



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LA
FITORREMEDIACIÓN UTILIZANDO *Aloe vera* y
Pelargonium zonale PARA LA RECUPERACIÓN DE
SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, CADMIO Y
ARSÉNICO”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autora:

Yuri Saldaña Vasallo

Asesor:

M. Cs. Juan Carlos Flores Cerna

<https://orcid.org/0000-0001-7638-3456>

Trujillo - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	LIANA CARDENAS GUTIERREZ	40221041
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	WILBERTO EFFIO QUEZADA	42298402
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	ELVAR RENATO MIÑANO MERA	18130961
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

ORIGINALITY REPORT

17 %	11 %	6 %	8 %
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

MATCH ALL SOURCES (ONLY SELECTED SOURCE PRINTED)

< 1%

★ **tesis.ipn.mx**
Internet Source

Exclude quotes On
Exclude bibliography On

Exclude matches < 7 words

DEDICATORIA

Quiero agradecer y dedicar este paso importante en vida a la persona más importante de ella, mi madre. Mujer fuerte y luchadora que ha dado todo por y para mi crecimiento, no has dejado que me falte nada y has permitido que llegue hasta aquí, me has apoyado y guiado por el buen camino, no habría llegado hasta este punto si no fuese por ti, te amo y nunca me alcanzara la vida para agradecer todas y cada una de las cosas que haces y que seguramente continuarás haciendo por mí.

Te quiero mamá y gracias por ser tan increíble.

AGRADECIMIENTO

A la virgen de la puerta quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy.

A mis padres Angel y María quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más. Gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Kevin Robinzon y Marvin Renzo por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
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. Formulación del problema	31
1.3. Objetivos	31
1.3.1. Objetivo General	31
1.3.2. Objetivos Específicos	31
1.4. Hipótesis	31
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	32
2.1. Tipo de investigación	32
2.2. Población y Muestra	32
2.2.1. Población	32
2.2.2. Muestra	33

2.3.	Métodos, Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	35
2.4.	Procedimiento	36
2.5.	Análisis de Datos	39
2.6.	Aspectos Éticos	40
CAPÍTULO III: RESULTADOS		41
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		56
4.1.	Discusión	56
4.2.	Limitaciones	58
4.3.	Implicancias	58
4.4.	Conclusiones	59
REFERENCIAS		60
ANEXOS		69

Índice de tablas

Tabla 1 Mecanismos de fitorremediación.....	21
Tabla 2 Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo	29
Tabla 3 Cantidad de investigaciones, de acuerdo a la base de datos	35
Tabla 4 Método, técnica e instrumento para la recolección de datos	36
Tabla 5 Investigaciones recopiladas de revistas indexadas y de acuerdo a los criterios de selección	41
Tabla 6 Concentración inicial y final de suelos contaminados con plomo (Pb) para la especie <i>Aloe vera</i>	43
Tabla 7 Concentración inicial y final de suelos contaminados con plomo (Pb) para la especie <i>Pelargonium zonale</i>	44
Tabla 8 Concentración inicial y final de suelos contaminados con cadmio (Cd) para la especie <i>Aloe vera</i>	46
Tabla 9 Concentración inicial y final de suelos contaminados con cadmio (Cd) para la especie <i>Pelargonium zonale</i>	46
Tabla 10 Concentración inicial y final de suelos contaminados con arsénico (As) para la especie <i>Aloe vera</i>	48
Tabla 11 Concentración inicial y final de suelos contaminados con arsénico (As) para la especie <i>Pelargonium zonale</i>	48

Índice de figuras

Figura 1. Planta Aloe Vera (Sábila).....	22
Figura 2. Planta Pelargonium zonale (Geranio).	23
Figura 3. Fuentes de contaminación por metales pesados.....	25
Figura 4. Criterios de selección de información.....	34
Figura 5. Flujograma del proceso de búsqueda y selección de estudios.	38
Figura 6. Diagrama de bloques para el análisis de datos.....	39
Figura 7. Concentración inicial y final de suelos contaminados con plomo (Pb) para la especie Aloe Vera y Pelargonium zonale.....	45
Figura 8. Concentración inicial y final de suelos contaminados con cadmio (Cd) para la especie Aloe Vera y Pelargonium zonale.	47
Figura 9. Concentración inicial y final de suelos contaminados con arsénico (As) para la especie Aloe Vera y Pelargonium zonale.	49
Figura 10. Comparación de suelos contaminados con plomo (Pb) con el ECA D.S. N° 011-2017 MINAM (Suelo Agrícola).	50
Figura 11. Comparación de suelos contaminados con cadmio (Cd) con el ECA D.S. N° 011-2017 MINAM (Suelo Agrícola).	51
Figura 12. Comparación de suelos contaminados con arsénico (As) con el ECA D.S. N° 011-2017 MINAM (Suelo Agrícola).	52
Figura 13. Porcentaje de eficiencia para Aloe vera y Pelargonium zonale en la recuperación de suelos contaminados con plomo (Pb)	53
Figura 14. Porcentaje de eficiencia para Aloe vera y Pelargonium zonale en la recuperación de suelos contaminados con cadmio (Cd).	54
Figura 15. Porcentaje de eficiencia para Aloe vera y Pelargonium zonale en la recuperación de suelos contaminados con arsénico (As).	55

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Porcentaje de eficiencia	40
--	----

RESUMEN

Hoy en día, se vienen ejecutando acciones antrópicas que generan impactos ambientales en el suelo y se busca desarrollar tecnologías innovadoras que sean sostenibles con el medio ambiente. Por tal motivo, la presente investigación tiene como objetivo estudiar la eficiencia de la fitorremediación utilizando *Aloe vera* y *Pelargonium zonale* para la recuperación de suelos contaminados con plomo, cadmio y arsénico.

Este estudio utiliza un enfoque cualitativo y de carácter descriptivo, con una técnica de análisis documental, en la cual se recopila diferentes investigaciones de revistas indexadas, durante el período de años 2010-2023 y se emplea criterios de inclusión y exclusión para la selección de información. De los resultados analizados, se determinó que las investigaciones de Ferrua (2021), Gul et al. (2023) y Obeso y Vejarano (2020) obtuvieron mayor eficiencia de fitorremediación con la especie *Pelargonium zonale* y alcanzaron porcentajes de 52,61% Pb, 80% Cd y 74% As.

Finalmente, los resultados finales de las concentraciones de suelos de los estudios analizados han sido comparados con los ECA's para suelo agrícola, evidenciando que la mayoría de estudios superaron los valores establecidos por los estándares.

PALABRAS CLAVES: "fitorremediación", "*Aloe vera*", "*Pelargonium zonale*", "suelos contaminados", "metales pesados"

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel mundial, el incremento de la concentración de contaminantes es una problemática que va generando cada vez más impactos en el medio ambiente; específicamente, en el suelo y una de las causas es el desarrollo de las actividades mineras. Esto se da a consecuencia de la eliminación o modificación profunda; puesto que, se producen una serie de contaminantes que de una forma u otra terminan depositándose en el suelo y sucede por el almacenamiento de partículas, por el vertido directo de los productos líquidos de la actividad minera, por la infiltración de productos de lixiviación y por la disposición de elementos sobre el suelo como desmontes mineros u otras edificaciones contaminantes (Farfán, 2018, p. 1).

Es así que, posterior a una explotación minera, los suelos contienen diversos tipos de materiales residuales, escombros estériles, entre otros, lo que representa graves problemas para el desarrollo de la cubierta vegetal y sus características más notables son la clase textural desequilibrada, ausencia o baja presencia de la estructura edáfica, propiedades químicas anómalas, disminución o desequilibrio en el contenido de nutrientes fundamentales, ruptura de los ciclos biogeoquímicos, baja profundidad efectiva, dificultad de enraizamiento, baja capacidad de cambio, baja retención de agua y presencia de compuestos tóxicos (García y Dorronsoro, 2002, citado por Puga et al., 2006, p. 150).

Por otro lado, Galán y Romero (2008) indican que la presencia de concentraciones nocivas de algunos elementos químicos y compuestos en el suelo, es un tipo especial de degradación que se le denomina contaminación (p. 48) y se considera a los metales pesados como uno de los contaminantes más tóxicos en el ambiente por tener efectos nocivos a nivel

de toda la cadena trófica, principalmente el cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) que son relevantes debido su persistencia y toxicidad (Beltrán y Gómez, 2016, p. 172).

En el 2014, un informe de la Secretaría de Economía da a conocer el estado de la explotación minera en Zacatecas, siendo un negocio jugoso para el gran capital privado nacional e internacional y durante los años 2006 a 2014 esta entidad recibió un monto de 4 mil 915.4 millones de dólares de inversión extranjera directa, de los cuales 3 mil 347 millones de dólares, equivalente a un 68,09% correspondió a inversiones realizadas para impulsar actividades de minería extractiva (Guzmán, 2016, p. 10). Sin embargo, esto ha generado una disputa territorial y competencia con la producción agrícola respecto al acceso a la tierra en términos de superficie y al agua en términos de volumen, así como la contaminación del suelo con los millones de toneladas de desechos sólidos y la de fuentes de agua subterránea y superficial originados por los métodos de barrenación, molienda y lixiviación (p. 23).

Asimismo, el 14 de septiembre de 2017, El Gobierno de Ecuador declaró el estado de excepción por sesenta días en la ciudad de Zaruma, la cual fue afectada por la actividad minera y socavó el subsuelo de la urbe, declarada patrimonio cultural del país. Asimismo, por la gran demanda de la actividad minera que se realizó en las ciudades de Zaruma y Portovelo, el suelo empezó a hundirse, llevándose consigo escuelas y edificaciones por el mal manejo (Vilela et al., 2020, p. 221-222).

En el Perú, la extracción de oro de las cuencas de la Amazonía utiliza 2 tipos de tecnologías: la minería mínimamente mecanizada (uso de motobombas), la cual es responsable del 65% de la degradación del suelo y la minería altamente mecanizada (uso de maquinaria pesada), la cual es responsable del 35%. Ambos tipos de minería han degradado más de 90 mil hectáreas del bosque amazónico, convirtiéndose en un factor clave en la

degradación del suelo, el cual presenta una baja cobertura vegetal, baja fertilidad, fuerte acidez, baja capacidad de intercambio catiónico para retener nutrientes y alto contenido de fragmentos de roca (Plataforma digital única del Estado Peruano, 2021).

Frente a esta disyuntiva, en la actualidad existen diversas tecnologías que involucran seres vivos con capacidades metabólicas y logran contrarrestar la toxicidad de estos metales pesados (Beltrán y Gómez, 2016, p. 172). Por ejemplo, algunas especies de plantas han conseguido desarrollar tolerancia a estos contaminantes, absorbiéndolos o estabilizándolos y mejorando la calidad de ecosistema. Es por ello, que ha quedado evidenciado que ciertas especies vegetales pueden ser utilizadas como método efectivo y seguro para recuperar zonas vulnerables o susceptibles de acumulación de elementos potencialmente tóxicos (Gago et al., 2022, p. 685).

En conclusión, el presente estudio de carácter descriptivo, tiene como respaldo diversos resultados de trabajos de investigación; para ello, se ha realizado una recopilación de información con el objetivo de lograr un mejor entendimiento. A continuación, se mencionan diversos antecedentes.

En el ámbito internacional, Hernández (2008) en su trabajo titulado "Contaminación por cadmio en suelos aledaños a met-mex peñoles y retención de este metal por el geranio (*Pelargonium spp*)", tomó muestras del suelo a una profundidad de 0 a 5 cm y muestras de geranio a nivel de raíces, tallos y hojas, en las orientaciones noreste, sureste, suroeste y noroeste, además obtuvo muestras de suelo a 7000 m de distancia con orientación noreste. Se procedió a cuantificar la concentración de cadmio en el suelo y *Pelargonium spp* a nivel de raíces, tallos y hojas. Los resultados indicaron que, en promedio en el suelo hay una concentración en cadmio de 94,18 mg/kg, en la planta una concentración de 74,39 mg/kg

y en la raíz se encuentra la mayor concentración del cadmio con 79,78 mg/kg a 100m y a 200m fue de 75,63 mg/kg. Del estudio se concluye que, el suelo supera límites máximos permisibles y *Pelargonium spp* tiene la capacidad de retener cantidades de cadmio, por lo que se considera una especie fitorremediadora para restaurar el suelo.

Ramírez et al. (2019) en su investigación titulada "Potencial fitorremediador de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) en suelos", tuvo como objetivo determinar la absorción de metales pesados (cadmio, cobre y plomo) en la planta bajo diferentes concentraciones 0, 20, 40 y 60 mg/L. Para lo cual, se utilizó un diseño factorial de 3 por 4 con 4 repeticiones, siendo el factor A metal pesado y B la concentración de metal, tomando 12 tratamientos en total y los análisis se realizaron por absorción atómica. Los resultados evidenciaron que en la raíz, tallo y hoja las mayores concentraciones fueron para el tratamiento de Cu a 20 mg/L con valores de 15827,2; 13030,9 y 4979,4 mg/kg respectivamente, seguido del Cd y Pb. Asimismo, el factor de translocación biológica indicó que el Cd es un elemento que *Ambrosia ambrosioides* traslada hacia sus hojas con mayor facilidad seguido del Cu y en Pb es nula; mientras que, el factor de bioconcentración superó el valor comparativo de 1 en todos los tratamientos, lo cual indica una alta fitoextracción y que *Ambrosia ambrosioides* se puede utilizar en la fitorremediación y salud del suelo.

