante utilización de *Helianthus annuus L*", tuvo como objetivo proponer la implementación de *Helianthus annuus L* para la remediación de suelos contaminados con metales pesados (plomo, zinc y cadmio). El lugar de estudio se definió mediante el uso de Google Earth y para la definición de las características del girasol se realizó una consulta bibliográfica, con el fin de realizar una investigación documental y descriptiva. Luego de realizar la revisión de documentos, se puede asegurar que existe una influencia negativa sobre el suelo producto de la actividad minera en el lugar.

Grandez (2017), en su investigación titulada "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" teniendo como objetivo determinar la cantidad de cadmio y plomo removido en suelos contaminados, aplicando de *Zea mays* y *Helianthus annuus* con distintas enmiendas orgánicas, mediante la técnica de fitorremediación en el Departamento de Junín, las muestras se realizaron con 60cm de profundidad y usaron en los tratamientos enmiendas orgánicas de 20 kg compost y 20 kg humus, repartidos entre las especies de girasol y maíz respectivamente por cada maceta usando una proporción de 2 a 1 es decir por cada kg de suelo contaminado 0,5 kg de enmienda, se acondicionó un área para el desarrollo de las plantas como un mini vivero. Los resultados obtenidos en el suelo contaminado después de 64 días para Cd un 11% de remoción, Pb fue de 9,9% de remoción con las respectivas plantas cultivadas, mayor concentración de los metales pesados en la biomasa radicular y un porcentaje menor en la parte aérea de la planta. En conclusión, la especie con mejores resultados para remoción de metales pesados del suelo contaminado fue, *Zea Mays* con 76,22 mg/kg para Pb removido en su biomasa radicular y un valor de 2,18 mg/Kg para Cd en su biomasa radicular; teniendo en cuenta que los mejores valores de la biomasa aérea fueron 50,50 mg/Kg para Pb y 2,40 mg/Kg para Cd en la biomasa aérea. mejores resultados se dieron con la especie *Zea Mays*, teniendo en cuenta que estos resultados están ligados al uso de las enmiendas de compost + humus, para el mejor desarrollo de las especies.

Para fundamentar la presente investigación es viable el manejo de términos y conceptos relacionados al tema.

1.3. MARCO TEORICO

GIRASOL

El girasol es una planta anual originaria de las Américas, particularmente del centro y sur de los Estados Unidos, pero también se encuentra en Canadá y Perú, donde puede crecer de forma silvestre. El girasol se cultivó por primera vez como flor ornamental en Europa y su uso industrial para la extracción de aceite se descubrió por primera vez en 1812 (Cruz, 2015). El girasol es un cultivo muy importante porque beneficia a toda la planta, las hojas se usan como forraje en la alimentación del ganado porque contiene fibra, los tallos se usan para hacer papel, el tinte se obtiene de la planta de flor amarilla y las nueces del árbol son ricas en aceites que tienen un sabor similar al aceite de oliva y almendras. Además, de la producción de aceite se forman subproductos, como aceites de primera calidad, que se pueden utilizar para fabricar jabones, agentes secantes de pintura y lubricantes (Chicaiza, 2017, p.7).

TALLO

El tallo es parcialmente leñoso, duro por dentro, cilíndrico, de 2 a 6 cm de diámetro y 0,4 a 2 m de altura hasta el capítulo. Sin embargo, los girasoles no son tolerantes a la sequía, salinidad, necesitan de un buen drenaje y crecen en una variedad de tipos de suelo, desde arenosos hasta arcillosos, con un rango de pH que oscila de 5,7 a 8 (Chicaiza, 2017, p.9).

TEMPERATURA

La temperatura es el factor más importante para la germinación de semillas, la temperatura óptima es de 26 °C, la temperatura máxima es de 40 °C y la temperatura mínima es de 3 a 6 °C (Cabrera, 2015, p.16).

LUZ

La luz (radiación solar) es importante porque afecta el crecimiento y desarrollo del girasol, es un factor energético en la producción. Su influencia varía en las diferentes etapas del desarrollo cultural, durante el crecimiento activo, especialmente durante la formación y llenado de semillas, los girasoles consumen grandes cantidades de agua (Jaramillo y Flores, 2012, p.17).

METALES PESADOS POR ACTIVIDAD MINERA

La extracción de metales pesados, requiere el uso de productos químicos y de grandes cantidades de agua en los pozos de producción, donde los materiales asociados al tipo de suelo o mina se combinan con otros productos químicos, para producir grandes cantidades de desechos tóxicos. Entre los desechos tóxicos que se generan de los subproductos de los procesos mineros de relaves y escombros se tiene como el azufre, cadmio, plomo, arsénico, molibdeno, mercurio, cianuro libre y compuestos fenólicos; de esta manera se puede concluir que el suelo se contamina cuando los desechos antes mencionados se incorporan al ambiente sin tener un tratamiento adecuado (Barcos, et al., 2017, p.439).

CADMIO

Todos los principales accidentes ambientales causados por el cadmio son el resultado de la contaminación durante la extracción y el tratamiento de materiales ferrosos, el cadmio es uno de los metales pesados más solubles y peligrosos en el suelo, porque es altamente móvil y dañino para las plantas en bajas concentraciones y las principales reacciones asociadas con la interacción de los metales pesados y los componentes del suelo son la adsorción, la precipitación y la complejación (Cándido, 2013, p.5).

CROMO

El cromo artificial se utiliza principalmente en la producción de pigmentos, baterías de alta temperatura, fungicidas, curtido de cuero, tratamiento de superficies, industria del papel (como pulpa y cartón). Varios compuestos de este elemento pueden atravesar la placenta, lo que supone un alto riesgo para el embrión y el feto. La intoxicación aguda con compuestos de cromo hexavalente se manifiesta como daño renal, mientras que la intoxicación crónica puede provocar mutaciones en el tracto gastrointestinal, así como la acumulación de estos elementos pesados en el hígado y riñones, glándula tiroides y médula ósea (Quispe, 2017, p.5).

PLOMO

El plomo es relativamente resistente a los ácidos sulfúrico y clorhídrico, pero se disuelve lentamente en ácido nítrico, el plomo es anfótero y se utiliza en la industria tanto en forma sólida como líquida. El uso de estos productos puede producir polvo, humo o vapores, cuyo compuesto principal es el óxido de plomo. Las operaciones intensas de petróleo, gas y la recolección de derivados del petróleo en el país y en el mar, incluido aquellas que amenazan el daño ecológico, han contribuido a la contaminación significativa de hidrocarburos y sustancias potencialmente dañinas, que ingresan al suelo y al agua y causan contaminación (Gómez, 2012, p.15).

La producción nacional de bienes de consumo crea una importante fuente de contaminación tanto por la falta de conciencia ecológica imperante a lo largo de los años como, por otro lado, el mal manejo de las materias primas y de todos los productos que es un problema grave donde se llevan a cabo estas actividades (Gómez, 2012).

SUELO

El suelo es el receptor de la mayoría de los desechos generados por el hombre, lo que produce contaminación y lo transfiere a otros recursos, como las aguas subterráneas o la cadena alimentaria, a través de la asimilación de las plantas. Cuando el nivel de los elementos pesados en el suelo alcanza el límite máximo permisible, hay consecuencias inmediatas, como la inhibición del crecimiento normal de las plantas y la disfunción de otros componentes del ambiente, así como la disminución del número de microorganismos en el suelo; se denomina "contaminación del suelo" (Martínez, 2018, p.4).

De acuerdo con el Plan Integral de Protección del Suelo, se considera suelo contaminado aquel cuyas propiedades físicas, químicas o biológicas, por la naturaleza de su existencia, han cambiado a lo largo del tiempo, que en esencia la duración de su existencia en el tiempo es incompatible con las propiedades funcionales de uso, o plantean una seria amenaza grave a la salud pública o al ambiente (Avelino, 2013).

TIPOS DE SUELO SEGÚN SU USO

Según la normativa peruana, el suelo se clasifica en 4 tipos según su uso: agrícola, residencial/parque, comercial e industrial/extractivo.

a) Suelo agrícola: Suelo caracterizado para el desarrollo de cultivos y ganadería. Incluye los terrenos que conservan hábitats para especies permanentes y transitorias, así como la flora y fauna características del lugar.

b) Suelo residencial/parques: Se refiere aquellos terrenos destinados a la construcción de viviendas, áreas verdes y lugares generados para las actividades del esparcimiento humano.

c) Suelo comercial: Es aquel terreno donde se desarrollan diversos tipos de negocios comerciales y de servicios.

d) Suelo industrial/extractivo: Comprende la extracción de recursos naturales, como las actividades mineras, extracción, producción, conversión o construcción de hidrocarburos y/o materias primas.

ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA)

Es una medida que determina el nivel o grado de concentración de los elementos, sustancias o parámetros químicos, físicos y biológicos presentes en el aire, el agua y el suelo; dichos valores no representan un riesgo significativo para la salud humana y el ambiente. Se estableció un D.S. N°011-2017-MINAM donde aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para el suelo (ANEXO 03). Además, designó al Ministerio del Medio Ambiente como una de sus funciones específicas para aprobar los lineamientos, métodos, procesos y planes para la aplicación de las normas de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el Suelo (MINAM, 2017).

MOVILIDAD EN EL SUELO DE LOS METALES PESADOS

El comportamiento del suelo frente a los metales pesados no es estático ni fijo, sino activo y móvil (FAO, 2019, p.51). Su dinámica es la siguiente:

- Absorbido por las plantas e incorporado a la cadena trófica.
- Movilización a las aguas superficiales o subterráneas.
- Retiene los metales pesados por adsorción, complicación y precipitación.
- Liberación a la atmósfera por evaporación.

FITORREMEDIACIÓN

La fitorremediación es el proceso de usar plantas para eliminar, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes en el suelo, lodos y sedimentos y puede usarse tanto dentro como fuera del sitio contaminado. El tratamiento en plantas a menudo se considera una alternativa a los métodos de procesamiento tradicionales porque es una actividad económicamente sostenible. Existen diferentes tipos de técnicas de fitorremediación: fitoextracción, fitoestabilización o fitomovilización, fitodegradación, rizodegradación, rizofiltración, fitovolatilización y fitosalinización (Marqués, et al., 2013).

Aunque se han tomado algunas medidas para reducir o limitar la descarga de contaminantes al suelo, no son suficientes para controlar y eliminar la contaminación de varios ecosistemas biológicos que forman parte del planeta, la contaminación por metales pesados puede prevenirse químicamente o físicamente y bioingeniería. Estos métodos se pueden dividir en dos categorías (Paredes, 2014):

- **Método Exsitu:** Se requiere la remoción del suelo contaminado para su posterior tratamiento y retorno del suelo tratado al sitio de estudio.
- **Método Insitu:** Se introduce tratando el suelo sin excavar el sitio contaminado, en este caso creando la tecnología del tratamiento necesario para reducir la biodisponibilidad y separar los contaminantes del suelo contaminado.

VENTAJAS DE LA FITORREMEDIACIÓN

Las ventajas de nuestra tecnología propuesta es que se puede reducir los contaminantes, bajo un costo económico, impacto sostenible, implementando la tecnología y así evitar la degradación grave de la tierra, proteger el ecosistema, mantener la

accesibilidad debido al crecimiento de las plantas, la capacidad de biorremediación de ciertos contaminantes, como metales pesados, tratamiento de suelos y agua implícita. Las desventajas es que no cura todo el suelo contaminado, sus mecanismos moleculares, bioquímicos y fisiológicos son poco conocidos y su proceso de hiperacumulación es poco y bien entendido (Papuico, 2018, p.22).

PORCENTAJE DE EFICIENCIA

El porcentaje de eficiencia es el potencial que tienen las plantas con el fin de absorber, acumular los metales pesados presentes en los suelos contaminados. Por ello, para poder determinar el porcentaje de eficiencia fitorremediadora, se tiene que resolver la siguiente ecuación.

Ecuación 1.

Fórmula del porcentaje de eficiencia

$$E(\%) = \left(\frac{C_i - C_f}{C_i} \right) \times 100$$

Donde:

C_i = Concentración inicial

C_f = Concentración final

1.4. JUSTIFICACIÓN

Práctica

La investigación trata de brindar una tecnología alternativa sustentable y eficiente para descontaminar los metales pesados en suelos contaminados con la especie *Helianthus annuus*, permitiendo un desarrollo sostenible; debido a que no requiere de personal especializado para su manejo, trayendo como consecuencia un menor contenido de metales

pesados lo que permitirá a la población, animales y plantas, hacer uso de una mejor calidad del suelo y mejorar así la calidad de vida.

