



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Revisión Sistemática en fitorremediación con girasol ("*Helianthus annuus L.*") para el tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo en el Perú, 2021

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

AUTORES:

Canchapoma Mamani, Sofia Inés (ORCID: 0000-0003-3042-3541)
Centeno Fernández, Gabriela Melissa (ORCID: 0000-0002-1610-8601)
Córdova Ortiz, Yohaira Cedma (ORCID: 0000-0001-9440-5233)
Sánchez Baique, Aarón (ORCID: 0000-0001-8806-5797)

ASESOR:

MSc. Quijano Pacheco, Wilber Samuel (ORCID: 0000-0001-7889-7928)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA - PERÚ
2021

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a nuestros familiares por el apoyo constante durante todo este proceso, siempre nos acompañan y nos motivan.

A los docentes de la universidad César Vallejo, que nos inculcaron, motivaron y acompañaron en este proceso de enseñanza.

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirnos cada día y mantenernos con vida a nosotros y a nuestros familiares.

A nuestros padres por guiarnos a través de nuestras vidas y por confiar en nosotros, por nunca rendirse y siempre anhelar lo mejor para nosotros.

A nuestra casa de estudio por brindarnos todos los conocimientos que albergamos hoy en día.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	21
3.1 Tipo y diseño de investigación	22
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización	22
3.3. Escenario de estudio	23
3.4. Participantes	24
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	25
3.6. Procedimiento.....	25
3.7. Rigor científico.....	27
3.8. Método de análisis de datos	28
3.9. Aspectos éticos	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
V. CONCLUSIONES	38
VI. RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS.....	42
ANEXOS	50

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la revisión sistemática en fitorremediación con girasol (“*Helianthus annuus* L.”) para el tratamiento de suelos contaminados por cadmio y plomo en el Perú 2021. El método que se utilizó fue la búsqueda de artículos científicos referente al tema de estudio en las bases de datos como Science Direct, SciELO, Redalyc Académico, SpringerLink y Academia; con un enfoque de investigación cualitativa y diseño de investigación no experimental. Los resultados observados acerca de las características del girasol fueron que el tiempo de crecimiento varía dependiendo del autor, siendo el tiempo mínimo de crecimiento 21 días y el máximo 90 días, en los tamaños de la planta también hay variaciones, los girasoles que fueron cosechados en tiempos más cortos tuvieron una altura menor a diferencia de los que tuvieron más tiempo de crecimiento, además que su crecimiento fue favorecido por diversos compostajes y hongos; respecto a los datos de biomasa de las plantas, la mayoría de los autores no han considerado esta característica importante por lo que no hubo datos para comparar. Por otro lado, el número de plantas varía usadas en la técnica de fitorremediación también varía, siendo el número mínimo de plantas usadas 2 y el máximo 20, en algunos casos los autores no especifican estos datos; respecto al tipo de siembra, se destacan 2 tipos, las macetas en invernadero y las parcelas de cultivo las cuales fueron las más usadas por los autores. Referente a la eficiencia de absorción del girasol sobre el cadmio y plomo se encontraron diferentes resultados, la cantidad máxima absorbida de cadmio en hojas fue de 100 mg/kg y de plomo 390 mg/kg, en el tallo para el cadmio fue de 77 mg/kg y para el plomo de 201.935 mg/kg, y en la raíz para el cadmio fue de 192.69 mg/kg y para el plomo de 319.254 mg/kg. En conclusión, se evidenció con los datos recopilados de diversos autores internacionales que el *Helianthus annuus* es una planta hiper acumuladora de diversos metales pesados que se puede aprovechar principalmente para la depuración de suelos contaminados por Cd y Pb.

Palabras claves: Fitorremediación, cadmio y plomo, *Helianthus annuus* L., suelos contaminados.

ABSTRACT

The present research work aims to evaluate the systematic review on phytoremediation with sunflower (*Helianthus annuus* L.) for the treatment of soils contaminated by cadmium and lead in Peru 2021. The method used was the search for scientific articles related to the topic of study in databases such as Science Direct, SciELO, Redalyc Académico, SpringerLink and Academia; with a qualitative research approach and non-experimental research design. The results observed about the characteristics of sunflower were that the growth time varies depending on the author, being the minimum growth time 21 days and the maximum 90 days, in the sizes of the plant there are also variations, the sunflowers that were harvested in shorter times had a smaller height as opposed to those that had more time of growth, besides that their growth was favored by diverse composts and fungi; regarding the data of biomass of the plants, most of the authors have not considered this important characteristic so there was no data to compare. On the other hand, the number of plants used in the phytoremediation technique also varies, being the minimum number of plants used 2 and the maximum 20, in some cases the authors do not specify this data; regarding the type of planting, 2 types stand out, pots in greenhouses and cultivation plots which were the most used by the authors. Regarding the absorption efficiency of sunflower on cadmium and lead, different results were found, the maximum amount absorbed of cadmium in leaves was 100 mg/kg and of lead 390 mg/kg, in the stem for cadmium it was 77 mg/kg and for lead 201.935 mg/kg, and in the root for cadmium it was 192.69 mg/kg and for lead 319.254 mg/kg. In conclusion, it was evidenced with the data collected from various international authors that *Helianthus annuus* is a hyper-accumulator plant of various heavy metals that can be used mainly for the purification of soils contaminated by Cd and Pb.

Key words: Phytoremediation, cadmium and lead, *Helianthus annuus* L., contaminated soils.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación de los suelos causados por los metales pesados es una problemática que afronta el medioambiente debido a las actividades mineras e industriales, como son los derrames, generación de residuos sólidos o el mal manejo, causando riesgos en la calidad de los recursos de la naturaleza y bienestar humano, siendo un problema muy difícil de remediar debido a que los metales se aglomeran con facilidad al ambiente ocasionando enfermedades al hombre y los animales como también alteración a los ecosistemas. (Alvarez, 2019)

A nivel mundial, los países desarrollados poseen suelos más contaminados debido al gran avance industrial, por ello en China, en el año 2005 mediante un estudio se evidencio que el 20% del suelo agrícola estuvo contaminado con cadmio y plomo, por lo cual los cultivos se infectaron, de igual manera sucedió en Grecia, se observó metales pesados en suelo rurales e industriales debido a las grandes industrias que estaban situadas alrededor, de igual manera en las prácticas de cultivo se emplean fungicidas, agroquímicos y plaguicidas en grandes cantidades que conlleva a la presencia de metales pesados, dejando un suelo infértil y sin nutrientes. (Reyes et al., 2016)

El Perú es uno de los países que cuenta con gran producción de plomo, por ello es alarmante la gran contaminación que esta genera en los suelos, como es el caso en La Oroya que sus suelos están contaminados con 3000 a 16000 mg/kg de plomo, de acuerdo al ECA del suelo sobrepasa los 800 mg/kg permitidos, de igual manera sucede con el cadmio con una contaminación de 6,76 mg/kg. (Gamarra et al., 2020)

El cadmio y el plomo son elementos que se adhieren fácilmente en el suelo, generando preocupación dado que, si sus niveles se encuentran por encima de los ECA, serían aún más perjudiciales, por ello existen métodos amigables con el medioambiente para remediarlo y disminuir su contaminación, como es el caso del uso de plantas que tienen elevada biomasa se suelen usar como fitorremediadoras, que en este caso se empleará el girasol (*Helianthus annuus L.*). (Niu, 2017)

El girasol es una de las plantas que tiene gran capacidad para acumular elevadas concentraciones de cadmio y plomo en sus raíces, tallos y hojas, por ello es que el girasol es utilizado en las técnicas de fitorremediación, para reducir la concentración de estos metales que se adhieren fácilmente en los suelos. (Munive et al., 2020). La planta *Helianthus annuus* L. es económica con propiedades de absorción de contaminantes que no daña la planta, por lo que varios estudios han reportado su potencial en fitorremediación y su crecimiento en suelos contaminados. (Madejon et al. 2003)

La motivación para realizar el presente trabajo es que existen diversos artículos científicos que han estudiado el efecto del *Helianthus annuus* L” que produce en suelos contaminados por cadmio y plomo, estos contaminantes demuestran una severa preocupación por el medio ambiente debido a que se adhiere con facilidad al suelo y genera daños a la salud humana, con este trabajo de investigación se busca realizar una sistematización de toda esta información y organizarla a través de fichas, también se busca dilucidar esta información y observar las diferencias que tienen los trabajos en torno a los objetivos planteados.

Por esto es que en el trabajo de investigación se planteó como problema general: ¿Cómo será la Revisión sistemática en fitorremediación con girasol (“*Helianthus annuus* L.”) para el tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo en el Perú, 2021? Los problemas específicos son ¿Cómo serán las características del girasol (“*Helianthus annuus* L.”) en la fitorremediación con girasol (“*Helianthus annuus* L.”) para el tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo en el Perú, 2021?, ¿Será efectiva la técnica de fitorremediación con girasol (“*Helianthus annuus* L.”) para el tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo en el Perú, 2021?, ¿En qué medida es la eficiencia de absorción del girasol (“*Helianthus annuus* L.”) en la fitorremediación para el tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo en el Perú, 2021?

La justificación del presente trabajo pretende ser teórica ya que se espera que este tema sirva de apoyo a futuros trabajos de investigación. La justificación social es el resultado final que pretende ayudar a resolver el problema social de las personas que viven cerca de suelos contaminados por cadmio y plomo. La justificación ambiental radica en que la técnica de la fitorremediación a través de la aplicación del girasol es amigable con el medio ambiente. La justificación técnica del trabajo es recopilar la información del tema y sistematizar. El aporte económico es que la técnica de fitorremediación es de bajo costo.

En esta investigación se plantea el siguiente objetivo general: Evaluar la revisión sistemática en fitorremediación con girasol (*“Helianthus annuus L.”*) para el tratamiento de suelos contaminados por cadmio y plomo en el Perú 2021, de igual manera tenemos los objetivos específicos: Identificar las características de fitorremediación con girasol (*“Helianthus annuus L.”*) para el tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo en el Perú 2021, Determinar si la técnica de fitorremediación con girasol (*“Helianthus annuus L.”*) es efectiva para el tratamiento de suelos contaminados por cadmio y plomo en el Perú 2021, Determinar la eficiencia de absorción del girasol (*“Helianthus annuus L.”*) en la fitorremediación para el tratamiento de suelos contaminados por cadmio y plomo en el Perú 2021.

II. MARCO TEÓRICO

Agnello et al., (2018) tuvo como objetivo explorar el comportamiento de escorias pirometalúrgicas abundante en cobre en el complejo sistema de meteorización que involucra planta (girasol) y microorganismos del suelo. La metodología fue experimental en macetas usando como sustrato de cultivo de *Helianthus annuus* (girasol) una mezcla al 50% p/p de suelo agrícola y escorias granuladas. Los resultados de la prueba de lixiviación mostraron que los metales liberados de las escorias fueron en orden decreciente: $Cu > Zn > Pb$, con nivel en muestra AS + GS (50% p/p) de 46.9 mg/kg de Pb y concentración en los brotes de girasol de 124 mg/kg para Pb. En conclusión, la disposición de las escorias abundantes en metales en el suelo fue soportada por el girasol acumulando Pb en especial en los tejidos superficiales.

Angelova et al., (2016) tuvo como objetivo estimar la efectividad de los aditivos orgánicos sobre la cantidad de Pb y Cd para evaluar su efecto de los aditivos selectos sobre la acumulación de los metales por el girasol. La metodología fue experimental debido al diseño de bloques totales aleatorio que contenía cinco tratamientos de cuatro repeticiones (20 parcelas), en donde se sembraron semillas de girasol en cada parcela. Los resultados obtenidos por mostraron que la absorción de Pb y Cd por las plantas de girasol dependía de las enmiendas y el tratamiento del suelo, en donde hubo disminución del Pb 449.5 mg kg⁻¹. En conclusión, la aplicación de enmienda orgánica condujo a una inmovilización efectiva de las formas móviles de Pb y Cd en el suelo. Se halló la correlación en la cantidad de formas móviles con la captación de Pb y Cd por las semillas de girasol.