Rodríguez (2022) en su estudio titulado "Fitorremediación de suelos contaminados con cadmio, proveniente de los agroquímicos, mediante extracción usando el *Taraxacum officinale* (Diente de león) y el *Aloe vera* (Sábila)", tuvo como finalidad determinar la capacidad de dos clases de vegetales para la captación y absorción de cadmio. El estudio caracterizó las propiedades fisicoquímicas como niveles de cadmio, textura, humedad, materia orgánica y potencial hidrogeno del suelo. Para ello, se empleó 15 unidades

experimentales (5 kg de suelo c/u) y fueron divididas en 5 tratamientos: (To) como testigo, DL10 con 10 plantas de *T. officinale*, DL20 con 20 plantas *T. officinale*, S3 con 3 plantas *Aloe vera* y S5 con 5 plantas *Aloe vera*. De los resultados, se obtuvo que la mayor concentración de Cd fue por la especie *Aloe vera* (S5) de 0,09 mg/kg y de la especie *T. officinale* (DL20) también fue de 0,09 mg/kg.

En el ámbito nacional, Jara et al. (2014) desarrolló un estudio titulado "Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados", y su objetivo evaluar la capacidad de fitorremediación de las especies: *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata*, *Urtica urens* y *Lupinus ballianus* en suelos contaminados con plomo (Pb), zinc (Zn) y cadmio (Cd), para lo cual realizó 20 tratamientos con un diseño factorial completo 5 x 4: 5 especies alto andinas y 4 sustratos con 30%, 60%, 100% de relave de mina (RM) y suelo sin RM. Los tratamientos demostraron que la mayor eficiencia de acumulación de Pb y Zn fue en las raíces de *F. echinata* con el tratamiento de 100% de RM, obteniendo 2015,1 mg/kg MS de Pb y 1024,2 mg/kg MS de Zn. Por otro lado, en las raíces de *L. ballianus* se obtuvo la más alta acumulación de Cd, con una concentración de 287,3 mg/kg MS con el tratamiento de 100% de RM. Finalmente, *F. echinata* presentó el mayor índice de tolerancia (IT) al tratamiento de 100% de RM, con un IT de 41,5%, pero, *S. nitidum* y *L. ballianus* presentaron el mayor IT al tratamiento de 60% de RM con IT de 68,5% y 67,9%.

Ríos (2017) en el desarrollo de su investigación titulada "Comparación de las eficiencias fitorremediadoras de las especies *Lolium perenne*, *Pelargonium hortorum* y *Fuertesimalva echinata* en la reducción de la concentración de plomo en suelos agrícolas del distrito de Huamantanga, 2017", extrajo 31 kg de tierra de la zona y se registró una

concentración de plomo inicial de 402,8 mg/kg sobrepasando los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo. Enseguida, distribuyó 3 kg de suelo en 9 macetas (3 repeticiones por especie), se analizó los parámetros físicos químicos, tales como: Pb, pH, CE, CIC, textura en el suelo y las concentraciones de plomo en las partes aéreas y radiculares: raíz (rye grass, geranio y malva), tallos (geranio) y hojas (rye grass). Finalmente, a los 29, 48 y 70 días de exposición al tratamiento, se obtuvo como resultado las siguientes eficiencias: rye grass con 75%, geranio 69% y malva 68% de reducción de plomo, siendo la repetición N°3 de la especie de rye grass que presentó la menor concentración de plomo a los 70 días la cual fue de 59,06 mg/kg.

Espinoza (2019) en una investigación titulada "Recuperación de suelos contaminados con plomo (II) a escala piloto, utilizando girasol (*helianthus annuus l.*) con diversos tipos de abono en el distrito de Sicaya", trabajó en un terreno de 3200 metros cuadrados divididos en cuatro lotes (testigo, abono comercial, abono natural y técnicas agroecológicas) y subdivididas en cuatro repeticiones cada una, donde se sembró girasol (*Helianthus annuus L.*). Luego de la experimentación, los resultados indicaron que todos los tratamientos tienen efectos eficaces de remoción, alcanzando un nivel de remoción elevado en el tratamiento con abono comercial que redujo las concentraciones de plomo (II) por debajo del nivel del ECA para suelos agrícolas (52, 19 ppm); el segundo mejor resultado fue de abono natural con estiércol de ovino que baja relativamente las concentraciones de plomo (II) respecto al ECA (69,14 ppm). Asimismo, las plántulas de girasol con abono comercial concentraron mayor cantidad de plomo en su interior (25,22 ppm) en contra posición al porcentaje de plomo removido (71,82 %) por dicho tratamiento.

Dentro del ámbito local, Bernabé y Medina (2018) en su investigación titulada "Fitorremediador por densidad poblacional de *Urtica Urens* en suelos contaminados por metales pesados, caserío Shiracmaca, distrito de Huamachuco – 2018", extrajo 10 puntos de suelo de la zona y de ello 1 kg para el pre análisis. Se colocó 6 kg de suelo en cada celda (caja de 4 celdas), se agregó estiércol de cuy (1,5 kg; 2 kg; 2,5 kg y en la última celda no se agregó), se dejó 15 días para que se produzca la degradación de la materia orgánica y; por último, se sembró 01 planta en cada celda para su crecimiento durante 46 días. Las concentraciones de los metales en el pre-análisis fueron: Fe (18200 ppm), Zn (700 ppm) y Pb (100 ppm), en el post análisis de la primera muestra: Fe (17987 ppm), Zn (650 ppm) y Pb (89 ppm), en la segunda muestra: Fe (14350 ppm), Zn (469 ppm) y Pb (62 ppm), en la tercera muestra: Fe (10000 ppm), Zn (340 ppm) y Pb (30 ppm), en la cuarta muestra: Fe (18190 ppm), Zn (690 ppm) y Pb (99 ppm). Del estudio se concluye que la tercera muestra tuvo mayor porcentaje de adsorción (Fe 45,055%, Zn 51,429% y Pb 70%), evidenciando que la fitorremediación con *U. Urens* absorbe metales pesados del suelo y que el estiércol de cuy fortalece su crecimiento.

Esquivel y Marquina (2019) ejecutaron un trabajo titulado "Fitoextracción de Pb y Cr de relaves mineros de la poza Santa Catalina del distrito de Quiruvilca, Santiago de Chuco usando la especie *Brassica juncea* (Mostaza)" y distribuyeron cuatro tratamiento T1, T2, T3, T4 y un control, luego se agregó un sustrato orgánico en porcentajes de 100%, 75%, 50% y 25% de relave más el sustrato y su tiempo de exposición fue de 40 días con dos cosechas cumplidos a los 20 y 40 días respectivamente. Durante la experimentación, se analizaron parámetros de crecimiento, se contabilizó el número de hojas, peso de los órganos de la planta y la longitud de la raíz. Los resultados indicaron que los porcentajes de crecimiento a los 40

días fueron de 0% en T1; 17,4% en T2; 63,9% en T3; 109,2% en T4 y la planta control creció 154,5% y, en cuanto a la bioacumulación de metales pesados, la raíz concentró mayor cantidad de Pb y las hojas acumularon mayor cantidad Cr, siendo el tratamiento T3 con las mejores condiciones de fitoextracción de 8 mg/kg MS en la raíz y 23,35 mg/kg MS de Cr en las hojas.

Huaranga et al. (2022) realizó un estudio titulado "Cuantificación de Cu, Pb, As y Cd absorbidos por el "girasol" *Helianthus annuus L.* (Asteraceae) presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros". Es así que, se preparó cuatro grupos experimentales: 25, 50, 75 y 100% de suelos con relave minero por triplicado de la zona de Samne para determinar el grado de asimilación de los metales pesados Cu, Pb, As, y Cd, a nivel de raíz, tallo y hojas, a los cuales se les agregó la semilla de "girasol". Las concentraciones iniciales y finales se determinaron a los 30, 60 y 90 días de iniciado el experimento y para la extracción de los metales se pesó 3g de muestra con relave y suelo o de tejido de girasol, luego se colocó en el horno mufla durante 4 a 8 hrs. a 500°C. Los resultados indicaron que los valores de la bioconcentración de los metales pesados siguieron la tendencia: Cu > As > Pb > Cd y, que el efecto biorremediador fue mayor para Cu, la saturación drástica ocurrió a nivel de los metales Cd y Pb y que la raíz fue el órgano de la planta con mayor poder de fitorremediación.

Para el sustento de esta investigación se cuenta con las siguientes bases teóricas para dar a conocer de manera conceptual el desarrollo de este trabajo:

Fitorremediación

La fitorremediación es una vertiente de la biorremediación que surge como alternativa a la problemática ambiental y se basa en el uso de plantas que acumulan elevadas concentraciones de contaminantes en sus tejidos (Marrero et al., 2012, p. 52). Son las plantas quienes poseen la capacidad de absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar los

contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos, los cuales pueden ser: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo (Delgadillo et al., 2011, p. 597).

En una fitorremediación, los mecanismos de tolerancia varían entre las diferentes especies de plantas y se determinan, de acuerdo al tipo de contaminantes, eficiencia de absorción, traslocación y secuestro. En base a la presente investigación, las fases del proceso por el cual las plantas incorporan y acumulan metales pesados son las siguientes (Navarro, 2007, citado por Delgadillo et al., 2011, p. 600):

- Fase I. Involucra el transporte de los metales pesados al interior de la planta y, posteriormente, al interior de la célula. La raíz constituye el tejido de entrada principal de los metales, los cuales llegan por difusión en el medio, mediante flujo masivo o por intercambio catiónico. La raíz posee cargas negativas en sus células, debido a la presencia de grupos carboxilo, que interactúan con las positivas de los metales pesados, creando un equilibrio dinámico que facilita la entrada hacia el interior celular, ya sea por vía apoplástica o simplástica.
- Fase II. Una vez dentro de la planta, las especies metálicas son secuestradas o acomplejadas mediante la unión a ligandos específicos. Entre los quelantes producidos por las plantas se encuentran los ácidos orgánicos (ácidos cítrico, oxálico y málico), algunos aminoácidos (histidina y cisteína) y dos clases de péptidos: fitoquelatinas y metaloteínas.
- Fase III. Involucra la compartimentalización y detoxificación, proceso por el cual, el complejo ligando-metal queda retenido en la vacuola.

Cabe mencionar que, ec (Núñez et al., 2004, p. 69), por lo que se han definido las siguientes estrategias de fitorremediación:

Tabla 1

Mecanismos de fitorremediación

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

Nota. La tabla muestra el mecanismo y los tipos de contaminantes, de acuerdo a los diferentes procesos de fitorremediación. Tomado de Ghosh y Singh, 2005, citado por Delgadillo et al., 2011, p. 601.

Planta herbácea perenne, acaule (tallo vegetativo reducido) que produce grandes estolones y raíces fasciculadas. Las hojas son gruesas y carnosas, miden unos 50 cm de largo, 10 o 20 cm de ancho y 5 cm de grueso, de color verde glauco, estrechamente lanceoladas. Se agrupan formando roseta, son sésiles y envainadoras en la base, enteras y bordes con dientes espinaos (Ramírez, 2003, p. 27).

Además, están cubiertas por una corteza o cutícula gruesa y una pulpa interior clara donde se almacena el agua. La corteza de la hoja representa en torno a un 20-30% del peso total de la planta y la pulpa, sobre un 65-80%. Son plantas adaptadas a ambientes áridos principalmente debido a su metabolismo CAM, que les permite mantener sus estomas cerrados durante gran parte del día y de esta manera perder menos agua por transpiración (Arancibia et al., s.f., p. 1).

Figura 1. *Planta Aloe Vera* (Sábila).



Nota. Adaptado de *Aloe Vera* [Fotografía], por López, 2004.

***Pelargonium zonale* (Geranio)**

El género *Pelargonium* crece a una altura de 3 a 3,5 pies. Comprende plantas vivaces y perennes, casi siempre de porte arbustivo, cuyos tallos, hojas y peciolo se encuentran cubiertos de pelos glandulares. El color de ésta depende de la variedad, pudiendo presentar bandas de distintos colores (negro, castaño, rojizo, amarillo, etc.).

Sus flores se agrupan en inflorescencias terminales en umbela y la flor individual es zigomorfa, con cinco pétalos, de los cuales los dos superiores son más grandes que los tres inferiores. Por otro lado, las hojas pueden ser opuestas o alternas, simples o compuestas, ligeramente lobuladas o con bordes serrados, pecioladas, con pelos glandulares, y generalmente con estípulas en la base. Además, la superficie de la hoja es curvada, es así que el agua se desliza hacia el peciolo de la misma y; por último, el tallo es grueso, ramificado desde la base y cubierto por pelos glandulares (Cekalovic, 2021).

Figura 2. *Panta Pelargonium zonale* (Geranio).



Nota. Adaptado de *Pelargonium* [Fotografía], por Cekalovic, 2021.

El suelo es la capa de tierra donde crecen las raíces y lugar donde las plantas extraen el agua y el alimento que necesitan para crecer y mantenerse sanas. Se forma a partir de la roca original o madre que hay en una determinada zona por efecto del clima del lugar (temperatura, lluvias, helada, viento, radiación solar), esta roca se fragmenta y se desintegra en partículas minerales más pequeñas. Posteriormente, aparecen los organismos vivos (vegetales y animales) y son los que aportan la materia orgánica, generadora de vida en el suelo (Van, 2006, p. 5-6).

Suelos contaminados

Aquel suelo cuyas características químicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias químicas contaminantes depositados por la actividad humana, en concentraciones tal que en función del uso actual o previsto del sitio y sus alrededores representa un riesgo a la salud humana o el ambiente (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2014, p. 5). Tal es el caso, de los desechos tóxicos de la minería que, son almacenados en estériles, los cuales están formados principalmente por partículas finas que pueden tener diferentes concentraciones de metales pesados. Estas partículas contaminadas pueden ser dispersadas por la acción de la erosión hídrica y eólica, pudiendo alcanzar suelos agrícolas (Rodríguez et al., 2019, p. 9).

Figura 3. Fuentes de contaminación por metales pesados.



Nota. Se describe las fuentes de contaminación por metales pesados en aire, suelo, agua y planta, por Reyes et al., 2016.

Minería

La minería es la actividad industrial que permite la extracción y obtención selectiva de aquellas sustancias minerales sólidas (minerales, combustibles y otras fuentes energéticas), líquidas (como el petróleo) o gaseosas (como el gas natural), existentes en la corteza terrestre para su transformación en materias primas también minerales y/o productos energéticos que permitan descubrir las necesidades de abastecimiento de materiales adecuados para el desarrollo de las sociedades humanas (Herrera, 2017, p. 1).