Teórica

La fitorremediación es una tecnología sostenible que se fundamenta en la utilización de plantas para reducir in situ o ex situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, a partir de procesos bioquímicos desarrollados por las plantas asociados al sistema radicular y que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización, estabilización, etc. de los diversos tipos de contaminantes.

Metodológica

La fitorremediación es una tecnología de costo mínimo, debido a que no requiere de infraestructura sofisticada; asimismo puede implementarse in situ y ex situ para remediar grandes extensiones de áreas contaminadas, es decir, con bajas concentraciones de contaminantes. En general, es una tecnología de bajo costo, simple, sostenible, amigable con el medio ambiente y estéticamente más agradable que las tecnologías convencionales.

Legal

Esta investigación espera que los resultados de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados cumplan el estándar de calidad ambiental D.S. N° 011-2017-MINAM.

1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Será efectivo el *Helianthus annuus* como remediador de metales pesados en suelos contaminados por actividades mineras?

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo General:

- Estudiar la efectividad del *Helianthus annuus* como remediador de metales pesados en suelos contaminados por actividades mineras.

1.6.2. Objetivos Específicos:

- Describir las características morfológicas del *Helianthus annuus* teniendo como base resultados de investigación.
- Identificar el porcentaje de eficiencia de cadmio, cromo y plomo en suelos contaminados teniendo como base los resultados de investigaciones.
- Comparar los resultados obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos en el D.S N°011-2017 MINAM.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Enfoque

El presente trabajo es básico con un enfoque cuantitativo (Hernández et al., 2014, p.4) lo que demuestra que la recolección de datos en este enfoque se utiliza para probar hipótesis basadas en mediciones numéricas, análisis estadístico para descubrir o afinar preguntas de investigación, con el fin de determinar las pautas y probar teorías.

Alcance

Esta investigación se enmarca dentro del tipo descriptivo puesto que según (Hernández et al., 2014, p.92) descriptiva cuando se orienta a la descripción, el registro, el análisis y la interpretación de las condiciones existentes en el momento. Se caracteriza especialmente, porque no se efectúa la manipulación de las variables, porque se dedica a la descripción de los fenómenos asociados con la población en estudio y se estiman las proporciones de una población.

A la vez la investigación es propositiva (Hernández et al., 2014, p.92) explica cómo se alcanza un objetivo con el procedimiento adecuado. Para el caso de este estudio descriptivo, se justificó y se propuso el uso del *Helianthus annuus* para reducir suelos contaminados con metales pesados producto de las actividades mineras.

Diseño

Por otra parte, el diseño de la investigación es no experimental, (Hernández et al., 2014, p.152) refieren que estos estudios se realizan sin manipular deliberadamente variables,

ni tampoco se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza.

Tipo

De acuerdo con la planificación en la recolección de datos es retrospectiva porque los datos ya están presentes en los documentos que utilizaremos para la concentración inicial y final de cada metal pesado en plantas y suelo, las medidas de las características morfológicas de la planta. Así mismo esta investigación presenta un tipo transversal en el cual su único propósito es describir variables, aquí se recolectan datos en un solo momento para poder realizar la comparación de las características morfológicas del *Helianthus annuus* y la concentración inicial y final de cada metal estudiado (Hernández y Mendoza, 2018, p.166).

En definitiva, la investigación utilizo un diseño básico cuantitativo, descriptivo, no experimental, retrospectiva, transversal.

2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población

Se define como un conjunto de individuos que poseen una misma serie de características (Hernández y Mendoza, 2018, p.174). Por lo tanto, la población está determinada por la mayor cantidad de estudios de los cuales se encontraron 180 y estos se delimitaron por especie y por metal pesado quedándonos con 80 estudios. Se hizo la revisión de artículos, tesis, bases de datos como: Redalyc, Google Académico, Dialnet, Science Direct, Springer, Scielo, PubMed, ResearchGate con un criterio de fitorremediación, *Helianthus annuus*, años de antigüedad menor a 10 años.

Muestra

Con respecto a la teoría indica que la muestra es un subconjunto perteneciente a la población establecida (Hernández y Mendoza, 2018, p.172). Para la muestra se delimitaron los siguientes criterios de inclusión como: suelos contaminados con Cd, Cr y Pb, distintos tipos de suelos, *Helianthus annuus*, documentos entre los años 2012-2022, la credibilidad de donde están publicados. Y criterios de exclusión como: suelos contaminados con otros metales, otro tipo de plantas, documentos fuera de los años 2012-2022. Obteniendo 17 investigaciones representativas de nuestro tema que nos favorecerán en el desarrollo de los resultados.

2.3. MÉTODO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Métodos

El método inductivo nos permite llegar a concluir en algo a partir de lo particular, mediante la observación de los hechos y el estudio de estos para que finalmente llegemos a generalizar y contrastar los datos en la conclusión. El método deductivo permite que el investigador plasme en su conclusión lo que ya dedujo durante el desarrollo de la investigación, esto hace que la conclusión siempre sea verdadera.

Técnicas

La técnica son medios o formas de recolectar información que utiliza el investigador para medir el comportamiento o los atributos de las variables, pueden clasificarse como revisión documental, observación, encuesta y técnicas sociométricas, entre otras. Las técnicas que se usaron en la investigación es el análisis documental y el registro de datos de

diversos estudios, esto es la trazabilidad que se realiza a través del análisis de los registros obtenidos del recojo de investigaciones acerca del tema (Hurtado, 2007, p.115)

Instrumentos de recolección de datos

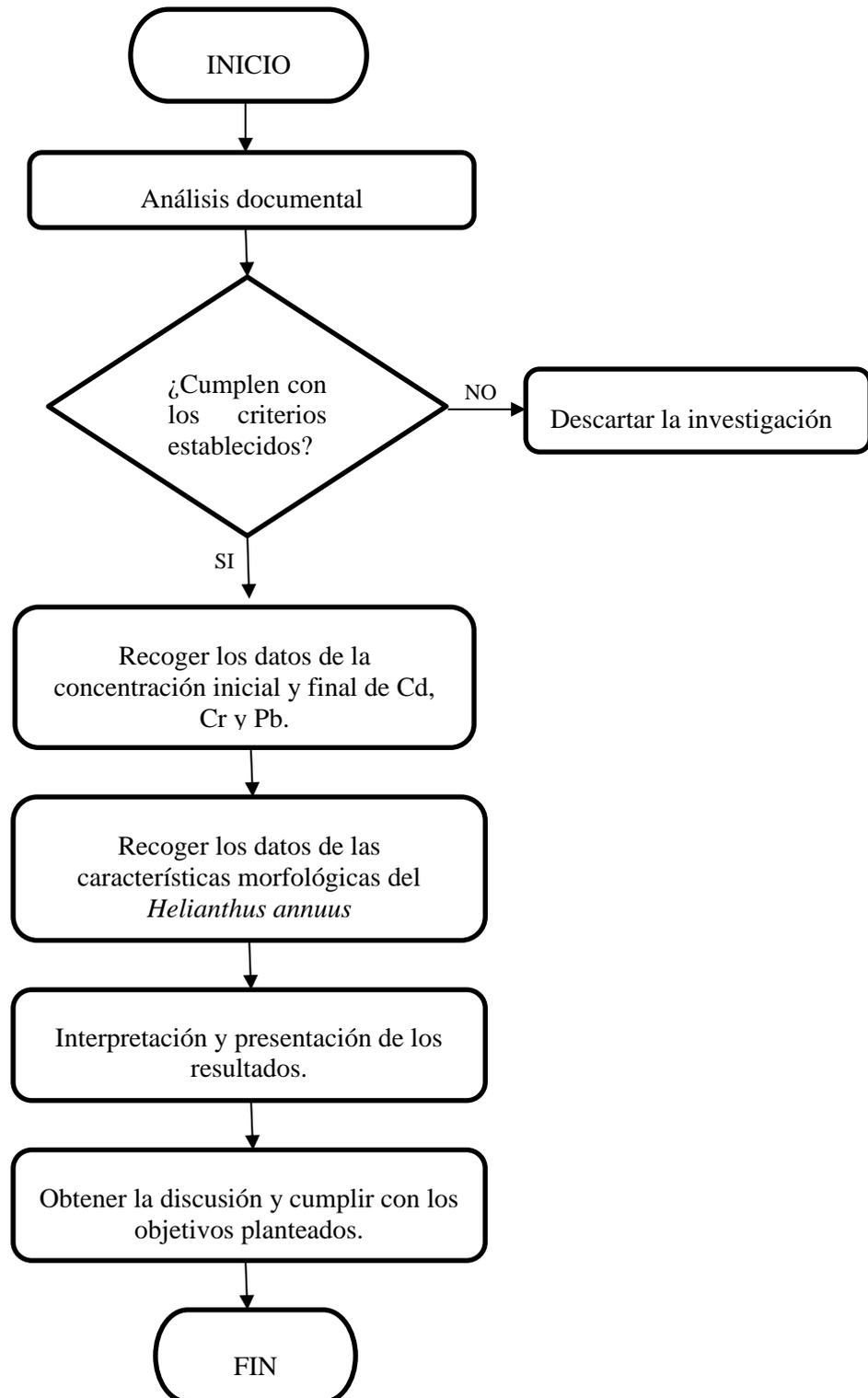
Los instrumentos usados en esta investigación son la ficha de recojo de datos, que se conocen como fichas en los cuales plasmamos por escrito información importante que hemos encontrado en nuestro proceso de búsqueda de información y que deseamos tener al alcance de nuestras manos en cualquier momento, normas técnicas para comparar que las concentraciones de metales pesados en los suelos no excedan el límite dado, el software Excel que se utilizó para plasmar tablas y gráficos de los resultados obtenidos de diferentes estudios.

2.4. PROCEDIMIENTO

El procedimiento que se utilizó son fichas de recojo de datos, con la finalidad de recoger información acerca de las características morfológicas del *Helianthus annuus* y las concentraciones inicial y final de Cd, Cr y Pb en los suelos contaminados. Se hizo la revisión de artículos, tesis, bases de datos como: Redalyc, Google Académico, Dialnet, Science Direct, Springer, Scielo, PubMed, ResearchGate usando los criterios como: documentos completos, años de antigüedad menor a 10 años, confiabilidad de la documentación extraída y además se utilizaron palabras claves como, fitorremediación, *Helianthus annuus*, suelos contaminados con cadmio, cromo, plomo, especies vegetales, minería, remediación de suelos. Se recolectó 80 investigaciones de los cuales solo seleccionamos 17 ya que estos cumplen con los criterios a utilizar y el objeto de estudio. A continuación, se detallará cuáles son los pasos para desarrollar el presente trabajo.

Figura 1

Diagrama de flujo del procedimiento



Validez y confiabilidad de información

Para la validación y confiabilidad de los instrumentos, se utilizó la opinión y el visto bueno de expertos en el tema de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de nuestra casa superior de estudios Universidad Privada del Norte sede San Isidro, Trujillo.

Procesamiento de datos

Habiendo usado los instrumentos, se sistematizó la información en el programa de Excel para analizar y organizar los gráficos y tablas con los datos obtenidos de las fichas que describen los resultados finales de las variables y dimensiones. Además, se utilizó el programa SPSS para realizar pruebas de normalidad y correlaciones entre la concentración inicial de cada uno de los metales pesados y las características morfológicas del *Helianthus annuus*. Finalmente, es importante mencionar que, para determinar el porcentaje de eficiencia de los diferentes metales pesados, se utilizó la fórmula de Harrington Emerson (1912). A continuación, se detalla la fórmula:

$$E(\%) = \left(\frac{Ci - Cf}{Ci} \right) \times 100$$

Donde:

Ci = Concentración inicial

Cf = Concentración final

2.5. ASPECTOS ÉTICOS

Durante el desarrollo de la investigación se respetó los aspectos éticos y medioambientales, ya que se encamina a potencializar la conciencia sobre la estrecha relación que existe entre el hombre y su entorno. La información utilizada para complementar la investigación ha sido recopilada de fuentes fidedignas y procesadas con las Normas APA7, con el fin de facilitar la comprensión de la tesis.

Finalmente, la ética de la investigación, es decir, la tesis ha sido revisada y calificada por personas conocedoras del tema, con la autoridad para observar, corregir, aprobar o desaprobado la investigación.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

En la presente investigación, se plantearon un total de 17 tablas y 11 figuras para la respuesta de los objetivos propuestos, dichos resultados se han extraído como producto de la búsqueda de los estudios relacionados al tema. Para ello, se realizó el análisis de 17 documentos obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 1.