Benavides et al., (2021) tuvo como objetivo examinar varias especies de plantas discutidas en documentos consultivos recientes sobre la solución de los problemas de Cd. La metodología es experimental en donde se realizó dos experimentos en macetas de invernadero en diferentes medios de crecimiento enriquecidos con Cd. Los resultados muestran que la colza tuvo el mayor Cd total de la planta y el girasol tuvo la mayor absorción de Cd en la biomasa de los brotes. La mayor aplicación de Cd correspondió a la mayor absorción de Cd total de la planta y de la biomasa de brotes, independientemente de la especie. Se concluye que la capacidad de absorción de Cd (solo biomasa de

brotos) de las tres especies examinadas es mayor para el girasol debido a su mayor absorción con adiciones de Cd, su valor de BCF > 1 y la falta de síntomas de toxicidad visual de Cd, hongos e insectos observados.

Chauhan et al., (2020) tuvo como objetivo valorar el rendimiento de la fitoextracción de Pb en cinco variedades de *H. Annuus* (girasol) y sus efectos en sus componentes fisiológicos y bioquímicos. La metodología que se utilizó fue estadística y experimental. Los resultados mostraron que, de las cinco variedades, la variedad Phule Bhaskar y la segunda variedad KBSH-44 de *H. annuus* tenían un mejor rendimiento que las otras tres, lo cual se obtuvo que en la primera se acumuló una concentración máxima de 693,69 mg kg⁻¹ y concentración mínima de 333,32 mg kg⁻¹ de Pb. Seguidamente, la segunda variedad acumuló 394,32 mg kg⁻¹ Pb en las raíces. En conclusión, se confirma que la planta *H. annuus* es hiperacumuladora que puede aplicarse para purificar los suelos contaminados por metales pesados.

Chen et al., (2020) tuvo como objetivo explorar la influencia de CA, OA y adición de EDDS en distintas concentraciones (0, 2.5, 5 mmol / kg) del suelo sobre el crecimiento y el estrés de las plantas. Así mismo, analizar los mecanismos por los cuales los agentes quelantes mejoran la capacidad de fitorremediación de Cd con girasol. La metodología que se realizó fue el método experimental y estadístico. Los resultados resaltan una disminución en la biomasa vegetal de un 12, 12 % para brotes y 15, 74% para raíces bajo estrés de Cd, haciendo uso de CA y OA. Mientras que, aplicando EDDS se logra un 177.48% y 181.51%. En conclusión, la adición de agentes quelantes puede mejorar la absorción de Cd por el girasol teniendo una mejor eficiencia.

Dickson et al., (2020) tuvo como objetivo investigar el potencial de algunas especies de girasol disponibles localmente, vino de palma fermentado y *P. ostreatus* para el tratamiento de los suelos contaminados con hidrocarburos. La metodología fue experimental utilizando macetas de 1,5 L, en donde se coloran las muestras de suelo junto con la enmienda, en los suelos modificados contaminados con petróleo se utilizaron para el cultivo de girasoles, el tratamiento con vino de palma fermentado y los hongos de pudrición blanca. *P.*

ostreatus. Los resultados obtenidos revelaron hasta 340 g/kg de peso seco de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPHs) en los suelos, con resultados de remediación de hasta 69% por el girasol- *Helianthus annuus* (Pacino gold), 70% por vino de palma fermentado, y 85% por *P. ostreatus*. En conclusión, la eficiencia de la fitorremediación de las especies de girasol podría estar relacionada con su biomasa, y las que tienen mayor biomasa exhiben mejores potenciales de remediación.

Forte y Mutiti, (2017) tuvo como objetivo evaluar la hiperacumulación y fitorremediación del cobre (Cu) y el plomo (Pb) en Hardy 'Limelight' *Hydrangea* (*Hydrangea paniculata*) y el girasol común (*Helianthus annuus*). La metodología fue experimental en donde las plantas se cultivaron durante 4 semanas y se regaron periódicamente con concentraciones elementales conocidas de nanopartículas de óxido de cobre, sulfato de cobre y nitrato de plomo. En los resultados el *H. annuus* absorbieron cantidades significativas de Cu en los brotes, específicamente las hojas (Cu máx. = 1368 ppm), y lo trasladaron fácilmente de tallo a hoja (el factor de translocación (TF) osciló entre 2.7 y 81.0). Se concluye que la capacidad de translocación de *H. paniculata* fue mucho menor para ambos metales en comparación con *H. annuus*.

García et al., (2018) tuvo como objetivo evaluar la adaptación del girasol junto al HMA para adecuarse al medio contaminado con plomo. La metodología fue experimental usando el software Statgraphics CENTURION XV.I. En los resultados se halló que el girasol crece en suelos contaminados con plomo y HMA y poseen gran competencia infesta en los medios usados. Se concluye que el girasol logró ambientarse en los suelos contaminados con plomo con concentraciones de 300, 500 y 700 mg/Kg. Empero, manifestó síntomas morfológicos, como es el caso de la clorosis, además de deformaciones indicando así la presencia del contaminante.

Govarthanan et al., (2018) tuvo como objetivo cultivar *Helianthus annuus* en suelo contaminado con Pb tratado con hongos promotores de crecimiento vegetal *Trichoderma* sp. aislado MG evaluada en la eficiencia de fitorremediación. La metodología fue experimental con la técnica de vertido en placa (agar papa-dextrosa) de incubación de hongos, cultivo en caldo (papa-dextrosa) para MG aislada y método de espectrometría de masa de plasma con acoplamiento inductivo para concentración de membrana de Pb. Los resultados mostraron que el aislado MG tuvo una alta tolerancia a Pb (500 mg/L) eliminando más del 70% del metal, además el tratamiento del girasol con MG aislado se obtuvo la máxima acumulación del metal en los brotes (Pb: 59%). En conclusión, la contaminación del suelo por Pb puede tratarse eficientemente a través de la micofitorremediación secuencial y combinacional usando *Trichoderma* sp. y *Helianthus annuus*.

Guarino et al., (2017) tuvo como objetivo evaluar la eficacia de *H. annuus* L. y *B. juncea*. con pruebas de microcosmos y mesocosmos en la fitoextracción in situ en curso de PTE (Cd, Hg, Zn) en la zona contaminada. La metodología fue experimental en macetas con microcosmos que contenía 300 g de tierra y macetas con mesocosmos con 4.0 kg de tierra, el suelo seleccionado tuvo 1m profundidad. Los resultados con respecto al área SP3 se observa un valor de 1.17 mg/ kg Cd en la biomasa de *H. annuus*, mientras que en el FS4 hay 1.07 mg/ kg de Cd y para la *B. juncea* en SP3 es 1.28 mg kg⁻¹ Cd y FS4 es 1,26 mg kg⁻¹. En conclusión, la biomasa de *H. annuus* es significativamente menor en comparación con *B. juncea*; por lo tanto, la biomasa limitada de girasol podría acumular menos cantidad de metales totales, por ello para aumentar la absorción de metales con respecto al girasol se debe añadir en más porción el EDTA.

Hattat et al., (2016) tuvo como objetivo valorar la capacidad de una rotación de cultivos de girasol y tabaco para remediar suelos contaminados con Cu, con y sin una sola adición inicial de compost (5%) y caliza dolomítica (0,2%). La metodología fue experimental debido a que se dividió el área por bloques dependiendo la textura del suelo para añadirles el girasol y tabaco. Los resultados de la prueba de lixiviación anual redujeron significativamente la

cantidad concentrada promedio de Cu, Zn, As y Cr en casi un 61%, 58%, 60% y 40% respectivamente, en donde la remoción de Cu por las partes de las áreas del girasol fue de 141 g Cu ha., mientras que en el área de tabaco fue de 145 - 183 g Cu ha. En conclusión, el uso del girasol y tabaco contribuyeron en la disminución de contaminación de suelos mediante la fitoextracción de metales pesados.

Jun et al., (2020) tuvo como objetivo estimar el efecto del biocarbón de lichi en la utilidad del girasol para descontaminar los suelos con metales pesados. La metodología que se aplicó fue estadística y experimental. Los resultados mostraron que con la ayuda del biocarbón de lichi el girasol aumentó su capacidad hiperacumuladora de 22,9% a 58%, 15,8% a 42% de metales pesados como Pb y Cd respectivamente. Además, las plantas de girasol disminuyeron considerablemente la concentración de estos suelos con Pb y Cd en un 12.4% y 11% respectivamente. En conclusión, el uso de biocarbón de lichi mejoró notablemente en la limpieza de los suelos contaminados por metales como plomo y cadmio.

Khalid et al., (2018) tuvo como objetivo reducir las concentraciones de Cd y Pb aplicando la fitorremediación y valorar su efecto en la biomasa del girasol. La metodología que se realizó fue el método experimental y estadístico ya que se llevó a cabo la observación, manipulación y el registro de cambios en el suelo contaminado después de haber cultivado el girasol. Así mismo, se realizó un análisis estadístico haciendo uso del paquete SAS. Los resultados obtenidos fueron: El suelo contaminado por Pb y Cd reducían los pesos frescos de las plantas en desarrollo gradualmente. De tal manera que los pesos de los brotes y raíces de los girasoles fue de 76.6% a 64.3% y 88.5% a 80.80% respectivamente. También las longitudes de brotes y raíces que fueron de 71.6% a 94.1 % y 83.2% a 95.1% respectivamente. Además, la máxima concentración de Pb y Cd en el brote fue de 40.1% a 65.7% mg/kg y de las raíces fue de 107.7% a 71.3% mg/kg respectivamente). En conclusión, el girasol es una muy buena opción para depurar suelos contaminados con Cd y Pb por su excelente absorción de estos metales.

Liduino et al., (2018) tuvo como objetivo estimar el uso de suplementos comerciales de biosurfactantes de ramnolípidos en la fitorremediación de un suelo a través del cultivo de girasol. El método usado es un análisis de PCR-DGGE de muestras de suelo recolectadas antes y después de los tratamientos. Se obtuvieron reducciones de 58% y 48% en las concentraciones de hidrocarburos de petróleo totales (TPH) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), respectivamente; También se lograron reducciones en las concentraciones de los siguientes metales: Pb (29%), Cr (30%), Ni (41%) y Zn (20%). Se concluye que el cultivo de girasol con la adición de un biosurfactante es una tecnología viable y eficiente para tratar los suelos contaminados con metales e hidrocarburos de petróleo.

Lovejoy y Smeno, (2021) tuvo como objetivo evaluar si las adiciones de estrigolactonas aumentan la absorción del plomo en el girasol. La metodología fue experimental en donde los girasoles se cultivaron en suelo modificado con plomo con adiciones de auxina, citoquinina, giberelina y estrigolactona, y luego se cuantificó la acumulación de Pb. En los resultados los girasoles tratados con estrigolactona tenían concentraciones de Pb significativamente elevadas en sus tejidos por encima y por debajo del suelo ($\sim 2,5 \times$). Se concluye que las estrigolactonas pueden aumentar significativamente la eficiencia del proceso de fitoextracción en escalas de tiempo relativamente cortas.