Metales pesados

Los metales pesados son tóxicos ambientales muy peligrosos. Dentro de sus características más importantes se encuentra la persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad, todo lo cual hace que se encuentren en los ecosistemas por largos periodos, ya que su degradación natural es difícil. Asimismo, son emitidos por diferentes fuentes, por cuanto provienen de su presencia en los suelos donde se han acumulado durante la formación de las capas terrestres y son empleados en varios procesos industriales y forman parte del quehacer del hombre (Rodríguez, 2017, p. 3372-3373).

Cabe mencionar que, no todos los metales pesados no son igualmente tolerables por los organismos vivos, y ello radica en que algunos son esenciales para la vida y otros como, por ejemplo: el mercurio (Hg), el plomo (Pb) y el cadmio (Cd), interfieren en funciones importantes del organismo, siendo tóxicos que bloquean ciertas actividades biológicas, ya sea inactivando enzimas u otras biomoléculas, causando daños irreversibles y afectando notablemente la salud de las personas (Rodríguez, 2021).

Plomo

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, 2007) sostiene que, el plomo (Pb) es un metal pesado, de baja temperatura de fusión, de color gris-azulado que ocurre naturalmente en la corteza terrestre (p. 1). Se halla tanto en forma orgánica como inorgánica. El plomo inorgánico, se encuentra en pintura vieja, en el suelo y en los gases de combustión producidos por la gasolina con plomo (Molina et al., 2010, p. 79).

El plomo es removido del aire por la lluvia y por partículas que caen al suelo o a aguas de superficie. Es así que, el suelo se contamina por la adherencia de este material a sus partículas (Molina et al., 2010, p. 79).

Este metal afecta sistemas, órganos y tejidos y su efecto puede ser proporcional a la cantidad presente en el organismo, pero los umbrales de sus efectos tóxicos varían en diferentes individuos. Los niños generalmente absorben una mayor proporción del plomo y con un efecto más severo que los adultos, porque están en un proceso activo de desarrollo y por ciertas características fisiológicas, patológicas y de conducta (Poma, 2008, p. 120).

Cadmio

El cadmio es un metal suave y de color blanco plateado que se encuentra en forma natural en la corteza terrestre. Por lo general, el cadmio no se encuentra en el ambiente como un metal puro, sino como un mineral combinado con otros elementos como el oxígeno (óxido de cadmio), el cloro (cloruro de cadmio) o el sulfuro (sulfato o sulfuro de cadmio). (ATSDR, 1999, p. 1).

El metal en mención es considerado como uno de los elementos más tóxicos, ya que se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, asociado principalmente a los depósitos de zinc y su movilidad en el medio depende de varios factores tales como el pH, el potencial redox, la cantidad de materia orgánica y la presencia de arcillas y óxidos de hierro. El cadmio emitido al medio procede mayoritariamente de actividades industriales, minería, metalurgia, fabricación y aplicación de fertilizantes de fosfato y de la incineración de residuos urbanos (Sánchez, 2016, p. 1).

Arsénico

El arsénico (As) es un elemento ampliamente distribuido en la corteza terrestre y ha sido clasificado químicamente como un metaloide, con propiedades tanto de metal como de elemento no-metálico. El arsénico elemental es un material sólido de color gris acero. Sin embargo, en el ambiente se encuentra combinado con otros elementos: oxígeno, cloro y

azufre, conociéndolo como arsénico inorgánico y el combinado con carbono e hidrógeno se conoce como arsénico orgánico (ATSDR, 2007, p. 1).

Este metaloide ocurre naturalmente en el suelo y en minerales y; por lo tanto, puede entrar al aire, al agua y al suelo. El arsénico contenido en polvo que levanta el viento se encuentra generalmente en partículas más grandes y se depositan en el suelo o son removidas del aire por la lluvia, además está asociado con minerales que se minan para extraer metales, como por ejemplo cobre y plomo (ATSDR, 2007, p. 2-3).

Estándares de Calidad Ambiental para suelo

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo establecen niveles de concentración de los elementos, sustancias, parámetros físicos y químicos y biológicos, presentes en el suelo en su condición de cuerpo receptor que no represente riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

Por ende, constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017, p. 12-13)

Tabla 2

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

Parámetros en mg/kg PS	Uso del Suelo			Métodos de ensayo
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivo	
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 EPA 3060/
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 7199 ó DIN EN 15192(16)
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051

				EPA 9013
				SEMWW-AWWA-
Cianuro libre	0,9	0,9	8	WEF 4500 CN F o
				ASTM D7237 y/ó
				ISO 17690:2015

Nota. El símbolo [**] en la tabla significa que el parámetro no aplica para el uso de suelo agrícola. Tomado de D.S. N°011-2017- MINAM.

1.2. Formulación del problema

¿Cuánto es la eficiencia de la fitorremediación utilizando *Aloe vera* y *Pelargonium zonale* para la recuperación de suelos contaminados con plomo, cadmio y arsénico?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Estudiar la eficiencia de la fitorremediación utilizando *Aloe vera* y *Pelargonium zonale* para la recuperación de suelos contaminados con plomo, cadmio y arsénico.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información de revistas indexadas, tales como: Dialnet, Google Académico, Redalyc (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal), Scielo (Scientific Electronic Library Online o Biblioteca Científica Electrónica en Línea), Scopus y Alicia Concytec.
- Evaluar la concentración antes y después de la fitorremediación utilizando *Aloe vera* y *Pelargonium zonale* para la recuperación de suelos contaminados con plomo, cadmio y arsénico.
- Comparar la concentración de plomo, cadmio y arsénico en los suelos posterior a la aplicación con las diferentes especies empleando los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo Agrícola aprobado por el Decreto Supremo N°011-2017-MINAM.

1.4. Hipótesis

Aloe vera y *Pelargonium zonale* son eficientes en la fitorremediación de suelos contaminados con plomo, cadmio y arsénico.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

El desarrollo de la presente investigación se realizó a través de la siguiente secuencia:

2.1. Tipo de investigación

El enfoque utilizado es **cuantitativo**; puesto que, se emplea la recolección y análisis de los datos para dar respuesta a las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación (Hernández et al., 2014, p. 7) del presente estudio sobre la eficiencia de la fitorremediación utilizando *Aloe vera* y *Pelargonium zonale* para la recuperación de suelos contaminados con plomo, cadmio y arsénico.

Por otro lado, es de diseño **no experimental**; dado que, Sánchez et al. (2018) señala que es una metodología que no manipula directamente las variables, únicamente las describe y analiza tal como se presentan en la realidad y solo se obtiene un control estadístico (p. 92).

Asimismo, de acuerdo al conocimiento que se tiene del objeto de estudio es de carácter **descriptivo**, ya que busca detallar propiedades y características del estudio que se analiza. Es decir, se pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables de investigación interpretación (Hernández et al., 2014)

2.2. Población y Muestra

2.2.1. Población

Arias et al. (2016) indica que, la población es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra, y que cumple con una serie de criterios predeterminados (p. 202).

Por lo que, la presente investigación se considera de población **finita** y se elaboró en base a las revisiones documentales, revistas indexadas, páginas web, normativas vigentes y trabajos de investigación.

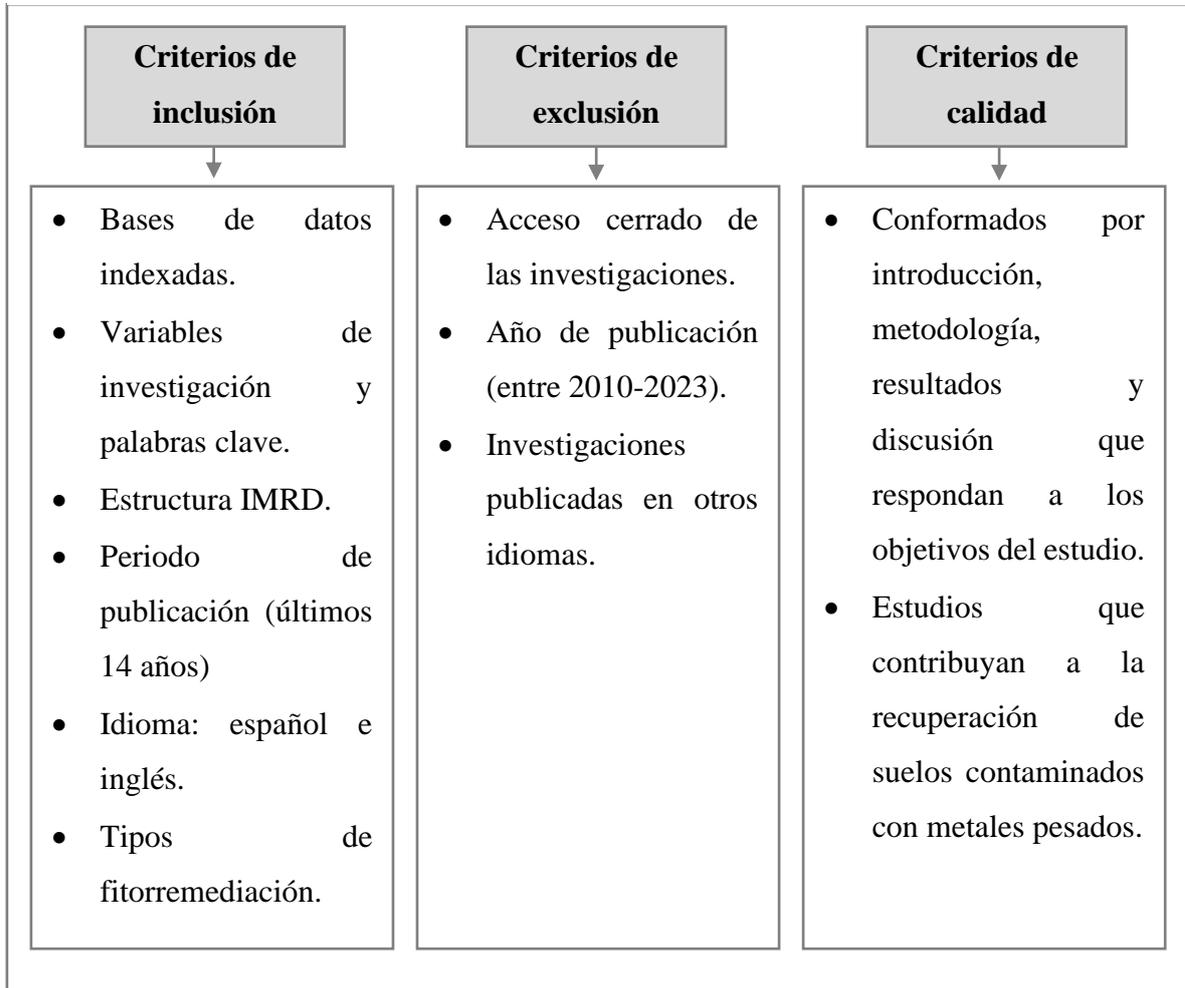
La base de datos del estudio estuvo conformada por 15 investigaciones que brindaron la información necesaria sobre la eficiencia de la fitorremediación utilizando *Aloe vera* y *Pelargonium zonale* para la recuperación de suelos contaminados con plomo, cadmio y arsénico.

2.2.2. Muestra

La muestra de una investigación es el conjunto de casos o individuos extraídos de una población por algún sistema de muestreo probabilístico o no probabilístico (Sánchez et al., 2018, p. 93).

Para determinar la muestra se empleó el método no probabilístico y; para ello, se indagó diversas fuentes. Luego de aplicar criterios de selección (Ver Figura N° 4), se obtuvieron 7 investigaciones con semejanza en las características relacionadas a la eficiencia de la fitorremediación utilizando *Aloe vera* y *Pelargonium zonale* para la recuperación de suelos contaminados con plomo, cadmio y arsénico.

Figura 4. *Criterios de selección de información.*



Nota. La figura señala los criterios de selección de información y los rectángulos de color gris ubicados en la parte superior representan el tipo de criterio; mientras que, los rectángulos de color blanco de la parte inferior denotan la descripción de los mismos.

Tabla 3

Cantidad de investigaciones, de acuerdo a la base de datos

Bases de datos	Estudios encontrados	Estudios seleccionados
Dialnet	2	0
Google Académico	4	1
Redalyc	2	0
SciELO	1	1
Scopus	3	3
Alicia Concytec	3	2
Total	15	07

Nota. De acuerdo a las bases de datos se encontraron un total de 15 investigaciones y solo 7 fueron seleccionadas. Se puede observar que Scopus alcanzó la mayor cantidad de estudios, mientras que Dialnet y Redalyc no alcanzaron ningún estudio para la muestra final.

2.3. Métodos, Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

La investigación se basó en un método cualitativo; puesto que, se inició con el recojo de datos, mediante la observación empírica o mediciones de alguna clase, y a continuación construye, a partir de las relaciones descubiertas, sus categorías y proposiciones teóricas (Quecedo y Castaño, 2002, p. 10).

Por otro lado, el estudio empleó a técnica del análisis documental; para lo cual, se recopiló información de revisiones documentales, revistas indexadas, páginas web, normativas vigentes y trabajos de investigación para facilitar su aplicación y responder de manera concreta los objetivos planteados.

Por último, el instrumento de investigación que se utilizó fue una base de datos comparativa, en la cual se registraron las concentraciones de plomo, cadmio y arsénico, antes y después de la fitorremediación utilizando *Aloe vera* y *Pelargonium zonale*.

En la siguiente tabla se muestran el método, técnica e instrumento empleados para la recolección y análisis de datos de esta investigación.