Características morfológicas del Helianthus annuus por autores

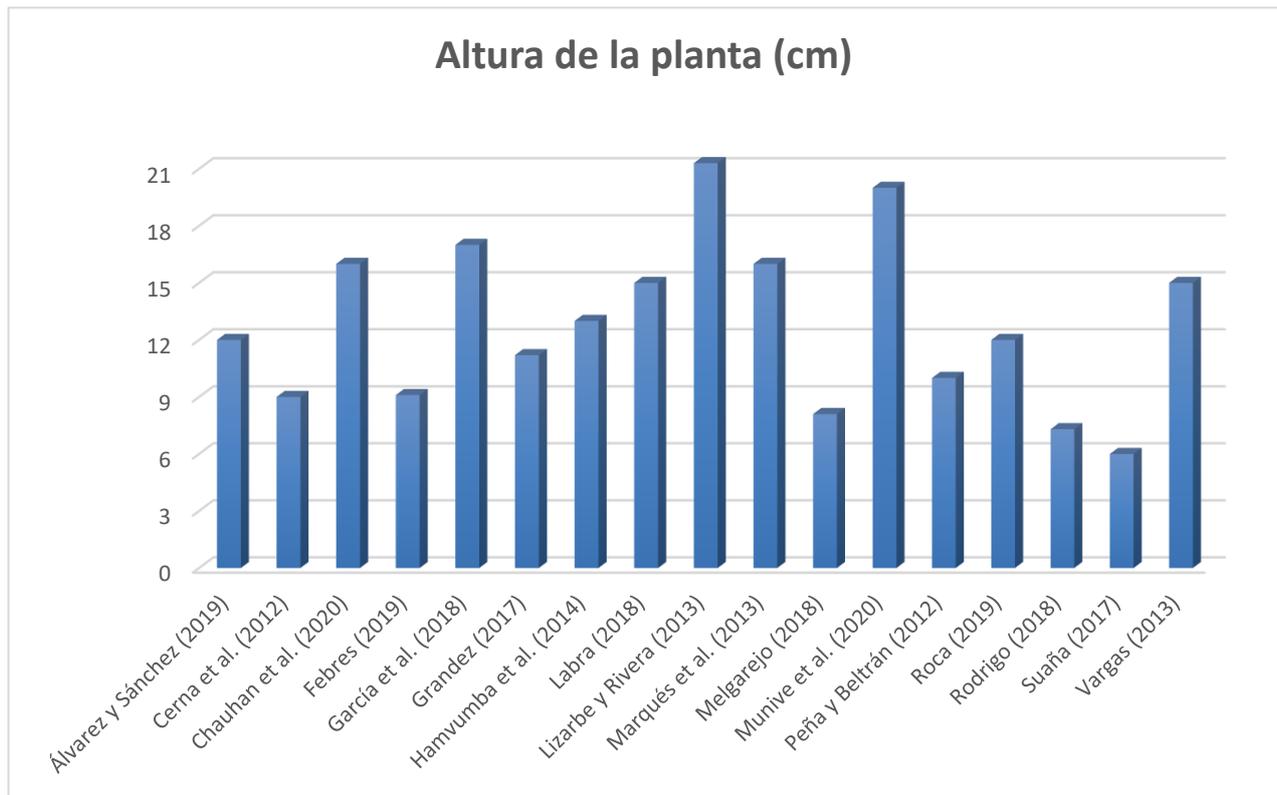
Autor y año	Lugar	Características morfológicas			
		Altura (cm)	Raíz (cm)	Tallo (cm)	Número de hojas
Álvarez y Sánchez (2019)	Bogotá	12	-----	8	-----
Cerna et al. (2012)	Trujillo	9	5,2	7	3
Chauhan et al. (2020)	India	16	----	11	4
Febres (2019)	Arequipa	9,1	3,2	5,3	4
García et al. (2018)	Colombia	17	9	14,7	5
Grandez (2017)	Lima	11,2	---	8,2	3
Hamvumba et al. (2014)	Zambia	13	-----	9	-----
Labra (2018)	Lima	15	2,7	10	4
Lizarbe y Rivera (2013)	Pataz	21	4,3	17	5
Marqués et al. (2013)	Portugal	16	-----	12	4
Melgarejo (2018)	Trujillo	8,1	3,4	5,3	4
Munive et al. (2020)	Lima	20	11	17	5

Peña y Beltrán (2012)	Junín	10	6,4	8,1	4
Roca (2019)	Lima	12	5,3	9,2	5
Rodrigo (2018)	Lima	7,3	3	5	3
Suaña (2017)	Puno	6	---	4	2
Vargas (2013)	México	15	9	----	4

En la tabla 1, se realizó la comparación de resultados de diversas investigaciones a nivel internacional, nacional y local del *Helianthus annuus* basándose en la evaluación del crecimiento de las características morfológicas de la planta (altura, raíz, tallo y número de hojas) a los 30 días después de haber realizado el proceso.

Figura 2

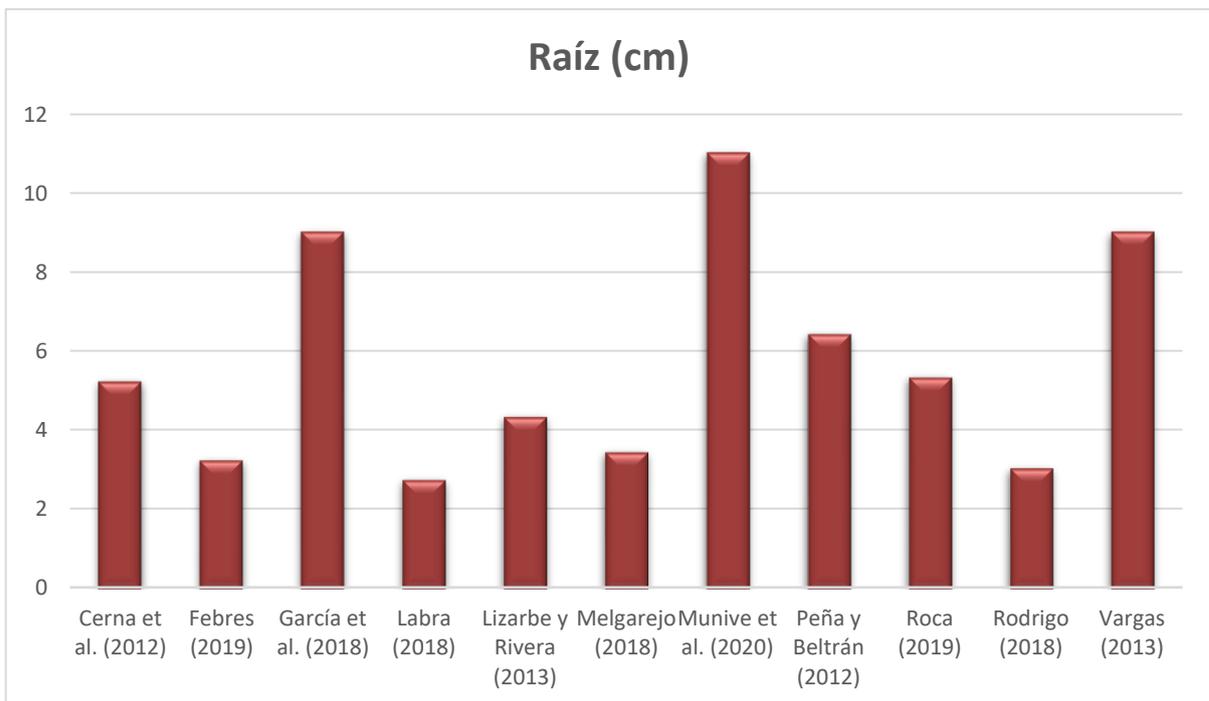
Altura del Helianthus annuus por autores



En la figura 2, podemos observar la altura del *Helianthus annuus* basándose en las investigaciones halladas, lo cual nos dice que la mayor altura de la planta se encuentra en la investigación de (Lizarbe y Rivera, 2013) obteniendo 21cm de altura. Por otro lado (Suaña, 2017) obtiene 6cm siendo la menor cantidad en altura de la planta a comparación de otras investigaciones.

Figura 3

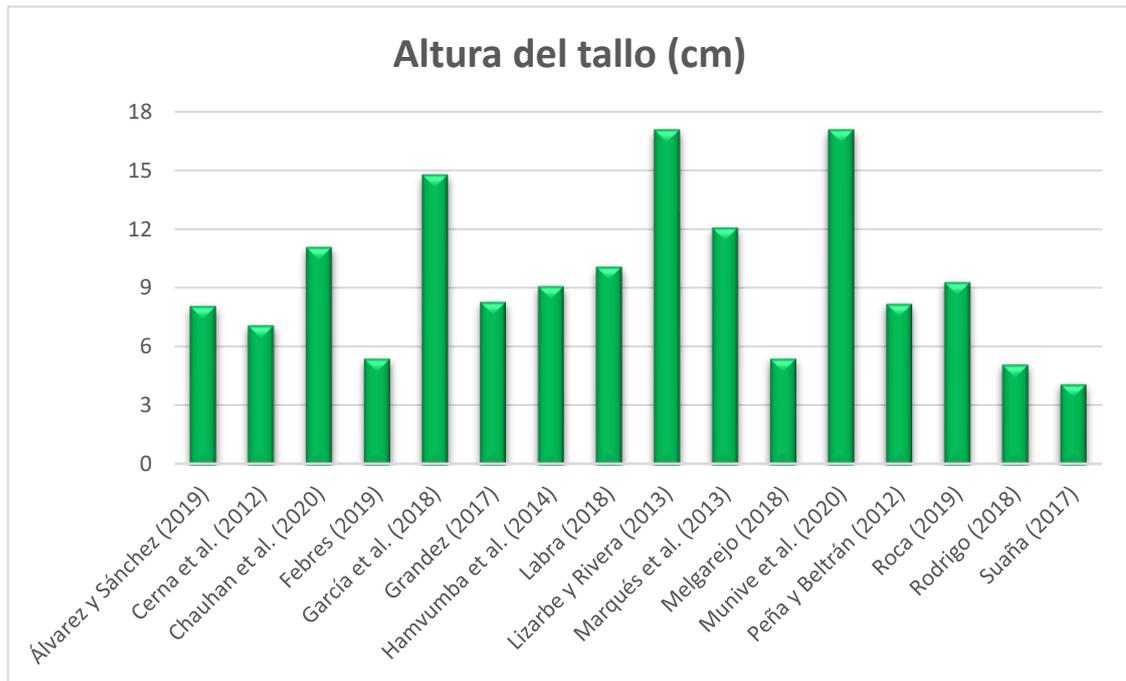
Tamaño de raíz del Helianthus annuus por autores



En la figura 3, podemos observar el tamaño de la raíz del *Helianthus annuus* basándose en las investigaciones halladas, lo cual nos dice que el mayor tamaño de raíz se encuentra en la investigación de (Munive et al., 2020) obteniendo 11 cm de tamaño. Por otro lado (Labra, 2018) obtiene 2,7cm siendo la menor cantidad en tamaño de raíz a comparación de otras investigaciones.

Figura 4

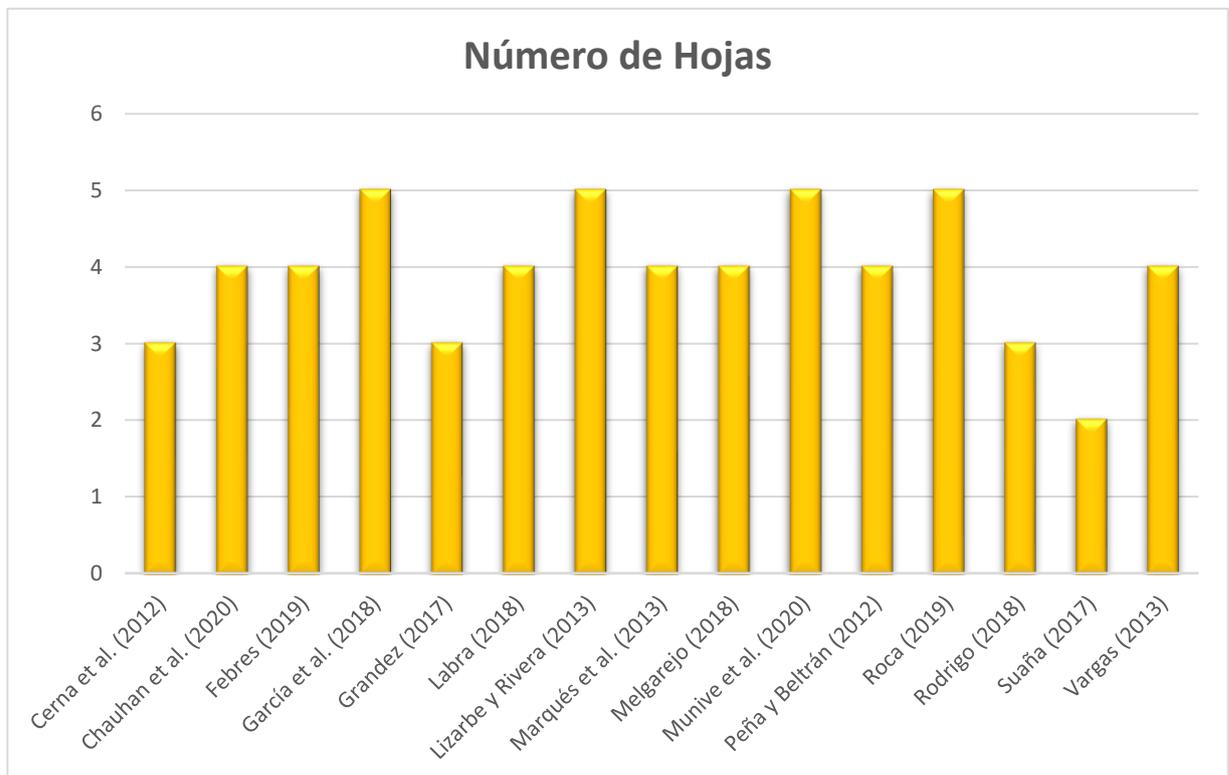
Altura del tallo del Helianthus annuus por autores



En la figura 4, observamos la altura del tallo del *Helianthus annuus* después del proceso de fitorremediación basándose en las investigaciones encontradas, lo cual nos dice que la mayor altura del tallo se encuentra en la investigación de (Munive et al., 2020) y (Lizarbe y Rivera, 2013) obteniendo 17cm de altura. Por otro lado, (Suaña, 2017) obtiene 4cm siendo la menor cantidad en altura del tallo del girasol a comparación de otras investigaciones.