Lyngdoh Y Sanjay, (2020) tuvo como objetivo evaluar la capacidad del fósforo para contrarrestar los efectos nocivos de los metales pesados reduciendo su concentración y aumentando el rendimiento del maíz. La metodología fue experimental en macetas para la eficacia de la fitorremediación de *Helianthus annuus* y *Vigna unguiculata* en suelos contaminados con metales. Los resultados mostraron que el fósforo más alto se observó concentración en maíz cultivado en girasol suelo remediado (media 0,14%), que fue significativamente más alto que el maíz cultivado en suelo de frijol espárrago (media 0,12%), también se registró el valor más alto de 29,65 mg P se registró en suelo remediado con girasol seguido por suelo remediado con espárragos (21,45 mg P) y el menor se registró en suelo no fitorremediado (17,03 mg P). En conclusión, el girasol es un cultivo fitorremediador superior en comparación con

el frijol espárrago (*Vigna unguiculata*) ya que extrae una mayor cantidad de metales pesados del suelo contaminado del área de la mina de carbón.

Lu et al., (2021) tuvo como objetivo investigar la eficiencia de los cinco ácidos orgánicos en fitorremediación. La metodología fue experimental en macetas con 31 tratamientos de 3 repeticiones, donde se agregó soluciones de ácido acético, ácido cítrico, ácido málico, ácido oxálico y ácido tartárico con dosis de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 mmol / kg y plantaciones de girasol. Los resultados mostraron que el ácido oxálico, ácido acético, ácido tartárico, ácido málico y ácido cítrico incrementaron la altura del girasol en 17.6–47.40%, 21.25–39.17%, 12.5–35.52, 5.10–30.50% y 16.15–49.17% respectivamente, asimismo la composición de Cd en el suelo tuvo un cambio significativo debido al tratamiento con los ácidos orgánicos, en comparación con el tratamiento de control. En conclusión, los cinco ácidos orgánicos tuvieron efectos positivos sobre la biodisponibilidad de Cd del suelo, además la toxicidad del Cd en el girasol fue en las raíces. Por otro lado, el uso de los ácidos orgánicos no tuvo una reducción significativa del Cd del suelo de la rizosfera, hubo un incremento significativo en la calidad de materia seca aérea de las plantas de girasol acumulándose el Cd.

Mousavi et al., (2018) tuvo como objetivo efectuar dos nanopartículas y dos bacterias en la rizosfera de girasol en la dinámica del plomo en condición de invernadero. La metodología que se realizó fue experimental. Los resultados mostraron la reducción del Pb de 10.34% a 25.92% en la rizosfera del girasol, la acumulación del Pb en los tejidos vegetales tuvo una reducción significativa ($p < 0.05$) por el uso de enmiendas debido al desplazamiento del metal inducida de forma inmóvil en el proceso de rizosfera. En conclusión, el intenso proceso de la rizosfera y los cambios que se produjeron afectan la eficacia de las nanopartículas y las bacterias en la inmovilización del Pb en el suelo, esto dependiendo de su carácter químico y su tratamiento.

Munive et al., (2020) tuvo como objetivo valorar la efectividad de las enmiendas orgánicas compost y vermicompost con el fin de minimizar la contaminación por metales en los suelos agrícolas. La metodología fue la utilización del girasol como fitorremediadora en suelos agrícolas de Mantaro y Muqui, Valle del Mantaro. En sus resultados indicaron que el girasol logra absorber los metales demostrándose en la acumulación de Pb y Cd en su raíz, mientras tanto no se encontró diferencias notables en la acumulación de plomo en flores y tallos, hojas y tallos para cadmio en hojas y tallos. En conclusión, se confirmó que la utilización de las enmiendas contribuye en la solubilidad del cadmio y plomo del suelo, contribuyendo además en el crecimiento de los cultivos. Además, los valores de FBC para el cadmio (0.53 - 0.66) sobrepasaron a los valores del plomo (0.07 - 0.08), de la misma forma, los valores de FT señalan la capacidad del girasol como un fito estabilizador, en especial cuando se emplea el vermicompost (Pb: 1.2 - Cd: 1.4) y con el compost (Pb: 0.8 - Cd: 1.2).

Peña y Beltrán, (2019) tuvo como objetivo descontaminar los suelos contaminados con metales (cadmio y plomo) tomando muestras en tres fases, las cuales eran antes, durante el cultivo y después de la cosecha. La metodología fue el método analítico instrumental de ICP-Masas. Los resultados de la concentración fito-extraída por la planta en la Raíz: Cd (2.61 ppm) y Pb (17.45 ppm), Hoja: Cd (1.72 ppm) y Pb (0.889 ppm), Tallo: Pb (0.3685 ppm), Flor: Pb (47.87 ppm) y Semilla: Cd (0.228 ppm). En conclusión, los análisis de varianza química del suelo en los lotes, los elementos Cd y Pb no mostraron significación estadística ($P > 0.05$), los coeficientes de variabilidad mostraron promedios de 20.67 % y 28.97 % respectivamente considerados moderadamente alto con tendencia heterogénea; y la fitoextracción fue absorbida por las raíces (Cd y Pb), seguido de hojas, tallos, flores y semillas.

Rahmanian et al., (2019) tuvo como objetivo evaluar los efectos del EDTA, ácido nítrico y extracto de estiércol de aves en la biodisponibilidad y fraccionamiento del Pb en la rizosfera de *Helianthus annuus* L. (girasol) y suelo a granel. La metodología fue experimental agregando EDTA y ácido nítrico (0, 0.5 y 1 mmol kg⁻¹) y extracto de estiércol de aves (0, 0.5 y 1 g kg⁻¹) en los suelos en patrón aleatorio con tres repeticiones de invernadero. Los resultados

indicaron que la utilización de quelantes tuvo un impacto significativo ($p < 0.05$) en la extracción del Pb por los diferentes extractantes y fracciones en el suelo. En conclusión, las características bioquímicas en el suelo en la rizosfera del girasol sufren cambios en consecuencia de que las raíces contribuyeron con la reducción de Pb.

Razmi et al., (2021) tuvo como objetivo identificar los factores con más efectividad y el mejor nivel para estos factores en la fitorremediación de suelos con Pb y Cd por maíz, girasol y sorgo. Se utilizó la metodología de optimización de Taguchi. Los resultados muestran que la TF media de los PTE en el girasol fueron de 15% y 20% de Pb y Cd respectivamente, siendo superior a las otras plantas. Mientras que, en el valor de BCF logró un 40% y 80% de Pb y Cd, también siendo superior al maíz y al sorgo en su capacidad de absorción. En conclusión, la mejor planta fitorremediadora de suelos contaminados con metales es el girasol debido a sus diversas características beneficiosas que posee.

Reddy et al., (2020) tuvo como objetivo investigar los efectos de concentraciones elevadas de contaminantes en la fitorremediación de suelos con contaminantes mixtos. La metodología fue experimental en donde la Avena sativa (planta de avena) y *Helianthus annuus* (girasol) se cultivaron en suelos contaminados de plomo, cadmio y cromo. Los resultados mostraron que un aumento en las concentraciones de contaminantes influyó de manera negativa en el desarrollo y la biomasa de las plantas, y el girasol mostró menores tasas de germinación, supervivencia, crecimiento y biomasa bajo concentraciones crecientes de contaminantes. Sin embargo, el girasol fue relativamente más eficaz que la planta de avena para la fitoextracción de metales en todas las concentraciones de contaminantes estudiadas. Se concluye que en general, el desarrollo de las plantas y la fitoextracción de metales pesados se redujeron con un aumento en las concentraciones de contaminantes.

Rodrigo, (2018) tuvo como objetivo estimar la fitorremediación del girasol a través de la aplicación de enmienda a los suelos contaminados con metales en industrias metalmeccánicas. La metodología fue experimental evaluando la acumulación de Pb del cultivo de plantas en 60 días realizando cuatro tratamientos incluyendo enmienda orgánica mezclada con suelo contaminado. Los resultados evidenciaron que el uso de la enmienda orgánica en los tratamientos T3 y T4 se bioacumuló el Pb en el suelo (T3: 75.54 ppm, T4: 46.09 ppm) y en la planta de girasol (T3: 50.70 ppm, T4: 41.30 ppm). En conclusión, la planta girasol poseyó capacidad bioacumuladora de Pb en la masa foliar de los tratamientos reduciendo la contaminación de los suelos por el metal pesado.

Tariq y Ashraf, (2016) tuvo como objetivo desarrollar las estrategias de remediación para suelos contaminados con metales de campos de tiro mediante el uso de cuatro especies de plantas diferentes, a saber, *H. annuus*, maíz *Z.*, *Brassica campestris* y *Pisum sativum*. La metodología fue experimental en macetas que contenían 1 kg de tierra recolectada del campo de tiro, las plantas se cultivaron en macetas en dos grupos (experimental y control). Los resultados estadísticos para la muestra de suelo en macetas fueron que el *H. annuus* en el grupo control (sin EDTA), hubo Plomo (680,7 mg kg⁻¹) y en Cadmio (3,188 mg kg⁻¹) y en el grupo experimental (con EDTA), se muestra la eficiencia de fitorremediación donde hubo Plomo (347,4 mg kg⁻¹) y en Cadmio (3,344 mg kg⁻¹). En conclusión, el *H. annuus* representó el mayor potencial de eliminación de Cd en 56,03%, aunque el Pb también se redujo en un 48,86%.

Yazdanbakhsh et al., (2020) tuvo como objetivo aplicar 2 enmiendas (biosólidos y estiércol de vaca) para el mejoramiento de acumulación de metales en girasol ornamental en suelos de campos de cultivos. La metodología fue experimental con invernadero de diseño al azar con 4 repeticiones y una aplicación de biosólidos y estiércol de vaca en 3 proporciones de peso (6, 12 y 25%), así evaluar la eficiencia del girasol en la depuración de Pb en el suelo. Los resultados demostraron que, en los tratamientos con dos modificadores, el factor de remediación de Pb aumentó de 83.7 a 95.5, comparándolo con el

control. En conclusión, la agregación de biosólidos y estiércol de vaca en simultáneo mejoraría la capacidad del girasol ornamental de acumulación de metales.

Zehra et al., (2020) tuvo como objetivo estimar los cultivares de girasol de alta acumulación en dos ambientes de suelos diferentes para reconocer su potencial de remediación de tierras contaminadas con Cd. La metodología fue experimental en parcelas divididas en un Oxipesol (SI) e Inceptisol (SII), se utilizaron cuarenta cultivares diferentes de girasoles oleaginosos y cultivarlos en bloques al azar con tres de 10 m² replicados sub parcelas. Los resultados se encontraron 0,20-3,91 $\mu\text{g g}^{-1}$ de Cd en el aceite de semillas cultivadas con SI y 0,25-2,98 $\mu\text{g g}^{-1}$ en el suelo a partir de semillas cultivadas con SII. En conclusión, los cultivares de girasol en el SI y SII fueron convenientes para la fitorremediación de suelos con Cd y para una producción agro-económica segura.

Zhang et al., (2019) tuvo como objetivo investigar los impactos del cultivo intercalado con girasol y la inoculación con el hongo AM en el crecimiento de cebolletas de ajo en un suelo gravemente contaminado con HM. La metodología fue experimental realizada con macetas en 17 semanas para investigar el crecimiento y la adquisición de HM (Cd, Cu, Pb, Cr, Zn y Ni). Los resultados muestran que el I + M tratamiento elevó la P media y los niveles de adquisición Cd de girasoles por 121% y 92%, respectivamente (Fig. 4 A y B), y significativamente incrementó el Cu, Pb, Cr, Niveles de adquisición de Zn y Ni de girasoles. Se concluye que el cultivo intercalado con girasol disminuyó las concentraciones de HM en los brotes de cebolletas de ajo vecinas a través de la competencia de la rizosfera, aliviando así parcialmente el estrés de HM.