Tabla 4

Método, técnica e instrumento para la recolección de datos

Método	Técnica	Instrumento
Cualitativo	Análisis documental	Base de datos comparativa

2.4. Procedimiento

En el proceso de recopilación de información se tuvo en cuenta diversos criterios de selección e inclusión; primero, se realizó una revisión exhaustiva de aquellos estudios que contenían las palabras clave, tales como "fitorremediación", "*Aloe vera*", "*Pelargonium zonale*", "suelos contaminados", "metales pesados"; posteriormente, se tuvo en cuenta el período de publicación de dichas investigaciones, siendo desarrolladas en un período de 14 años, desde el 2010 hasta el 2023.

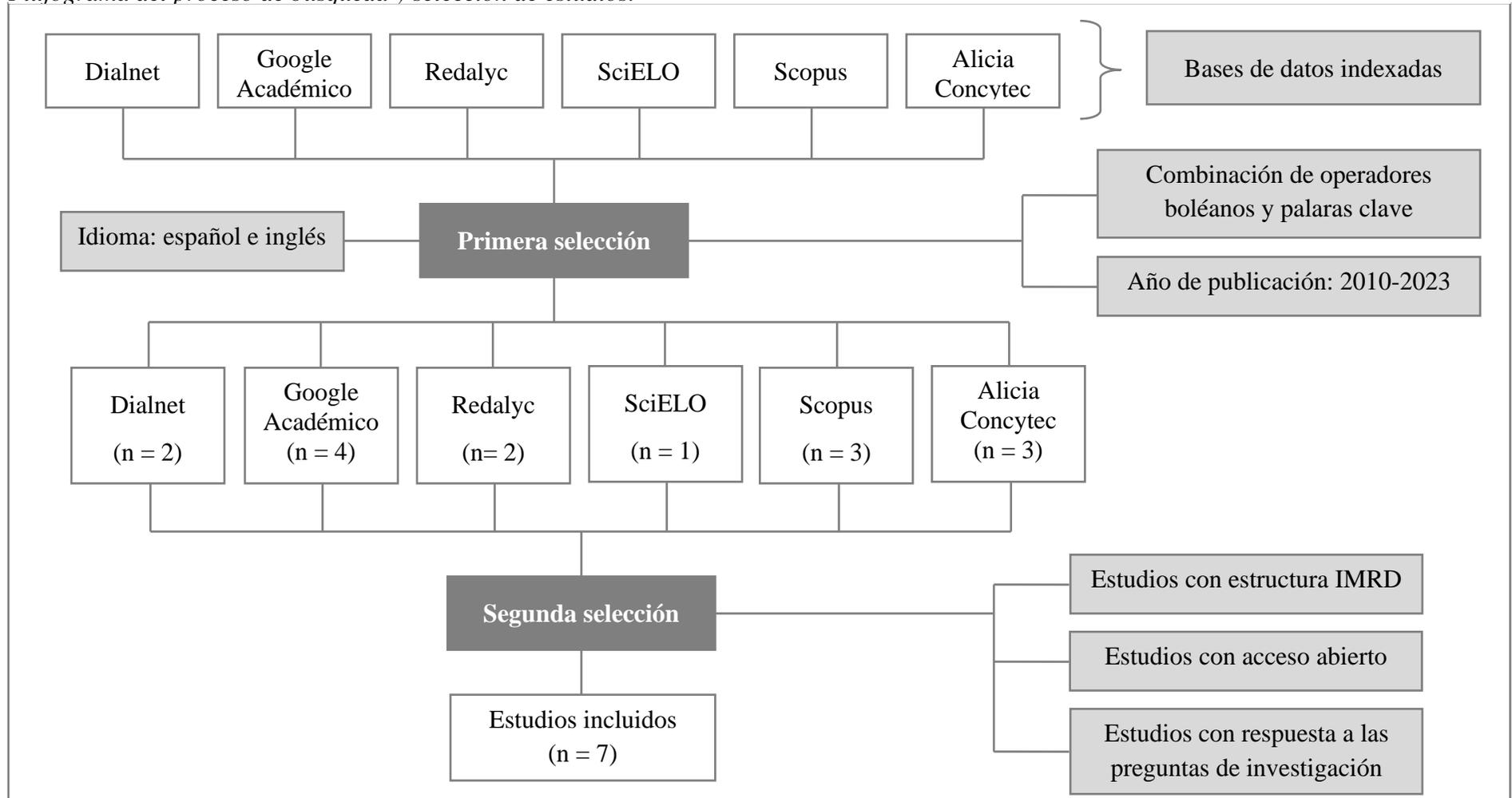
Asimismo, la búsqueda de los estudios se realizó en diferentes bases de datos, tales como: Dialnet, Google Académico, Redalyc (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal), Scielo (Scientific Electronic Library Online o Biblioteca Científica Electrónica en Línea), Scopus y Alicia Concytec. Con el objetivo de filtrar aquella información que responda al problema de investigación, se diseñó un protocolo de combinación entre las palabras clave y operadores booleanos

para obtener una búsqueda más eficaz en las bases de datos y poder realizar un análisis comparativo de los resultados encontrados en los documentos.

De acuerdo a los criterios mencionados, se encontraron 15 estudios que guardaban relación con el objetivo de la presente investigación, de los cuales solamente 7 fueron seleccionados porque contribuyen eficazmente en el estudio de la eficiencia de la fitorremediación utilizando *Aloe vera* y *Pelargonium zonale* para la recuperación de suelos contaminados con plomo, cadmio y arsénico, mientras que 8 documentos fueron excluidos por no cumplir los criterios de inclusión y no presentar la estructura IMRD (Introducción, métodos, resultados y discusión).

Figura 5.

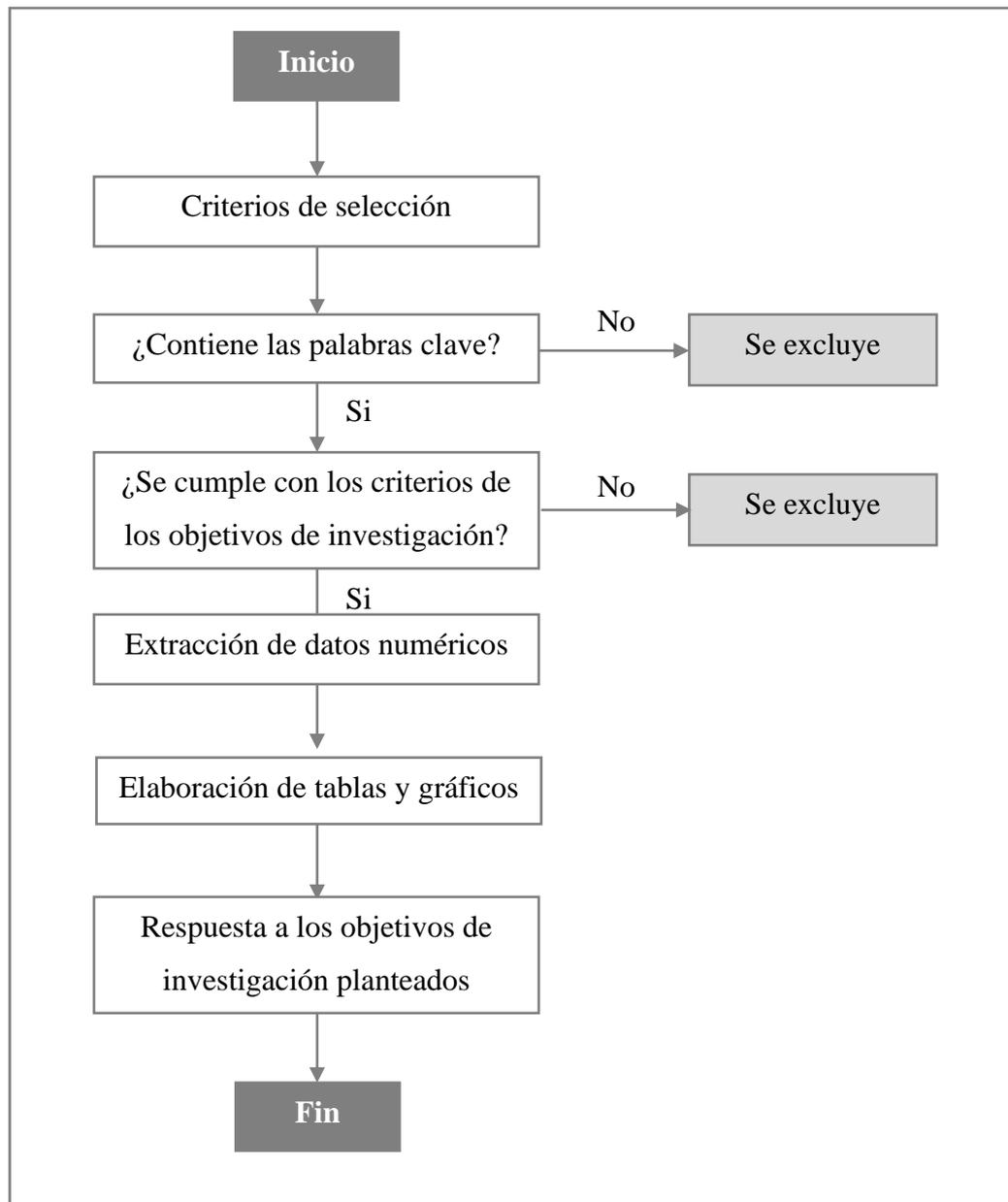
Flujograma del proceso de búsqueda y selección de estudios.



2.5. Análisis de Datos

Una vez obtenida la información en función de los criterios de selección, se procedieron a organizar los datos en el programa Microsoft Excel (Paquete de Office 2019), lo que permitió elaborar tablas descriptivas y gráficas sobre los resultados finales de las variables de la investigación.

Figura 6. Diagrama de bloques para el análisis de datos.



Finamente, cabe indicar que, para poder determinar la eficiencia de la fitorremediación utilizando *Aloe vera* y *Pelargonium zonale*, se empleó la fórmula de Harrington Emerson (1912), siendo la siguiente:

Ecuación 1 Porcentaje de eficiencia

$$\%E = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100$$

Donde:

Ci = Concentración inicial

Cf = Concentración final

2.6. Aspectos Éticos

Este estudio de investigación tuvo como aspecto ético respetar la autenticidad de la información adquirida. Para lo cual, se indagó diversas fuentes bibliográficas para su elaboración, siendo de vital importancia los aportes de cada autor en el desarrollo de este proyecto y lo cual están debidamente citadas y referenciadas en el formato APA (American Psychological Association) 7ta edición. Asimismo, todos los datos estadísticos de los estudios han sido presentados sin alterar los datos reales y solo con fines académicos.

Además, se empleó leyes y normas vigentes, como los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo aprobado por el Decreto Supremo N°011-2017-MINAM. No obstante, esta información adquirida fue fundamental para poder culminar con los resultados de dicha investigación.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Este apartado presenta los resultados obtenidos en base a los objetivos planteados. Por lo que, para alcanzar los datos de los 7 estudios seleccionados, se realizó una matriz de base de datos comparativa, con el objetivo de organizar la información de cada investigación.

Asimismo, se han elaborado un total de 7 tablas y 9 figuras para representar la solución de los objetivos propuestos y demostrar la eficiencia de la fitorremediación utilizando *Aloe vera* y *Pelargonium zonale* para la recuperación de suelos contaminados con plomo, cadmio y arsénico.

3.1. Recopilar información de revistas indexadas, tales como: Dialnet, Google Académico, Redalyc (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal), Scielo (Scientific Electronic Library Online o Biblioteca Científica Electrónica en Línea), Scopus y Alicia Concytec.

Tabla 5 *Investigaciones recopiladas de revistas indexadas y de acuerdo a los criterios de selección*

N°	Fuente	Año	Título de la investigación	Base de datos
01	- Artin Laleian	2011	Fitorremediación de material dragado de la Bahía de San Pablo, CA para metales pesados y de transición con <i>Pelargonium crispum</i> y <i>beta vulgaris</i> .	Scopus
02	- Liñán Velásquez, Kevin Roger	2017	Fitorremediación de suelos mediante la absorción de Pb al	Alicia Concytec

			de laboratorio, Ancash-2017	
03	- Elhag, M. - Al-Ghamdi, A. - Galal, H. - Dahlan, A.	2018	Evaluación del <i>Aloe Vera L.</i> como fitorremediador de suelos contaminados con metales pesados en ambientes áridos.	Scopus
04	- Vejarano Mantilla, Ricardo David - Obeso Obando, Aída del Rosario	2020	Cultivo de geranio: uso potencial para remover arsénico (As), cadmio (Cd) y cobre (Cu) de suelos contaminados.	SciELO
05	- Ferrua Quispe, Schaunay Vivian	2021	Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las especies " <i>Tradescantia Pallida</i> " y " <i>Pelargonium Hortorum</i> " en suelos contaminados con plomo de la zona de las Lomas de Carabayllo.	Google Académico
06	- Cueva Ocaña, Guadalupe Chris	2022	Comparación de la eficacia de la fitorremediación mediante el geranio (<i>pelargonium</i>	Alicia Concytec

hortorum) y el girasol (*helianthus annuus*) para la recuperación de suelos provenientes de la concesión minera Mister Muki distrito San Rafael, provincia Ambo, departamento Huánuco 2021.

	- Gul, Iram			
	- Manzoor, María		Fitoacumulación de cadmio por	
	- Ahmed, Imran		<i>Pelargonium</i> × <i>hortorum</i> :	
07	- Kallerhoff, Jean	2023	tolerancia y recuperación de	Scopus
	- Arshad, Muhammad		metales.	

Nota. La tabla 6 detalla en cada una de sus filas, la fuente, el año, el título y la base de datos de la recopilación de investigaciones.

3.2. Concentraciones de plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As) antes y después de la fitorremediación utilizando especies de *Aloe vera* y *Pelargonium zonale*.

Tabla 6

Concentración inicial y final de suelos contaminados con plomo (Pb) para la especie Aloe vera

Especie	Autor(es)	Concentración		Tiempo
		Pb inicial (mg/kg)	Pb final (mg/kg)	
<i>Aloe vera</i>	1 Liñan (2017)	1470,09	970	3 meses

2	Elhag et al. (2018)	1500	1460	3 meses
---	---------------------	------	------	---------

Nota. La tabla 7 detalla en cada una de sus filas, los datos que fueron extraídos de los estudios de fitorremediación de suelo contaminados con plomo (Pb) para la especie *Aloe vera*.