Figura 5

Número de hojas del Helianthus annuus por autores



En la figura 5, se muestra el número de hojas después del proceso de fitorremediación en las investigaciones halladas, lo cual nos dice que la investigación de (García et al., 2018), (Lizarbe y Rivera, 2013), (Munive et al., 2020) y (Roca, 2019) obtienen 5 hojas siendo la mayor cantidad. Por otro lado, (Suaña, 2017) obtiene 2 hojas siendo la menor cantidad a comparación de otras investigaciones.

Tabla 2.

Variación promedio de las Concentraciones inicial y final de los elementos en el suelo por autores

Autor y año	Lugar	Elemento	Concentración en el suelo (mg/kg)	
			Inicial	Final
Álvarez y Sánchez (2019)	Bogotá	Cadmio	50,2	40
Cerna et al. (2012)	Trujillo	Plomo	1010	850
Chauhan et al. (2020)	India	Plomo	62,4	57
Febres (2019)	Arequipa	Plomo	121	98,4
García et al. (2018)	Colombia	Plomo	700	590
Grandez (2017)	Lima	Cadmio	3	2,8
		Plomo	518,3	510,3
Hamvumba et al. (2014)	Zambia	Plomo	250	200
Labra (2018)	Lima	Cadmio	13,2	11
Lizarbe y Rivera (2013)	Pataz	Cadmio	17,4	12,4
		Plomo	317,8	305,6
Marqués et al. (2013)	Portugal	Cadmio	11,2	9
Melgarejo (2018)	Trujillo	Cadmio	5,6	5
		Cromo	3,4	3
		Plomo	19	15
Munive et al. (2020)	Lima	Cadmio	20,9	15
Peña y Beltrán (2012)	Junín	Cadmio	3,9	2,6
		Cromo	10,3	5,6
		Plomo	70,1	48,1
Roca (2019)	Lima	Cadmio	7,1	5,8
		Cromo	14	5,6
		Plomo	121,7	118
Rodrigo (2018)	Lima	Cadmio	9	7
		Cromo	116,1	46,2

		Plomo	138	90
Suaña (2017)	Puno	Cadmio	24,4	20,3
		Plomo	50	40,2
Vargas (2013)	México	Cadmio	120	114,2
		Plomo	100	89

En la tabla 2, se realizó la comparación de resultados de diversas investigaciones a nivel internacional, nacional y local basándose en la concentración inicial y final en el suelo a los 30 días, después de haber realizado la planta el proceso de fitorremediación. La concentración inicial más alta fue de (Cerna et al., 2012) siendo 1010 mg/kg de Pb, el elemento más analizado en las investigaciones es el Pb y Cd.

Tabla 3

Correlación entre la altura de la planta y la concentración inicial del Cd

			Altura	Concentración inicial
Rho de Spearman	Altura	Coeficiente de correlación	1.000	0.344
		Sig. (bilateral)		0.274
		N	12	12
	Concentración inicial	Coeficiente de correlación	0.344	1.000
		Sig. (bilateral)	0.274	
		N	12	12

En la tabla 3, se tiene que el valor de significancia es 0,274 mayor a 0,05 con lo cual se acepta la hipótesis nula, que nos dice la fitorremediación con *Helianthus annuus* no es eficiente para la reducción de metales pesados en suelos contaminados producto de la actividad minera, a partir de ello se tiene evidencia para afirmar que no existe relación entre las variables altura de la planta y concentración inicial del suelo.

Tabla 4

Correlación entre la raíz y la concentración inicial del Cd

			Raíz	Concentración inicial
Rho de Spearman	Raíz	Coefficiente de correlación	1.000	0.333
		Sig. (bilateral)		0.420
		N	8	8
	Concentración inicial	Coefficiente de correlación	0.333	1.000
		Sig. (bilateral)	0.420	
		N	8	8

En la tabla 4, se tiene que el valor de significancia es 0,420 mayor a 0,05 con lo cual se acepta la hipótesis nula, que nos dice la fitorremediación con *Helianthus annuus* no es eficiente para la reducción de metales pesados en suelos contaminados producto de la actividad minera, a partir de ello se tiene evidencia para afirmar que no existe relación entre las variables raíz de la planta y concentración inicial del suelo.

Tabla 5

Correlación entre el tallo y la concentración inicial del Cd

			Tallo	Concentración inicial
Rho de Spearman	Tallo	Coefficiente de correlación	1.000	0.087
		Sig. (bilateral)		0.800
		N	11	11
	Concentración inicial	Coefficiente de correlación	0.087	1.000
		Sig. (bilateral)	0.800	
		N	11	11

En la tabla 5, se tiene que el valor de significancia es 0,800 mayor a 0,05 con lo cual se acepta la hipótesis nula, que nos dice la fitorremediación con *Helianthus annuus* no es eficiente para la reducción de metales pesados en suelos contaminados producto de la

actividad minera, a partir de ello se tiene evidencia para afirmar que no existe relación entre las variables tallo de la planta y concentración inicial del suelo.

Tabla 6

Correlación entre el número de hojas y la concentración inicial del Cd

			N° de Hojas	Concentración inicial
Rho de Spearman	N° de Hojas	Coefficiente de correlación	1.000	0.126
		Sig. (bilateral)		0.713
		N	11	11
	Concentración inicial	Coefficiente de correlación	0.126	1.000
		Sig. (bilateral)	0.713	
		N	11	11

En la tabla 6, se tiene que el valor de significancia es 0,713 mayor a 0,05 con lo cual se acepta la hipótesis nula, que nos dice la fitorremediación con *Helianthus annuus* no es eficiente para la reducción de metales pesados en suelos contaminados producto de la actividad minera, a partir de ello se tiene evidencia para afirmar que no existe relación entre las variables número de hojas de la planta y concentración inicial del suelo.

Tabla 7

Correlación entre la altura de la planta y la concentración inicial del Cr

			Altura	Concentración inicial
Rho de Spearman	Altura	Coefficiente de correlación	1.000	-0.200
		Sig. (bilateral)		0.800
		N	4	4
	Concentración inicial	Coefficiente de correlación	-0.200	1.000
		Sig. (bilateral)	0.800	
		N	4	4

En la tabla 7, se tiene que el valor de significancia es 0,800 mayor a 0,05 con lo cual se acepta la hipótesis nula, que nos dice la fitorremediación con *Helianthus annuus* no es eficiente para la reducción de metales pesados en suelos contaminados producto de la actividad minera, a partir de ello se tiene evidencia para afirmar que no existe relación entre las variables altura de la planta y concentración inicial del suelo.

Tabla 8

Correlación entre la raíz y la concentración inicial del Cr

			Raíz	Concentración inicial
Rho de Spearman	Raíz	Coeficiente de correlación	1.000	-0.400
		Sig. (bilateral)		0.600
		N	4	4
	Concentración inicial	Coeficiente de correlación	-0.400	1.000
		Sig. (bilateral)	0.600	
		N	4	4

En la tabla 8, se tiene que el valor de significancia es 0,600 mayor a 0,05 con lo cual se acepta la hipótesis nula, que nos dice la fitorremediación con *Helianthus annuus* no es eficiente para la reducción de metales pesados en suelos contaminados producto de la actividad minera, a partir de ello se tiene evidencia para afirmar que no existe relación entre las variables raíz de la planta y concentración inicial del suelo.

Tabla 9

Correlación entre el tallo y la concentración inicial del Cr

			Tallo	Concentración inicial
Rho de Spearman	Tallo	Coefficiente de correlación	1.000	-0.200
		Sig. (bilateral)		0.800
		N	4	4
	Concentración inicial	Coefficiente de correlación	-0.200	1.000
		Sig. (bilateral)	0.800	
		N	4	4

En la tabla 9, se tiene que el valor de significancia es 0,800 mayor a 0,05 con lo cual se acepta la hipótesis nula, que nos dice la fitorremediación con *Helianthus annuus* no es eficiente para la reducción de metales pesados en suelos contaminados producto de la actividad minera, a partir de ello se tiene evidencia para afirmar que no existe relación entre las variables tallo de la planta y concentración inicial del suelo.

Tabla 10

Correlación entre el número de hojas y la concentración inicial del Cr

			Nº de Hojas	Concentración inicial
Rho de Spearman	Nº de Hojas	Coefficiente de correlación	1.000	-0.316
		Sig. (bilateral)		0.684
		N	4	4
	Concentración inicial	Coefficiente de correlación	-0.316	1.000
		Sig. (bilateral)	0.684	
		N	4	4

En la tabla 10, se tiene que el valor de significancia es 0,684 mayor a 0,05 con lo cual se acepta la hipótesis nula, que nos dice la fitorremediación con *Helianthus annuus* no es eficiente para la reducción de metales pesados en suelos contaminados producto de la

actividad minera, a partir de ello se tiene evidencia para afirmar que no existe relación entre las variables número de hojas de la planta y concentración inicial del suelo.

Tabla 11

Correlación entre la altura de la planta y la concentración inicial del Pb

			Altura	Concentración inicial
Rho de Spearman	Altura	Coeficiente de correlación	1.000	0.335
		Sig. (bilateral)		0.263
		N	13	13
	Concentración inicial	Coeficiente de correlación	0.335	1.000
		Sig. (bilateral)	0.263	
		N	13	13

En la tabla 11, se tiene que el valor de significancia es 0,263 mayor a 0,05 con lo cual se acepta la hipótesis nula, que nos dice la fitorremediación con *Helianthus annuus* no es eficiente para la reducción de metales pesados en suelos contaminados producto de la actividad minera, a partir de ello se tiene evidencia para afirmar que no existe relación entre las variables altura de la planta y concentración inicial del suelo.

Tabla 12

Correlación entre la raíz y la concentración inicial del Pb

			Raíz	Concentración inicial
--	--	--	-------------	------------------------------

Rho de Spearman	Raíz	Coefficiente de correlación	1.000	0.042
		Sig. (bilateral)		0.915
		N	9	9
	Concentración inicial	Coefficiente de correlación	0.042	1.000
		Sig. (bilateral)	0.915	
		N	9	9

En la tabla 12, se tiene que el valor de significancia es 0,915 mayor a 0,05 con lo cual se acepta la hipótesis nula, que nos dice la fitorremediación con *Helianthus annuus* no es eficiente para la reducción de metales pesados en suelos contaminados producto de la actividad minera, a partir de ello se tiene evidencia para afirmar que no existe relación entre las variables raíz de la planta y concentración inicial del suelo.

Tabla 13

Correlación entre el tallo y la concentración inicial del Pb

			Tallo	Concentración inicial
Rho de Spearman	Tallo	Coefficiente de correlación	1.000	0.427
		Sig. (bilateral)		0.166
		N	12	12
	Concentración inicial	Coefficiente de correlación	0.427	1.000
		Sig. (bilateral)	0.166	
		N	12	12

En la tabla 13, se tiene que el valor de significancia es 0,166 mayor a 0,05 con lo cual se acepta la hipótesis nula, que nos dice la fitorremediación con *Helianthus annuus* no es eficiente para la reducción de metales pesados en suelos contaminados producto de la actividad minera, a partir de ello se tiene evidencia para afirmar que no existe relación entre las variables tallo de la planta y concentración inicial del suelo.