Zhao et al., (2019) tuvo como objetivo desarrollar un modelo matemático que describa la acumulación de metales en el sistema total de biomasa suelo-girasol. La metodología fue experimental con la aplicación de un modelo matemático y se validó usando una función sigmoidea y un factor de bioacumulación. Los resultados demostraron que no hay diferencia estadística en la producción de biomasa de girasoles en la contaminación de suelos por

metales con suelos de control ($p > 0.05$); la biomasa, el factor bioacumulación y la concentración de metales son importantes parámetros de absorción de metales (Cd, Pb) en el suelo siendo identificados a través de un análisis de sensibilidad. En conclusión, la absorción de los metales por el girasol fue estimada con éxito usando el modelo sigmoide bajo una validación prediciendo la acumulación en masa de los metales pesados (Cd, Pb) en la planta.

Zhao et al., (2021) tuvo como objetivo estimar los valores de *Helianthus annuus* L. para describir cuantitativamente los efectos complejos de las concentraciones de metales en varios suelos acerca de la germinación de semillas su desarrollo. La metodología es experimental con un modelamiento matemático. Los resultados muestran el porcentaje de germinación medio más alto observado fue con 12,12 mg-Cadmio / kg fue $84,44 \pm 3,85\%$, mientras que el porcentaje de germinación medio más bajo de 0% se observó con 396,44 mg-Níquel / kg y con $\geq 2718,89$ mg-Plomo / kg. Estos resultados muestran claramente que la germinación de semillas puede inhibir significativamente cuando la concentración de metales en el suelo es mayor que la concentración tolerable de germinación de semillas. Se concluye que la inhibición del crecimiento de las semillas de girasol varió como una función compleja de las propiedades del suelo y el tipo y concentración de metales pesados.

Zhou et al., (2020) tuvo como objetivo investigar la eliminación de girasol contaminado después de determinar la fitorremediación de metales pesados en una rotación de cultivos oleaginosos de girasol (*Helianthus annuus* L)-sésamo (*Sesamum indicum* L.). La metodología es experimental en donde los resultados muestran que la eficiencia de extracción de la rotación girasol-sésamo fue de 0,07% para el plomo (Pb); 1,37% para zinc (Zn); 1,10% para cobre (Cu); y 6,12% para cadmio (Cd). Se concluye que el pirólisis puede procesar residuos contaminados y los extractos de biocarbón pueden reutilizarse como fertilizantes para la producción de cultivos fuera del sitio.

La teoría que sustenta el trabajo, los tratamientos de suelos son la aplicación de un conjunto de operaciones de unidades que modifican la estructura de una sustancia dañina o contaminante por medio de procesos biológicos, físicos o químicos que como producto minimicen la nocividad, movilidad, toxicidad o volumen del material afectado. Los tratamientos de descontaminación son una solución a la presencia de cualquier tipo de contaminante presente en el suelo que no hayan sido controlados (Fabelo, 2017).

Los suelos contaminados corresponden a la existencia en ellos de grandes cantidades peligrosas de elementos químicos. El cual se considera que es una de exclusiva manera de contaminar el suelo ya que estos elementos químicos tienen el poder de perjudicar severamente este recurso natural. Esta presencia de elementos químicos en el suelo está en elevadas concentraciones de lo normal por lo que en consecuencia genera un efecto o alteración en los organismos que habitan dentro o sobre este recurso natural. La procedencia de estos elementos químicos puede ser generadas de manera natural, es decir, por la propia roca madre. Sin embargo, también pueden ser generadas por acciones antropogénicas ya sea por las diversas actividades que realice el hombre sobre el suelo como, por ejemplo: actividades mineras, industriales, agrícolas, mala gestión de los residuos sólidos y entre otros. De manera objetiva se podría decir que el principal responsable de la alteración de un suelo por alto contenido de metales pesados es el ser humano sobrepasando los límites permisibles de parámetros en un suelo (Ballesta, 2017). Así mismo, la existencia de compuestos químicos conocidos como contaminantes en altas concentraciones en el suelo es una forma de degradación del suelo que se conoce como contaminación. Las anormales cantidades de contaminantes que se encuentran en el suelo tienen un fuerte impacto en los organismos de este recurso natural (Galán y Romeo, 2008, p.48). En efecto, esto se debe a su procedencia, se puede presentar en forma natural o artificialmente. El primero puede darse de la propia roca que desarrolla el suelo, o se puede dar por alguna actividad volcánica o también por lixiviados. Por consiguiente, la procedencia de origen artificial se da por residuos muy dañinos generados por las actividades económicas del hombre como: actividades industriales, mineras y de agricultura. Se infiere que gran parte de estos contaminantes presentes

en el suelo se debe a la mala gestión de residuos tóxicos y nocivos por parte de los humanos al realizar sus diversas actividades económicas (Rodríguez et al, 2018, p.15).

La fitorremediación es la tecnología que emplea plantas y sus microorganismos que la contienen para limpiar las toxinas del suelo, aire y agua. Durante los últimos tiempos, la fitorremediación ayudada por endófitos bacterianos ha sido sugeridos como limpieza de metales contaminados en el suelo, debido a que los endófitos microbianos desintoxican los metales presentes en la planta mediante su sistema propio de resistencia al mismo fomentando el desarrollo de la planta (Ma, Rajkumar, Zhang y Freitas, 2016). Esta técnica es sustentable y económica aplicada de manera in-situ o ex-situ para reducir los contaminantes tanto naturales como antropogénicos, siendo empleada por la eficiencia de la planta logrando la remoción, transformación, degradación, volatilización, etc de los contaminantes (Velásquez, 2017). Se puede emplear en suelo y en agua descontaminando no solo metales pesados, sino también contaminantes orgánicos e inorgánicos y para una mayor eficiencia de la planta y su crecimiento se le incorpora microbios (Jeevanantham et al., 2019). La fitorremediación es una tecnología eficaz, beneficiosa, amistosa con el medio ambiente y aceptada por científicos (Caviedes et al., 2015).

Existen diversas técnicas de fitorremediación, está la fitoextracción en la cual la principal función es la extracción de manera viable del elemento contaminante realizando los siguientes procesos: absorción, transporte, translocación y acumulación (Ramírez, Giraldo y Barrera, 2018). La fitoestabilización utiliza plantas para la inmovilización y disminución de la cantidad de contaminantes del suelo debido a la adsorción de las raíces o la precipitación, teniendo como ventaja el impedimento de ingreso de los metales pesados en la cadena alimentaria del ecosistema (Kumar y Pradhan, 2020). La fitodegradación aplica la planta y sus microorganismos que la contienen en la degradación de los contaminantes, en la cual los metaboliza en los tejidos de la planta produciendo enzimas con el fin de que catalicen la degradación (Delgadillo et al., 2011). La fitovolatilización producto del desarrollo de la planta, a medida de su florecimiento va absorbiendo los contaminantes, en ciertos

casos llegan hasta las hojas y luego se evaporan en el aire (Velásquez, 2017). Por último, la rizofiltración utiliza las raíces del vegetal para una mayor absorción de la concentración de los contaminantes ayudando a que los contaminantes no entren a la cadena alimentaria (Galal et al., 2018).

El girasol con nombre científico "*Helianthus annuus*" clasificada taxonómicamente a la familia Asteraceae y género *Helianthus* es originaria de climas templados de América del Norte, teniendo más de 70 especies en el mundo. Lo caracteriza una gran cabeza de flor circular amarillenta, una larga raíz principal, tallos peludos, y hojas gruesas dentadas, ásperas y anchas (Vilvert, Lana, Zander y Sieber, 2018). Mundialmente, el girasol de semillas oleaginosas es catalogado como el cuarto cultivo más importante por su rentabilidad y economía, ya que pueden incorporarse a cultivos locales, remediación de suelos y aumento de la biodiversidad en cultivos de rotación (Adeleke y Babalola, 2020). El desarrollo del girasol exige un suelo fértil, lluvias moderadas, semillas viables, etc. (Pal, Patra, Sahoo, Bakhara y Panda, 2015). Se ha demostrado que el girasol tiene gran capacidad fitorremediadora en suelos contaminados debido a su alta biomasa radicular extrayendo del 10-25% de los metales pesados del suelo, debido a que las plantas no se ven afectadas por los contaminantes; e incorporando más de 1000 mg/kg de plomo tolerando niveles altos de concentraciones de metales (Gutiérrez et al., 2011). Es aquella planta que en mayor cantidad acumula los metales contaminantes del suelo en sus raíces si es cosechada entera la biomasa vegetal, por la cual es considerada un bioacumulador beneficioso en la fitoextracción de Cd, Pb, Zn, entre otros elementos (Sierra, 2006).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación que se presenta es aplicado con un enfoque de investigación cualitativa, debido a que busca resolver un problema en un determinado contexto, orientándose en la búsqueda del conocimiento para ser aplicado y, por tanto, enriqueciendo el desarrollo científico.

El trabajo tiene un diseño de investigación no experimental con una metodología narrativa, puesto que se realiza una recolección de información acerca de un tema, se analiza y se lleva a cabo su interpretación. Según Soriano (2012), este diseño de investigación tiene como objetivo adentrarse en informaciones hechas en la realidad sobre un tema recolectando así diversos conocimientos para la comprensión del lector.

3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.

La matriz de categorización apriorística estuvo basada en los objetivos específicos y problemas específicos planteados en este trabajo de investigación, estos han sido divididos en categorías y subcategorías correspondientemente.

Tabla 1

Matriz de categorización apriorística

Matriz de categorización apriorística				
Objetivos específicos	Problemas específicos	Categorías	Subcategoría	Unidad de análisis
Identificar las características de fitorremediación con girasol ("Helianthus annuus L.") para el tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo en el Perú 2021	¿Cómo serán las características del girasol ("Helianthus annuus L.") en la fitorremediación con girasol ("Helianthus annuus L.") para el tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo en el Perú, 2021?	Características del girasol	Tiempo de crecimiento Tamaño de planta Biomasa	Agnello, et al., Chauhan, et al., Chen, et al., Forte y Mutiti, Govarthanam, et al., Munive, et al.
Determinar si la técnica de fitorremediación con girasol ("Helianthus annuus L.") es efectiva para el tratamiento de los suelos contaminados por cadmio y plomo en el Perú 2021	¿Será efectiva la técnica de fitorremediación con girasol ("Helianthus annuus L.") para el tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo en el Perú, 2021?	Técnicas de fitorremediación	Número de plantas Tipo de siembra	Agnello, et al., Chauhan, et al., Chen, et al., Forte y Mutiti, Govarthanam, et al., Jun, et al., Lu, et al., Mousavi, et al., Peña y Beltran, Razmi, et al., Yazdanbakhsh, et al., Zhao, et al.
Determinar la eficiencia de absorción del girasol ("Helianthus annuus L.") en la fitorremediación para el tratamiento de los suelos contaminados por cadmio y plomo en el Perú 2021.	¿En qué medida es la eficiencia de absorción del girasol ("Helianthus annuus L.") en la fitorremediación para el tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo en el Perú, 2021?	Eficiencia de absorción	Pb y Cd en hojas Pb y Cd en tallo Pb y Cd en raíz	Agnello, et al., Chen, et al., Chauhan, et al., Forte y Mutiti, Jun, et al., Khalid, et al., Munive, et al., Peña y Beltrán, Razmi, et al., Zhou, et al.

3.3. Escenario de estudio

Debido a que este trabajo es de tipo aplicado con diseño cualitativo, no posee un escenario de estudio propio puesto que nos basamos en la recolección de artículos científicos relacionado con la fitorremediación del girasol ("Helianthus annuus L.") para el tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo, esto nos permitió involucrarnos con los lugares en donde se realizaron los artículos científicos como es el caso de China, Rusia, Corea, India, entre otros.