Tabla 7

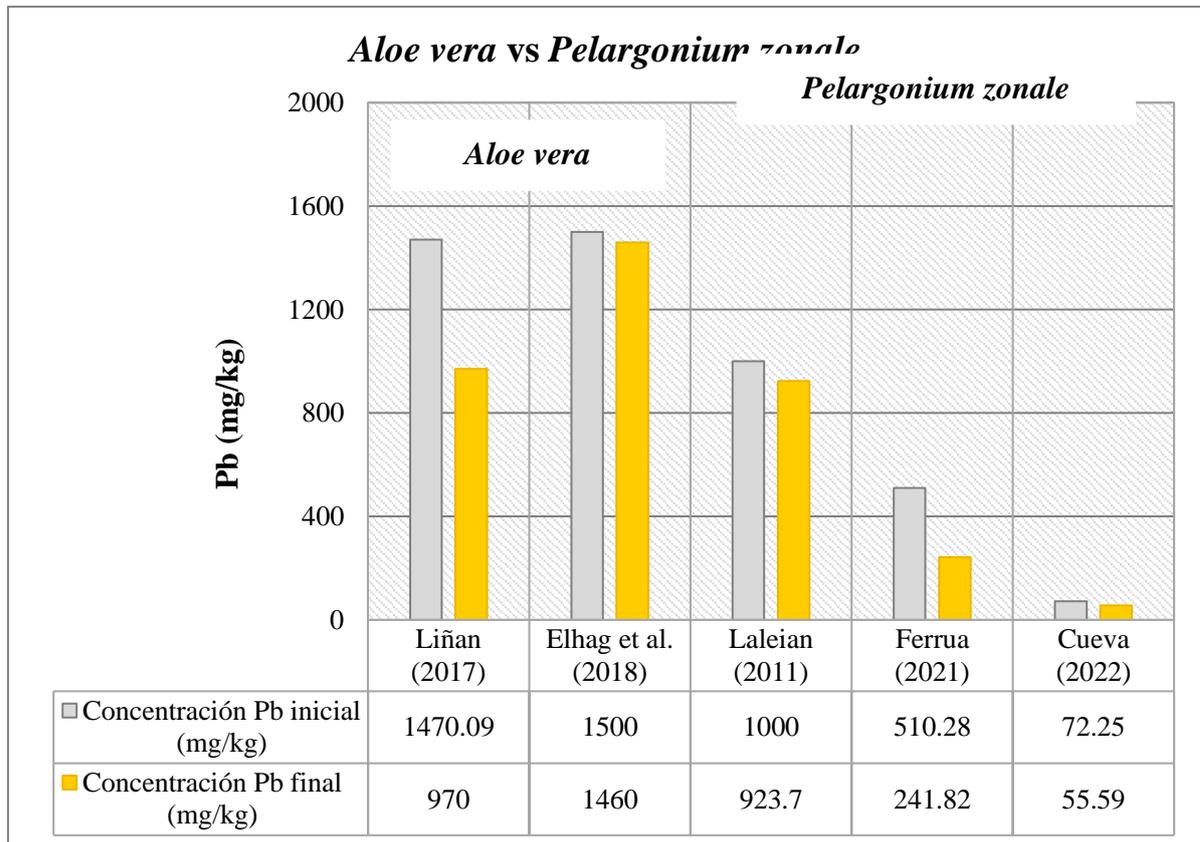
Concentración inicial y final de suelos contaminados con plomo (Pb) para la especie Pelargonium zonale

Especie	Autor(es)	Concentración	Concentración	Tiempo	
		Pb inicial (mg/kg)	Pb final (mg/kg)		
<i>Pelargonium zonale</i>	1	Laleian (2011)	1000	923,7	5 meses
	2	Ferrua (2021)	510,28	241,82	3 meses
	3	Cueva (2022)	72,25	55,59	3 meses

Nota. La tabla 8 detalla en cada una de sus filas, los datos que fueron extraídos de los estudios de fitorremediación de suelo contaminados con plomo (Pb) para la especie *Pelargonium zonale*.

Figura 7.

Concentración inicial y final de suelos contaminados con plomo (Pb) para la especie Aloe Vera y Pelargonium zonale.



La figura 7 se representa las concentraciones de plomo (Pb) en los suelos contaminados, antes y después del tratamiento con la especie *Aloe Vera*. Se puede observar que el mejor resultado de fitorremediación fue de Liñan (2017) con una concentración inicial de 1470,09 mg/kg y disminuyó a 970 mg/kg, con menor eficiencia el estudio de Elhag et al. (2018), que presentó inicialmente 1500 mg/kg y disminuyó a 1460 mg/kg. Por otro lado, la especie *Pelargonium zonale* presenta una mayor eficiencia en el estudio de Ferrua (2021), siendo su concentración inicial 510,28 mg/kg y disminuyó a 241,82 mg/kg, seguido del estudio de Cueva (2022) presentando inicialmente 72,25 mg/kg y disminuyó a 55,59 mg/kg

y con menor eficiencia, el estudio de Laleian (2011) con una concentración inicial de 1000 mg/kg y disminuyó a 923,7 mg/kg.

Tabla 8

Concentración inicial y final de suelos contaminados con cadmio (Cd) para la especie Aloe vera

Especie	Autor(es)	Concentración	Concentración	Tiempo
		Cd inicial (mg/kg)	Cd final (mg/kg)	
<i>Aloe vera</i>	1 Elhag et al. (2018)	1500	1455	3 meses

Nota. La tabla 9 detalla en cada una de sus filas, los datos que fueron extraídos de los estudios de fitorremediación de suelo contaminados con cadmio (Cd) para la especie *Aloe vera*.

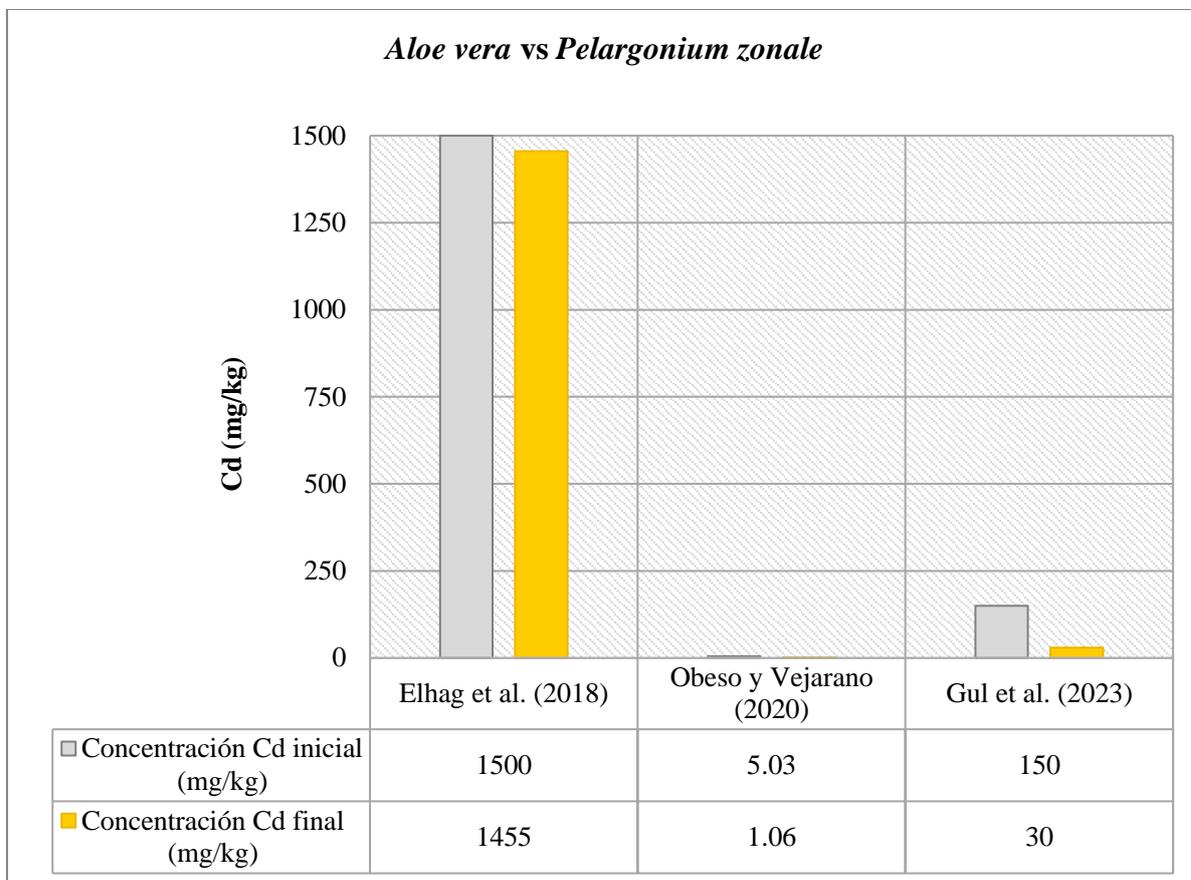
Tabla 9

Concentración inicial y final de suelos contaminados con cadmio (Cd) para la especie Pelargonium zonale

Especie	Autor(es)	Concentración	Concentración	Tiempo
		Cd inicial (mg/kg)	Cd final (mg/kg)	
<i>Pelargonium zonale</i>	1 Obeso y Vejarano (2020)	5,03	1,06	6 semanas
	2 Gul et al. (2023)	150	30	6 meses

Nota. La tabla 10 detalla en cada una de sus filas, los datos que fueron extraídos de los estudios de fitorremediación de suelo contaminados con cadmio (Cd) para la especie *Pelargonium zonale*.

Concentración inicial y final de suelos contaminados con cadmio (Cd) para la especie Aloe Vera y Pelargonium zonale.



La figura 8 se representa las concentraciones de cadmio (Cd) en los suelos contaminados, antes y después del tratamiento con la especie *Aloe Vera*. Se puede observar únicamente los resultados del estudio de Elhag et al. (2018) que, presentó inicialmente 1500 mg/kg y disminuyó a 1455 mg/kg. Por otro lado, la especie *Pelargonium zonale* presenta una mayor eficiencia en el estudio de Gul et al. (2023), siendo su concentración inicial 150 mg/kg y disminuyó a 30 mg/kg y con menor eficiencia el estudio de Obeso y Vejarano (2020), presentando inicialmente 5,03 mg/kg y disminuyó a 1.06 mg/kg.

Tabla 10

Concentración inicial y final de suelos contaminados con arsénico (As) para la especie Aloe vera

Especie	Autor(es)	Concentración	Concentración	Tiempo
		As inicial (mg/kg)	As final (mg/kg)	
<i>Aloe vera</i>	1 Elhag et al. (2018)	1500	1380	3 meses

Nota. La tabla 11 detalla en cada una de sus filas, los datos que fueron extraídos de los estudios de fitorremediación de suelo contaminados con arsénico (As) para la especie *Aloe vera*.

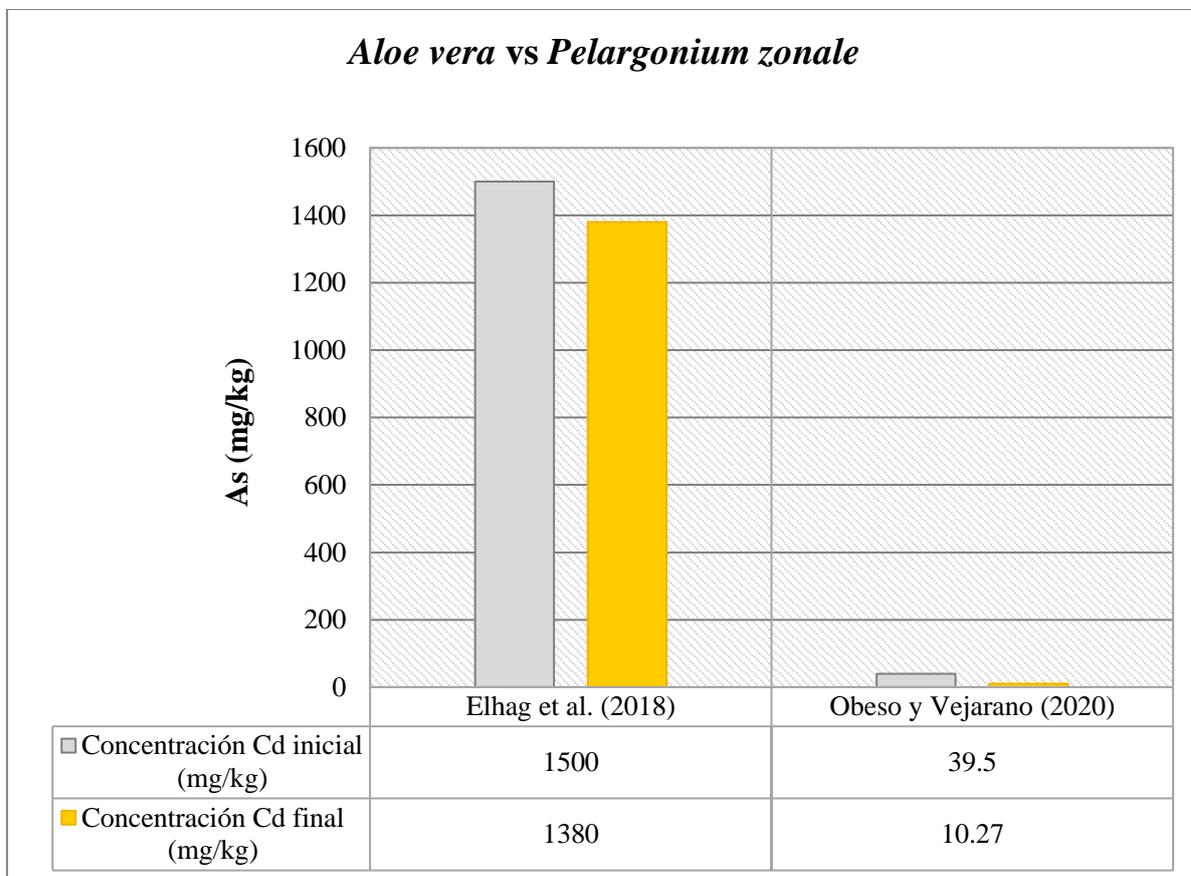
Tabla 11

Concentración inicial y final de suelos contaminados con arsénico (As) para la especie Pelargonium zonale

Especie	Autor(es)	Concentración	Concentración	Tiempo
		As inicial (mg/kg)	As final (mg/kg)	
<i>Pelargonium zonale</i>	1 Obeso y Vejarano (2020)	39,50	10,27	6 semanas

Nota. La tabla 12 detalla en cada una de sus filas, los datos que fueron extraídos de los estudios de fitorremediación de suelo contaminados con arsénico (As) para la especie *Pelargonium zonale*.