Tabla 14

Correlación entre el número de hojas y la concentración inicial del Pb

		Nº de Hojas	Concentración inicial
Rho de Spearman	Nº de Hojas	Coefficiente de correlación	1.000
		Sig. (bilateral)	0.733
		N	12
	Concentración inicial	Coefficiente de correlación	0.110
		Sig. (bilateral)	0.733
		N	12

En la tabla 14, se tiene que el valor de significancia es 0,733 mayor a 0,05 con lo cual se acepta la hipótesis nula, que nos dice la fitorremediación con *Helianthus annuus* no es eficiente para la reducción de metales pesados en suelos contaminados producto de la actividad minera, a partir de ello se tiene evidencia para afirmar que no existe relación entre las variables número de hojas de la planta y concentración inicial del suelo.

Asimismo, también se graficó el porcentaje de eficiencia por estudios para cada uno de los elementos; para ello se utilizó la fórmula de Harrington Emerson (1912):

$$E(\%) = \left(\frac{Ci - Cf}{Ci} \right) \times 100$$

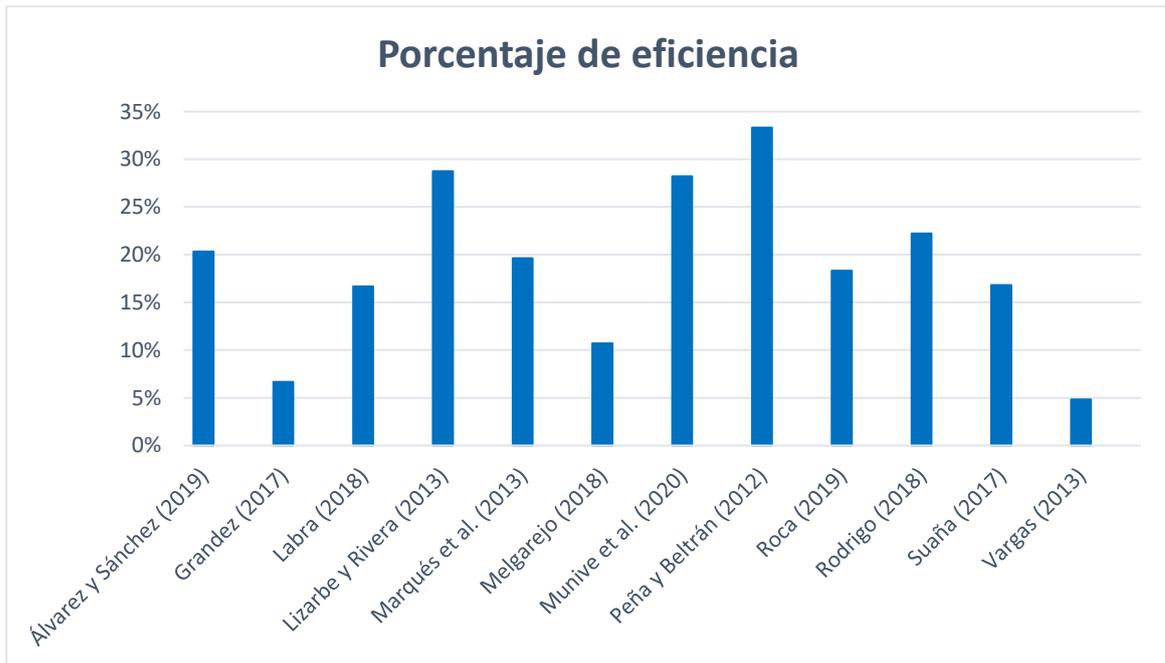
Donde:

Ci = Concentración inicial

Cf = Concentración final

Figura 6

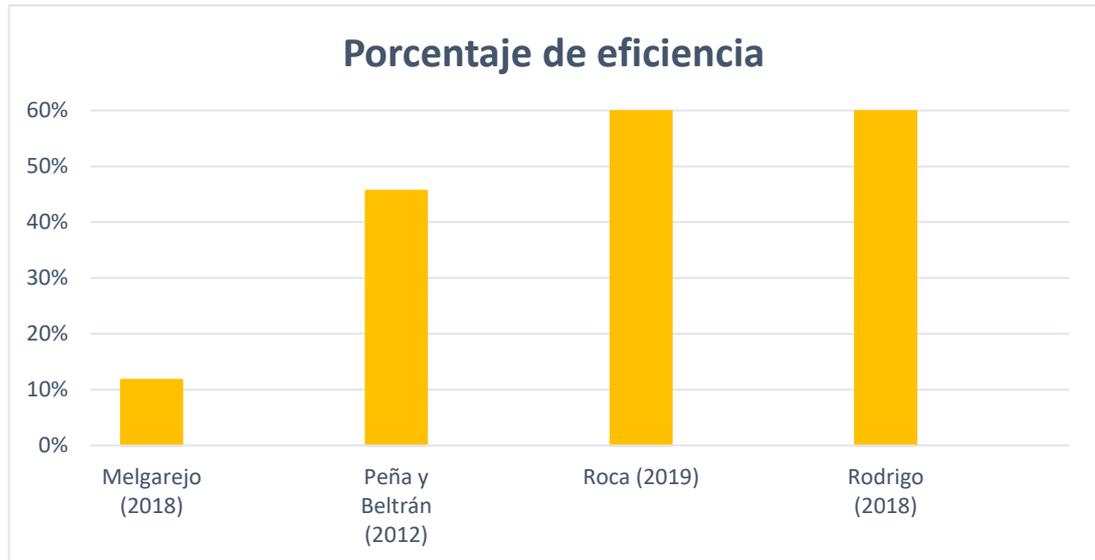
Porcentaje de eficiencia para cadmio



En la figura 6, podemos observar el porcentaje de eficiencia para el cadmio basándose en las investigaciones halladas, lo cual nos dice que el mayor porcentaje se encuentra en la investigación de (Peña y Beltrán, 2012) obteniendo 33% de eficiencia. Por otro lado (Vargas, 2013) obtiene 5% siendo el menor porcentaje de eficiencia a comparación de otras investigaciones.

Figura 7

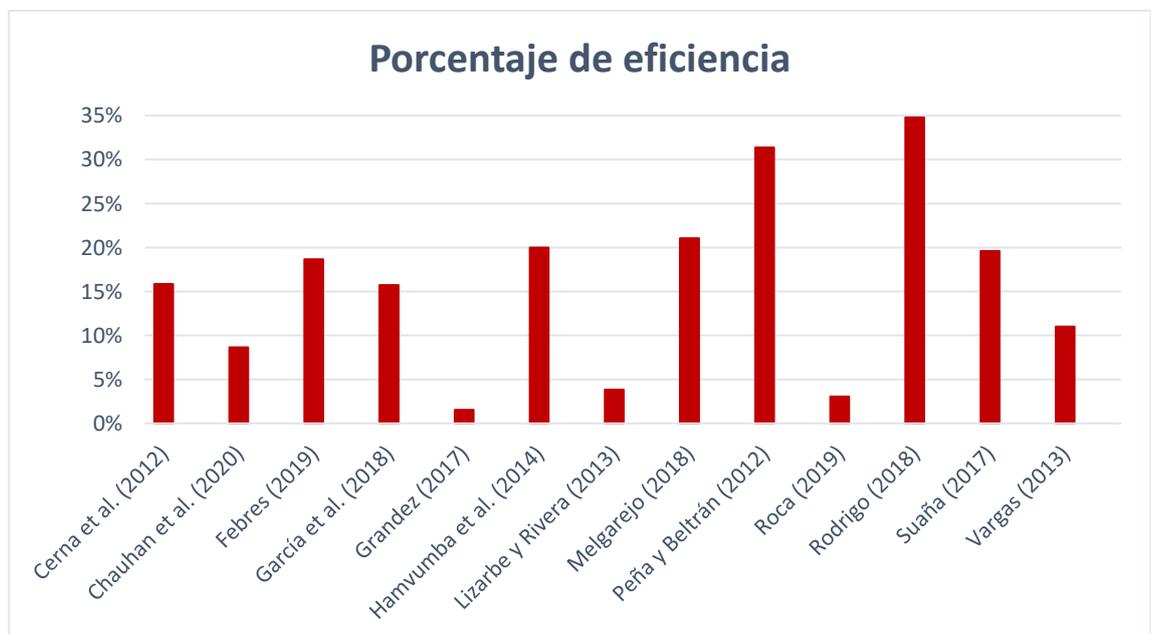
Porcentaje de eficiencia para cromo



En la figura 7, podemos observar el porcentaje de eficiencia para el cromo, lo cual nos dice que el mayor porcentaje se encuentra en las investigaciones de (Roca, 2019) y (Rodrigo, 2018) obteniendo 60% de eficiencia. Distinto a ello (Melgarejo, 2018) obtiene 12% siendo el menor porcentaje de eficiencia a comparación de otras investigaciones.

Figura 8

Porcentaje de eficiencia para plomo



En la figura 8, podemos observar el porcentaje de eficiencia para el plomo, lo cual nos dice que el mayor porcentaje se encuentra en la investigación de (Rodrigo, 2018) obteniendo 35% de eficiencia. Distinto a ello (Grandez, 2017) obtiene 2% siendo el menor porcentaje de eficiencia a comparación de otras investigaciones.

Tabla 15

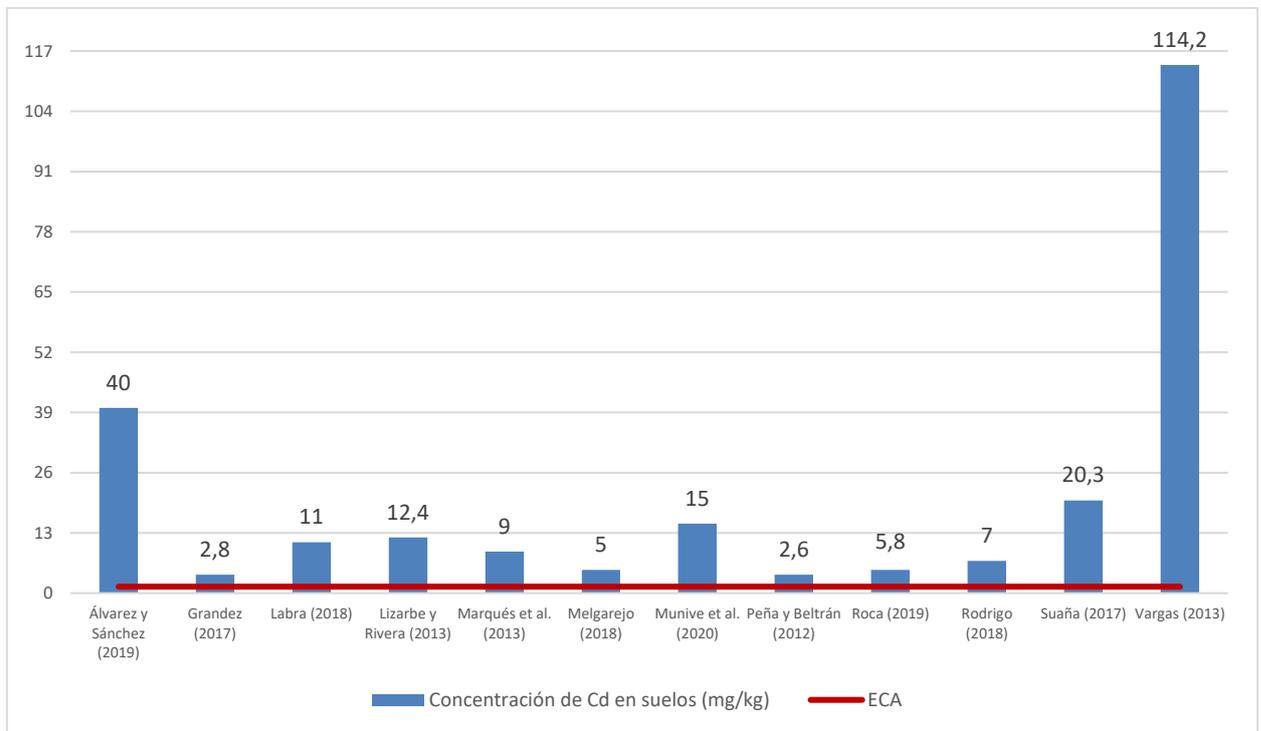
Comparación de concentraciones del Cd en suelos con los ECA por autores

Autor y año	Concentración final de Cd en suelos (mg/kg)	ECA (mg/kg)
Álvarez y Sánchez (2019)	40	1,4
Grandez (2017)	2,8	1,4
Labra (2018)	11	1,4
Lizarbe y Rivera (2013)	12,4	1,4
Marqués et al. (2013)	9	1,4
Melgarejo (2018)	5	1,4
Munive et al. (2020)	15	1,4
Peña y Beltrán (2012)	2,6	1,4
Roca (2019)	5,8	1,4
Rodrigo (2018)	7	1,4
Suaña (2017)	20,3	1,4
Vargas (2013)	114,2	1,4

Los resultados de los análisis de diferentes estudios son comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos agrícolas como se muestran en la tabla 15, que fueron aprobados mediante el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Los cuales ayudan a conocer la concentración de metales pesados presente en los suelos y verificar si el Cd sobrepasa lo permitido después del proceso de fitorremediación.