3.4. Participantes

Debido al tipo de trabajo que estamos realizando, no posee escenario de estudio, tampoco se tiene a los participantes, por lo que la principal herramienta son los artículos científicos con un mínimo de antigüedad del año 2016, se tomó tanto artículos nacionales como internacionales. Las bases de datos donde se escogieron estos artículos son ScienceDirect, SpringerLink, Academia, SciELO, Redalyc Academic, Researchgate y Taylor & Francis.

Cuando se realizó la búsqueda, nos encontramos con diversos artículos científicos, se tuvo que discriminar varios debido a que no concordaba con nuestros criterios de búsqueda de información, esto se precisa más en la tabla 2.

Tabla 2

Cuadro de discriminación

Criterios	Exclusión
Diferentes al tema	-30
No relevantes	-10
Duplicados	-5
Años de publicación	-15
Artículos restantes	33
No concuerdan con las categorías y subcategoría	-18
Artículos seleccionados	15

Fuente: Elaboración propia.

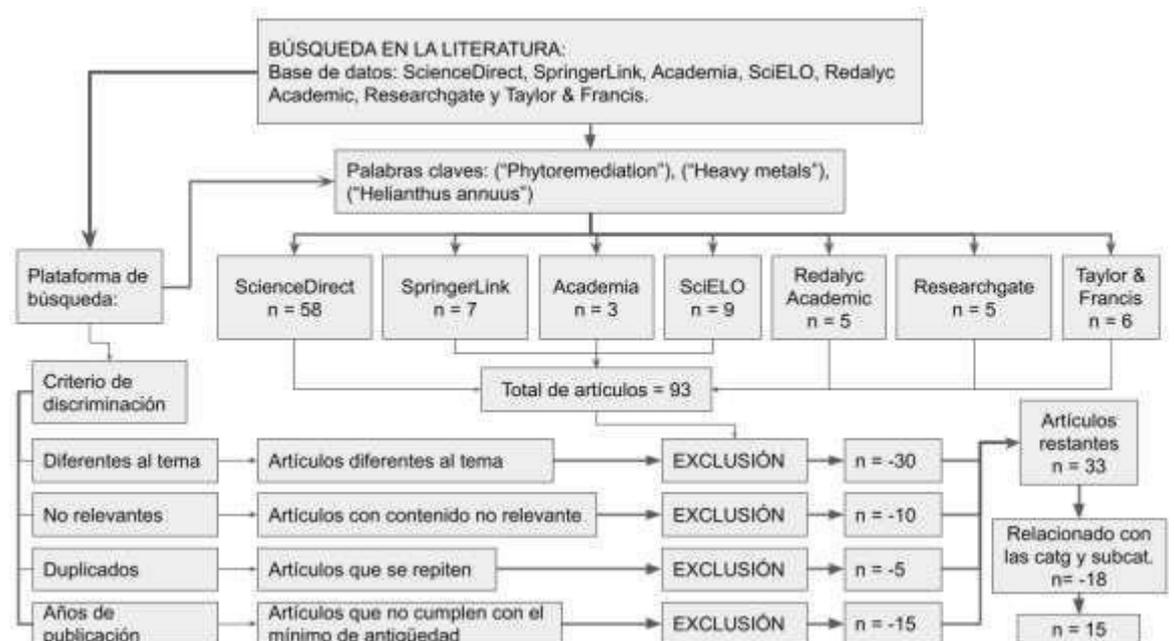
Los artículos que quedaron fueron en total 33, estos cumplen los criterios establecidos y tienen relación con el tema planteado en este trabajo, pero no concordaban con las categorías y subcategorías por lo que se tuvo que restar aquellos trabajos, por lo que tuvimos un total de 15 artículos seleccionados.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Debido a que la metodología es narrativa, la técnica que se empleó en la recolección de datos es la de observación indirecta y la del análisis documental debido a que esquematiza documentos originales (en este caso los artículos científicos) para proporcionar información referente a un tema en concreto y realizar su respectivo análisis. Según Clauso (1999), menciona que el análisis documental se conceptúa como la mezcla de operaciones con el fin de presentar un contenido facilitando su interpretación.

El instrumento utilizado en esta investigación son las fichas de búsqueda, en donde se describen el tipo de investigación, palabras claves, la recolección, resultados, entre otros datos más de los antecedentes encontrados, el modelo de esta ficha se puede observar en el anexo número 1, asimismo cada antecedente y ficha desarrollada fue referenciada a través del programa de Mendeley y fueron colocadas en la parte de referencias en orden alfabético.

3.6. Procedimiento



Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, se identificó la problemática que se va abarcar en nuestro trabajo de investigación, es decir la fitorremediación mediante girasol en suelos contaminados por metales pesados, como este tema abarca mucho se decidió especificar a cadmio y plomo, teniendo en cuenta nuestro título y problemática se hizo la indagación de información bases de datos como ScienceDirect, SpringerLink, Academia, entre otros. Para facilitar el encuentro de los artículos, se usaron las siguientes palabras claves: *phytoremediation*, *heavy metals*, *Helianthus annuus*, tal y como se precisa en la tabla 3.

Tabla 3

Aplicación de palabras claves

N°	Palabras claves	Base de datos
1	<i>("Phytoremediation"), ("Heavy metals"), ("Helianthus annuus")</i>	Science Direct
2	<i>("Phytoremediation"), ("Heavy metals"), ("Helianthus annuus")</i>	SciELO
3	<i>("Phytoremediation"), ("Heavy metals"), ("Helianthus annuus")</i>	Redalyc Académico
4	<i>("Phytoremediation"), ("Heavy metals"), ("Helianthus annuus")</i>	SpringerLink
5	<i>("Phytoremediation"), ("Heavy metals"), ("Helianthus annuus")</i>	Academia

Fuente: Elaboración propia.

De todos los artículos científicos encontrados seleccionamos 15, estos debían tener relación con la problemática planteada y fueron escritos en los antecedentes asimismo tenían que seguir los criterios de inclusión que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 4

Criterios de inclusión

Criterio	Descripción
Idioma	Inglés / Español
Años de publicación	2016-2021
Tipo de base indexada	Acceso abierto

Fuente: Elaboración propia

Con los artículos seleccionados, se realizará una comparación en resultados en base a las categoría y subcategoría planteadas. Todos los artículos considerados en este trabajo no sobrepasan los 5 años de antigüedad esto debido a que se quiso una información más actualizada.

3.7. Rigor científico

A fin de realizar el trabajo de investigación, se procedió a desarrollar los siguientes criterios guiándonos del artículo efectuado por Arias Valencia y Giraldo Mora (2011):

Dependabilidad: el trabajo tiene como criterio dependabilidad debido a que, como dice su nombre, depende de la información encontrada en las bases datos.

Credibilidad: toda la información recopilada posee credibilidad dado que se extrajeron de bases de datos confiables como es el caso de MDPI, ScienceDirect y SpringerLink que tienen licencias activas.

Transferibilidad: este criterio se cumple al presentar artículos de investigación ya concretados para su posterior comparación y análisis e interpretación.

Confirmabilidad: la información extraída de los artículos científicos fue planteados en este trabajo de investigación mediante los objetivos, problemática y resultados.

3.8. Método de análisis de datos

Los datos recogidos para los resultados, fueron extraídos de la base de datos, los 15 artículos científicos y fueron organizados en la matriz de categorización apriorística con base en las categorías, subcategorías y colocadas el autor del artículo correspondiente en la unidad de análisis, todo esto relacionado con la fitorremediación con girasol (*Helianthus annuus L.*) para el tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo. De los datos extraídos se busca la comparación, evaluando si hay parecidos entre los resultados e interpretando la relación que existe.

Para García Perdomo (2014) en la parte de método de análisis de la información, menciona que estos serán analizados de acuerdo a la matriz de categorización de trabajo.

3.9. Aspectos éticos

En el trabajo se recolectó artículos de investigación de bases de datos confiables, posteriormente se realizó su cita bibliográfica, para evitar el plagio, según el programa Mendeley. El trabajo se avala con los criterios del rigor científico descritos anteriormente por lo que este trabajo está a disposición de manera libre para cualquier lector que desee saber sobre el tema, asimismo, los datos recolectados no se alterarán y se mantendrán tal y como se menciona en los artículos, teniendo la consideración los valores éticos y morales.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo en el Perú, se presentan las características del girasol (“*Helianthus annuus L.*”) para la técnica de fitorremediación y la eficiencia de absorción.

4.1 Características del girasol (“*Helianthus annuus L.*”)

En la Tabla 5, características del girasol (“*Helianthus annuus L.*”), se describe el tiempo de crecimiento, tamaño de planta y biomasa que caracteriza al girasol.

Tabla 5

*Características del girasol (“*Helianthus annuus L.*”)*

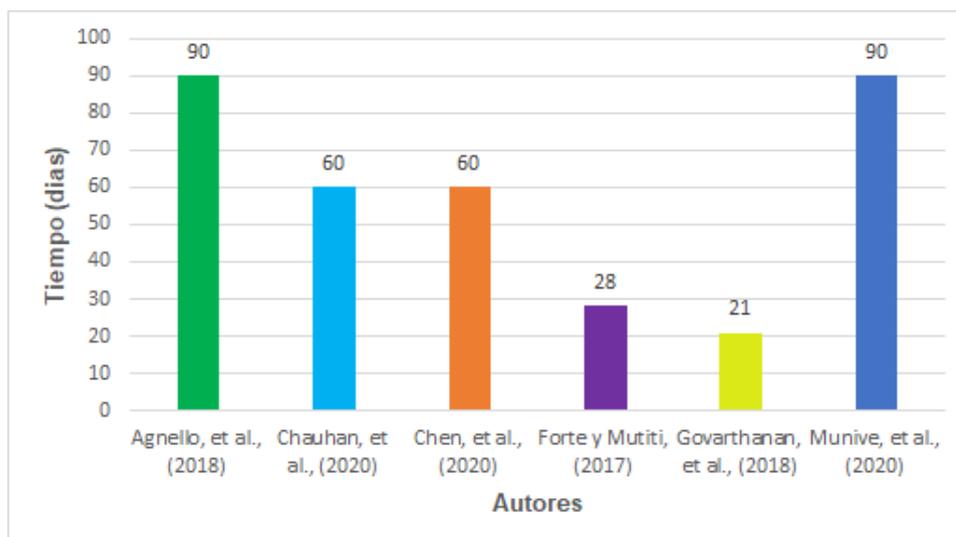
Autores/Año	Tiempo de crecimiento	Tamaño de planta	Biomasa
Agnello, et al., (2018)	90 días	No especifica	No especifica
Chauhan, et al., (2020)	60 días	91,367 cm	No especifica
Chen, et al., (2020)	60 días	No especifica	0.724 mg (raíz)
Forte y Mutiti, (2017)	28 días	No especifica	No especifica
Govarthan, et al., (2018)	2-3 semanas	14.35 cm	137 mg
Munive, et al., (2020)	90 días	122,17 cm	No especifica

De acuerdo a la información revisada, en los diversos artículos estudiados se encontraron diferentes tiempos de crecimientos del girasol, estos varían de 28 días hasta 90 días. La explicación de esta variación depende del procedimiento que realizó cada autor.

Para Agnello et al. (2018), en su metodología hicieron crecer el girasol desde las semillas, los cuales fueron recolectados después de 90 días para su posterior análisis. De igual manera, Munive, et al., (2020) menciona que comenzó su cosecha de girasoles una vez formadas las flores, este tiempo de crecimiento fue de 3 meses, es decir un periodo de 90 días.