Concentración inicial y final de suelos contaminados con arsénico (As) para la especie *Aloe Vera* y *Pelargonium zonale*.

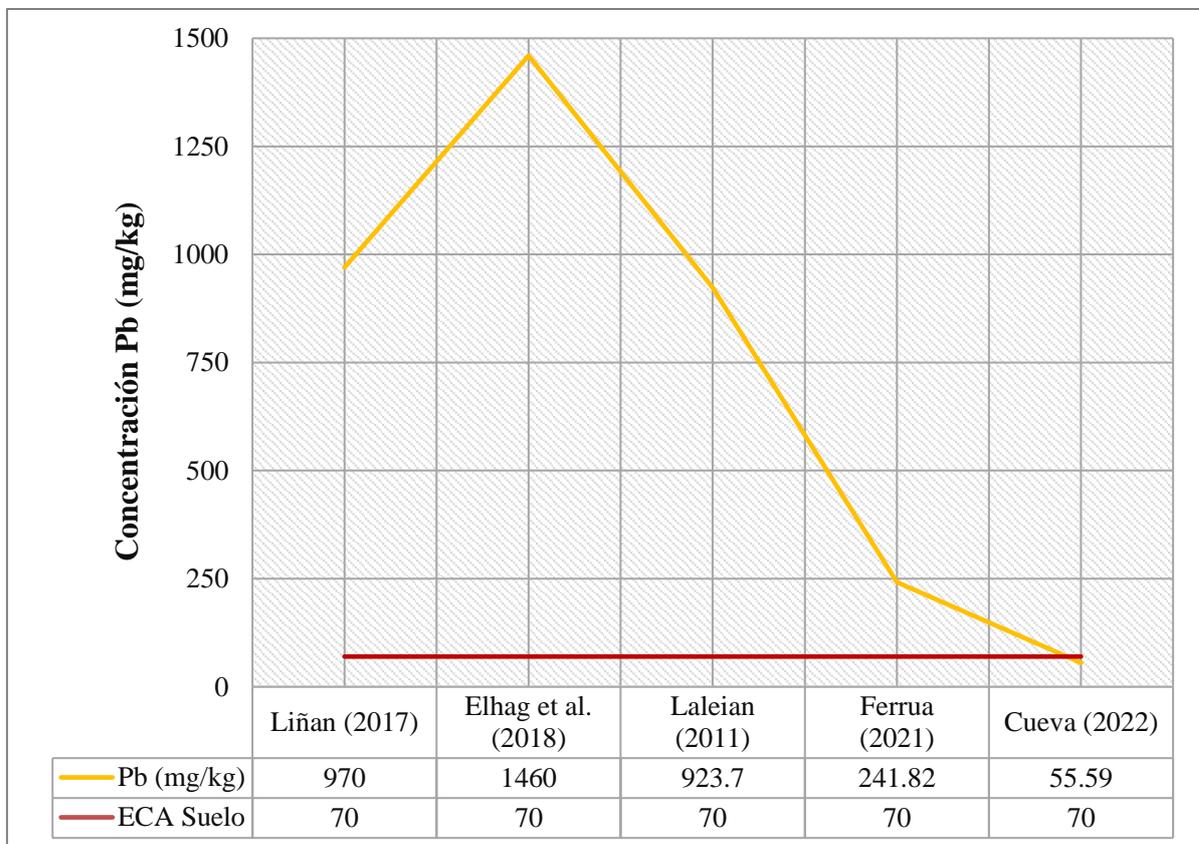


La figura 9 se representa las concentraciones de arsénico (As) en los suelos contaminados, antes y después del tratamiento con la especie *Aloe Vera*. Se puede observar únicamente los resultados del estudio de Elhag et al. (2018) que, presentó inicialmente 1500 mg/kg y disminuyó a 1380 mg/kg. Mientras que, la especie *Pelargonium zonale* en el estudio de Obeso y Vejarano (2020), presenta una concentración inicial de 39,5 mg/kg y disminuyó a 10,27 mg/kg.

3.3. Comparar la concentración de plomo, cadmio y arsénico en los suelos posterior a la aplicación con las diferentes especies empleando los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo Agrícola aprobado por el Decreto Supremo N°011-2017-MINAM.

Figura 10.

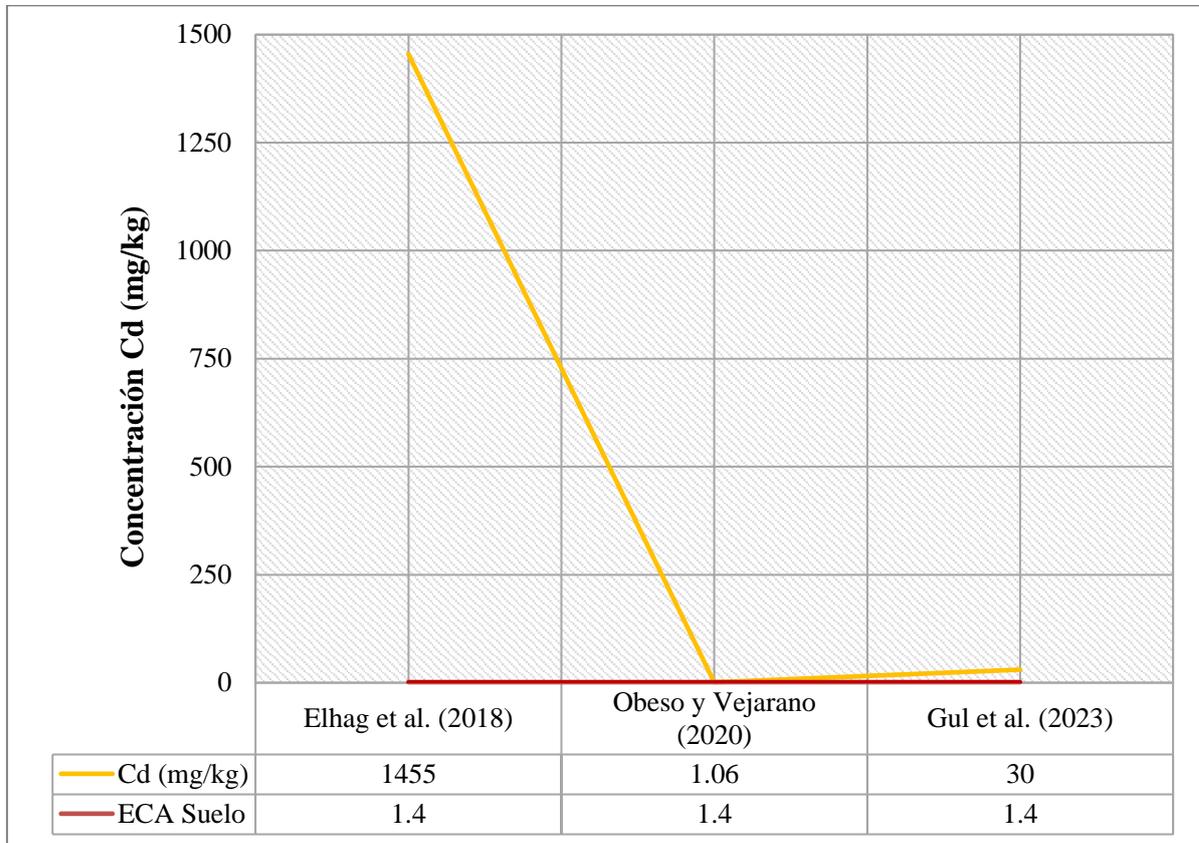
Comparación de suelos contaminados con plomo (Pb) con el ECA D.S. N° 011-2017 MINAM (Suelo Agrícola).



En la figura 10 se observa que, solo el estudio de Cueva (2022) no supera los 70 mg/kg de plomo (Pb) establecido en el D.S. N° 011-2017-MINAM para suelo Agrícola.

Figura 11.

Comparación de suelos contaminados con cadmio (Cd) con el ECA D.S. N° 011-2017 MINAM (Suelo Agrícola).



En la figura 11 se observa que, solo el estudio de Obeso y Vejarano (2020) no supera los 1,4 mg/kg de cadmio (Cd) establecido en el D.S. N° 011-2017-MINAM para suelo Agrícola.

Figura 12.

Comparación de suelos contaminados con arsénico (As) con el ECA D.S. N° 011-2017 MINAM (Suelo Agrícola).



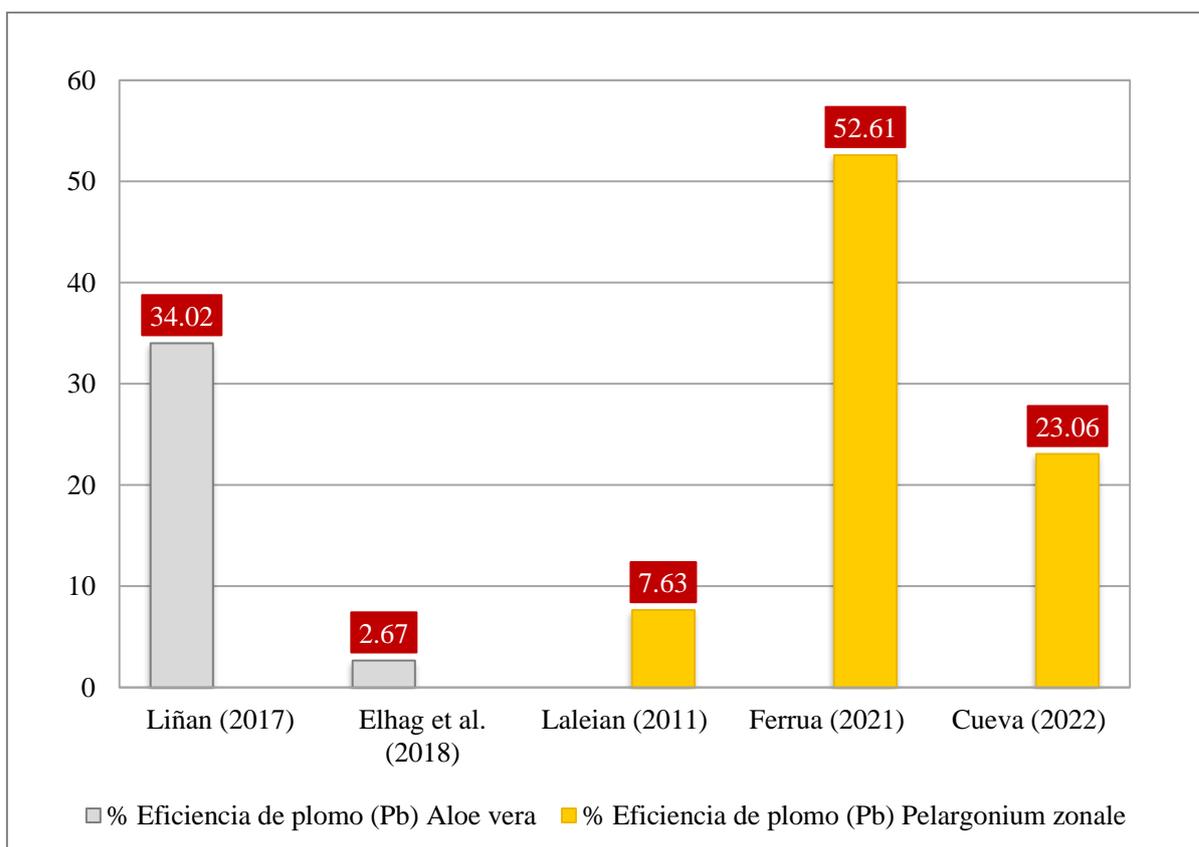
En la figura 12 se observa que, solo el estudio de Obeso y Vejarano (2020) no supera los 50 mg/kg de arsénico (As) establecido en el D.S. N° 011-2017-MINAM para suelo Agrícola.

3.4. Estudiar la eficiencia de la fitorremediación utilizando *Aloe vera* y *Pelargonium zonale* para la recuperación de suelos contaminados con plomo, cadmio y arsénico.

Por último, para dar respuesta al objetivo general y comprobar la eficiencia de la fitorremediación, se determinó el porcentaje de reducción de las concentraciones de plomo, cadmio y arsénico en el suelo, luego del tratamiento con las diferentes *Aloe vera* y *Pelargonium zonale* y se empleó la Ecuación 1.

Figura 13.