Figura 9.

Comparación de concentraciones del Cd con los ECA en suelos por autores



En la figura 9, se compara los resultados de la concentración final del suelo para Cd basándonos en los estudios hallados. Donde el Cd sobrepasa en los 12 documentos comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para suelos agrícolas, siendo el valor de (Vargas, 2013) el más alto con 114,2 mg/kg de Cd superando el límite de 1,4 mg/kg para suelos agrícolas, dado que queremos que el suelo sea para algo productivo; por otro lado, en la investigación de (Peña y Beltrán, 2012) tiene la menor concentración de 2,6 mg/kg Cd, pero supera 1,4 mg/kg para suelos agrícolas siendo el valor admitido para este metal.

Tabla 16

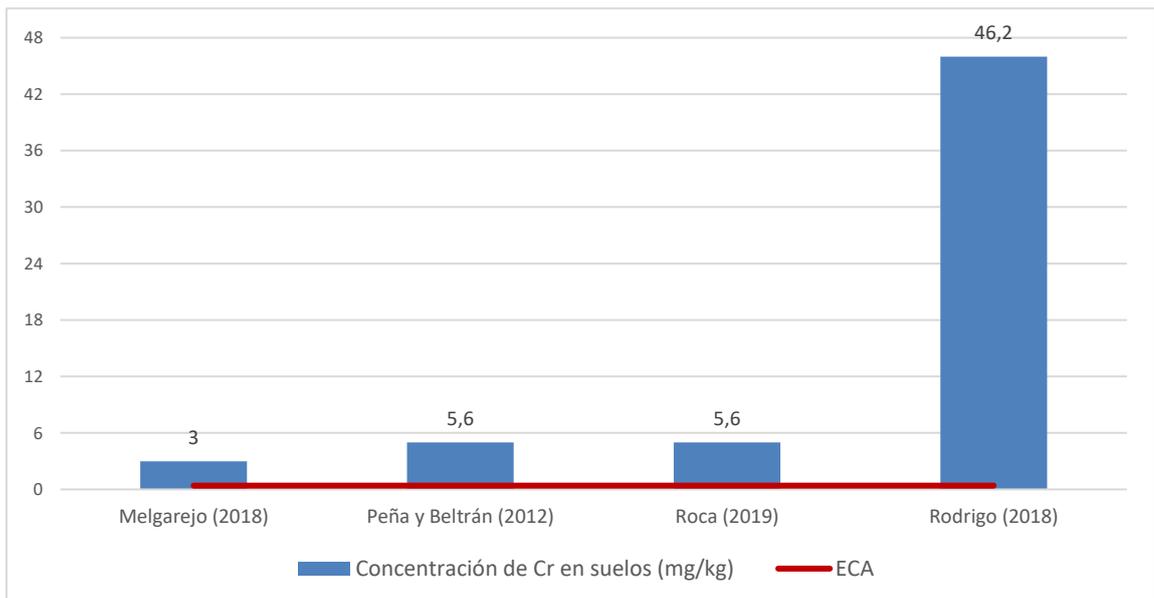
Comparación de concentraciones del Cr en suelos con los ECA por autores

Autor y año	Concentración final de Cr en suelos (mg/kg)	ECA (mg/kg)
Melgarejo (2018)	3	0,4
Peña y Beltrán (2012)	5,6	0,4
Roca (2019)	5,6	0,4
Rodrigo (2018)	46,2	0,4

Los resultados de los diferentes estudios son comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos agrícolas como se muestran en la tabla 16, el cual nos ayuda a verificar si el Cr sobrepasa lo permitido.

Figura 10

Comparación de concentraciones del Cr con los ECA en suelos por autores



En la figura 10, se compara de las investigaciones encontradas los resultados de la concentración final del suelo para Cr. Donde el Cr excedió el límite admitido para Estándares de Calidad Ambiental en suelos agrícolas, siendo el valor de (Rodrigo, 2018) el más alto con 46,2 mg/kg de Cr; por otro lado, en la investigación de (Melgarejo, 2018) tiene la menor

concentración de 3 mg/kg Cr superando 0,4 mg/kg Cr para suelos agrícolas, siendo este el valor admitido para el metal.

Tabla 17

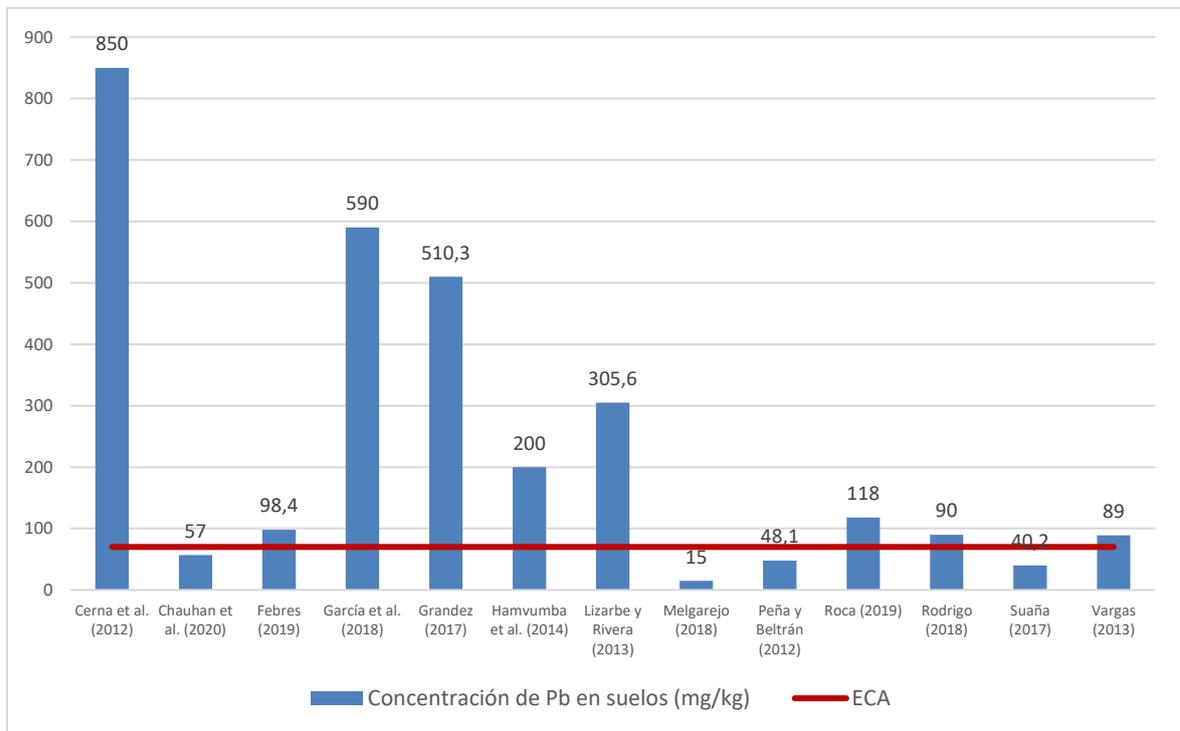
Comparación de concentraciones del Pb en suelos con los ECA por autores

Autor y año	Concentración final de Pb en suelos (mg/kg)	ECA (mg/kg)
Cerna et al. (2012)	850	70
Chauhan et al. (2020)	57	70
Febres (2019)	98,4	70
García et al. (2018)	590	70
Grandez (2017)	510,3	70
Hamvumba et al. (2014)	200	70
Lizarbe y Rivera (2013)	305,6	70
Melgarejo (2018)	15	70
Peña y Beltrán (2012)	48,1	70
Roca (2019)	118	70
Rodrigo (2018)	90	70
Suaña (2017)	40,2	70
Vargas (2013)	89	70

Los resultados de los diferentes estudios son comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos agrícolas como se muestran en la tabla 17, el cual nos ayuda a verificar si el Pb sobrepasa lo permitido.

Figura 11

Comparación de concentraciones del Pb con los ECA en suelos por autores



En la figura 11, se compara de las investigaciones halladas, los resultados de la concentración final del suelo para Pb. Donde el Pb superó el límite admitido para ECA en suelos agrícolas en 9 documentos, siendo el valor de (Cerna et al., 2012) el más alto con 850 mg/kg Pb excediéndose el límite dado de 70 mg/kg para suelos agrícolas; por otro lado (Vargas, 2013) tienen la menor concentración de 89 mg/kg Pb, pero supera 70 mg/kg para suelos agrícolas siendo el valor admitido para este metal. En las investigaciones que no excedieron el límite de 70 mg/kg Pb para suelos agrícolas es de (Chauhan et al. 2020), (Peña y Beltrán, 2012), (Suaña, 2017) y (Melgarejo, 2018) obteniendo la menor concentración final de 15 mg/kg Pb en el suelo.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

Las características morfológicas del *Helianthus annuus* por autores se analiza a los 30 días después del proceso de fitorremediación, la planta con mayor tamaño de altura, tallo y número de hojas es de la investigación de Lizarbe y Rivera (2013) el cual contiene 21cm, 17cm y 5 hojas; puesto que tuvieron una buena radiación solar para que influya en el crecimiento y desarrollo del girasol, utilizaron un tratamiento del 75% de relave minero, adicionándole 25% de acondicionador (humus, musgo, arena y aserrín) y realizaron una siembra directa, mientras que Cristóbal et al. (2016), nos dice que la siembra directa es una alternativa viable y los índices de crecimiento son más altos en la siembra directa obteniéndose mayor crecimiento en la planta y en el trasplante podrían sufrir un shock. Sin embargo, Suaña (2017) obtuvo el menor tamaño dando 6 cm de altura, 4 cm de tallo y 2 hojas, esto se debe al mal manejo del drenaje que se le estuvo aplicando, porque su tratamiento estuvo a elevadas temperaturas de invernadero y fue por el método de trasplante. Así lo confirma Chicaiza (2017) que durante la época de crecimiento y formación el girasol consume importantes cantidades de agua para evitar el estrés hídrico que se puede generar.

En relación al porcentaje de eficiencia de todos los estudios por cada metal, se obtuvo que Peña y Beltrán (2012) tienen el mayor valor de eficiencia para el Cd de 33%, este suelo no tuvo agregados, pero si usaron semillas híbridas cuya variedad es el jaspeado, se regó las primeras semanas y ya no se volvió a regar porque se entró a una temporada de lluvias, se deshierbo las malezas y el aporque; mientras que Vargas (2013) tiene el menor valor de 5%, a este suelo se le agregó agrolita 1:1 y se esterilizó con vapor en autoclave por 3 horas para eliminar los patógenos, las semillas se limpiaron con hipoclorito de sodio al 10% por 10

minutos y se lavó con agua destilada estéril 3 veces para eliminar los microorganismos y se adicionó 10 mg. de *Rhizophagus intraradices*. Para Cr el mayor valor de eficiencia fue de Roca (2019) quien utilizó compost, suelo sin contaminar y Rodrigo (2018) utilizó guano de isla, suelo agrícola en enmiendas, ambos obtuvieron 60%; mientras que Melgarejo (2018) tiene el menor valor de 12%, las semillas se compraron en el mercado, en el regadío se añadió los microorganismos eficientes los cuales se activó en 18 litros de agua + 1 litro de microorganismos eficientes + 1 litro de melaza, se fermento por 7 días bajo sombra y se regó una vez por semana. Para el Pb se obtuvo 35% de eficiencia siendo este el mayor valor de Rodrigo (2018) utilizó guano de isla, suelo agrícola en enmiendas; mientras que Grandez (2017) tiene el menor valor de 2%, se utilizó enmiendas orgánicas a base de compost y humus.

No existe correlación en ninguna de las variables, ya sean las características morfológicas de la planta y la concentración inicial de los elementos pesados, en todas las tablas se tiene que el valor de significancia es mayor a 0,05 con lo cual se acepta la hipótesis nula, que nos dice la fitorremediación con *Helianthus annuus* no es eficiente para la reducción de metales pesados en suelos contaminados producto de la actividad minera, a partir de ello se tiene evidencia para afirmar que no existe relación entre las variables.