Por otro lado, Chauhan, et al., (2020) en su metodología aplicó 3 intervalos de tiempo para la cosecha, siendo el intervalo mínimo 20 días y el intervalo máximo 60 días. Asimismo, Chen, et al., (2020) menciona que esperó 2 meses de crecimiento de la plántula y que para evitar su muerte se aplicaron diversos preparados, entre ellos CA, OA y EDDS. En la metodología de Forte y Mutiti, (2017) cultivaron las plantas durante 4 semanas, mientras que Govarthan, et al., (2018) cosechó las plantas de girasol en un intervalo de 2 a 3 semanas.

Figura 1. Tiempo de crecimiento del girasol



En la figura 1 se observa la variación del tiempo de crecimiento de las plantas de girasol según el planteamiento de los diversos autores, este según la tabla 5.

Respecto al tiempo de crecimiento de la planta del girasol, Goudriaan y Van (2012) mencionan que para el girasol, su periodo de siembra hasta la cosecha es de 120 días, el cual se divide en cinco etapas, la primera es el establecimiento por los primeros 20 días, la segunda es el desarrollo vegetativo que dura un mes, la tercera es la floración que dura unos 30 días aproximadamente, la cuarta es la formación de rendimiento durante unos 25 días, la última etapa es la madurez que dura unos 15 días.

Referente a la información anterior, se puede decir que los autores Forte y Mutiti y Govarthan usaron la planta de girasol cuando apenas había cumplido su primera etapa de establecimiento, mientras que los autores Chauhan, et al. Y Chen, et al., usaron la planta cuando estaba entre la segunda y tercera etapa, por último, tenemos a los autores Agnello, et al. (2018) y Munive, et al., (2020) que usaron la planta cuando estaba entre la tercera y cuarta etapa.

En relación al tamaño de la planta, en la tabla 5 se observa que algunos autores no han considerado esta característica del girasol y no lo han mencionado en su trabajo de investigación, por otra parte, hay autores que sí han considerado esta característica y han realizado su respectivo gráfico, más no mencionan el dato exacto por lo que no se pueden comparar, como son el caso de Agnello, et al. (2018), Chen, et al., (2020) y Forte y Mutiti (2017).

Los autores que sí han mencionado son Chauhan, et al., (2020) que alega que la longitud máxima que alcanzaron sus brotes fue de 91, 367 cm a los 60 días. Para el caso de Govarthan, et al., (2018), la longitud del brote fue de 14.35 cm, esta longitud fue gracias a que estimularon el crecimiento de la planta con un tratamiento de *Trichoderma* sp., MG, asimismo se menciona que sin este tratamiento la longitud de la planta sería de 11.14 cm. Para Munive, et al. (2020), menciona que la altura promedio que alcanzaron sus plantas de girasol fue de 122,17cm, esta altura se logró porque aplicaron compost a los suelos donde estaban cultivados.

Alusivo a la biomasa del girasol, tampoco se tienen datos específicos tal y como se observa en la tabla 5, el único autor que cita la biomasa total es Govarthan, et al., (2018), menciona que la biomasa que consiguió su planta de longitud de 14.35 cm fue de 137 mg (biomasa seca) gracias al tratamiento de *Trichoderma* sp., MG, sin este tratamiento la biomasa seca sería de 112mg, una clara disminución. Asimismo, tenemos a Chen, et al., (2020), que menciona que las biomásas en las raíces de sus girasoles son de 0.724 mg.

Según los aportes de los diversos autores se puede concluir que existen diferentes metodologías que han sido aplicadas, empezando con los diferentes tiempos de crecimiento del girasol para su posterior cosecha; así también varía el tamaño de las plantas, algunos autores han favorecido su crecimiento a través de compost y tratamientos con hongos, esto se ve reflejado en la altura que han alcanzado los girasoles y con respecto a la biomasa hay información que los autores no especifican en relación a la cantidad encontrada en las plantas por lo que no se pudo hacer una comparación.

4.2 Técnica de fitorremediación con girasol (“*Helianthus annuus* L.”)

Existen diversas técnicas de fitorremediación, entre ellas: fitoextracción, fitoestabilización, fitodegradación, fitovolatilización y rizofiltración, esto debido a la adsorción que realiza la planta de la concentración de los contaminantes (Cd y Pb). Es por ello, que en la tabla 6 se presenta el número de plantas y el tipo de siembra del girasol en las técnicas de fitorremediación.

Tabla 6

Técnicas de fitorremediación con girasol ("Helianthus annuus L.")

Autores/Año	Número de plantas	Tipo de siembra
Agnello, et al., (2018)	12	Macetas
Chauhan, et al., (2020)	5	Macetas en invernadero
Chen, et al., (2020)	2	Macetas en invernadero
Forte y Mutiti, (2017)	20	Macetas en invernadero
Govarathanan, et al., (2018)	5	Macetas
Jun, et al., (2020)	6	Parcelas de cultivo
Lu, et al., (2021)	No especifica	Macetas en invernadero
Mousavi, et al., (2018)	No especifica	Macetas en invernadero
Peña y Beltrán (2017)	3	Parcelas de cultivo
Razmi, et al., (2021)	3	Macetas en invernadero
Yazdanbakhsh, et al., (2020)	4	Macetas en invernadero
Zhao, et al., (2019)	15	Macetas en invernadero

En la tabla 6 se observa las diferentes técnicas que han ido utilizando los autores referentes al número de plantas y el tiempo de siembra que han realizado, se observa que hay una variación en el número de plantas que van desde 2 hasta 20, mientras que en el tipo de siembra predomina las macetas en invernadero por ser el más usado.

Agnello, et al., (2018), menciona que en su trabajo utilizó 12 plantas con macetas de plástico de 15cm de diámetro, mientras que Chauhan, et al., (2020) realizó el experimento en 5 macetas de plásticos colocadas posteriormente en un invernadero. Respecto a Chen, et al., (2020), menciona que las 2 plántulas de girasoles fueron cultivaron en macetas de plástico de 20 cm de diámetro, este diseño experimental fue realizado en un invernadero de un laboratorio. Forte y Mutiti, (2017) realizó su experimentación en un invernadero utilizando 20 macetas en donde se colocaron cada semilla de girasol. Para el caso de Govarathanan, et al., (2018), en su técnica utilizó 5 plántulas para cada maceta de plástico, no especifica si lo realizó en un invernadero. En la metodología de Jun, et al., (2020), la plantación de girasoles se realizó en parcelas de prueba dividida en 12 unidades en donde se plantaron 54 plántulas en cada parcela, pero sólo se seleccionaron 6 plantas maduras para la experimentación. De igual manera Peña y Beltrán (2017) realizó la plantación en parcelas de cultivo en donde solo seleccionaron 3 plantas de girasoles.

Para el caso de Lu, et al., (2021) realizó las plantaciones en macetas en un invernadero en donde se sembraron dos semillas en cada maceta más no especifica el número de plantas totales. Siguiendo con Mousavi, et al., (2018), aquí se utilizaron macetas de plástico de 14.5 cm de altura con 8.5 cm de diámetro, se sembraron 6 semillas en cada maceta, pero no se especifica la cantidad que se ha usado en los experimentos.

Para el resto de autores como Razmi, et al., (2021), Yazdanbakhsh, et al., (2020) y Zhao, et al., (2019) también realizaron sus plantaciones de semillas en girasol en macetas de invernadero, únicamente variando la cantidad de estas que dependen del objetivo de cada autor.

4.3 Eficiencia de absorción del girasol (“*Helianthus annuus L.*”)

En la tabla 7, eficiencia de absorción de cadmio del girasol (“*Helianthus annuus L.*”), se presenta la cantidad absorbida del metal cadmio en sus hojas, tallo y raíz de la planta girasol.

Tabla 7

*Eficiencia de absorción de cadmio del girasol (“*Helianthus annuus L.*”)*

Autores/Año	Cd en hojas	Cd en tallo	Cd en raíz
Chen, et al., (2020)	-	70.38 mg/kg	108.27 mg/kg
Jun, et al., (2020)	100 mg/kg	7.82 mg/kg	6.50 mg/kg
Khalid, et al., (2018)	-	65.7 mg/kg	71.3 mg/kg
Munive, et al., (2020)	5 mg/kg	3.5 mg/kg	4.5 mg/kg
Peña y Beltrán, (2017)	1.72 mg/kg	-	2.61 mg/kg
Razmi, et al., (2021)	-	77 mg/kg	192.69 mg/kg
Zhou, et al., (2020)	9.35 mg/kg	4.05 mg/kg	4.23 mg/kg

Tal como visualizamos en la tabla 7, de los estudios revisados, la cantidad de absorción del cadmio en hojas, tallo y raíz varía de 5 mg/kg-100mg/kg, 3.5 mg/kg-77 mg/kg y 2.61 mg/kg-192.69 mg/kg respectivamente, esto debido a la biomasa del girasol.

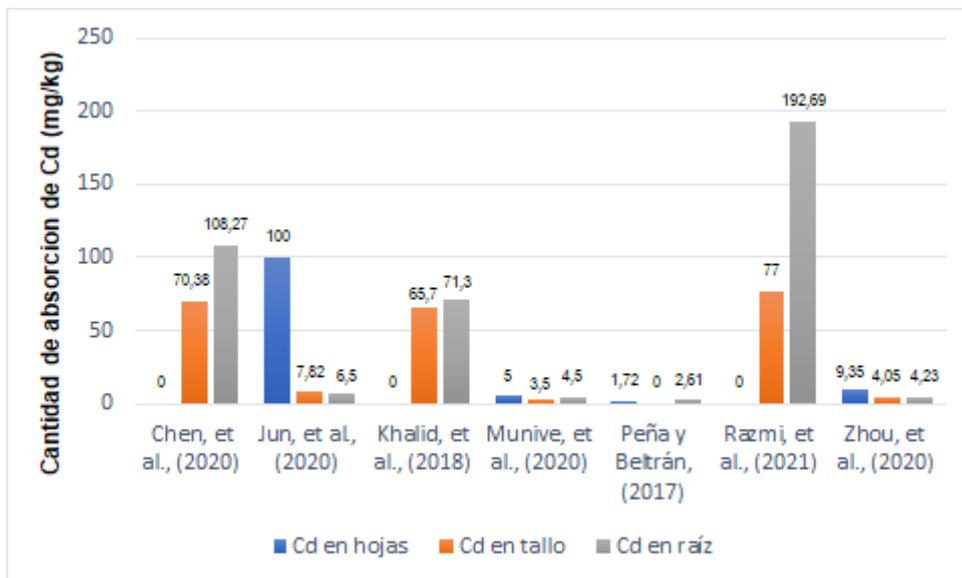
Para Chen et al. (2020), la capacidad de absorción de Cd se debe a la aplicación de agentes quelantes biodegradables tal como EDDS ($p < 0.01$), correspondiendo un aumento de 290.83%. De igual manera, Jun et al. (2020),

adiciona biocarbón de lichi en el tratamiento aumentando la capacidad hiperacumulativa de 15.8% a 42% de Cd del girasol.

Por otro lado, Khalid et al. (2018), las concentraciones máximas de absorción se encontraron en el brote y en la raíz con eficiencias de 65.7% y 71.3% respectivamente. No obstante, Munive et al. (2020), incorporó compost y vermicompost en la solubilización del Cd.

Peña y Beltrán (2017), manifiestan eficiencias de 48.83%, 35.08% y 3% en la absorción de Cd de sus tres parcelas de cultivo de fitoextracción; además, Razmi et al. (2021), su valor de BCF logró un 80% de absorción de Cd. Sin embargo, Zhou et al. (2020), la capacidad de extracción de Cd en sus dos cultivos varió de 1.92-4.20%.

Figura 2. Eficiencia de absorción de cadmio del girasol



En la figura 2 se observa la variación de la cantidad de absorción de Cd de las plantas de girasol según el planteamiento de los diversos autores, este según la tabla 7.