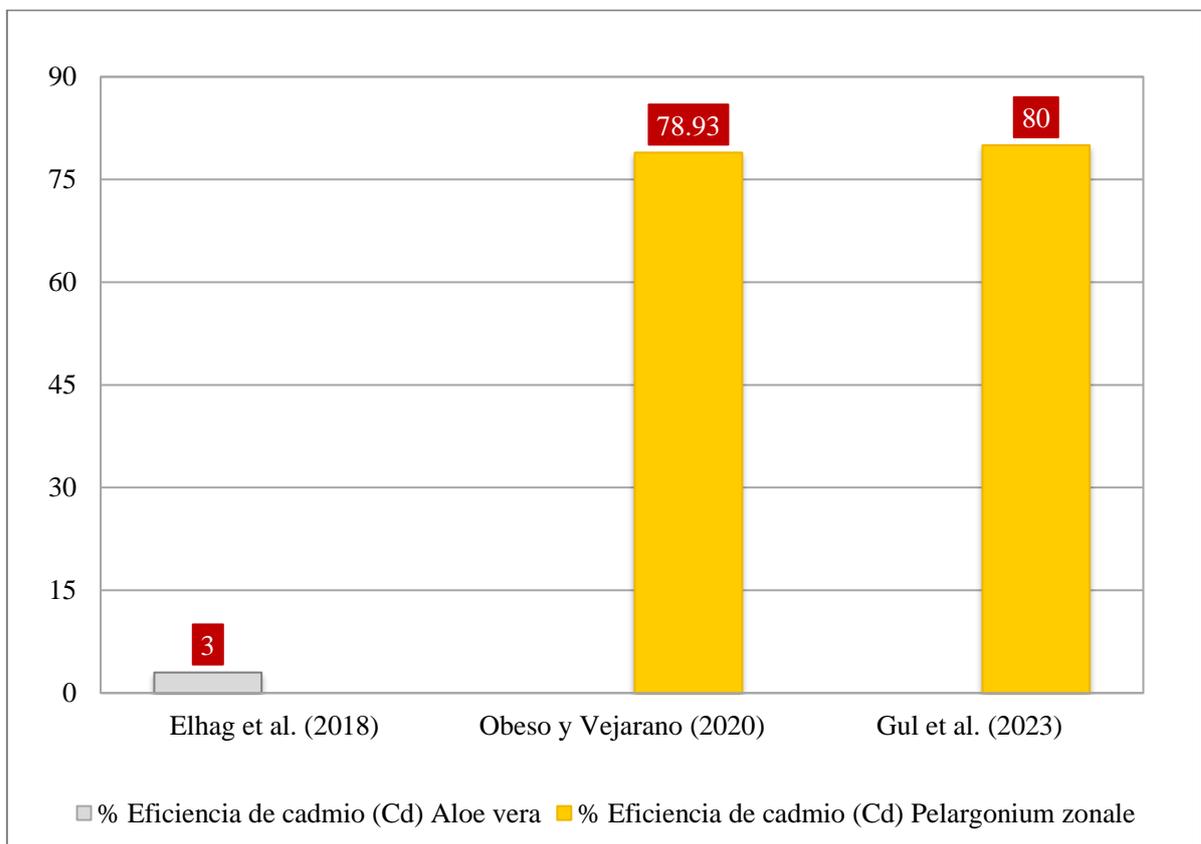
Porcentaje de eficiencia para Aloe vera y Pelargonium zonale en la recuperación de suelos contaminados con plomo (Pb).



En la figura 13 se presenta el porcentaje de eficiencia de las concentraciones de plomo (Pb) encontradas en el suelo, luego del tratamiento de fitorremediación. Se puede observar que, el mayor porcentaje de eficiencia fue con la especie *Pelargonium zonale* en el estudio de Ferrua (2021) con 52,61%. En contra posición a esto, la especie *Aloe vera* obtuvo un menor porcentaje en el tratamiento de Liñan (2017) con 34,02%.

Figura 14.

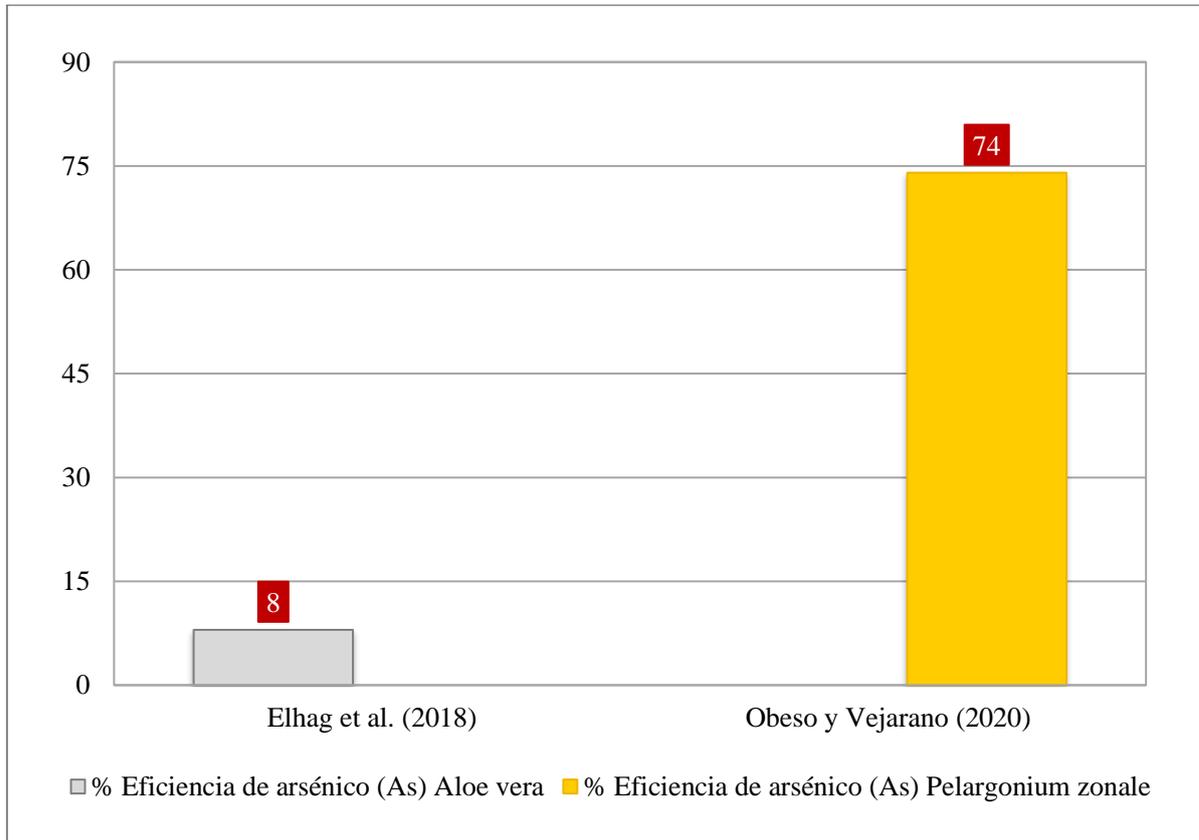
Porcentaje de eficiencia para Aloe vera y Pelargonium zonale en la recuperación de suelos contaminados con cadmio (Cd).



En la figura 14 se presenta el porcentaje de eficiencia de las concentraciones de cadmio (Cd) encontradas en el suelo, luego del tratamiento de fitorremediación. Se puede observar que, el mayor porcentaje de eficiencia fue con la especie *Pelargonium zonale* en el estudio de

Gul et al. (2023) con 80%. Por otro lado, la especie *Aloe vera* obtuvo un menor porcentaje en el tratamiento de Elhag et al. (2018) con 3%.

Figura 15. Porcentaje de eficiencia para *Aloe vera* y *Pelargonium zonale* en la recuperación de suelos contaminados con arsénico (As).



En la figura 15 se presenta el porcentaje de eficiencia de las concentraciones de arsénico (As) encontradas en el suelo, luego del tratamiento de fitorremediación. Se puede observar que, el mayor porcentaje fue con la especie *Pelargonium zonale* en el estudio de Obeso y Vejarano (2020) con 74%. Mientras que, la especie *Aloe vera* obtuvo un menor porcentaje en el tratamiento de Elhag et al. (2018) con 8%.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

El presente estudio requirió de información de revistas indexadas, tales como: Dialnet, Google Académico, Redalyc (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal), Scielo (Scientific Electronic Library Online o Biblioteca Científica Electrónica en Línea), Scopus y Alicia Concytec acerca de la eficiencia de la fitorremediación utilizando *Aloe vera* y *Pelargonium zonale* para la recuperación de suelos contaminados con plomo, cadmio y arsénico. Para lo cual, se trabajó con una matriz de base de datos comparativa, con el objetivo de facilitar el registro de 7 investigaciones que contenían las variables de estudio y dentro del periodo (2010-2023). La tabla 6 presenta los estudios que fueron seleccionados y señala en sus filas la fuente, año, título y base de datos.

En segundo lugar, para los resultados de las Figuras 7, 8 y 9, se evaluó la concentración inicial y la concentración final de los metales pesados (Pb, Cd y As), siendo los resultados los siguientes:

En la figura 7, se pudo observar que la mayor disminución de plomo (Pb) fue para el tratamiento de fitorremediación con la especie *Aloe vera* de 1470,09 mg/kg a 970 mg/kg, donde Liñan (2007) indica que el contenido de plomo (Pb) en la parte aérea de la planta fue mayor que en la parte radicular y denotando que en la hoja hubo una mayor acumulación de este metal.

Asimismo, para los resultados de la figura 8, se pudo observar que la mayor disminución de cadmio (Cd) fue para el tratamiento de fitorremediación con la especie *Aloe vera* de 1500 mg/kg a 1455 mg/kg. Del mismo modo, para los resultados de la

figura 9, se pudo observar que la mayor disminución de arsénico (As) fue con el mismo tratamiento de fitorremediación y se obtuvo de 1500 mg/kg a 1380 mg/kg, en la cual Elhag et al. (2018) afirma que, la concentración de Cd y As es mayor en el brote que en la raíz e indica que los efectos biológicos estos metales pesados en las especies vegetales dependen de muchos factores ecológicos, tales como: las absorciones en el medio ambiente, factores bióticos y abióticos, tiempo de exposición, planta crecimiento, técnicas de absorción y la afinidad de los metales pesados por los sitios de absorción.

Como tercer punto, se realizó la comparativa de las concentraciones finales de los trabajos recopilados con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) suelo agrícola (Decreto Supremo N° 011–2017–MINAM) con los metales pesados. Por lo que, para plomo (Pb) se observó que, del total de investigaciones, solo el estudio de Cueva (2022) no sobrepasó el límite de 70 mg/kg y la cual empleó la especie *Pelargonium zonale*. Mientras, en cadmio (Cd) y arsénico (As), las concentraciones finales con la especie de *Pelargonium zonale* por Obeso y Vejarano (2020) no superaron el límite de 1,4 mg/kg de Cd y 50 mg/kg de As.

En cuarto lugar, para determinar el porcentaje de la eficiencia de *Aloe vera* y *Pelargonium zonal* como se observa en las Figuras 13,14 y 15 respectivamente, se empleó la Ecuación 1; la cual indica que, la eficiencia es igual a la concentración inicial menos la concentración final, todo esto sobre la concentración inicial y multiplicado por 100. Es así que, se logró identificar la eficiencia que tuvieron las dos especies vegetales para la reducción de la concentración de contaminantes en el suelo.

Respecto a los resultados del porcentaje de eficiencia para la especie *Aloe vera* con plomo (Pb) se alcanzó valores de 34,02% y 2,67%; para cadmio (Cd) de 3% y para arsénico (As) de 8%. Mientras que, la especie *Pelargonium zonale* logró porcentajes de

(Cd) y 74% para arsénico (As).

Por último, en base a estos resultados queda demostrado que la especie *Pelargonium zonale* tiene mayor capacidad para tratar suelos contaminados con plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As) y se ha visto reflejado en las investigaciones encontradas para el desarrollo de este trabajo, existiendo mayor cantidad de resultados para *Pelargonium zonale* a diferencia de *Aloe vera*. Por lo que, se concluye que la aplicación de la fitorremediación es eficiente para la recuperación de suelos contaminados, además de ser una fitotecnología que ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad; por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo (Delgadillo et al., 2011, p. 597).

4.2. Limitaciones

La principal limitación para el desarrollo de la investigación fue la insuficiente información sobre las variables de estudio (*Aloe vera*, *Pelargonium zonale*) trabajadas sobre los suelos contaminados por la industria minera, por lo que se obtuvo una muestra de 7 estudios.

4.3. Implicancias

El presente trabajo de investigación, tiene como finalidad brindar aportes enriquecedores para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados productos de las actividades mineras, empleando la técnica de fitorremediación con diversas especies vegetales. Del mismo modo, los resultados encontrados permitirán a las futuras investigaciones, realizar un análisis, incrementar conocimientos y evaluar los grandes impactos que trae consigo la contaminación de los suelos y, a su vez contribuir a la sostenibilidad del ambiente.

- Se estudio la eficiencia de la fitorremediación empleando 2 especies (*Aloe vera* y *Pelargonium zonale*) para recuperar suelos contaminados con plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As); indicando que, la especie *Pelargonium zonale* obtuvo mayor porcentaje de eficiencia con 52,61% Pb, 80% Cd y 74% As, mientras que con *Aloe Vera* se obtuvo 34,02% Pb, 3% Cd y 8% As de eficiencia.
- Se logró recopilar 15 investigaciones de revistas indexadas, tales como: Dialnet, Google Académico, Redalyc (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal), Scielo (Scientific Electronic Library Online o Biblioteca Científica Electrónica en Línea), pero se analizó solo 7 estudios de acuerdo a los criterios de selección establecidos en el presente trabajo.
- Se evaluó la concentración antes y después de la fitorremediación de los diversos trabajos; obteniendo valores con mayor disminución de Pb (11470,09 mg/kg - 970 mg/kg); Cd (1500 mg/kg - 1455 mg/kg) y As (1500 mg/kg - 1380 mg/kg) para *Aloe vera* y Pb (510,28 mg/kg - 241,82 mg/kg); Cd (150 mg/kg - 30 mg/kg) y As (39,5 mg/kg - 10,27 mg/kg) para *Pelargonium zonale*.
- Se comparó las concentraciones finales de plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As) en los suelos de las diferentes investigaciones con los Estándares de Calidad Ambiental para suelo agrícola y se registró que el estudio de Cueva (2022) obtuvo una concentración de 55,59 mg/kg Pb, Obeso y Vejarano (2020) alcanzó 1,06 mg/kg Cd y 10,27 mg/kg As con el tratamiento de *Pelargonium zonale*, logrando establecerse por debajo de los valores establecidos por el ECA.