Comparando la concentración final del Cd, Cr y Pb con los Estándares de Calidad Ambiental para suelos agrícolas, teniendo como base las investigaciones se obtuvo que el Cd sobrepaso en 12 documentos estudiados siendo el valor de Vargas (2013) el más alto con 114,2 mg/kg y el valor de Peña y Beltrán (2012) el más bajo con 2,6 mg/kg, así superando el límite de 1,4 mg/kg para suelos agrícolas, dado que queremos que el suelo sea para algo productivo. En los 4 documentos el Cr excedió el límite admitido de 0,4 mg/kg, siendo el valor de Rodrigo (2018) el más alto con 46,2 mg/kg y el menor valor de Melgarejo (2018)

con 3 mg/kg. Finalmente, para el Pb se estudió 13 documentos, de los cuales 9 excedieron el límite de 70 mg/kg para suelos agrícolas, siendo el valor de Cerna et al. (2012) el más alto con 850 mg/kg y el menor valor de Vargas (2013) con 89 mg/kg. De los 4 documentos restantes que no excedieron el límite para Pb, el mayor valor lo obtuvo Chauhan et al. (2020) con 57 mg/kg y 15 mg/kg es el menor valor de Melgarejo (2018) que no superó el estándar de calidad ambiental para los suelos.

Conclusiones

El *Helianthus annuus* no es efectivo para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados, ya que no logra recuperar el 100% del suelo, aunque existen diversos estudios realizados que demuestran que la planta funciona como organismo fitorremediador y tiene la capacidad de absorber y acumular los metales en sus tallos, raíces, hojas reduciendo la concentración en los suelos contaminados.

Según las investigaciones el mayor valor de altura, raíz, tallo y número de hojas del *Helianthus annuus* fue de 21cm, 4,3cm, 17cm, 5 hojas y el menor valor fue de 6cm de altura, 2,7 cm de raíz, 4cm de tallo y 2 hojas, por lo tanto, a mayor crecimiento de la planta realizará una mayor absorción de metales, siempre y cuando el suelo tenga agregados que le ayuden, las semillas del girasol sean híbridas y estén en buenas condiciones climáticas.

Según las investigaciones el mayor porcentaje de eficiencia para el Cd fue de 33% y el menor fue de 5%, para el Cr el mayor valor fue de 60% y el menor de 12%, para el Pb se obtuvo 35% de eficiencia siendo este el mayor valor y 2% fue el menor valor de eficiencia.

Los resultados obtenidos de los estudios sobrepasaron los Estándares de Calidad Ambiental para suelos agrícolas, siendo el límite de 1,4 mg/kg para Cd, el mayor valor fue 114,2 mg/kg y el menor de 2,6 mg/kg; el límite para Cr es de 0,4 mg/kg, el mayor valor fue

de 46,2 mg/kg y el menor valor de 3 mg/kg, el límite para Pb es de 70 mg/kg, siendo el mayor valor de 850 mg/kg y el menor valor de 89 mg/kg, excediéndose los estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas. A excepción de 4 documentos que no sobrepasaron los límites para el Pb, siendo el mayor valor de 57 mg/kg y el menor de 15 mg/kg.

Limitaciones

La principal limitación que afrontó la presente investigación fue la falta de información en los estudios encontrados y esto ocasiona un poco de dificultad para procesar los resultados, los trabajos se han desarrollado en diferentes condiciones climáticas. Además, la técnica usada es lenta, el proceso consume tiempo, pero si se logró obtener buenos resultados, sin embargo, en varios estudios no logra recuperar el suelo al 100% simplemente baja la concentración del elemento pesado en el suelo.

REFERENCIAS

- Alaboudi, K., Berhan, A. y Brodie, G. (2018). Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower *Helianthus annuus* plant. *Annals of Agricultural Sciences*, 63(1), 123-127.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0570178318300174?via%3Diub>
- Alarcón, M., Cedillo, M., Gutiérrez, L., Melgoza, A., Ortega, J. y Prado, D. (2011). Germinación del girasol silvestre *Helianthus annuus* L. en presencia de diferentes concentraciones de metales. *Revista Latinoam Biotecnol Amb Algal*, 2(1), 49-56.
https://www.researchgate.net/profile/Maria-Alarcon-Herrera/publication/267298061_Germinacion_del_girasol_silvestre_Helianthus_annuus_L_en_presencia_de_diferentes_concentraciones_de_metales/links/55988edd08ae21086d23703c/Germinacion-del-girasol-silvestre-Helianthus-annuus-L-en-presencia-de-diferentes-concentraciones-de-metales.pdf
- Álvarez, I. y Sánchez, R. (2019). Prueba piloto para la fitoextracción de cadmio usando *Helianthus annuus* en un suelo proveniente de la vereda El Zaden – Mesitas del Colegio. [Tesis de Pregrado, Universidad de la Salle].
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2157&context=ing_ambiental_sanitaria
- Anónimo (24 de julio del 2017). Pasivos Ambientales. *Blog de la Defensoría del Pueblo*.
Recuperado de: <https://www.defensoria.gob.pe/blog/pasivos-ambientales/>
- Arce, S. y Calderón, M. (2015). Suelos contaminados con plomo en la Ciudad de La Oroya Junín y su impacto en las aguas del Río Mantaro. *Revista del Instituto de*

Investigación, 20 (4). <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/RFIGMMG-40-48.pdf>

Aurazo, J. (2 de enero del 2017). Minería ilegal en La Libertad: los estragos de El Toro. *El Comercio*. Recuperado de: <https://elcomercio.pe/peru/la-libertad/mineria-ilegal-libertad-estragos-toro-156768-noticia/>

Avelino, C. (2013). Eficacia de la fitoextracción para la remediación de suelos contaminados en Villa de Pasco. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio UNAC.
<http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/459/T.M.378.A91.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Barcos, M., Moina, E., Naranjo, J. y Oviedo, R. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera. *Researchs/Investigación*.
<https://www.revistabionatura.com/files/2017.02.04.5.pdf>

Bellido, J. (2018). Niveles de metales pesados en los suelos contaminado por minerías. [Tesis de Pregrado, Universidad Federico Villareal]. Repositorio.
<http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/2251/BELLIDO%20VICENTE%20JESUS%20VIDAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bravo, C., Gil, V., Sherpa, S. y Van, A. (2012). Lead exposure from soil in Peruvian mining towns: a national assessment supported by two contrasting examples. *Research*.
<https://www.who.int/bulletin/volumes/90/12/12-106419.pdf>

Cabrera, A. (2015). Evaluación de diferentes niveles de vermicompost en el desarrollo de girasol ornamental en maceta (*Helianthus annuus L.*). [Tesis de Pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna]. Repositorio

UAAAN.

<http://repositorio.uaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2290/Tesis%20Girasol.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Campos, A., Lebgue, T., Puga, S., Quintana, C. y Sosa, M. (2016). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5(1-2).

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162006000100020

Cándido, E. (2013). Evaluación del potencial fitorremediador de *Phaseolus vulgaris*, *Triticum vulgare* y *Helianthus Annuus* para metales pesados en un cultivo hidropónico a nivel de invernadero. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2013/abril/0691308/0691308.pdf>

Cerna, L., Chico, J., Guerrero, M. y Rodríguez, 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).

https://www.researchgate.net/profile/Julio-Chico/publication/327212302_Remedial_capacity_of_sunflower_root_when_submitted_to_different_concentrations_of_lead/links/5b806493a6fdcc5f8b647d80/Remedial-capacity-of-sunflower-root-when-submitted-to-different-concentrations-of-lead.pdf

Chauhan, J., Moreno, J. y Ruiz, S. (2020). Characterization and function of a sunflower (*Helianthus annuus L.*) Class II acyl-CoA-binding protein. *Revista Pubmed*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33180709/>

Chicaiza, R. (2017). Duración de las etapas fenológicas y caracterización morfológica de tres accesiones de girasol (*Helianthus Annuus l.*) en el sector Querochaca, Cantón Cevallos, Provincia de Tungurahua. [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio UTA.

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26342/1/Tesis-168%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20510.pdf>

Cristóbal, D., Hernández, E., Juárez, Y., Robledo, E. y Díaz, P. (2016). Acumulación de metales pesados en *Helianthus annuus* desarrollado en residuos de mina. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1.

file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Acumulacion_de_metales_pesados_en_Heliant_hus_annuu%20.pdf

Cruz, M. (2015). Fechas de siembra sobre la producción de forraje de girasol (*Helianthus Annuus l.*) en el Cip Illpa – Puno. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio UNAP.

http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3793/Cruz_Huaranca_Mario.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Environmental Protection Agency (1996). Soil Screening Guidance. Technical Background Document. USEPA Rep. 540/R-95/128. 560p.

Febres, S. (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. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio UNSA.

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/12074/IAfelflse.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Gallardo, S. (2019). Propuesta de Fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados mediante la utilización de *Helianthus annuus* L. en Camilo Ponce Enríquez, Azuay, Ecuador. [Tesis de Pregrado, Universidad Agraria del Ecuador].

<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/GALLARDO%20QUINTEROS%20AHOMED%20SANTIAGO.pdf>

García, C., Villada, L. y Robayo, J. (2018). Evaluación de la adaptación de *Helianthus annuus* en asocio con hongos micorrízicos en suelos contaminados con plomo.

Cuaderno Activa, 10(1), 93-111.

<https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/497/668>

Gómez, C. (2012). Evaluación de escenarios alternativos en sistemas social ecológicos afectados por la minería aluvial en madre de dios. [Tesis de Postgrado, Universidad

Nacional Agraria La Molina]. [http://mddconsortium.org/wp-](http://mddconsortium.org/wp-content/uploads/2014/11/Gomez-Agurto-2012-Evaluation-de-escenarios-alternativos-en-sistemas-social-ecologicals-afectados-por-la-mineria-en-MDD.pdf)

[content/uploads/2014/11/Gomez-Agurto-2012-Evaluation-de-escenarios-alternativos-en-sistemas-social-ecologicals-afectados-por-la-mineria-en-MDD.pdf](http://mddconsortium.org/wp-content/uploads/2014/11/Gomez-Agurto-2012-Evaluation-de-escenarios-alternativos-en-sistemas-social-ecologicals-afectados-por-la-mineria-en-MDD.pdf)

Granados, D., Hernández, M., Ruíz, P. y Vázquez, A. (2012). Los procesos de desertificación y las regiones áridas. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(1).

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182013000100005

Grandez, A. (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. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio de
la UCV.

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/3537/Grandez_AMG
A.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/3537/Grandez_AMG_A.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Hamvumba, R., Mataa, M., y Mweetw, A. (2014). Evaluation of Sunflower (*Helianthus annuus L.*), Sorghum (*Sorghum bicolor L.*) and Chinese Cabbage (*Brassica chinensis*) for Phytoremediation of Lead Contaminated Soils. *Environment and Pollution*, 3 (2).