Asimismo, en la tabla 8, eficiencia de absorción de plomo del girasol (“*Helianthus annuus* L.”), se presenta la cantidad absorbida del metal plomo en las hojas, tallo y raíz de la planta girasol.

Tabla 8

Eficiencia de absorción de plomo del girasol ("Helianthus annuus L.")

Autores/Año	Pb en hojas	Pb en tallo	Pb en raíz
Agnello, et al., (2018)	62 mg/kg	62 mg/kg	64 mg/kg
Chauhan, et al., (2020)	53.956 mg/kg	201.935 mg/kg	319.254 mg/kg
Forte y Mutiti, (2017)	37 mg/kg	62 mg/kg	0 mg/kg
Jun, et al., (2020)	390 mg/kg	17.50 mg/kg	59 mg/kg
Khalid, et al., (2018)	0 mg/kg	40.1 mg/kg	107 mg/kg
Munive, et al., (2020)	28.38 mg/kg	9.16 mg/kg	134.75 mg/kg
Peña y Beltrán, (2017)	0.899 mg/kg	0.3685 mg/kg	17.45 mg/kg
Razmi, et al., (2021)	0 mg/kg	44 mg/kg	27.70 mg/kg
Zhou, et al., (2020)	3.78 mg/kg	11.95 mg/kg	14.90 mg/kg

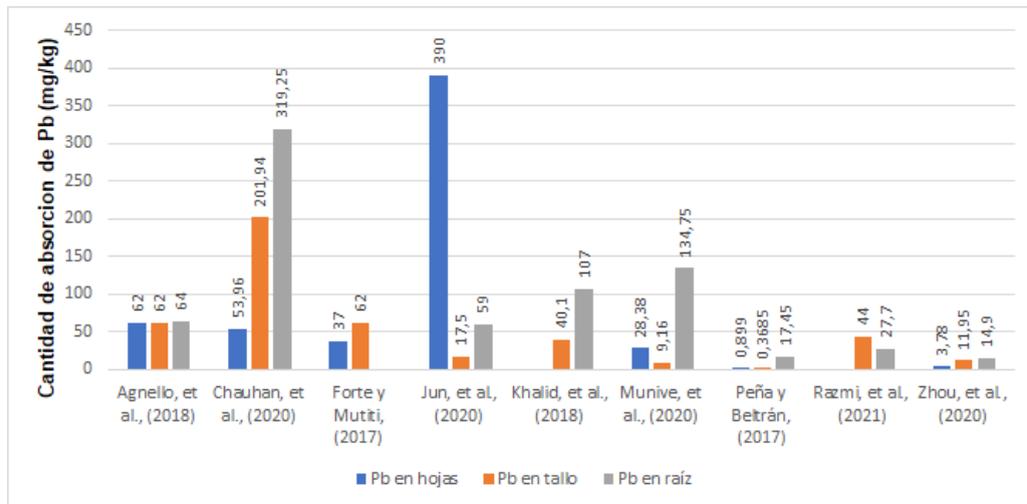
Tal como se muestra en la tabla 8, la eficiencia de absorción de plomo en las hojas, tallo y raíz varía de 0.899 mg/kg-390 mg/kg, 0.368 mg/kg-201.935 mg/kg y 14.90mg/kg-319.254 mg/kg respectivamente, debido a la biomasa del girasol.

Para Agnello, et al., (2018) tuvo un 46% de absorción de Pb con respecto a los otros metales, mientras que Chauhan, et al., (2020) de sus cinco variedades de girasol, solo Phule Bhaskar y KBSH-44 tuvieron altas concentraciones de Pb en las raíces 33.32 mg/kg y 394.32 mg/kg respectivamente.

Por otro lado, Jun, et al., (2020) tuvo gran concentración de Pb en las hojas debido al efecto del biocarbón, no obstante, Khalid, et al., (2018) tuvo altas concentraciones de plomo en el tallo y raíz con 40.1% y 107% respectivamente. Munive, et al., (2020) adiciono vermicompost y compost para solubilizar el Pb, para el caso de Peña y Beltrán, (2017) las tres parcelas de cultivo obtuvieron altos niveles de absorción de Pb con un 45.38%, 28.25% y 1.35%.

Razmi, et al., (2021) logró un 40% de absorción de Pb debido al valor de BCF, mientras que Zhou, et al., (2020) con respecto a sus dos cultivos la capacidad de extracción de Pb varió de 0.43%-0.94%.

Figura 3. Eficiencia de absorción de plomo del girasol



En la figura 3 se observa la variación de la cantidad de absorción de Pb de las plantas de girasol según el planteamiento de los diversos autores, este según la tabla 8.

Según los aportes de los diversos autores se puede concluir que existen diferentes metodologías que han sido aplicadas, unos solo aplicando el girasol como fitoextracción y otros incorporando agentes o enmiendas orgánicas aumentando el tamaño y biomasa del girasol para una mayor eficiencia fitoextractora de los metales pesados Cd y Pb.

V. CONCLUSIONES

- Se evaluó la revisión sistemática en fitorremediación con *Helianthus annuus* L. para el tratamiento de los suelos contaminados por Cd y Pb. Así mismo, se evidenció con los datos recopilados de diversos autores internacionales que el *Helianthus annuus* es una planta hiper acumuladora de diversos metales pesados que se puede aprovechar principalmente para la depuración de suelos contaminados por Cd y Pb.
- Se identificó las características de fitorremediación con *Helianthus annuus* L. para el tratamiento de suelos contaminados con Cd y Pb. En el que se apreciaron diversas características como la fitoextracción, fitoestabilización, fitodegradación, fitovitalización y rizofiltración. Además, se pudo apreciar que en todas las técnicas de fitorremediación con girasol se aplicaron el tipo de siembra de las plantas en macetas de invernadero.
- Se determinó si la técnica de fitorremediación con *Helianthus annuus* L. es efectiva para el tratamiento de los suelos contaminados por Cd y Pb. Y efectivamente, la fitorremediación es una excelente técnica efectiva y económica para la limpieza de metales pesados en los suelos. Así mismo, se observó que para una mayor efectividad de la especie *Helianthus annuus* sobre los metales pesados, deben cumplir con un determinado tiempo de crecimiento y con las condiciones ambientales óptimas para su desarrollo.
- Se determinó la eficiencia de absorción de *Helianthus annuus* L. en la fitorremediación para el tratamiento de los suelos contaminados por Cd y Pb. Se pudo evidenciar en toda la información recopilada de los artículos científicos seleccionados que la absorción de metales pesados como el Cd y Pb por el *Helianthus annuus* es realmente prominente, principalmente en las raíces de las plantas. Por lo cual, se puede considerar como una manera económica y eficiente para la depuración de suelos contaminados por metales pesados.

VI. RECOMENDACIONES

- Para la aplicación de la fitorremediación, es importante contar con las condiciones meteorológicas adecuadas para un correcto desarrollo del *Helianthus annuus* L., y como producto, obtener un buen rendimiento en su absorción de metales pesados.
- Para el análisis del porcentaje de metales pesados acumulados por el *Helianthus annuus* L. del suelo contaminado, utilizar pequeñas proporciones de la superficie terrestre contaminada en macetas para obtener resultados verídicos sin la influencia de algún otro factor externo.
- Para que la fitorremediación sea de buen rendimiento en la depuración de metales pesados en los suelos contaminados, se sugiere utilizar plantas de girasol que hayan sido cultivadas por uno mismo, es decir, no sean plantas de girasol ornamentales.

REFERENCIAS

Adeleke, B. S., & Babalola, O. O. (2020). Oilseed crop sunflower (*Helianthus annuus*) as a source of food: Nutritional and health benefits. *Food Science and Nutrition*. Wiley-Blackwell, 8:4666–4684.
Disponible en <https://doi.org/10.1002/fsn3.1783>

Agnello, A. C., Potysz, A., Fourdrin, C., Huguenot, D., & Chauhan, P. S. (2018). Impact of pyrometallurgical slags on sunflower growth, metal accumulation and rhizosphere microbial communities. *Chemosphere*, 208, 626–639.
Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.038>
ISSN 0045-6535

Amanullah Mahar, Ping Wang, Amjad Ali, Mukesh Kumar Awasthi, Altaf Hussain Lahori, Quan Wang, Ronghua Li, Zengqiang Zhang

Angelova, V.R., Perifanova-Nemska, M.N., Uzunova, G.P., Ivanov, K.I., Lee, H.Q. (2016). Potential of sunflower (*Helianthus annuus* L.) for the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 10, 546-553.
Disponible en <http://doi.org/10.5281/zenodo.1126371>
ISSN 9195-0263

BALLESTA, Jiménez. Introducción a la contaminación de suelos. 3era ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2017. 558 pp.
ISBN 978-84-8476-789-3

Benavides, B., Spargo, D., Maximova, S., Gultinan, M., Miller, D. (2021). Cadmium phytoextraction by *Helianthus annuus* (sunflower), *Brassica napus* cv Wichita (rapeseed), and *Chrysopogon zizanioides* (vetiver). *Chemosphere*, 265, 129086.
Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129086>
ISSN 0045-6535

Caviedes Rubio, D. I., Muñoz Calderón, R. A., Perdomo Gualtero, A., Rodríguez Acosta, D., & Sandoval Rojas, I. J. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Ingeniería y Región*, 13(1), 73.
Disponible en <https://doi.org/10.25054/22161325.710>
ISSN 1657-6985

Chauhan Priti, Rajguru A.B., Dudhe M.H., Mathur Jyoti. Efficacy of lead (Pb) phytoextraction of five varieties of *Helianthus annuus* L. from contaminated soil. *Environmental Technology & Innovation*. May 2020. n.o 18.
Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100718>
ISSN 2352-1864

Chen Li, Yang Jin-yan, Wang Dan. Phytoremediation of uranium and cadmium contaminated soils by sunflower (*Helianthus annuus* L.) enhanced with biodegradable chelating agents. *Journal of Cleaner Production*. August 2020, n.o 263.

Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121491>

ISSN 0959-6526

Delgadillo-López, AE, González-Ramírez, CA, Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, JR y Acevedo-Sandova, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*, 14 (2), 597–612.

Dickson, U., Coffey, M., George, R., Smith, B., Ray, N., Di Bonito, M. (2020). Investigating the potential of sunflower species, fermented palm wine and *Pleurotus ostreatus* for treatment of petroleum-contaminated soil. *Chemosphere*, 240 (3), 124881.

Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124881>

ISSN 0045-6535

FABELO, José (2017). Propuesta de metodología para la recuperación de suelos contaminados, enero-marzo. *Feijóo*. 44 (1), 53-60.

Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v44n1/caz06117.pdf>

ISSN 2223-4861

Forte, J., & Mutiti, S. (2017). Phytoremediation Potential of *Helianthus annuus* and *Hydrangea paniculata* in Copper and Lead-Contaminated Soil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 228(2).

Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3249-0>

ISSN 0049-6979

Galal, T. M., Eid, E. M., Dakhil, M. A., & Hassan, L. M. (2018). Bioaccumulation and rhizofiltration potential of *Pistia stratiotes* L. for mitigating water pollution in the Egyptian wetlands. *International Journal of Phytoremediation*, 20(5), 440–447.

Disponible en <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1365343>

GALÁN, Emilio. y ROMERO, Antonio. Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Revista de la sociedad española de mineralogía*. Macla. 2008, 10:48-60.

Disponible en http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf.

García Ávila, C., Villada Sierra, L., & Robayo Gómez, J. (2018). Evaluación de la adaptación de *Helianthus annuus* en asocio con hongos micorrízicos en suelos contaminados con plomo. *Cuaderno Activa*, 10, 93-111.