Referencias

- Arias, J., Villasís, M. y Miranda, M. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2), 201-206.
<https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf>
- Arancibia, D., Talamilla, M., Miranda, M. y Prat, L. (s.f.). *Aloe vera. Manejo del cultivo y usos*. Biblioteca Digital Fundación para la Innovación Agraria.
<https://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/147594/Ficha%20tecnica%20Aloe%20vera.pdf?sequence=14&isAllowed=y>
- Beltrán, M. y Gómez, A. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 12(2), 172-197.
<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/2027/1835>
- Bernabé, Y. y Medina, H. (2018). *Fitorremediador por densidad poblacional de Urtica Urens en suelos contaminados por metales pesados, caserío Shiracmaca, distrito de Huamachuco – 2018* [Tesis de bachiller, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad César Vallejo.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36186>
- Cekalovic, M. (2021). *GERANIO. Pelargonium*.
https://wiki.ead.pucv.cl/images/4/40/Marisol_Cekalovic_Geranio_ajustado.pdf
- Cueva, G. (2022). *Comparación de la eficacia de la fitorremediación mediante el geranio (pelargonium hortorum) y el girasol (helianthus annuus) para la recuperación de suelos provenientes de la concesión minera Mister Muki Distrito San Rafael,*

Provincia Ambo, Departamento Huánuco 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional de la Universidad de Huánuco.

<http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/3648>

Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J. y Acevedo, O. (2011).

Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597-612.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>

Elhag, M., Al-Ghamdi, A., Galal, H. y Dahlan, A. (2018). Evaluación *del Aloe Vera L.* como

fitorremediador de suelos contaminados con metales pesados en ambientes áridos.

Ecología Aplicada e Investigación Medioambiental, 16(5), 6033-6045.

https://www.aloki.hu/pdf/1605_60336045.pdf

Espinoza, K. (2018). *Recuperación de suelos contaminados con plomo (II) a escala piloto,*

utilizando girasol (helianthus annuus L.) con diversos tipos de abono en el distrito de

Sicaya [Tesis de licenciatura, Universidad Alas Peruanas]. Repositorio Institucional

de la Universidad Alas Peruanas.

<https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/5443>

Esquivel, B. y Marquina, Y. (2019). *Fitoextracción de Pb y Cr de relaves mineros de la poza*

Santa Catalina del distrito de Quiruvilca, Santiago de Chuco usando la especie

Brassica Juncea (Mostaza) [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo].

Repositorio Institucional UNITRU.

<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/14831>

- Farfán, G. (2018). *Identificación de suelos contaminados por minería en Caylloma, Arequipa referente a estudios geoquímicos y estándares de calidad ambiental* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3210>
- Ferrua, S. (2021). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las especies "Tradescantia Pallida" y "Pelargonium Hortorum" en suelos contaminados con plomo de la zona de las Lomas de Carabayllo* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. Repositorio de Tesis Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4445>
- Gago I., González, M., Urbano, J., Fernández, L. y Rodríguez, M. (2022). *Lavandula stoechas L.* como especie fitorremediadora, *Revista de Ciencias Agrarias*, 45(4), 685-689. <https://doi.org/10.19084/rca.28762>
- Galán, E. y Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *MACLA, Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 10, 48-60. https://www.semineral.es/websem/PdfServlet?mod=archivos&subMod=publicaciones&archivo=Macla10_48.pdf
- Gul, I., Manzoor, M., Ahmed, I., Kallerhoff, J. y Arshad, M. (2023). Fitoacumulación de cadmio por *Pelargonium × hortorum*: tolerancia y recuperación de metales. *Investigación en Ciencias Ambientales y Contaminación*, 30, 32673–32682. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-24485-5>
- Guzmán, F. (2016). Impactos ambientales causados por megaproyectos de minería a cielo abierto en el estado de Zacatecas, México. *Revista de Geografía Agrícola*, 57, 7-26. <https://www.redalyc.org/pdf/757/75749288010.pdf>

- Hernández, A. (2008). *Contaminación por cadmio en suelos aledaños a met-mex peñoles y retención de este metal por el geranio (pelargonium ssp)* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/2562>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Herrera, J. (2017). *Introducción a la Minería. Conceptos, tecnologías y procesos*. Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/63396/1/INTRODUCCION_MINERIA-Edicion2_LM1B1T2_R2-20180110.pdf
- Huaranga, F., Méndez, E., Quilcat, V., Bernui, F., Costilla, N. y Huaranga, F. (2022). Cuantificación de Cu, Pb, As y Cd absorbidos por el "girasol" *Helianthus annuus L.* (Asteraceae) presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros. *Arnaldoa*, 29(1), 119-136. <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v29n1/2413-3299-arnal-29-01-119.pdf>
- Jara, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M. y Cano, N. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista peruana de biología*, 21(2), 145 – 154. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v21n2/a04v21n2.pdf>
- La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (julio de 1999). *Resumen de Salud Pública Cadmio*. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.pdf

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (agosto de 2007).

Resumen de Salud Pública Arsénico. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.pdf

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (agosto de 2007).

Resumen de Salud Pública Plomo. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.pdf

Laleian, A. (2011). Fitorremediación de material dragado de la Bahía de San Pablo, CA para metales pesados y de transición con *Pelargonium crispum* y *beta vulgaris*.

Ciencia medioambiental, 1-12.

https://nature.berkeley.edu/classes/es196/projects/2011final/LaleianA_2011.pdf

Liñán, K. (2017). *Fitorremediación de suelos mediante la absorción de Pb al aplicar Sábila (Aloe vera); nivel de laboratorio, Ancash-201* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad César Vallejo.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31979>

López, M. (2004). *Áloe vera. Actividad farmacológica, indicaciones y reacciones adversas.*

Offarm, 23(9), 96-100. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13067351>

Marrero, J., Amores, I. y Coto, O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA. Sobre los*

Derivados de la Caña de Azúcar. 46(3), 52-61.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223124988007>

Ministerio del Ambiente (2014). *Guía para Muestreo de Suelos.*

https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAMI.pdf

Ministerio del Ambiente (2 de diciembre de 2017). *Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM:*

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0>

Molina, N., Aguilar, P. y Cordovez, C. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 8(1), 77-88.

<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1058&context=svo#:~:text=Una%20exposici%C3%B3n%20de%20corta%20duraci%C3%B3n,dustria%20del%20acero%20y%20textil.>

Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R. y Olguín, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Biotecnología y biología molecular*, 55(3), 69-83. http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf

Obeso, A. y Vejarano, R. (2020). Cultivo de geranio: uso potencial para remover arsénico (As), cadmio (Cd) y cobre (Cu) de suelos contaminados. *Consortio Latinoamericano y del Caribe de Escuelas de Ingeniería*, <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.144>

Plataforma digital única del Estado Peruano. (16 de febrero de 2021). *Mercurio en suelos de áreas degradadas por la minería aurífera aluvial.* <https://www.gob.pe/institucion/iiap/noticias/342614-mercurio-en-suelos-de-areas-degradadas-por-la-mineria-aurifera-aluvial>

- Poma, P. (2008). Intoxicación por plomo en humanos. *An. Fac. med.*, 69(2), 120-126.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v69n2/a11v69n2.pdf>
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C. y Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5(1-2), 149-155. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v5n1-2/a20v5n1-2.pdf>
- Quecedo, R. y Castaño, C. (2002). Introducción a la metodología de investigación cualitativa. *Revista de Psicodidáctica*, 14, 5-39. <https://www.redalyc.org/pdf/175/17501402.pdf>
- Ramírez, G. (2003). Sábila (*Aloe vera*). *Natura Medicatrix: Revista médica para el estudio y difusión de las medicinas alternativas*, 21(1), 26-31.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4956300>
- Ramírez, R., García, M., Álvarez, V., González, G. y Hernández, V. (2019). Potencial fitorremediador de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) en suelos contaminado por metales pesados. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 10(7), 1529-1540.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n7/2007-0934-remexca-10-07-1529-en.pdf>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M. y Gonzáles, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
- Ríos, A. (2017). *Comparación de las eficiencias fitorremediadoras de las especies Lolium perenne, Pelargonium hortorum y Fuertesimalva echinata en la reducción de la concentración de plomo en suelos agrícolas del distrito de huamantanga, 2017* [Tesis]

- de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3591>
- Rodríguez, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MediSan*, 21(12), 3372-3385. <https://medisan.sld.cu/index.php/san/article/view/1089>
- Rodríguez, D. (2021). Metales pesados y salud. *Correo Científico Médico*, 25(4). <https://revcocmed.sld.cu/index.php/cocmed/article/view/3702/2024>
- Rodríguez, E. (2022). *Fitoremediación de suelos contaminados con cadmio, proveniente de los agroquímicos, mediante extracción usando el Taraxacum officinale (Diente de león) y el Aloe vera (Sábila)* [Trabajo de licenciatura, Universidad Católica de Cuenca]. Repositorio de Investigación Universidad Católica de Cuenca. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/11206>
- Rodríguez, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. FAO. <https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>
- Sánchez, G. (2016). *Ecotoxicología del cadmio riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio* [Trabajo Fin de Grado, Universidad Complutense]. Repositorio Institucional de la UCM. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/50902/2/GARA%20SANCHEZ%20BARRON.pdf>
- Sánchez, H., Reyes, C. y Mejía, K. (2018). *Manual de términos de investigación científica, tecnológica y humanística*. Bussiness Support Aneth S.R.L.
- Van, A. (2004). *Agricultura Orgánica El Suelo: sus componentes físicos*. [https://www.ciaorganico.net/documypublic/498_script-tmp-inta_material_didactico_nro_01_\(1\).pdf](https://www.ciaorganico.net/documypublic/498_script-tmp-inta_material_didactico_nro_01_(1).pdf)

Vilela, W., Espinosa, M. y Bravo, A. (2020). La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro. *Estudios De La Gestión: Revista Internacional De Administración*, (8), 210–228. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.8>

Anexos

Anexo 1: Operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente <i>Aloe vera</i> <i>Pelargonium zonale</i>	<p><i>Aloe vera</i> tiene la capacidad de remediar los suelos contaminados con metales pesados, logrando remover 34,05% por absorción, lixiviación y dilución (Liñán, 2017).</p> <p><i>Pelargonium zonale</i> tiene la capacidad de acumular metales pesados, siendo su porcentaje de remoción un 79% tras seis semanas de cultivo (Obeso y Vejarano, 2020).</p>	<p>Se obtendrá información evaluar la eficiencia de <i>Aloe vera</i> y <i>Pelargonium zonale</i> en la recuperación de suelos.</p>	Absorción de metales pesados (Pb, Cd y As)	% de absorción
Variable dependiente Suelos contaminados con plomo, cadmio y arsénico	<p>Suelo contaminado cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana o el ambiente (MINAM, 2014, pg. 5).</p>	<p>Se evaluará la concentración antes y después de los metales pesados (Cd, Pb y As) en el suelo.</p>	La concentración de Pb, Cd y As en el suelo	- Plomo - Cadmio - Arsénico

Anexo 2: Base de datos comparativa

Fuente	Año	Titulo	Especie	Resultados					
				Plomo (Pb)		Cadmio (Cd)		Arsénico (As)	
				Concentración inicial	Concentración final				
- Artin Laleian	2011	Fitorremediación de material dragado de la Bahía de San Pablo, CA para metales pesados y de transición con <i>Pelargonium crispum</i> y <i>Pelargonium beta vulgaris</i> .	<i>Pelargonium crispum</i>	1000 mg/kg	923,7 mg/kg				
- Liñán Velásquez, Kevin Roger	2017	Fitorremediación de suelos mediante la absorción de Pb al aplicar Sábila (<i>Aloe vera</i>); nivel de	<i>Aloe vera</i>	1470,09 mg/kg	970 mg/kg				

laboratorio, Ancash-
2017

- Elhag, M.		Evaluación del <i>Aloe Vera</i>							
- Al-Ghamdi, A.	2018	de suelos contaminados con metales pesados en ambientes áridos.	<i>Aloe Vera</i>	1500 mg/kg	1460 mg/kg	1500 mg/kg	1455 mg/kg	1500 mg/kg	1380 mg/kg
- Galal, H. Dahlan, A.									
- Vejarano Mantilla, Ricardo David	2020	Cultivo de geranio: uso potencial para remover arsénico (As), cadmio (Cd) y cobre (Cu) de suelos contaminados.	<i>Pelargonium zonale</i>			5,03 mg/kg	1,06 mg/kg	39,50 mg/kg	10,27 mg/kg
- Obeso Obando, Aída del Rosario									

- Ferrua Quispe, Schauny Vivian 2021 Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las especies “*Tradescantia Pallida*” y *Pelargonium Hortorum* “*Pelargonium Hortorum*” en suelos contaminados con plomo de la zona de las Lomas de Carabayllo. 510,28 mg/kg 241,82 mg/kg

- Cueva Ocaña, Guadalupe Chris 2022 Comparación de la eficacia de la fitorremediación mediante el geranio (*pelargonium hortorum*) y el girasol (*helianthus annuus*) para la recuperación de suelos provenientes de la *Pelargonium Hortorum* 72,25 mg/kg 55,59 mg/kg

concesión minera Mister Muki distrito San Rafael, provincia Ambo, departamento Huánuco 2021.

- Gul, Iram
 - Manzoor, María
 - Ahmed, Imran 2023
 - Kallerhoff, Jean
 - Arshad, Muhammad
- Fitoacumulación de cadmio por *Pelargonium hortorum*: tolerancia y recuperación de metales.
- | | | |
|-----------------------------|-----------|----------|
| <i>Pelargonium hortorum</i> | 150 mg/kg | 30 mg/kg |
|-----------------------------|-----------|----------|