[https://www.researchgate.net/publication/264933618_Evaluation_of_Sunflower_H
elianthus_annuus_L_Sorghum_Sorghum_bicolor_L_and_Chinese_Cabbage_Brassi
ca_chinensis_for_Phytoremediation_of_Lead_Contaminated_Soils](https://www.researchgate.net/publication/264933618_Evaluation_of_Sunflower_Helianthus_annuus_L_Sorghum_Sorghum_bicolor_L_and_Chinese_Cabbage_Brassica_chinensis_for_Phytoremediation_of_Lead_Contaminated_Soils)

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). Metodología de la Investigación. 76(2).
[https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/me
todologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf](https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf)

Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas
cuantitativa, cualitativa y mixta. <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>

Hurtado, J. (2007). Metodología de la Investigación.
[https://dariososafoula.files.wordpress.com/2017/01/hurtado-de-barrera-
metodologicc81a-de-la-investigaciocc81n-guicc81a-para-la-comprensiocc81n-
holicc81stica-de-la-ciencia.pdf](https://dariososafoula.files.wordpress.com/2017/01/hurtado-de-barrera-metodologicc81a-de-la-investigaciocc81n-guicc81a-para-la-comprensiocc81n-holicc81stica-de-la-ciencia.pdf)

Instituto de Políticas Públicas en Salud (2 de diciembre del 2013). *11.300 muertes por contaminación se producen en Chile cada año*. <http://www.ipsuss.cl/ipsuss/analisis->

y-estudios/11-300-muertes-por-contaminacion-se-producen-en-chile-cada-ano/2016-03-22/151633.html

Jaramillo, M. y Flores, E. (2012). Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemma Minor* y *Eichornia crassipes* en suelos contaminados producto de la actividad minera. [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/UPS-CT002482.pdf>

Labra, S. (2018). Fitoextracción con *Helianthus annuus* L. (girasol) para la reducción de cadmio en suelos contaminados, a nivel laboratorio. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/24613/Labra%2c%20HS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lizarbe, K. y Rivera, Y. (2013). Optimización del crecimiento de *Helianthus Annuus* (girasol) para la fitoextracción de plomo, zinc y cadmio de relaves minero artesanal del caserío de Zarumilla, Patate. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio de la UNT.
https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3201/LizarbeAsmat_K%20-%20RiveraLopez_Y.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Marqués, A., Moreira, H., Rangel, A. y Franco, A. (2013). Inoculating *Helianthus annuus* (sunflower) grown in zinc and cadmium contaminated soils with plant growth promoting bacteria – Effects on phytoremediation strategies. *Chemosphere*, 92 (2).
<https://sci-hub.se/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653513003639>

- Martínez, L. (2018). Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la
relavera el Madrigal-Arequipa y propuesta de fitorremediación. [Tesis de Maestría,
Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio UNSA.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7789/CNDmamala2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Melgarejo, M. (2018). Efecto de los microorganismos eficientes en la actividad
fitoextractora de *Helianthus annuus l.* en suelos contaminados con metales pesados
por minería en Samne. [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio
UCV.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25058/melgarejo_cm.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ministerio de Agricultura y Riego (6 de enero del 2016). *Reducción de la degradación de
los suelos agrarios*. [https://www.midagri.gob.pe/portal/download/programas-
presupuestales/inf-programa/anexo2-pp89-2017.pdf](https://www.midagri.gob.pe/portal/download/programas-presupuestales/inf-programa/anexo2-pp89-2017.pdf)
- Ministerio de Energía y Minas. (15 de julio del 2018). *Remediación de pasivos ambientales
mineros*.
<http://www.minem.gob.pe/detallenoticia.php?idSector=4&idTitular=8564>
- Ministerio del Ambiente (2017). DS. N° 012-2017-MINAM.
<file:///C:/Users/Usuario/Downloads/011-2017-minam%20.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (05 de mayo del 2015).
Problemática ambiental y contaminantes. [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-
evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-
amb/metales_pesados.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/metales_pesados.aspx)

- Munive, C., Gamarra, G., Puertas, F., Valdiviezo, L., y Cabello, R. (2020). Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2).
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172020000200177&script=sci_arttext
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta.
<https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (14 de julio del 2016). *Calidad del aire*.
<https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
- Papuico, K. (2018). Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta yaluzai (*senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del Distrito de Simón Bolívar de Rancas. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio UNDAC.
<http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/457/1/TESIS%20KARITO.pdf>
- Paredes, S. (2014). Comportamiento del girasol. *Dspace*, 3(1).
<http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/628/T-UTB-FACIAG-AGR-000103.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peña, R. y Beltrán, M. (2017). Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando *Helianthus Annuus L.* en la Estación Experimental el Mantaro. *Prospectiva Universitaria*, 2(2).
<https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/34/32>

- Quispe, R. (2017). Evaluación de la concentración de metales pesados (cromo, cadmio y plomo) en los sedimentos superficiales en el Río Coata. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano – Puno].
file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Quispe_Yana_Raul_Fernando.pdf
- Roca, P. (2019). Fenología del girasol (*Helianthus annuus*) cultivado en suelos contaminados con metales pesados de la ex minera Santa Rosa de Cata – Coayllo – Cañete. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur].
Repositorio UNTELS.
http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/151/1/Roca_Peter_Trabajo_Suficiencia_2019.pdf
- Rodrigo, D. (2018). Capacidad fitorremediadora de la especie *Helianthus annuus* mediante la incorporación de enmiendas a suelos contaminados por metales pesados (Plomo, Cromo) de Industrias Metalmeccánicas. [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Unión].
https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1297/Damaris_Tesis_Titulo_2018%20.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Suaña, M. (2017). Capacidad del girasol (*Helianthus annuus L.*) para absorber cadmio de suelos contaminados en ambiente controlado-Puno. [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional del Altiplano].
Repositorio UNAP.
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/6779/Maria_Elena_Sua%C3%B1a_Quispe.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vargas, G. (2013). Influencia de las micorrizas arbusculares en la fitoextracción con girasol en suelos contaminados por Pb y Cd. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional

Autónoma de México]. [https://www.zaragoza.unam.mx/wp-
content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_vargas_munoz.pdf](https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_vargas_munoz.pdf)

ANEXOS

ANEXO 1: Ficha de recojo de datos de *Helianthus annuus* basándose en las investigaciones

Número de documentos	Características morfológicas			
	Tamaño de la planta (cm)	Tamaño de la raíz (cm)	Tamaño del tallo (cm)	Número de hojas (unidad)
D1				
D2				
D3				
D5				
D6				
D7				
:				
:				
D17				

ANEXO 2: Ficha de recojo de datos de la concentración inicial y final del suelo contaminado

Número de documentos	Cd mg/kg		Cr mg/kg		Pb mg/kg	
	Concentración inicial	Concentración final	Concentración inicial	Concentración final	Concentración inicial	Concentración final
D1						
D2						
D3						
D4						
D5						
D6						
D7						
:						
:						
D17						

ANEXO 3: Estándares de Calidad Ambiental

Parámetros en mg/kg PS	Usos del Suelo			Métodos de Ensayo
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/Parques	Suelo Comercial/Industrial/Extractivo	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Aromáticos Volátiles				
Benceno	0.03	0.03	0.03	EPA 8260 EPA 8021
Tolueno	0.37	0.37	37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0.082	0.082	0.082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos Poliaromáticos				
Naftaleno	0.1	0.6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0.1	0.7	0.7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fracción de hidrocarburos F1(C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados – PCB	0.5	1.3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0.1	0.2	0.5	EPA 8260
Tricloroetileno	0.01	0.01	0.01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total	750	500	2000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1.4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	***	400	1000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0.4	0.4	1.4	EPA 3060/EPA 7199 ó DIN EN 15192
Mercurio	6.6	6.6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro libre	0.9	0.9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F ó ASTM

ANEXO 4: Normalidad de la altura de la planta y la concentración inicial del Cd

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Altura	0.150	12	,200*	0.956	12	0.720
Concentración inicial	0.326	12	0.001	0.633	12	0.000

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

ANEXO 5: Normalidad de la raíz y la concentración inicial del Cd

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Raíz	0.172	8	,200*	0.891	8	0.241
Concentración inicial	0.413	8	0.000	0.559	8	0.000

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

ANEXO 6: Normalidad del tallo y la concentración inicial del Cd

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tallo	0.176	11	,200*	0.894	11	0.154
Concentración inicial	0.192	11	,200*	0.804	11	0.011

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

ANEXO 7: Normalidad del número de hojas y la concentración inicial del Cd

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
N° de Hojas	0.266	11	0.029	0.877	11	0.095
Concentración inicial	0.374	11	0.000	0.538	11	0.000

a. Corrección de significación de Lilliefors

ANEXO 8: Normalidad de la altura de la planta y la concentración inicial del Cr

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Altura	0.224	4		0.952	4	0.728
Concentración inicial	0.409	4		0.707	4	0.014

a. Corrección de significación de Lilliefors

ANEXO 9: Normalidad de la raíz y la concentración inicial del Cr

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Raíz	0.259	4		0.913	4	0.498
Concentración inicial	0.409	4		0.707	4	0.014

a. Corrección de significación de Lilliefors

ANEXO 10: Normalidad del tallo y la concentración inicial del Cr

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tallo	0.280	4		0.871	4	0.302
Concentración inicial	0.409	4		0.707	4	0.014

a. Corrección de significación de Lilliefors

ANEXO 11: Normalidad del número de hojas y la concentración inicial del Cr

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
N° de Hojas	0.250	4		0.945	4	0.683
Concentración inicial	0.409	4		0.707	4	0.014

a. Corrección de significación de Lilliefors

ANEXO 12: Normalidad de la altura de la planta y la concentración inicial del Pb

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Altura	0.130	13	,200*	0.955	13	0.673
Concentración inicial	0.282	13	0.006	0.777	13	0.004

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

ANEXO 13: Normalidad de la raíz y la concentración inicial del Pb

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Raíz	0.188	9	,200*	0.871	9	0.125
Concentración inicial	0.338	9	0.004	0.749	9	0.005

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

ANEXO 14: Normalidad del tallo y la concentración inicial del Pb

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tallo	0.195	12	,200*	0.902	12	0.168
Concentración inicial	0.262	12	0.022	0.800	12	0.009

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

ANEXO 15: Normalidad del número de hojas y la concentración inicial del Pb

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
N° de Hojas	0.237	12	0.061	0.891	12	0.123
Concentración inicial	0.329	12	0.001	0.763	12	0.004

a. Corrección de significación de Lilliefors

ANEXO 16: Matriz de consistencia

TITULO: “Estudio de la efectividad del *Helianthus annuus* como remediador de metales pesados en suelos contaminados por actividades mineras, 2012 – 2022”

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿Será efectivo el <i>Helianthus annuus</i> como remediador de metales pesados en suelos contaminados por actividades mineras?	Implícita	<p>General:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estudiar la efectividad del <i>Helianthus annuus</i> como remediador de metales pesados en suelos contaminados por actividades mineras. <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Describir las características morfológicas de <i>Helianthus annuus</i> teniendo como base resultados de investigación. - Identificar el porcentaje de eficiencia de cadmio, cromo y plomo en suelos contaminados teniendo como base los resultados de investigaciones. - Comparar los resultados obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos en el D.S N°011-2017 MINAM. 	<p>Variable independiente:</p> <p>Suelos contaminados con metales pesados</p> <p>Variable dependiente:</p> <p><i>Helianthus annuus</i></p>	<p>Tipo de Investigación:</p> <p>Descriptiva</p> <p>Diseño:</p> <p>No Experimental - Transversal</p> <p>Técnica:</p> <p>Análisis documental</p> <p>Instrumentos:</p> <p>Fichas de recojo de datos</p>	<p>Población:</p> <p>Está determinada por las investigaciones conformadas por tesis que se enfoquen en la bioabsorción con <i>Helianthus annuus</i> en suelos contaminados con metales pesados a nivel mundial, de los cuales se encontraron 205 y estos se delimitaron por especie y por metal pesado quedándonos con 80 estudios.</p> <p>Muestra:</p> <p>Está conformada por el conjunto de investigaciones representativas de nuestro tema que nos favorecieron en el desarrollo de la búsqueda, se aplicaron los criterios y nos quedamos con 17 investigaciones para el análisis de la tesis.</p>

ANEXO 17: Matriz de operacionalización de variables

TITULO: "Estudio de la efectividad del <i>Helianthus annuus</i> como remediador de metales pesados en suelos contaminados por actividades mineras, 2012 – 2022"					
VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<i>Helianthus annuus</i>	Es una planta hiperacumuladora que tolera altos niveles de metales pesados, además se caracteriza por su alta biomasa y puede crecer en suelos altamente contaminados, poder extraerlos y acumularlos dentro de sus partes (Jaramillo, 2012).	En la investigación se recogerá información de la bioabsorción del <i>Helianthus annuus</i> en suelos contaminados con cadmio, cromo y plomo; mediante un análisis documental de trabajos y así poder identificar el tamaño de las características morfológicas de la planta.	Características morfológicas	Tamaño de la planta Tamaño de la raíz Tamaño del tallo Número de hojas	Nominal
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Suelos contaminados con metales pesados	Los metales son componentes naturales de la corteza terrestre, pueden actuar también como potentes tóxicos, tanto para los seres humanos como para	En la presente investigación se recogerá información de un análisis documental.	Concentración inicial y final del Cd, Cr y Pb	Cd en el suelo Cr en el suelo Pb en el suelo	Intervalo

los ecosistemas (Peña y Beltrán, 2017).

La deposición atmosférica de Cd, Cr y Pb, pueden conducir a la contaminación de suelos y cultivos que al ser consumido afectan la salud por ser un elemento tóxico (Quispe, 2017)

ANEXO 18: Matriz de instrumentos

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICA	INSTRUMENTO
VARIABLE INDEPENDIENTE	Características morfológicas	Tamaño de la planta		
<i>Helianthus annuus</i>		Tamaño de la raíz	Análisis documental	- Ficha de recojo de datos
		Tamaño del tallo		
		Número de hojas		
VARIABLE DEPENDIENTE	Concentración inicial y final del Cd, Cr y Pb	Cd en el suelo	Análisis documental	- Ficha de recojo de datos
Suelos contaminados con metales pesados		Cr en el suelo		
		Pb en el suelo		