ISSN: 2027-810

- Govarathanan, M., Mythili, R., Selvankumar, T., Kamala-Kannan, S., & Kim, H. (2018). Myco-phytoremediation of arsenic- and lead-contaminated soils by *Helianthus annuus* and wood rot fungi, *Trichoderma* sp. isolated from decayed wood. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 151, 279–284.
Disponibile en <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.01.020>
ISSN 0147-6513
- Guarino, C., Sciarrillo, R. (2017). The effectiveness and efficiency of phytoremediation of a multi-contaminated industrial site: Porto Marghera (Venice Lagoon, Italy). *Chemosphere*, 183, 371-379.
Disponibile en <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.102>
ISSN 0045-6535
- Gutiérrez-Espinoza, L. R., Melgoza-Castillo, A., Alarcón-Herrera, M. T., Ortega-Gutiérrez, J. a, Prado-Tarango, D. E., & Cedillo-Alcantar, M. E. (2011). Germinación del girasol silvestre (*Helianthus annuus* L.) en presencia de diferentes concentraciones de metales. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 2, 49–56.
- Hattat-Hambli, N., Montelica, M., Mench, M. (2016). Aided phytoextraction of Cu, Pb, Zn and As in soils contaminated with copper with tobacco and sunflower in crop rotation: Evaluation of mobility phyto-availability. *Chemosphere*, 145, 543-550.
Disponibile en <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.11.051>
ISSN 0045-6535
- Jeevanantham, S., Saravanan, A., Hemavathy, R. V., Kumar, P. S., Yaashikaa, P. R., & Yuvaraj, D. (2019, February 1). Removal of toxic pollutants from water environment by phytoremediation: A survey on application and future prospects. *Environmental Technology and Innovation*. Elsevier B.V.
Disponibile en <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.12.007>
ISSN 2352-1864
- Jun Liu, Wei Huang, Juan Ni, Hongyan Xie, Jingsong Hu, Yunhua Zhu, Cuiying Peng. Effect of lychee biochar on the remediation of heavy metal-contaminated soil using sunflower: A field experiment. *Environmental Research*. September 2020. n.o 188.
Disponibile en <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109886>
ISSN 0013-9351

Khalid Alaboudi, Berhan Ahmed, Graham Brodie. Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. *Annals of Agricultural Sciences*. June 2018, n.o 63.

Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2018.05.007>

ISSN 0570-1783

KUMMAR, Deepak, CHINMAY, Pradhan y KUMAR, Hemanta. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. *Tecnología ambiental e innovación*. Vol.126, 2020.

Liduino, V. S., Servulo, E. F. C., & Oliveira, F. J. S. (2018). Biosurfactant-assisted phytoremediation of multi-contaminated industrial soil using sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 53(7), 609–616.

Disponible en <https://doi.org/10.1080/10934529.2018.1429726>

ISSN 1093-4529

Lovejoy, C., & Smemo, K. A. (2021). Strigolactone significantly increases lead uptake by dwarf sunflower (*helianthus annuus*). *Bioremediation Journal*.

Disponible en <https://doi.org/10.1080/10889868.2021.1900052>

Lyngdoh, E.A.S., Sanjay-Swami. (2020). Potential screening of photoremediating crops and performance of maize in photoremediated coal mined acid soil with phosphorus application. *Journal of Environmental Biology*, 41(6), 1788-1797.

Disponible en <http://doi.org/10.22438/jeb/41/6/SI-283>

ISSN 0254-8704

Lu, H., Qiao, D., Han, Y., Zhao, Y., Bai, F., & Wang, Y. (2021). Low molecular weight organic acids increase cd accumulation in sunflowers through increasing cd bioavailability and reducing cd toxicity to plants. *Minerals*, 11(3), 1–19.

Disponible en <https://doi.org/10.3390/min11030243>

Ma, Y., Rajkumar, M., Zhang, C., & Freitas, H. (2016, June 1). Beneficial role of bacterial endophytes in heavy metal phytoremediation. *Journal of Environmental Management*. Academic Press.

Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.047>

ISSN 0301-4797

Mousavi, S. M., Motesharezadeh, B., Hosseini, H. M., Alikhani, H., & Zolfaghari, A. A. (2018). Root-induced changes of Zn and Pb dynamics in the rhizosphere of sunflower with different plant growth promoting treatments in a heavily contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 206–216.

Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.08.045>

ISSN 0147-6513

Munive Cerrón, R., Gamarra Sánchez, G., Munive Yachachi, Y., Puertas Ramos, F., Valdiviezo Gonzales, L., y Cabello Torres, R. (2020). Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado y remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11 (2), 177–186.

Disponible en <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.04>

ISSN 2306-6741

Pal, U. S., Patra, R. K., Sahoo, N. R., Bakhara, C. K., & Panda, M. K. (2015). Effect of refining on quality and composition of sunflower oil. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4613–4618.

Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1461-0>

Peña River, F. D. M., & Beltrán Lázaro, E. (2017). Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando *Helianthus annuus* L. en la Estación Experimental El Mantaro. *Prospectiva Universitaria*, 9(1), 31-45.

Disponible en <https://doi.org/10.26490/uncp.1990-7044.2012.1.291>

Rahmanian, M., Hosseinpour, A. R., Manouchehri, N., & Cornelis, W. (2019). Bioavailability, fractionation of pb and Zn in the rhizosphere of sunflower in chelators-amended contaminated soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(7), 957–967.

Disponible en <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1541088>

ISSN 0365-0340

Ramirez Pisco, R., Giraldo Jiménez, D., & Barrera Cruz, D. (2018). Fitoextracción de cadmio con hierba mora (*Solanum nigrum* L.) en suelos cultivados con cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta Agronómica*, 67(3), 420–424.

Disponible en <https://doi.org/10.15446/acag.v67n3.68536>

ISSN 0120-2812

Razmi B., Ghasemi R., Ronaghi A., G. Mostofizadeh. Investigation of factors affecting phytoremediation of multi-elements polluted calcareous soil using Taguchi optimization. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. January 2021. n.o 207.

Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020>.

ISSN 0147-6513

Reddy, K. R., Chirakkara, R. A., & Martins Ribeiro, L. F. (2020). Effects of Elevated Concentrations of Co-Existing Heavy Metals and PAHs in Soil on Phytoremediation. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 24(4), 04020035.

Disponible en [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hz.2153-5515.0000538](https://doi.org/10.1061/(asce)hz.2153-5515.0000538)

ISSN 2153-5493

RODRÍGUEZ-EUGENIO, Natalia., MCLAUGHLIN, Michael. and PENNOCK, Daniel.
Soil Pollution: a hidden reality. Rome, FAO, 2018. 142 pp.

Rodrigo Tintaya, D. J. (2018). Estimación de la capacidad fitorremediadora del “girasol” *Helianthus annuus* mediante la incorporación de enmiendas para suelos contaminados por metales pesados (Plomo, Cromo) de industrias metalmeccánicas. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 4(1), 23-28.

Disponible en <https://doi.org/10.17162/rictd.v4i1.1069>

ISSN 2410-843

Sierra, V. Ruben. 2006. Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Plomo por Actividad Industrial. (En línea).

Disponible en <http://alertaplomo.org/sites/default/files/fitorremediacion.pdf>

Tariq, S., Ashraf, A. (2016). Comparative evaluation of phytoremediation of metal contaminated soil of firing range by four different plant species. *Arabian Journal of Chemistry*, 9(6), 806-814.

Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.09.024>

ISSN 1878-5352

Velásquez Arias, J. A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 151–167.

Disponible en <https://doi.org/10.22490/21456453.1846>

ISSN 2145-6097

Vilvert, E., Lana, M., Zander, P., & Sieber, S. (2018). Multi-model approach for assessing the sunflower food value chain in Tanzania. *Agricultural Systems*, 159, 103–110.

Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.10.014>

Yazdanbakhsh, A., Alavi, S. N., Valadabadi, S. A., Karimi, F., & Karimi, Z. (2020). Heavy Metals Uptake of Salty Soils by Ornamental Sunflower, Using Cow Manure and Biosolids: A Case Study in Alborz city, Iran. *Air, Soil and Water Research*, 13.

Disponible en <https://doi.org/10.1177/1178622119898460>

ISSN 1178-6221

- Zehra, A., Sahito, Z., Tong, W., Tang, L., Hamid, Y., Wang, Q., Cao, X., Bilal, M., Hussain, B., Ahmed, S., He, Z., Yang, X. (2020). Identification of high cadmium-accumulating oilseed sunflower (*Helianthus annuus*) cultivars for phytoremediation of an Oxisol and an Inceptisol. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 187, 109857.
Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109857>
ISSN 0147-6513
- Zhang, Y., Hu, J., Bai, J., Qin, H., Wang, J., Wang, J., & Lin, X. (2019). Intercropping with sunflower and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi promotes growth of garlic chive in metal-contaminated soil at a WEEE-recycling site. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 167, 376-384.
Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.046>
ISSN 0147-6513
- Zhao, X., Joo, J. C., Lee, J. K., & Kim, J. Y. (2019). Mathematical estimation of heavy metal accumulations in *Helianthus annuus* L. with a sigmoid heavy metal uptake model. *Chemosphere*, 220, 965–973.
Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.210>
ISSN 0045-6535
- Zhao, X., Joo, C, Kim, J. (2021). Evaluation of heavy metal phytotoxicity to *Helianthus annuus* L. using seedling vigor index-soil model. *Chemosphere*, 275, 7.
Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130026>
ISSN 0045-6535
- Zhou, J., Chen, L., Peng, L., Luo, S., Zeng, Q. (2020). Phytoremediation of heavy metals under an oil crop rotation and treatment of biochar from contaminated biomass for safe use. *Chemosphere*, 247, 5, 125856.
Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125856>
ISSN 0045-6535

ANEXOS

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Matriz de Operacionalización de variables: Revisión Sistemática en fitorremediación con girasol ("Helianthus annuus L.") para el tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo en el Perú, 2021			
Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Fitorremediación con girasol	Características del girasol	Tiempo de crecimiento	días
		Tamaño de planta	cm
		Biomasa	kg
	Técnicas de fitorremediación	Número de plantas	Cantidad
		Tipo de siembra	
	Eficiencia de absorción	Pb en hojas	mg/kg
		Pb en tallos	mg/kg
Pb en raíz		mg/kg	
Suelos contaminados con Cd y Pb	Características físicas y químicas del suelo	pH	Unidad de pH
		CE	S.m-1
		MO	
		N, P, K	
	Concentración de Cd	Total	mg/kg
		Reducido	%
	Concentración de Pb	Total	mg/kg
		Reducido	%

FICHA DE REVISIÓN DE CONTENIDOS

	FICHA DE REVISIÓN DE CONTENIDOS	
Título		
Páginas utilizadas	Año de publicación	Unidad de publicación
Tipo de investigación		Autor/es
Palabras claves		
Recolección		
Técnica de fitorremediación		
Cantidad de Cd y Pb medidos		
Tipo de suelo		
Eficiencia de absorción		
Resultados		
Conclusiones		



Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
CIP N° 25450

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: ACOSTA SUASNABAR EUSTERIO HORACIO
 1.2. Cargo e institución donde labora: Universidad César Vallejo
 1.3. Especialidad o línea de investigación:
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Validación del instrumento
 1.5. Autor(es) de Instrumento: Canchapoma Mamani Sofia Inés / Centeno Fernández Gabriela
 Melissa / Córdova Ortiz Yohaira Cedma / Sánchez Baique Aarón

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.									X				
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.									X				
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.									X				
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.									X				
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.									X				
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.									X				
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.									X				
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.									X				
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.									X				
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.									X				

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

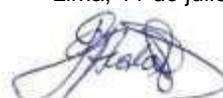
- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación SI
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

x

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

80%

Lima, 11 de julio de 2021


 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450